

# રસાયણવિજ્ઞાન

## ભાગ I

### ધોરણ XI



### પ્રતિજ્ઞાપત્ર

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



રાષ્ટ્રીય શૈક્ષિક અનુસંધાન ઓર પ્રશિક્ષણ પરિષદ  
NATIONAL COUNCIL OF EDUCATIONAL RESEARCH AND TRAINING



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

© NCERT, નવી 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 શકાશે નહિ.

### અનુવાદ

ડૉ. આઈ. એમ. ભટ્ટ  
ડૉ. મયૂર સી. શાહ

### સમીક્ષા

પ્રો. જાબાલી જે. વોરા  
ડૉ. દશરથ પી. પટેલ  
ડૉ. દેવાંગ આર. પંડ્યા  
શ્રી સી. આઈ. પટેલ  
શ્રી મુકેશ બી. પટેલ  
શ્રી કિરણ કે. પુરોહિત  
શ્રી શેખર બી. ગોર  
શ્રી નિરવ એન. શાહ  
શ્રી મિતેષ એચ. પંચોલી

### ભાષાશુદ્ધિ

શ્રી મનીષ કે. પંચાલ

### સંયોજન

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

### નિર્માણ-સંયોજન

શ્રી આશિષ એચ. બોરીસાગર  
(નાયબ નિયામક : શૈક્ષણિક)

### મુદ્રણ-આયોજન

શ્રી હરેશ એસ. લીમ્બાયીયા  
(નાયબ નિયામક : ઉત્પાદન)

### પ્રસ્તાવના

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

આ પાઠ્યપુસ્તકનો અનુવાદ તથા તેની સમીક્ષા નિષ્ણાત પ્રાધ્યાપકો અને શિક્ષકો પાસે કરાવવામાં આવ્યા છે અને સમીક્ષકોનાં સૂચનો અનુસાર હસ્તપ્રતમાં યોગ્ય સુધારા-વધારા કર્યા પછી આ પાઠ્યપુસ્તક પ્રસિદ્ધ કરતાં પહેલા આ પાઠ્યપુસ્તકની મંજૂરી માટે એક સ્ટેટ લેવલની કમિટીની રચના કરવામાં આવી. આ કમિટીની સાથે NCERTના પ્રતિનિધિ તરીકે RIE, ભોપાલથી ઉપસ્થિત રહેલા નિષ્ણાતોની સાથે એક ત્રિદિવસીય કાર્યશિબિરનું આયોજન કરવામાં આવ્યું અને પાઠ્યપુસ્તકને અંતિમ સ્વરૂપ આપવામાં આવ્યું. જેમાં, ડૉ. એસ. કે. મકવાણા (RIE, ભોપાલ), ડૉ. કલ્પના મસ્કી (RIE, ભોપાલ), ડૉ. આઈ. એમ. ભટ્ટ, પ્રો.(ડૉ.) જાબાલી જે. વોરા, શ્રી સી. આઈ. પટેલ અને શ્રી શેખર બી. ગોરે ઉપસ્થિત રહી પોતાના કીમતી સૂચનો અને માર્ગદર્શન પૂરા પાડ્યા છે.

પ્રસ્તુત પાઠ્યપુસ્તકને રસપ્રદ, ઉપયોગી અને ક્ષતિરહિત બનાવવા માટે માન. અગ્રસચિવશ્રી (શિક્ષણ) દ્વારા અંગત રસ લઈને જરૂરી માર્ગદર્શન આપવામાં આવ્યું છે. 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.

ડૉ. એમ. આઈ. જોષી  
નિયામક  
તા. 26-10-2017

ડૉ. નીતિન પેથાણી  
કાર્યવાહક પ્રમુખ  
ગાંધીનગર

પ્રથમ આવૃત્તિ : 2018

પ્રકાશક : ગુજરાત રાજ્ય શાળા પાઠ્યપુસ્તક મંડળ, 'વિદ્યાયન', સેક્ટર 10-એ, ગાંધીનગર વતી, ડૉ. એમ. આઈ. જોષી, નિયામક  
મુદ્રક :

(iii)

## 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.

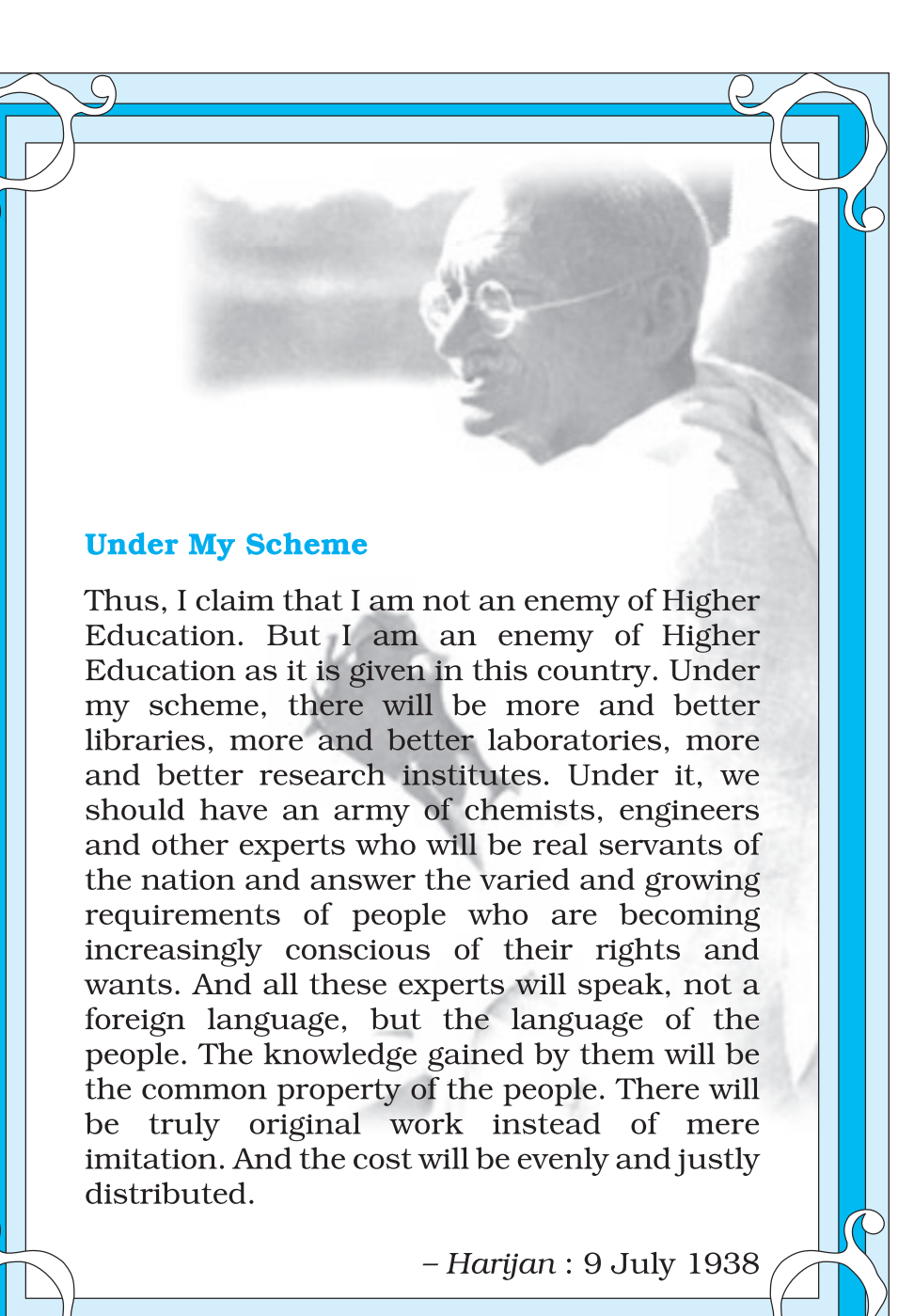
These aims imply considerable change in school routines and mode of functioning. Flexibility in the daily time-table is as necessary as rigour in implementing the annual calendar so that the required number of teaching days are actually devoted to teaching. The methods used for teaching and evaluation 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. We are especially grateful to the members of the National Monitoring Committee, appointed by the Department of Secondary and Higher Education, Ministry of Human Resource Development under the Chairpersonship of Professor Mrinal Miri and Professor G.P. Deshpande, for their valuable time and contribution. 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 December 2005

*Director*  
National Council of Educational  
Research and Training

(iv)



**Under My Scheme**

Thus, I claim that I am not an enemy of Higher Education. But I am an enemy of Higher Education as it is given in this country. Under my scheme, there will be more and better libraries, more and better laboratories, more and better research institutes. Under it, we should have an army of chemists, engineers and other experts who will be real servants of the nation and answer the varied and growing requirements of people who are becoming increasingly conscious of their rights and wants. And all these experts will speak, not a foreign language, but the language of the people. The knowledge gained by them will be the common property of the people. There will be truly original work instead of mere imitation. And the cost will be evenly and justly distributed.

- Harijan : 9 July 1938

## TEXTBOOK DEVELOPMENT COMMITTEE

### CHAIRPERSON, ADVISORY GROUP FOR TEXTBOOKS IN SCIENCE AND MATHEMATICS

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

### CHIEF ADVISOR

B.L. Khandelwal, *Professor (Retd.)*, *Emeritus Scientist*, CSIR; *Emeritus Fellow*, AICTE and formerly *Chairman*, Department of Chemistry, Indian Institute of Technology, New Delhi

### MEMBERS

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

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

H.O. Gupta, *Professor*, DESM, NCERT, New Delhi

I.P. Aggarwal, *Professor*, Regional Institute of Education, NCERT, Bhopal

Jaishree Sharma, *Professor*, DESM, NCERT, New Delhi

M. Chandra, *Professor*, DESM, NCERT, New Delhi

Poonam Sawhney, *PGT (Chemistry)*, Kendriya Vidyalaya, Vikas Puri, New Delhi

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

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

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

Sadhna Bhargava, *PGT (Chemistry)*, Sardar Patel Vidyalaya, Lodhi Estate, New Delhi

Shubha Keshwan, *Headmistress*, Demonstration School, Regional Institute of Education, NCERT, Mysore

Sukhvir Singh, *Reader*, DESM, NCERT, New Delhi

Sunita Malhotra, *Professor*, School of Sciences, IGNOU, Maidan Garhi, New Delhi

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

V.P. Gupta, *Reader*, Regional Institute of Education, NCERT, Bhopal

### MEMBER-COORDINATOR

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

## ACKNOWLEDGEMENTS

The National Council of Educational Research and Training acknowledges the valuable contributions of the individuals and organisations involved in the development of Chemistry textbook for Class XI. It also acknowledges that some useful material from the reprint editions (2005) of Chemistry textbooks has been utilised in the development of the present textbook. The following academics contributed very effectively for editing, reviewing, refining and finalisation of the manuscript of this book: G.T. Bhandage, *Professor*, RIE, Mysore; N. Ram, *Professor*, IIT, New Delhi; R. Sindhu, *Reader*, RIE (NCERT), Bhopal; Sanjeev Kumar, *Reader*, Desh Bandhu College, Kalkaji, New Delhi; Shampa Bhattacharya, *Reader*, Hans Raj College, Delhi; Vijay Sarda, *Reader*, Zakir Husain College, New Delhi. K.K. Arora, *Reader*, Zakir Husain College, New Delhi; Shashi Saxena, *Reader*, Hans Raj College, Delhi; Anuradha Sen, Apeejay School, Sheikh Sarai, New Delhi; C. Shrinivas, *PGT*, Kendriya Vidyalaya, Pushp Vihar, New Delhi; D.L. Bharti, *PGT*, Ramjas School, Sector IV, R.K. Puram, New Delhi; Ila Sharma, *PGT*, Delhi Public School, Dwarka, Sector-B, New Delhi; Raj Lakshmi Karthikeyan, *Head (Science)*, Mothers' International School, Sri Aurobindo Marg, New Delhi; Sushma Kiran Setia, *Principal*, Sarvodaya Kanya Vidyalaya, Hari Nagar (CT), New Delhi; Nidhi Chaudray, *PGT*, CRPF Public School, Rohini, Delhi; and Veena Suri, *PGT*, Bluebells School, Kailash, New Delhi. We are thankful to them.

Special thanks are due to M. Chandra, *Professor and Head*, DESM, NCERT for her support.

The Council also gratefully acknowledges the contribution of Surendra Kumar, *DTP Operator*; Subhash Saluja, Ramendra Kumar Sharma and Abhimanyu Mohanty, *Proof Readers*; Bhavna Saxena, *Copy Editor* and Deepak Kapoor, *Incharge*, Computer Station, in shaping this book. The contributions of the Publication Department in bringing out this book are also duly acknowledged.

## અનુક્રમણિકા

	<b>Foreword</b>	<b>iii</b>
<b>એકમ 1</b>	<b>રસાયણવિજ્ઞાનની કેટલીક પાયાની સંકલ્પનાઓ</b>	<b>1</b>
	1.1 રસાયણવિજ્ઞાનની અગત્ય	1
	1.2 દ્રવ્યનો સ્વભાવ (પ્રકૃતિ)	2
	1.3 દ્રવ્યના ગુણધર્મો અને તેમના માપન	4
	1.4 માપનમાં અનિશ્ચિતતા	8
	1.5 રાસાયણિક સંયોગીકરણના નિયમો	11
	1.6 ડાલ્ટનનો પરમાણ્વીય સિદ્ધાંત	13
	1.7 પરમાણ્વીય અને આણ્વીયદળ	13
	1.8 મોલ સંકલ્પના અને મોલરદળ	15
	1.9 બંધારણીય (સંઘટનીય) ટકાવારી	15
	1.10 તત્ત્વયોગમિતિ અને તત્ત્વયોગમિતિય ગણતરીઓ	17
<b>એકમ 2</b>	<b>પરમાણુનું બંધારણ</b>	<b>26</b>
	2.1 અવપરમાણ્વીય કણો	27
	2.2 પરમાણ્વીય નમૂના	29
	2.3 પરમાણુના બોહ્રના નમૂના તરફ દોરી જતો વિકાસ	34
	2.4 હાઈડ્રોજન પરમાણુ માટેનો બોહ્રનો નમૂનો	42
	2.5 પરમાણુ ક્વોન્ટમ યાંત્રિકીય નમૂના તરફ	46
	2.6 પરમાણુનો ક્વોન્ટમ યાંત્રિકીય નમૂનો	49
<b>એકમ 3</b>	<b>તત્ત્વોનું વર્ગીકરણ અને ગુણધર્મોમાં આવર્તિતા</b>	<b>70</b>
	3.1 આપણને તત્ત્વોના વર્ગીકરણની આવશ્યકતા શા માટે જરૂરી જણાઈ ?	70
	3.2 આવર્તી વર્ગીકરણની ઉત્પત્તિ	71
	3.3 આધુનિક આવર્ત નિયમ અને આવર્તકોષ્ટકનું વર્તમાન સ્વરૂપ	75
	3.4 100થી વધુ પરમાણ્વીય-ક્રમાંકવાળા તત્ત્વોનું નામકરણ	75
	3.5 તત્ત્વોની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના અને આવર્તકોષ્ટક	78
	3.6 ઇલેક્ટ્રોનીય રચના અને તત્ત્વોના પ્રકાર : $s$ -, $p$ -, $d$ -, $f$ - વિભાગો	79
	3.7 તત્ત્વોના ગુણધર્મોમાં આવર્તી વલણ	82

<b>એકમ 4</b>	<b>રાસાયણિક બંધન અને આણ્વીય રચના</b>	<b>96</b>
4.1	રાસાયણિક બંધન અંગેનો કોસેલ-લુઈસ અભિગમ	97
4.2	આયનીય અથવા વિદ્યુતસંયોજક બંધ	102
4.3	બંધ પ્રાયલો	103
4.4	સંયોજકતા કોશ ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ અપાકર્ષણ (VSEPR) સિદ્ધાંત	108
4.5	સંયોજકતા બંધનવાદ	113
4.6	સંકરણ	116
4.7	આણ્વીય કક્ષકવાદ	121
4.8	કેટલાક સમકેન્દ્રીય દ્વિપરમાણ્વીય અણુઓમાં બંધન	125
4.9	હાઈડ્રોજન બંધન	127
<b>એકમ 5</b>	<b>દ્રવ્યની અવસ્થાઓ</b>	<b>132</b>
5.1	આંતરઆણ્વીય બળો	133
5.2	ઉષ્મીય ઊર્જા	135
5.3	આંતરઆણ્વીય બળો વિરુદ્ધ ઉષ્મીય પારસ્પારિક ક્રિયાઓ	135
5.4	વાયુમય અવસ્થા	135
5.5	વાયુ નિયમો	136
5.6	આદર્શ વાયુ સમીકરણ	141
5.7	વાયુઓનો ગતિજ ઊર્જા આણ્વીયવાદ	143
5.8	વાસ્તવિક વાયુઓની વર્તણૂક : આદર્શ વાયુ વર્તણૂકમાંથી વિચલન	146
5.9	વાયુઓનું પ્રવાહીકરણ	148
5.10	પ્રવાહી અવસ્થા	150
<b>એકમ 6</b>	<b>ઉષ્માગતિશાસ્ત્ર</b>	<b>155</b>
6.1	ઉષ્માગતિય પર્યાયો	156
6.2	અનુપ્રયોગો	159
6.3	$\Delta U$ અને $\Delta H$ નું માપન (કેલરીમિતી)	164
6.4	એન્થાલ્પી ફેરફાર, પ્રક્રિયાની $\Delta_r H$ – પ્રક્રિયા એન્થાલ્પી	165
6.5	જુદા જુદા પ્રકારની પ્રક્રિયાઓ માટે એન્થાલ્પી	171
6.6	સ્વયંસ્ફૂરણ (સ્વતઃતા)	176
6.7	ગીબ્સ ઊર્જા ફેરફાર અને સંતુલન	181



<b>એકમ 7</b>	<b>સંતુલન</b>	<b>186</b>
7.1	ભૌતિક પ્રક્રમમાં સંતુલન	187
7.2	રાસાયણિક પ્રક્રમમાં સંતુલન-ગતિશીલ સંતુલન	190
7.3	રાસાયણિક સંતુલનનો નિયમ અને સંતુલન અચળાંક	192
7.4	સમાંગ સંતુલન	195
7.5	વિષમાંગ સંતુલન	197
7.6	સંતુલન અચળાંકના અનુપ્રયોગો	199
7.7	સંતુલન અચળાંક K, પ્રક્રિયા ભાગફળ Q અને ગીબ્સ ઊર્જા G વચ્ચે સંબંધ	202
7.8	સંતુલનને અસર કરતાં પરિબલો	202
7.9	દ્રાવણમાં આયનીય સંતુલન	206
7.10	એસિડ, બેઈઝ અને ક્ષાર	207
7.11	એસિડ અને બેઈઝના આયનીકરણ	210
7.12	બફર દ્રાવણો	220
7.13	અલ્પદ્રાવ્ય ક્ષારના દ્રાવ્યતા સંતુલન	222
	<b>પરિશિષ્ટ</b>	<b>232</b>
	<b>જવાબો</b>	<b>246</b>
	<b>પારિભાષિક શબ્દો</b>	<b>251</b>

(x)

## આપણું રાષ્ટ્રગીત

જન-ગણ-મન અધિનાયક જય હે,  
ભારત ભાગ્ય વિધાતા.  
પંજાબ સિંધ ગુજરાત મરાઠા  
દ્રાવિડ ઉત્કલ બંગા  
વિંધ્ય હિમાચલ યમુના ગંગા  
ઉચ્છલ જલધિ તરંગા  
તવ શુભ નામે જાગે,  
તવ શુભ આશિષ માગે.  
ગાહે તવ જય ગાથા.  
જન-ગણ-મંગલદાયક જય હે  
ભારત ભાગ્ય વિધાતા.  
જય હે, જય હે, જય હે,  
જય જય જય, જય હે.

આપણું રાષ્ટ્રગીત મૂળભૂતરૂપે બંગાળી ભાષામાં  
શ્રી રવિન્દ્રનાથ ટાગોર દ્વારા રચાયેલ હતું, જેના હિન્દી  
રૂપાંતરણને સંસદીય સભામાં તા. 24 જાન્યુઆરી, 1950ના  
રોજ રાષ્ટ્રગીત તરીકે સ્વીકૃતિ મળેલ છે.

## રસાયણવિજ્ઞાનની કેટલીક પાયાની સંકલ્પનાઓ (Some Basic Concepts of Chemistry)

### હેતુઓ :

આ એકમના અભ્યાસ પછી તમે...

- જીવનના જુદા જુદા ક્ષેત્રોમાં રસાયણવિજ્ઞાનની ભૂમિકાઓ સમજી શકશો અને કદર કરી શકશો.
- દ્રવ્યની ત્રણ અવસ્થાઓની લાક્ષણિકતાઓને સમજાવી શકશો.
- જુદા જુદા પદાર્થોનું તત્ત્વ, મિશ્રણ અને સંયોજનમાં વર્ગીકરણ કરી શકશો.
- SI આધારિત એકમોની વ્યાખ્યા આપી શકશો અને કેટલાક સામાન્ય રીતે વપરાતા પૂર્વગોની યાદી બનાવી શકશો.
- વૈજ્ઞાનિક સંકેતોનો ઉપયોગ કરીને સંખ્યા પર કેટલાક સાદા ગણિતીય પ્રચાલન (operations)નો ઉપયોગ કરી શકશો.
- પરિશુદ્ધતા (precision) અને ચોકસાઈ (accuracy) વચ્ચેનો ભેદ જાણી શકશો.
- અર્થસૂચક અંક (સાર્થક અંક) નક્કી કરી શકશો.
- ભૌતિક રાશિઓને એક પદ્ધતિમાંથી બીજી પદ્ધતિઓના એકમોમાં પરિવર્તિત કરી શકશો.
- રસાયણિક સંયોગીકરણના જુદા જુદા નિયમો સમજાવી શકશો.
- પરમાણ્વીયદળ, સરેરાશ પરમાણ્વીયદળ, આણ્વીયદળ અને સૂત્ર દળની સમાલોચના કરી શકશો.
- મોલ અને મોલર દળ જેવા પદોનું વર્ણન કરી શકશો.
- સંયોજનનું નિર્માણ કરતાં જુદા જુદા ઘટકતત્ત્વોની દળથી ટકાવારીની ગણતરી કરી શકશો.
- સંયોજનના પ્રમાણસૂચક સૂત્ર (empirical formula) અને આણ્વીય સૂત્ર આપેલા પ્રાયોગિક પરિણામો પરથી નક્કી કરી શકશો.
- તત્ત્વયોગમિતીય (stoichiometric) ગણતરીઓ કરી શકશો.

“રસાયણવિજ્ઞાન અણુઓ અને તેમના રૂપાંતરણનું વિજ્ઞાન છે. રસાયણવિજ્ઞાન માત્ર 100 જેટલા તત્ત્વોનું વિજ્ઞાન નથી, પરંતુ તેમાંથી રચાતાં અસંખ્ય વૈવિધ્યસભર અણુઓનું વિજ્ઞાન છે.”

– રોઆલ્ડ હોફમેન (Roald Hoffmann)

રસાયણવિજ્ઞાન દ્રવ્યનું સંઘટન, બંધારણ અને ગુણધર્મો સાથે સંકળાયેલ છે. આ બાબતો દ્રવ્યના પાયાના ઘટકો પરમાણુ અને અણુ દ્વારા સૌથી સારી રીતે વર્ણવી અને સમજી શકાય. આથી જ કહેવાય છે કે રસાયણવિજ્ઞાન પરમાણુ અને અણુનું વિજ્ઞાન છે. શું આપણે આ સ્પીસિઝને જોઈ શકીએ, વજન કરી શકીએ અથવા અનુભવી શકીએ ? શું દ્રવ્યના આપેલા દળમાં પરમાણુ અને અણુઓની સંખ્યા ગણી શકીએ અને આ કણો (પરમાણુઓ અને અણુઓ)ની સંખ્યા તથા દળ વચ્ચે જથ્થાત્મક સંબંધ મેળવી શકીએ ? આવા કેટલાક પ્રશ્નોના ઉત્તર આપણે આ એકમ દ્વારા આપીશું. આ ઉપરાંત આપણે દ્રવ્યના ભૌતિક ગુણધર્મો આંકડાકીય કિંમતોનો ઉપયોગ કરીને જથ્થાત્મક રીતે અનુકૂળ એકમો દ્વારા વર્ણવી શકીએ.

### 1.1 રસાયણવિજ્ઞાનની અગત્ય (Importance of Chemistry)

કુદરતને વર્ણવવાના અને સમજવાના સતત માનવીય પ્રયત્નો તરીકે આપણે વિજ્ઞાનને અભિપ્રેત કરી શકીએ. અનુકૂળતા ખાતર વિજ્ઞાનને જુદી જુદી શાખાઓમાં વિભાજિત કરવામાં આવેલ છે; જેમ કે રસાયણવિજ્ઞાન, ભૌતિકવિજ્ઞાન, જીવવિજ્ઞાન, ભૂસ્તરવિજ્ઞાન વગેરે. રસાયણવિજ્ઞાન વિજ્ઞાનની એવી શાખા છે કે જે દ્રવ્યનું સંઘટન, ગુણધર્મો અને પારસ્પરિક ક્રિયાઓનો અભ્યાસ કરે છે. રસાયણશાસ્ત્રીઓ રસાયણિક રૂપાંતરો કેવી રીતે થાય છે તે જાણવામાં રસ ધરાવે છે. રસાયણવિજ્ઞાન વિજ્ઞાનમાં કેન્દ્રીય ભૂમિકા ભજવે છે અને અનેકવાર ભૌતિકવિજ્ઞાન, જીવવિજ્ઞાન, ભૂસ્તરવિજ્ઞાન વગેરે સાથે પણ પારસ્પરિક રીતે વણાયેલ છે. રસાયણવિજ્ઞાન રોજિંદા જીવનમાં પણ અગત્યનો ભાગ ભજવે છે.

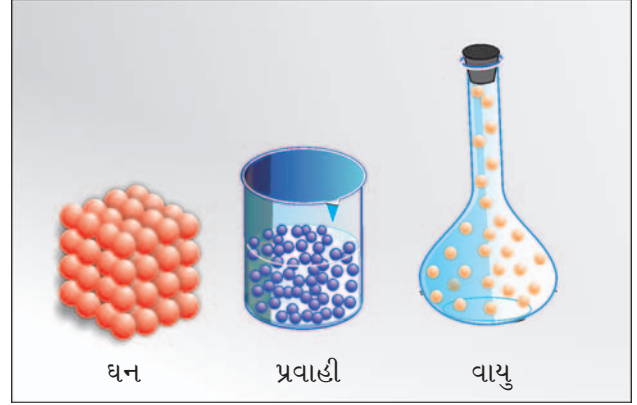
હવામાનની તરાહો, મગજની કાર્યપદ્ધતિ અને કમ્પ્યુટરનું પ્રચાલન (operation) જેવા અનેકવિધ ક્ષેત્રોમાં રસાયણિક સિદ્ધાંતો અગત્યનાં છે. ખાતર, આલ્કલી, એસિડ, ક્ષાર, રંગક, પોલિમર, ઔષધ, સાબુ, પ્રક્ષાલક, ધાતુ, મિશ્રધાતુ તથા અન્ય અકાર્બનિક અને કાર્બનિક રસાયણ સહિતના નવા દ્રવ્યોના ઉત્પાદન કરતાં રસાયણિક ઉદ્યોગો રાષ્ટ્રીય અર્થવ્યવસ્થામાં બહોળા પ્રમાણમાં ફાળો આપે છે.

આ ઉપરાંત રસાયણવિજ્ઞાન ખોરાક, સ્વાસ્થ્ય-સંભાળની જરૂરિયાતને તથા અન્ય પદાર્થો કે જે માનવજીવનની ગુણવત્તા વધારવાનાં ધ્યેય માટે હોય છે તેને પહોંચી વળે છે. આના ઉદાહરણ તરીકે જુદા જુદા ખાતરના મોટા પાયા પરના ઉત્પાદન તથા કીટનાશકની સુધારેલી જાતનો સમાવેશ થાય છે. આ જ રીતે ઘણી જીવનરક્ષક ઔષધો જેવી કે સીસ-પ્લેટિન અને ટેક્સોલ, જે કેન્સરની સારવારમાં અસરકારક છે અને AZT (એઝિડોથાયમિડીન) એઈડ્સનો ભોગ બનેલાને મદદરૂપ છે; તેમનું વાનસ્પતિક કે પ્રાણીજ સ્રોતમાંથી અલગીકરણ કરવામાં આવેલ છે અથવા સાંશ્લેષિક પદ્ધતિથી બનાવાયેલા છે.

રાસાયણિક સિદ્ધાંતોની વધુ સમજણને કારણે હવે વિશિષ્ટ ગુણધર્મો જેવાં કે ચુંબકીય, વિદ્યુતીય અને પ્રકાશીય ગુણધર્મો ધરાવતાં નવા પદાર્થોનું સંશ્લેષણ, ઉત્પાદન અથવા નિર્માણ શક્ય બન્યું છે. આને લીધે અતિવાહક સીરેમીક, વાહકતા ધરાવતા પોલિમર, ઓપ્ટિકલ ફાઈબર અને ઘન અવસ્થાના સાધનોની અતિ નાની પ્રતિકૃતિને મોટા પાયા પર ઉત્પાદન કરવા તરફ દોરવાયા છીએ. વર્તમાન સમયમાં રસાયણવિજ્ઞાને પર્યાવરણના અવકમણ(degradation)ની અતિ મહત્વની બાબતોનો સામનો કરવામાં સારા એવા પ્રમાણમાં સફળતા પ્રાપ્ત કરી છે. પર્યાવરણીય જોખમો (hazards) રેફ્રિજરન્ટ જેવાં કે CFCs (ક્લોરોફ્લોરો કાર્બન્સ)ના સલામત વિકલ્પને સાંશ્લેષિત કરી શકાયા છે. જેથી સમતાપ આવરણમાં ઓઝોન ક્ષયને ઘટાડી શકાયેલ છે. તેમ છતાં ઘણી મોટી પર્યાવરણીય સમસ્યાઓને મહાત કરવા માટે રસાયણવિજ્ઞાનીઓએ કમર કસવાની છે. આમાંની એક સમસ્યા ગ્રીન હાઉસ વાયુઓ જેવાં કે મિથેન, કાર્બન ડાયોક્સાઈડ વગેરેનું વ્યવસ્થાપન કરવાનું છે. જૈવરાસાયણિક પ્રક્રમોને સમજવાનું, રસાયણોના મોટા પાયા પરના ઉત્પાદન માટે ઉત્સેચકોનો ઉપયોગ અને નવા વિદેશી (exotic) પદાર્થોનું ઉત્પાદન વગેરે રસાયણશાસ્ત્રીઓની આવનાર પેઢીને માટે બૌદ્ધિક પડકાર (ચેલેન્જ) છે. ભારત જેવા વિકસતા દેશમાં આવા પડકારોને ઝીલવા માટે કુશાગ્ર અને સર્જનાત્મક રસાયણશાસ્ત્રીઓની જરૂર પડશે.

## 1.2 દ્રવ્યનો સ્વભાવ (પ્રકૃતિ) (Nature of Matter)

તમે અગાઉના ધોરણોના અભ્યાસ પરથી 'દ્રવ્ય' પર્યાય સાથે માહિતગાર થયેલા છો. કોઈ પણ વસ્તુ જે દળ ધરાવે છે અને જગ્યા (અવકાશ) રોકે છે તેને દ્રવ્ય કહે છે.



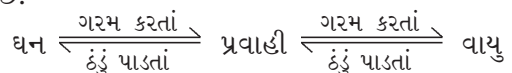
આકૃતિ 1.1 ઘન, પ્રવાહી અને વાયુમય અવસ્થામાં કણોની ગોઠવણી

આપણી આસપાસ (ચોપાસ) રહેલી વસ્તુઓને ઉદાહરણ તરીકે લેતાં ચોપડી, પેન, પેન્સિલ, પાણી, હવા, બધા જ સજીવો વગેરે દ્રવ્યથી સંઘટિત હોય છે. તમે જાણો છો કે તેમને દળ છે અને તેઓ જગ્યા રોકે છે.

તમે એ પણ જાણો છો કે દ્રવ્ય ત્રણ ભૌતિક અવસ્થાઓ જેવીકે ઘન, પ્રવાહી અને વાયુ તરીકે અસ્તિત્વ ધરાવે છે. દ્રવ્યના ઘટક કણો આ ત્રણેય અવસ્થામાં કેવી રીતે રહેલાં હોય છે, તે આકૃતિ 1.1માં દર્શાવેલ છે. ઘનમાં આ કણો એકબીજાની ઘણાં જ નજીક હોય છે અને વ્યવસ્થિત ક્રમબદ્ધ રીતે ગોઠવાયેલા હોય છે જેથી તેમની હેરફેર માટેની મુક્તિ વધુ હોતી નથી. પ્રવાહીમાં કણો એકબીજાની નજીક હોય છે પરંતુ આજુબાજુમાં હરીફરી શકે છે, જ્યારે વાયુમાં કણો ઘન અને પ્રવાહીની સરખામણીમાં એકબીજાથી ઘણા દૂર હોય છે અને તેમની હેરફેર સરળ અને ઝડપી હોય છે. આ પ્રકારની કણોની ગોઠવણીને લીધે દ્રવ્યની જુદી જુદી અવસ્થાઓ નીચે પ્રમાણેની લાક્ષણિકતાઓ દર્શાવે છે.

- ઘનને ચોક્કસ કદ અને ચોક્કસ આકાર હોય છે.
- પ્રવાહીને ચોક્કસ કદ હોય છે પણ ચોક્કસ આકાર હોતો નથી. તેમનો આકાર તેમને જે પાત્રમાં ભરવામાં આવે છે તે પ્રમાણેના પાત્ર જેવો હોય છે.
- વાયુઓને ચોક્કસ કદ કે ચોક્કસ આકાર હોતા નથી. તેઓને જે પાત્રમાં ભરવામાં આવે તેમાં બધે જ ફેલાઈ જઈ આપના પાત્રને ભરી દે છે.

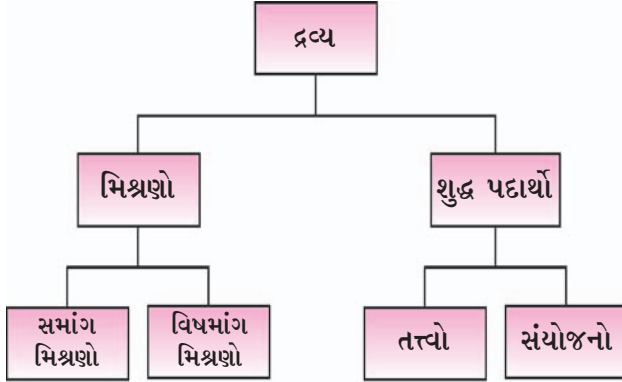
તાપમાન અને દબાણની પરિસ્થિતિમાં ફેરફાર કરવાથી દ્રવ્યની આ ત્રણ અવસ્થાઓ એકબીજામાં રૂપાંતરિત થઈ શકે છે.



ઘનને ગરમ કરતાં સામાન્ય રીતે પ્રવાહીમાં ફેરવાય છે અને પ્રવાહીને વધારે ગરમ કરતાં વાયુમય (અથવા બાષ્પીય)

અવસ્થામાં ફેરવાય છે. આનાથી ઉલટા ક્રમમાં વાયુને ઠંડો કરતાં તે પ્રવાહીકૃત થાય છે અને પ્રવાહીને આગળ ઉપર ઠંડું કરતાં તે ઘન સ્વરૂપમાં ઠરે છે.

સ્થૂળદર્શીય (macroscopic) અથવા જથ્થામય (bulk) સ્તરે દ્રવ્યને શુદ્ધ પદાર્થો અથવા મિશ્રણ તરીકે વર્ગીકૃત કરી શકાય. આનું ઉપવિભાજન આકૃતિ 1.2માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે કરી શકાય.



આકૃતિ 1.2 દ્રવ્યનું વર્ગીકરણ

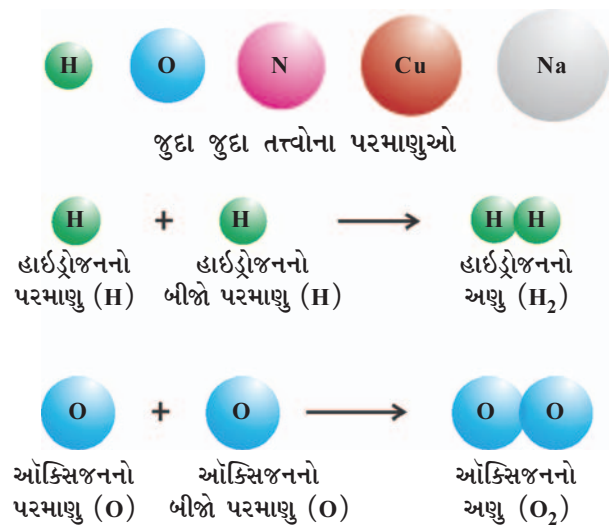
તમારી આસપાસ (ચોપાસ) રહેલા ઘણા બધા પદાર્થો મિશ્રણ છે. ઉદાહરણ તરીકે ખાંડનું પાણીમાં દ્રાવણ, હવા, ચા વગેરે બધા જ મિશ્રણ છે. મિશ્રણમાં બે કે વધુ પદાર્થો (ગમે તે પ્રમાણમાં) રહેલા હોય છે. જેને તેના ઘટકો કહેવાય છે. મિશ્રણ સમાંગ અથવા વિષમાંગ હોઈ શકે છે. સમાંગ મિશ્રણમાં ઘટકો એકબીજા સાથે સંપૂર્ણ રીતે મિશ્ર થાય છે અને તેનું સંઘટન બધે જ એકસમાન (uniform) હોય છે. ખાંડનું દ્રાવણ અને હવા આ રીતે સમાંગ મિશ્રણના ઉદાહરણો છે. આનાથી વિરુદ્ધમાં વિષમાંગ મિશ્રણમાં સંઘટન બધે જ એકસમાન હોતું નથી અને કેટલીક વખત અલગ અલગ ઘટકો જોઈ શકાય છે. ઉદાહરણ તરીકે ક્ષાર (મીઠું) અને ખાંડનું મિશ્રણ. અનાજ અને કઠોળના દાણા સાથે ઘણીવાર કાંકરા અથવા માટીના કણો જોવા મળે છે, જે વિષમાંગ મિશ્રણો છે. તમે તમારા રોજિંદા જીવન દરમિયાન આવા ઘણા બધા ઉદાહરણોનો વિચાર કરી શકો છો. અહીંયા એ નોંધવું અગત્યનું છે કે મિશ્રણમાંના ઘટકોને ભૌતિક પદ્ધતિઓ જેવી કે હાથ વડે વીણવું, ગાળણ, સ્ફટિકીકરણ, નિસ્ચંદન વગેરેથી અલગ કરી શકાય.

શુદ્ધ પદાર્થોને મિશ્રણ કરતાં અલગ લાક્ષણિકતાઓ હોય છે. તેમનું સંઘટન નિશ્ચિત હોય છે; જ્યારે મિશ્રણમાં ઘટકો ગમે તે પ્રમાણમાં હોય છે અને તેમનું સંઘટન ચલિત (બદલાતું) હોય છે. કોપર, સિલ્વર, ગોલ્ડ, પાણી, ગ્લુકોઝ,

શુદ્ધ પદાર્થોના કેટલાક ઉદાહરણો છે. ગ્લુકોઝ કાર્બન, હાઈડ્રોજન અને ઓક્સિજન નિશ્ચિત પ્રમાણમાં ધરાવે છે અને તેથી અન્ય શુદ્ધ પદાર્થોની જેમ નિશ્ચિત સંઘટન ધરાવે છે. વળી શુદ્ધ પદાર્થના ઘટકોને સાદી ભૌતિક પદ્ધતિઓથી અલગ કરી શકાતા નથી.

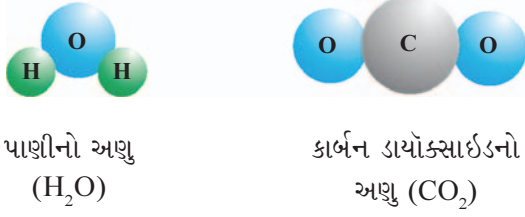
શુદ્ધ પદાર્થોને તત્ત્વ અને સંયોજન તરીકે વધુ વર્ગીકૃત કરી શકાય. તત્ત્વ એક જ પ્રકારના કણો ધરાવે છે. આ કણો પરમાણુઓ કે અણુઓ હોય છે. તમે અગાઉના ધોરણોમાં કરેલા અભ્યાસ પરથી પરમાણુ અને અણુ વિશે માહિતગાર છો. તેમ છતાં તેમના વિશે વિગતવાર અભ્યાસ એકમ 2માં કરશો. સોડિયમ, કોપર, સિલ્વર, હાઈડ્રોજન, ઓક્સિજન વગેરે તત્ત્વોના કેટલાક ઉદાહરણો છે. આ બધા એક જ પ્રકારના પરમાણુના બનેલા છે. આમ છતાં જુદા જુદા તત્ત્વોના પરમાણુઓ સ્વભાવમાં જુદા જુદા હોય છે. સોડિયમ અથવા કોપર જેવા કેટલાક તત્ત્વોમાં એકલ પરમાણુઓ એક સાથે ઘટક તરીકે જોડાયેલા હોય છે, જ્યારે અન્ય કેટલાક તત્ત્વોમાં બે કે વધારે પરમાણુઓ જોડાઈને તત્ત્વનો અણુ બનાવે છે. આમ, હાઈડ્રોજન, નાઈટ્રોજન અને ઓક્સિજન જેવા વાયુઓ અણુના બનેલા છે. જેમાં તેમના બે પરમાણુઓ જોડાઈને તેમના અનુવર્તી અણુઓ આપે છે. આ આકૃતિ 1.3માં દર્શાવેલ છે.

જ્યારે જુદા જુદા તત્ત્વોના બે કે વધુ પરમાણુઓ સંયોજાય છે ત્યારે સંયોજનો અણુ મળે છે. આવા કેટલાક સંયોજનોના ઉદાહરણ પાણી, એમોનિયા, કાર્બન ડાયોક્સાઈડ અને ખાંડ



આકૃતિ 1.3 પરમાણુઓ અને અણુઓની રજૂઆત

વગેરે છે. પાણી અને કાર્બન ડાયોક્સાઇડના અણુ આકૃતિ 1.4માં દર્શાવેલ છે.



**આકૃતિ 1.4** પાણી અને કાર્બન ડાયોક્સાઇડના અણુઓ

તમે ઉપર જોયું કે પાણીનો એક અણુ બે હાઇડ્રોજન પરમાણુઓ અને એક ઓક્સિજન પરમાણુ ધરાવે છે. એ જ રીતે કાર્બન ડાયોક્સાઇડનો એક અણુ બે ઓક્સિજન અને એક કાર્બન પરમાણુ ધરાવે છે. આમ સંયોજનોમાં જુદાં જુદાં તત્ત્વોના પરમાણુઓ નિશ્ચિત હોય છે અને તે નિયત પ્રમાણમાં (ratio) હોય છે, જે-તે સંયોજનની લાક્ષણિકતા છે. વળી સંયોજનના ગુણધર્મો તેના ઘટક તત્ત્વોના ગુણધર્મો કરતાં અલગ હોય છે. ઉદાહરણ તરીકે હાઇડ્રોજન અને ઓક્સિજન બન્ને વાયુઓ છે જ્યારે તેમના સંયોજવાથી બનેલું સંયોજન એટલે કે પાણી પ્રવાહી છે. એ નોંધવું રસપ્રદ છે કે હાઇડ્રોજન ધડાકા સાથે સળગે છે, જ્યારે ઓક્સિજન દહનનો સહાયક છે; પરંતુ પાણી અગ્નિશામક તરીકે વપરાય છે.

આ ઉપરાંત સંયોજનના ઘટકોને સાદા પદાર્થોમાં ભૌતિક પદ્ધતિઓથી અલગ કરી શકાય નહિ. તેમને રાસાયણિક પદ્ધતિઓથી અલગ કરી શકાય.

### 1.3 દ્રવ્યના ગુણધર્મો અને તેમનું માપન (Properties of Matter and their Measurement)

દરેક પદાર્થને વિશિષ્ટ અથવા લાક્ષણિક ગુણધર્મો હોય છે. આ ગુણધર્મોને બે વિભાગમાં વહેંચી શકાય. ભૌતિક ગુણધર્મો અને રાસાયણિક ગુણધર્મો.

ભૌતિક ગુણધર્મો એવા ગુણધર્મો છે કે જે પદાર્થનું સંઘટન બદલ્યા વગર અથવા તેની ઓળખ બદલ્યા વગર માપી કે અવલોકી શકાય. ભૌતિક ગુણધર્મોના કેટલાક ઉદાહરણો રંગ, વાસ, ગલનબિંદુ, ઉત્કલનબિંદુ, ઘનતા વગેરે છે. રાસાયણિક ગુણધર્મોના માપન કે અવલોકન કરવા માટે રાસાયણિક ફેરફાર થવો જરૂરી છે. રાસાયણિક ગુણધર્મોના ઉદાહરણોમાં જુદા જુદા પદાર્થોની લાક્ષણિક પ્રક્રિયાઓ છે.

જેમાં એસિડિકતા અથવા બેઝિકતા, દહનશીલતા વગેરેનો સમાવેશ થાય છે.

દ્રવ્યના ઘણા ગુણધર્મો જેવાં કે લંબાઈ, ક્ષેત્રફળ, કદ વગેરે સ્વભાવે જથ્થાત્મક હોય છે. કોઈ પણ જથ્થાત્મક અવલોકન અથવા માપનને તેની સંખ્યા તથા તેનું માપન કરેલા એકમ સાથે દર્શાવવામાં આવે છે. ઉદાહરણ તરીકે ઓરડાની લંબાઈ 6 m દર્શાવી શકાય. અહીંયા 6 સંખ્યા છે અને m મીટર દર્શાવે છે જે માપન કરેલ લંબાઈનો એકમ છે. દુનિયાના જુદા જુદા ભાગોમાં માપનની બે જુદી જુદી પદ્ધતિઓ વપરાતી હતી. ઈંગ્લિશ પદ્ધતિ અને મેટ્રિક પદ્ધતિ. 'મેટ્રિક પદ્ધતિ' જેનો ઉદ્ભવ ફ્રાન્સમાં અઠારમી સદીના ઉત્તરાર્ધમાં થયેલો તે ઘણી જ અનુકૂળ હતી, કારણ કે તેનો આધાર દશાંશ પદ્ધતિ હતો. વૈજ્ઞાનિક સમાજને સમાન પ્રમાણિત પદ્ધતિની જરૂરિયાત જણાઈ. આવી પદ્ધતિ 1960માં પ્રસ્થાપિત થઈ જેની વિગતે ચર્ચા નીચે કરેલી છે :

#### 1.3.1 એકમોની આંતરરાષ્ટ્રીય પદ્ધતિ (International System of Units) (SI)

એકમોની આંતરરાષ્ટ્રીય પદ્ધતિ (ફ્રેન્ચ ભાષામાં Le Systeme International d' - Unite's - ટૂંકાણમાં દર્શાવતાં SI)ને વજન અને માપનની અગિયારમી સામાન્ય સભા (11th General Conference on Weights and Measures (CGPM) (Conference Generale des Poids et Measures માંથી) 1875માં પેરિસમાં હસ્તાક્ષર થયેલી જે મીટર કન્વેન્શન (Meter Convention) તરીકે ઓળખાય છે તે ઈન્ટર ગવર્નમેન્ટલ ટ્રીટી ઓર્ગેનાઈઝેશન તરીકે જે CGPM તરીકે દર્શાવાય છે તે ડિપ્લોમેટિક સંધિ હતી.

SI પદ્ધતિમાં પાયાના સાત એકમો છે જેની યાદી કોષ્ટક 1.1માં આપેલ છે. આ એકમો સાત મૂળભૂત વૈજ્ઞાનિક રાશિઓને લગતા એકમો છે. અન્ય ભૌતિક રાશિઓ જેવી કે ઝડપ, કદ, ઘનતા વગેરે આ રાશિઓમાંથી ઉપજાવી (derived) શકાય છે.

SI આધારિત એકમોની વ્યાખ્યાઓ કોષ્ટક 1.2માં આપેલી છે.

SI પદ્ધતિમાં ગુણક (multiple) અને ઉપગુણક (submultiples) દર્શાવવા માટે પૂર્વગના ઉપયોગની છૂટ આપે છે. આ પૂર્વગોની યાદી કોષ્ટક 1.3માં કરેલ છે.

આ પુસ્તકમાં વારંવાર ઉપયોગ કરવાની કેટલીક રાશિઓનો આપણે ઝડપભેર અભ્યાસ કરીએ.

## કોષ્ટક 1.1 પાયાની ભૌતિક રાશિઓ અને તેમના એકમો

પાયાની ભૌતિક રાશિ	રાશિની સંજ્ઞા	SI એકમનું નામ	SI એકમની સંજ્ઞા
લંબાઈ	$l$	મીટર	m
દળ	$m$	કિલોગ્રામ	kg
સમય	$t$	સેકન્ડ	s
વિદ્યુત પ્રવાહ	$I$	એમ્પિયર	A
ઉષ્માગતિકીય તાપમાન	$T$	કેલ્વિન	K
પદાર્થનો જથ્થો	$n$	મોલ	mol
પ્રદીપ્ત તીવ્રતા	$I_v$	કેન્ડેલા	cd

## કોષ્ટક 1.2 SI પદ્ધતિના પાયાના એકમોની વ્યાખ્યાઓ

લંબાઈનો એકમ	મીટર	એક સેકન્ડના 1/299 792 458મા ભાગના સમયગાળા દરમિયાન પ્રકાશે શૂન્યાવકાશમાં કાપેલા પથની લંબાઈને મીટર કહે છે.
દળનો એકમ	કિલોગ્રામ	દળનો એકમ કિલોગ્રામ છે. એક કિલોગ્રામના આંતરરાષ્ટ્રીય આદિરૂપ (પ્રોટોટાઈપ) જેટલું દળ.
સમયનો એકમ	સેકન્ડ	એક સેકન્ડ સીઝીયમ-133 પરમાણુની ધરા અવસ્થાના બે અતિસૂક્ષ્મ સ્તરોની વચ્ચે થતી સંક્રાંતિના અનુવર્તી વિકિરણના 9192631770 આવર્તોનો સમયગાળો છે.
વિદ્યુત પ્રવાહનો એકમ	એમ્પિયર	એમ્પિયર એક એવો અચળ પ્રવાહ છે જે બે અનંત લંબાઈના બે સીધા સમાંતર વાહકો જેમના આડછેદ નહિવત્ અને શૂન્યાવકાશમાં એક મીટર અંતરે ગોઠવેલા છે અને આ વાહકોની વચ્ચેનું બળ $2 \times 10^{-7}$ ન્યૂટન પ્રતિ મીટર લંબાઈ પર હોય છે.
ઉષ્માગતિકીય તાપમાનનો એકમ	કેલ્વિન	ઉષ્માગતિકીય તાપમાનનો એકમ કેલ્વિન કે જે પાણીના ત્રિભિંદુના ઉષ્માગતિકીય તાપમાનનો 1/273.16 મો ભાગ છે.
પદાર્થના જથ્થાનો એકમ	મોલ	(1) પ્રણાલીના પદાર્થનો જથ્થો કે જે 0.012 કિલોગ્રામ કાર્બન-12માં રહેલા પરમાણુઓ જેટલી પ્રાથમિક સ્પીસિઝ ધરાવે છે તેને મોલ કહે છે. તેની સંજ્ઞા મોલ (mol) છે. (2) જ્યારે મોલનો ઉપયોગ કરવામાં આવે ત્યારે પ્રાથમિક સ્પીસિઝનો નિર્દેશ થવો જ જોઈએ. પ્રાથમિક સ્પીસિઝ તરીકે પરમાણુઓ, અણુઓ, આયનો, ઇલેક્ટ્રોન, અન્ય કણો અથવા આવા કોઈપણ કણોનો નિર્દેશિત સમૂહ હોઈ શકે.
પ્રદીપ્ત તીવ્રતાનો એકમ	કેન્ડેલા	કેન્ડેલા $540 \times 10^{12}$ હર્ટ્ઝ આવૃત્તિવાળા સ્રોતની જ્યોતિ તીવ્રતા છે. જે એકવર્ણી (monochromatic) વિકિરણનું આપેલ દિશામાં ઉત્સર્જન કરે છે અને તેની વિકિરણ તીવ્રતા 1/683 વોટ પ્રતિ સ્ટર્ડિયન તે દિશામાં હોય છે.

## કોષ્ટક 1.3 SI પદ્ધતિમાં વપરાતા પૂર્વગો

ગુણક	પૂર્વગ	સંજ્ઞા
$10^{-24}$	યોક્ટો	y
$10^{-21}$	ઝેપ્ટો	z
$10^{-18}$	એટ્ટો	a
$10^{-15}$	ફેમ્ટો	f
$10^{-12}$	પિકો	p
$10^{-9}$	નેનો	n
$10^{-6}$	માઈક્રો	$\mu$
$10^{-3}$	મિલિ	m
$10^{-2}$	સેન્ટિ	c
$10^{-1}$	ડેસિ	d
10	ડેકા	da
$10^2$	હેક્ટો	h
$10^3$	કિલો	k
$10^6$	મેગા	M
$10^9$	ગીગા	G
$10^{12}$	ટેરા	T
$10^{15}$	પેટા	P
$10^{18}$	એક્ઝા	E
$10^{21}$	ઝેટા	Z
$10^{24}$	યોટ્ટા	Y

## 1.3.2 દળ અને વજન (Mass and Weight)

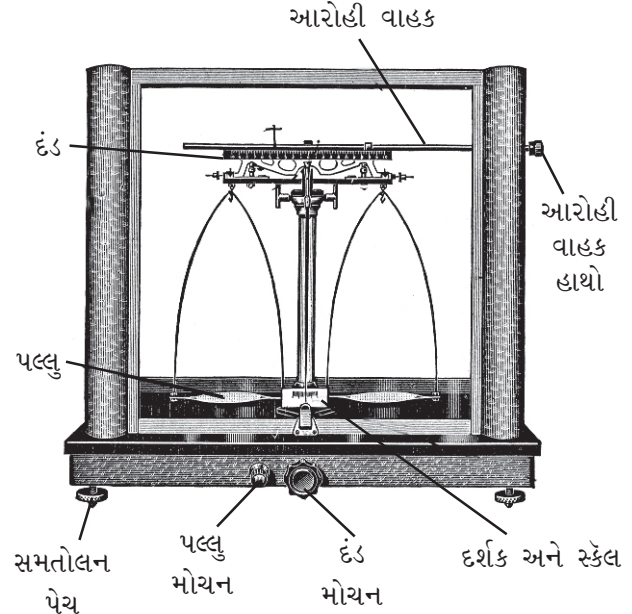
પદાર્થનું દળ તેમાં રહેલ દ્રવ્યનો જથ્થો છે. જ્યારે વજન પદાર્થ પર લાગતું ગુરુત્વાકર્ષણ બળ છે. પદાર્થનું દળ અચળ હોય છે જ્યારે તેનું વજન એક સ્થળેથી બીજા સ્થળે બદલાય છે, કારણ કે ગુરુત્વાકર્ષણ બળ બદલાય છે. આ પદોનો ઉપયોગ કરવામાં તમારે કાળજી રાખવી જોઈશે.

પ્રયોગશાળામાં પદાર્થનું દળ વૈશ્લેષિક (analytical) તુલા વડે (આકૃતિ 1.5) ખૂબ ચોકસાઈથી નક્કી કરી શકાય છે.

દળનો SI એકમ કોષ્ટક 1.1માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે કિલોગ્રામ છે. તેનો આંશિક ભાગ ગ્રામ (1 કિગ્રા = 1000 ગ્રામ) પ્રયોગશાળામાં વપરાય છે. કારણ કે રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓમાં રસાયણોનો નાનો જથ્થો વપરાય છે.

કદ : કદનો એકમ (લંબાઈ)<sup>3</sup> છે. આથી SI એકમમાં કદનો એકમ  $m^3$  છે, પરંતુ રાસાયણિક પ્રયોગશાળામાં નાના

કદનો ઉપયોગ થાય છે. આથી કદને માટે સેમી<sup>3</sup> (cm)<sup>3</sup> અથવા ડેસીમી<sup>3</sup> (dm)<sup>3</sup> એકમ વપરાય છે.



આકૃતિ 1.5 વૈશ્લેષિક તુલા

## માપનના આંતરરાષ્ટ્રીય પ્રમાણિતો (માનકો) (Standards) જાળવી રાખવા

એકમની વ્યાખ્યા ધરાવતા એકમોની પદ્ધતિ સમય સાથે બદલાતી રહે છે, જ્યારે કોઈ ચોક્કસ એકમના માપનની ચોકસાઈમાં નોંધપાત્ર વધારો થાય છે ત્યારે નવા સિદ્ધાંતોનો સ્વીકાર કરીને મીટર ટ્રીટીના (1875માં હસ્તાક્ષર કરેલ) સભ્ય દેશો તે એકમની ઔપચારિક વ્યાખ્યામાં ફેરફાર માટે સંમત થાય છે.

દરેક આધુનિક ઔદ્યોગિક દેશ જેમાં ભારતનો સમાવેશ થાય છે તેમની નેશનલ મેટ્રોલોજી ઇન્સ્ટિટ્યૂટ (NMI) જે એકમોના પ્રમાણિતો(માનકો)ને જાળવે છે. આની જવાબદારી નેશનલ ફીઝિકલ લેબોરેટરી(NPL, નવી દિલ્હી)ને સોંપવામાં આવી છે. આ પ્રયોગશાળા, પાયાના એકમોને સાક્ષાત્ (realize) કરવા માટે પ્રયોગો પ્રસ્થાપિત કરે છે. પાયાના એકમો, વ્યુત્પિત એકમો અને માપનના રાષ્ટ્રીય એકમોની જાળવણી કરે છે. આ પ્રમાણિતો (માનકો)ને સમયાનુસાર વિશ્વની અન્ય રાષ્ટ્રીય મેટ્રોલોજી ઇન્સ્ટિટ્યૂટ સાથે તથા પેરિસમાં આવેલ ઇન્ટરનેશનલ બ્યુરો ઓફ સ્ટાન્ડર્ડસમાં પ્રસ્થાપિત કરેલા એકમો સાથે અંદરોઅંદર સરખાવે છે.



સામાન્ય એકમ લિટર (L) જે SI એકમ નથી પણ પ્રવાહીઓના કદના માપનમાં ઉપયોગમાં લેવાય છે.

$$1L = 1000 \text{ mL}, 1000 \text{ cm}^3 = 1\text{dm}^3$$

આકૃતિ 1.6 આ સંબંધોને તાદૃશ (visualise) કરવામાં મદદરૂપ થાય છે.

પ્રયોગશાળામાં પ્રવાહી કે દ્રાવણના કદ અંકિત નળાકાર, બ્યુરેટ, પિપેટ વગેરેથી માપી શકાય છે. કદમાપક ફ્લાસ્કનો ઉપયોગ દ્રાવણનું જ્ઞાત કદ તૈયાર કરવામાં ઉપયોગી છે. આ માપનના સાધનો આકૃતિ 1.7માં દર્શાવેલ છે.

**ઘનતા :**

પદાર્થની ઘનતા પ્રતિ એકમ કદના જથ્થાનું દળ છે. આથી ઘનતાનો SI એકમ નીચે પ્રમાણે મેળવી શકાય.

$$\begin{aligned} \text{ઘનતાનો SI એકમ} &= \frac{\text{દળનો SI એકમ}}{\text{કદનો SI એકમ}} \\ &= \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ અથવા } \text{kg m}^{-3} \end{aligned}$$

આ એકમ ઘણો મોટો હોવાથી રસાયણશાસ્ત્રી મુખ્યત્વે ઘનતાને  $\text{g cm}^{-3}$  માં દર્શાવે છે, જ્યાં દળ ગ્રામમાં અને કદ સેમી<sup>3</sup> માં દર્શાવેલ હોય છે.

**તાપમાન :**

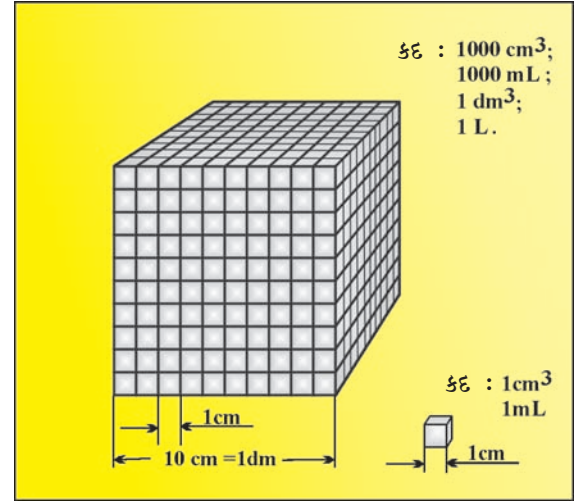
તાપમાન માપવા માટે ત્રણ સામાન્ય માપક્રમ છે : °C (અંશ સેલ્સિયસ), °F (અંશ ફેરનહીટ) અને K (કેલ્વિન). અહીંયા K, SI એકમ છે. આ માપક્રમ પર આધારિત થર્મોમીટર આકૃતિ 1.8માં દર્શાવેલા છે. સામાન્ય રીતે સેલ્સિયસ માપક્રમવાળા થર્મોમીટર 0° થી 100° સુધી અંકિત કરેલા હોય છે. જેમાં આ બંને તાપમાનો અનુક્રમે પાણીના ઠારબિંદુ અને ઉત્કલનબિંદુ છે. ફેરનહીટ માપક્રમ 32° થી 212° વચ્ચે દર્શાવેલ છે.

બંને માપક્રમના તાપમાન એકબીજા સાથે નીચેનો સંબંધ ધરાવે છે :

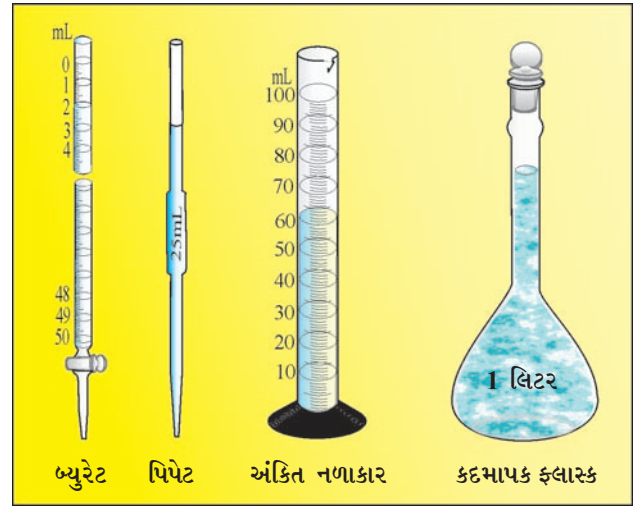
$$^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} (^{\circ}\text{C}) + 32$$

કેલ્વિન માપક્રમ સેલ્સિયસ માપક્રમ સાથે નીચે પ્રમાણે સંબંધિત છે :

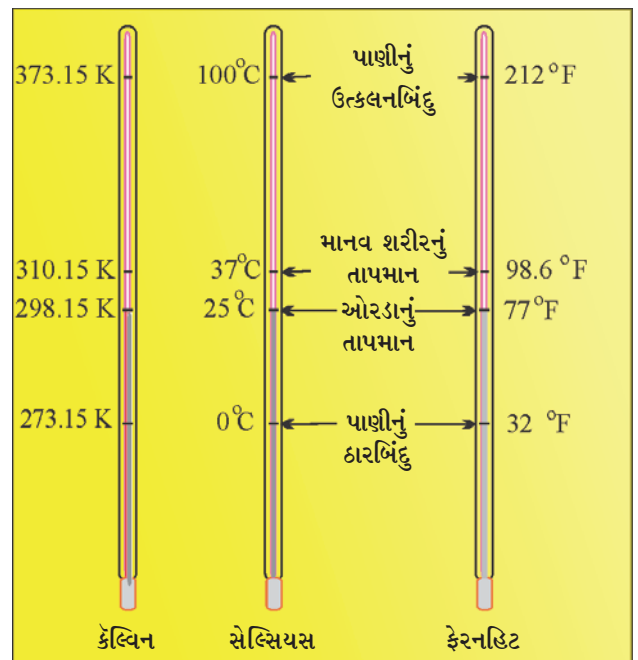
$$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.15$$



આકૃતિ 1.6 કદ દર્શાવવા વપરાતા જુદા જુદા એકમો



આકૃતિ 1.7 કેટલાક કદમાપક સાધનો



આકૃતિ 1.8 જુદા જુદા તાપમાન માપક્રમના થર્મોમીટર

એ નોંધવું રસપ્રદ છે કે 0°C થી નીચેનું તાપમાન (ઋણ મૂલ્યો) સેલ્સિયસ માપક્રમમાં શક્ય છે, પરંતુ કેલ્વિન માપક્રમમાં તાપમાનનું ઋણ મૂલ્ય શક્ય નથી.

### સંદર્ભ માનક

માપનના એકમો જેવા કે કિલોગ્રામ અથવા મીટર વ્યાખ્યાયિત કર્યા પછી વૈજ્ઞાનિકો સંદર્ભ માનક માટે સમંત થયા. આ સંદર્ભ માનકથી બધા જ માપન સાધનોને અંકિત કરવાનું શક્ય બને. વિશ્વસનીય માપન મેળવવા માટે બધા જ સાધનો જેવાં કે મીટર સ્ટીક અને વૈશ્લેષિક તુલા તેમના ઉત્પાદકો દ્વારા અંકિત કરે છે જેથી સાચા વાંચન આંક (Readings) મળે. આ બધા જ સાધનો કોઈ સંદર્ભ સાથે અંકિત કરેલા હોય છે. દળનો માનક 1889 થી કિલોગ્રામ છે તેની વ્યાખ્યા કરવામાં આવી છે કે તે પ્લેટિનમ-ઇરિડિયમ (Pt-Ir) ના નળાકાર જે ફાન્સના બ્યુરો ઓફ વેઇટ્સ અને મેઝર્સ ઈન સીવર્સ ખાતે હવાચુસ્ત બરણીમાં રાખેલો છે, તેના દળ જેટલું દળ. Pt - Ir ની પસંદગી આ માનક માટે કરવામાં આવેલી કારણ કે તે રાસાયણિક હુમલા(attack)ની સામે ઉચ્ચ પ્રતિરોધક છે અને તેનું દળ ઘણા લાંબા સમય સુધી બદલાતું નથી.

વૈજ્ઞાનિકો દળ માટે નવા માનકની શોધમાં છે. આને માટે એવોગ્રોડો અચળાંકના ચોક્કસ માપન મારફતે પ્રયત્ન કરે છે. આ નવા માનક માટેનું કાર્ય પદાર્થના યોગ્ય રીતે વ્યાખ્યાયિત દળમાં રહેલા પરમાણુઓનું ચોક્કસ માપન છે. આમાંની એક પદ્ધતિ જેમાં ક્ષ-કિરણોનો ઉપયોગ કરીને અતિશુદ્ધ સિલિકોનના સ્ફટિકની પરમાણ્વીય ઘનતા નક્કી કરવાનું છે. આમાં 10<sup>6</sup> ભાગમાં 1 ભાગ જેટલી ચોક્કસાઈ છે. આમ છતાં હજુ સુધી તેને માનક તરીકે સ્વીકારવામાં આવેલ નથી. આ ઉપરાંત અન્ય પદ્ધતિઓ પણ છે, પરંતુ તેમાંની એકેય Pt-Ir નળાકારનું સ્થાન લઈ શકે તેમ નથી. બેશક આ દશકામાં ફેરફારો અપેક્ષિત છે.

મીટર મૂળભૂત રીતે 0°C (273.15 K) તાપમાને રાખેલ Pt-Ir સળિયા પરના બે ચિહ્નો વચ્ચેની લંબાઈ છે. 1960માં મીટરને કિપ્ટોન લેઝરના ઉત્સર્જિત પ્રકાશની તરંગલંબાઈના  $1.65076373 \times 10^6$  ગણા તરીકે દર્શાવાયેલ. જો કે આ સંખ્યા ગૂંચવાડા ભરેલી લાગવાથી લંબાઈનો એકમ અગાઉ પ્રમાણે મીટર જ રાખેલ છે.

મીટરને 1983માં CGPM દ્વારા ફરીથી વ્યાખ્યાયિત કરવામાં આવેલા તે પ્રમાણે સેકન્ડના 1/299792458માં ભાગના સમયગાળા દરમિયાન શૂન્યાવકાશમાં પસાર થયેલા પ્રકાશની પથ લંબાઈ. લંબાઈ અને દળની જેમ અન્ય ભૌતિક રાશિઓના પણ સંદર્ભ માનક હોય છે.

## 1.4 માપનમાં અનિશ્ચિતતા (Uncertainty in Measurement)

રસાયણ વિજ્ઞાનમાં વ્યક્તિએ ઘણી વાર પ્રાયોગિક પરિણામો અને સૈદ્ધાંતિક ગણતરીઓ સાથે સંકળાવું પડે છે. સંખ્યાઓને અનુકૂળતા પ્રમાણે સ્વીકારવા માટે અર્થપૂર્ણ રસ્તાઓ છે અને તેથી પરિણામોને શક્ય તેટલી કક્ષાએ ચોકસાઈથી હકીકતરૂપે રજૂ કરી શકાય છે. આ વિચારોને નીચે પ્રમાણે વિગતવાર વર્ણવ્યા છે.

### 1.4.1 વૈજ્ઞાનિક સંકેત (Scientific Notations)

રસાયણવિજ્ઞાન ખૂબ મોટી સંખ્યા ધરાવતા અને અત્યંત ઓછું દળ ધરાવતા પરમાણુઓ તથા અણુઓ અંગેનો અભ્યાસ હોવાથી રસાયણવિજ્ઞાનીઓએ 2 ગ્રામ હાઈડ્રોજન વાયુમાં રહેલા 602, 200,000,000,000,000,000,000 અણુઓ જેટલી મોટી સંખ્યા તથા H પરમાણુનું વજન 0.000000000000000000000000166 ગ્રામ જેટલી નાની સંખ્યાઓ સાથે કામ પાર પાડવું પડે છે. આ જ પ્રમાણે બીજા અચળાંકો જેવાં કે પ્લાન્ક અચળાંક, પ્રકાશની ગતિ, કણો પરનો ભાર વગેરે. જેમાં ઉપર દર્શાવેલ માત્રા પ્રમાણેની સંખ્યાઓ હોય છે.

આટલા બધા શૂન્ય ગણવા અથવા લખવા ઘડીભર તો મશ્કરી જેવું લાગે પણ આવી સંખ્યા માટે સરવાળો, બાદબાકી, ગુણાકાર, ભાગાકાર જેવા સાદા ગાણિતીય કારકોનો ઉપયોગ ખરેખર પડકારરૂપ બને છે. જો તમારે આ પડકાર સ્વીકારવા માટે ઉપર પ્રમાણેની કોઈ પણ બે સંખ્યાઓનો ઉપયોગ કરી કોઈ પણ એક કારકને લાગુ પાડો તો તમને ખ્યાલ આવશે કે આવી સંખ્યાઓ સાથેની ગણતરી કેટલી મુશ્કેલ હોય છે.

આ સમસ્યાનું નિરાકરણ વૈજ્ઞાનિક સંકેતના ઉપયોગથી પ્રાપ્ત કરી શકાયેલ છે. એટલે કે ઘાતાંકીય સંકેતો જેમાં કોઈ પણ સંખ્યાને  $N \cdot 10^n$  તરીકે દર્શાવી શકાય. જ્યાં  $n$  ધન કે ઋણ મૂલ્ય ધરાવતો ઘાતાંકીય (exponential) છે અને  $N$  (પદ આંકડાકીય) 1.000... અને 9.999... વચ્ચે બદલાય છે.

આમ આપણે 232.508ને વૈજ્ઞાનિક સંકેતમાં  $2.32508 \times 10^2$  તરીકે દર્શાવી શકીએ. એ નોંધવું જોઈએ કે દશાંશચિહ્ન ડાબી તરફ બે સ્થાન જે 10ના ઘાતાંક 2 બરાબર વૈજ્ઞાનિક સંકેતમાં છે.

તે જ પ્રમાણે 0.00016ને  $1.6 \times 10^{-4}$  તરીકે લખી શકાય. અહીંયા દશાંશચિહ્ન ચાર સ્થાન જમણી બાજુ ખસેડવાનું છે અને (-4) એ વૈજ્ઞાનિક સંકેતમાં ઘાતાંક છે.

હવે વૈજ્ઞાનિક સંકેતમાં દર્શાવેલ સંખ્યાઓ પર કોઈ પણ ગાણિતિક ક્રિયા કરતા પહેલા નીચેના મુદ્દાઓ ધ્યાનમાં રાખવાના હોય છે.

**ગુણાકાર અને ભાગાકાર :**

આ બે ક્રિયાઓ માટે ઘાતાંકીય સંખ્યા માટેના જે નિયમો છે તે જ લાગુ પડશે એટલે કે,

$$(5.6 \times 10^5) \times (6.9 \times 10^8) = (5.6 \times 6.9) (10^{5+8}) \\ = (5.6 \times 6.9) \times 10^{13} \\ = 38.64 \times 10^{13} \\ = 3.864 \times 10^{14}$$

$$(9.8 \times 10^{-2}) \times (2.5 \times 10^{-6}) = (9.8 \times 2.5)(10^{-2+(-6)}) \\ = 24.50 \times 10^{-8} \\ = 2.450 \times 10^{-7}$$

$$\frac{2.7 \times 10^{-3}}{5.5 \times 10^{-4}} = (2.7 \div 5.5) (10^{-3-4}) = 0.4909 \times 10^{-7} \\ = 4.909 \times 10^{-8}$$

**સરવાળો અને બાદબાકી :**

આ બંને ક્રિયાઓ માટે સંખ્યાઓને એવી રીતે લખવામાં આવે છે જેથી તેમના ઘાતાંક સરખા દર્શાવાય. ત્યારબાદ ગુણાંક (coefficient) ઉમેરવામાં કે બાદ (જરૂરિયાત પ્રમાણે) કરવામાં આવે છે.

આમ,  $6.65 \times 10^4$  અને  $8.95 \times 10^3$ નો સરવાળો કરવા માટે  $6.65 \times 10^4$  અને  $0.895 \times 10^4$  લખી બંનેના ઘાતાંક ( $10^4$ ) સરખા કરવામાં આવે છે. આથી આ સંખ્યાઓને નીચે પ્રમાણે ઉમેરી શકાય :

$$(6.65 + 0.895) \times 10^4 = 7.545 \times 10^4$$

તે જ પ્રમાણે બે સંખ્યાની બાદબાકી નીચે દર્શાવ્યા પ્રમાણે કરી શકાય :

$$2.5 \times 10^{-2} - 4.8 \times 10^{-3} \\ = (2.5 \times 10^{-2}) - (0.48 \times 10^{-2}) \\ = (2.5 - 0.48) \times 10^{-2} = 2.02 \times 10^{-2}$$

**1.4.2 અર્થસૂચક (સાર્થક) અંકો (Significant Figures)**

દરેક પ્રાયોગિક માપનમાં તેની સાથે કેટલાંક પ્રમાણમાં અનિશ્ચિતતા સંકળાયેલી હોય. તેમ છતાં પરિણામો હંમેશા ચોક્કસ અને પરિશુદ્ધ હોવા જોઈએ. જ્યારે આપણે માપનની વાત કરીએ છીએ ત્યારે ચોકસાઈ (accuracy) અને પરિશુદ્ધતા (precision)ના સંદર્ભમાં વિચારીએ છીએ.

પરિશુદ્ધિનો સંદર્ભ એક જ જથ્થાના જુદા જુદા માપન વચ્ચે નજીકપણા(closeness)નો હોય છે, જ્યારે ચોકસાઈ એ મળેલા પરિણામનું સાચા પરિણામ સાથેનું સહમતપણું

(agreement) દર્શાવે છે. ઉદાહરણ તરીકે એક પરિણામનું સાચું મૂલ્ય 2.00 ગ્રામ છે અને કોઈ એક વિદ્યાર્થી 'A' બે માપન કરે છે અને તે 1.95 g અને 1.93 g છે. આ મૂલ્યો પરિશુદ્ધ છે, કારણ કે એકબીજાની ઘણા જ નજીક છે પણ તે ચોક્કસ નથી. બીજો વિદ્યાર્થી 'B' પ્રયોગ ફરીવાર કરે છે અને તે માપનમાં 1.94 g અને 2.05 g પરિણામો મેળવે છે. આ પરિણામો પરિશુદ્ધ પણ નથી અને ચોક્કસ પણ નથી. જ્યારે ત્રીજો વિદ્યાર્થી 'C' ફરી પ્રયોગ કરે છે અને બે પરિણામો 2.01 g અને 1.99 g રજૂ કરે છે. આ પરિણામો પરિશુદ્ધ અને ચોક્કસ એમ બંને છે. આને વધુ સ્પષ્ટતાથી કોષ્ટક 1.4માં આપેલ માહિતીથી વધારે સારી રીતે સમજી શકાશે.

**કોષ્ટક 1.4 પરિશુદ્ધતા અને ચોકસાઈ દર્શાવતી માહિતી**

માપન/g			
	1	2	સરેરાશ (g)
વિદ્યાર્થી A	1.95	1.93	1.940
વિદ્યાર્થી B	1.94	2.05	1.995
વિદ્યાર્થી C	2.01	1.99	2.000

પ્રાયોગિક કે ગણતરી કરેલ મૂલ્યોમાં રહેલી અનિશ્ચિતતાને અર્થસૂચક અંકોની સંખ્યા દ્વારા દર્શાવી કરી શકાય છે. **અર્થસૂચક અંક અર્થપૂર્ણ અંક** છે. જે ચોકસાઈપૂર્વક જ્ઞાત હોય છે. અનિશ્ચિતતાનો નિર્દેશ કેટલાક અંક લખીને કરવામાં આવે છે. જેમાં છેલ્લો અંક અનિશ્ચિત ગણાય છે. આમ, ધારો કે આપણે 11.2 mL લખીએ તો 11 નિશ્ચિત છે અને 2 અનિશ્ચિત છે અને છેલ્લા અંકની અનિશ્ચિતતા  $\pm 1$  થશે. જો કોઈ રીતે નિવેદિત કરેલું હોય નહિ તો અનિશ્ચિતતા સામાન્ય રીતે છેલ્લા અંકમાં  $\pm 1$  તરીકે સમજવામાં આવે છે.

અર્થસૂચક અંકના અંક નક્કી કરવા માટે કેટલાક નિયમો છે. આ નિયમો નીચે પ્રમાણે નિવેદિત કરવામાં આવ્યા છે :

- (1) બધા જ શૂન્ય સિવાયના અંક અર્થસૂચક છે. ઉદાહરણ તરીકે 285 cm માં ત્રણેય અંક અર્થસૂચક છે અને 0.25 mL માં બે અર્થસૂચક અંકો છે.
- (2) શૂન્ય સિવાયના અંકની આગળનો શૂન્ય અંક અર્થસૂચક હોતો નથી. આવા શૂન્ય માત્ર દશાંશચિહ્નનું સ્થાન દર્શાવે છે. આમ 0.03ને એક જ અર્થસૂચક અંક છે જ્યારે 0.0052ને બે અર્થસૂચક અંકો છે.
- (3) શૂન્ય સિવાયના બે અંકોની વચ્ચેના શૂન્ય અંકો અર્થસૂચક છે. આમ, 2.005માં ચાર અર્થસૂચક અંકો છે.

(4) સંખ્યાની જમણી બાજુના છેડા પર શૂન્ય હોય તો તે અર્થસૂચક ગણાય છે, જો તે દશાંશચિહ્નની જમણી બાજુએ આવેલા હોય તો. ઉદાહરણ તરીકે 0.200 g માં ત્રણ અર્થસૂચક અંકો છે.

પરંતુ દશાંશચિહ્ન સિવાયની સંખ્યામાં જમણી બાજુ આવેલા શૂન્ય અર્થસૂચક નથી. ઉદાહરણ તરીકે 100માં એક જ અર્થસૂચક અંક છે.

(5) ચોક્કસ અંકને અનંત સંખ્યામાં અર્થસૂચક અંકો હોય છે. ઉદાહરણ તરીકે 2 દડા અથવા 20 ઈંડાં. આમાં અર્થસૂચક અંક અનંત હોય છે. કારણ કે આ ચોક્કસ અંક છે અને તેમને અનંત અંક સુધી દર્શાવી શકાય. જેમ કે  $2 = 2.000000$  અથવા  $20 = 20.000000$  જ્યારે અંકને વૈજ્ઞાનિક સંકેત પદ્ધતિમાં લખવામાં આવે છે ત્યારે 1 અને 10ની વચ્ચેના અંકોની સંખ્યા અર્થસૂચક અંકની સંખ્યા આપે છે.

આમ,  $4.01 \times 10^2$ ને ત્રણ અર્થસૂચક અંકો અને  $8.256 \times 10^3$ ને ચાર અર્થસૂચક અંક છે.

**અર્થસૂચક અંકનો સરવાળો અને બાદબાકી :**

પરિણામોમાં મળતા અંકો બન્ને મૂળ અંકોથી દશાંશ-ચિહ્નની જમણી બાજુના અંક કરતાં વધારે હોઈ શકે નહિ.

$$\begin{array}{r} 12.11 \\ 18.0 \\ 1.012 \\ \hline 31.122 \end{array}$$

અહીંયા 18.0ને દશાંશચિહ્ન પછી એક જ અર્થસૂચક અંક છે અને તેથી પરિણામને દશાંશચિહ્નથી જમણી બાજુ એક અંક સુધી દર્શાવાય છે. તેથી 31.122ને 31.1 તરીકે દર્શાવવી પડે.

**અર્થસૂચક અંકના ગુણાકાર અને ભાગાકાર :**

આ બન્ને ક્રિયાઓમાં પણ પરિણામના અર્થસૂચક અંકને મૂળ સંખ્યાના અર્થસૂચક અંકથી વધારે અંકમાં દર્શાવી શકાય નહિ.

$$2.5 \times 1.25 = 3.125$$

2.5ને બે અર્થસૂચક અંક હોવાથી પરિણામને બે કરતાં વધારે અર્થસૂચક અંકથી દર્શાવાય નહિ. આથી 3.125ને બદલે 3.1 જ ગણાય.

ઉપર દર્શાવેલ ગાણિતીક ક્રિયાઓના ઉપયોગથી મળેલા પરિણામો સીમિત (limiting) રીતે દર્શાવવા માટે નીચેની બાબતો સંખ્યાના સંનિકટન (rounding off) માટે ધ્યાનમાં રાખવી જરૂરી છે.

- (1) જો જમણી બાજુનો સૌથી છેલ્લો અંક 5 કરતાં વધારે હોય તો તેને દૂર કરી તેની આગળના અંકમાં 1નો વધારો કરવામાં આવે છે. જેમ કે, 1.386માં જો 6ને દૂર કરવો હોય તો આપણે સંનિકટન 1.39 કરવું પડે.
- (2) જો જમણી બાજુનો અંક 5 કરતાં ઓછો હોય તો તેને દૂર કરવામાં આવે છે પણ તેની આગળના અંકમાં ફેરફાર થતો નથી. જેમકે 4.334. જો 4ને દૂર કરીએ તો સંનિકટન પરિણામ 4.33 થાય.
- (3) જો જમણી બાજુનો સૌથી છેલ્લો અંક 5 હોય તથા તેની પહેલાનો અંક બેકી અંક હોય તો 5ને દૂર કરતાં આગળના અંકમાં ફેરફાર કરવામાં આવતો નથી, પરંતુ જો 5ની પહેલાનો અંક એકી હોય તો આગળનો અંક 1થી વધારવામાં આવે છે. ઉદાહરણ તરીકે 6.35ના છેલ્લા અંકનું સંનિકટન કરીએ તો આપણે 3ને બદલે 4 ગણવા પડે જેથી પરિણામ 6.4 ગણાય. પરંતુ જો 6.25નું સંનિકટન કરીએ તો 6.2 તરીકે ગણાય.

### 1.4.3 પરિમાણાત્મક પૃથક્કરણ (Dimensional Analysis)

ગણતરી કરતી વખતે ઘણી વખત એકમોને એક પદ્ધતિમાંથી બીજી પદ્ધતિમાં ફેરવવા પડે છે. આ કરવા માટે વપરાતી પદ્ધતિને અવયવ ચિહ્નિત પદ્ધતિ (factor label method) અથવા એકમ અવયવ (unit factor method) પદ્ધતિ અથવા પરિમાણાત્મક પૃથક્કરણ (dimensional analysis) કહે છે.

**ઉદાહરણ :**

ઘાતુનો એક ટુકડો 3 ઈંચ (ઈંચને in વડે દર્શાવાય છે) લાંબો છે. તેની લંબાઈ cmમાં કેટલી હશે ?

આપણે જાણીએ છીએ કે  $1 \text{ in} = 2.54 \text{ cm}$ .

આ સમતુલ્યતાને આધારે લખી શકાય કે

$$\frac{1 \text{ in}}{2.54 \text{ cm}} = 1 = \frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ in}}$$

આમ,  $\frac{1 \text{ in}}{2.54 \text{ cm}}$  બરાબર 1 થાય છે અને  $\frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ in}}$

બરાબર પણ 1 થશે.

આ બન્ને એકમ અવયવો કહેવાય છે. જો કોઈ સંખ્યાને આ એકમ અવયવ (એટલે કે 1) વડે ગુણીએ તો કોઈ અસર પડશે નહિ.

ધારો કે 3 inને એકમ અવયવ વડે ગુણવામાં આવે તો

$$3 \text{ in} = 3 \text{ in} \times \frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ in}} = 3 \times 2.54 \text{ cm} \\ = 7.62 \text{ cm}$$

હવે એકમ અવયવ કે જેના વડે ગુણાકાર કરવામાં આવશે તે એકમ અવયવ  $\frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ in}}$  (ઉપરની બાબતમાં) થશે. આથી ઇચ્છિત એકમ મળશે. એટલે કે અંશ ઇચ્છિત પરિણામમાં જરૂરી બનશે.

એ પણ નોંધવું જોઈએ કે ઉપરના ઉદાહરણમાં એકમોને બીજી સંખ્યાના ભાગ તરીકે લઈ શકાય, તેને રદ કરી શકાય, ભાગી શકાય, ગુણી શકાય વગેરે. આને માટે આપણે એક ઉદાહરણનો અભ્યાસ કરીએ.

**ઉદાહરણ :**

એક જગ(jug)માં 2 L દૂધ છે. દૂધનું કદ  $\text{m}^3$  માં ગણો.

$$1 \text{ L} = 1000 \text{ cm}^3 \text{ અને } 1 \text{ m} = 100 \text{ cm}$$

$$\text{જેથી આપણને મળશે } \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} = 1 = \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}}$$

ઉપરના એકમ અવયવોમાંના  $\text{m}^3$ માં મેળવવા માટે પ્રથમ એકમ અવયવ લેવો પડશે અને પછી તેનો ઘન કરવો પડશે.

$$\left(\frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}}\right)^3 \Rightarrow \frac{1 \text{ m}^3}{10^6 \text{ cm}^3} = (1)^3 = 1$$

$$\text{હવે } 2 \text{ L} = 2 \times 1000 \text{ cm}^3$$

ઉપરનાને એકમ અવયવ વડે ગુણવામાં આવે છે.

$$2 \times 1000 \text{ cm}^3 = \frac{1 \text{ m}^3}{10^6 \text{ cm}^3} = \frac{2 \text{ m}^3}{10^3} \\ = 2 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

**ઉદાહરણ :**

બે દિવસની સેકન્ડ કેટલી થાય ?

અહીંયા આપણે જાણીએ છીએ કે 1 દિવસ = 24 કલાક

(h) અથવા

$$\frac{1 \text{ દિવસ}}{24 \text{ h}} = 1 = \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ દિવસ}}$$

$$\text{હવે } 1 \text{ h} = 60 \text{ min}$$

$$\text{અથવા } \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = 1 = \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}}$$

આથી 2 દિવસને સેકન્ડમાં ફેરવતાં,

એટલે કે 2 દિવસ ..... = ..... સેકન્ડ

એકમ અવયવને એક જ તબક્કામાં શ્રેણીમાં ગુણાકાર કરતાં,

$$2 \text{ દિવસ} \times \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ દિવસ}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \\ = 2 \times 24 \times 60 \times 60 \text{ s} \\ = 172800 \text{ s}$$

## 1.5 રાસાયણિક સંયોગીકરણના નિયમો (Laws of Chemical Combinations)

તત્વોના સંયોગીકરણથી સંયોજનની રચના નીચે દર્શાવેલ પાયાના પાંચ નિયમોને આધીન છે :



એન્ટોની લેવોઝિયર  
(1743—1794)

### 1.5.1 દળ સંચયનો નિયમ (Law of Conservation of Mass)

આ નિયમ નિવેદિત કરે છે કે, દ્રવ્યનું સર્જન કે વિનાશ થઈ શકતો નથી.

આ નિયમ 1789માં એન્ટોની લેવોઝિયરે (Antonie Lavoisier) રજૂ કર્યો હતો. ઉપરના તારણો પર પહોંચવા માટે તેમણે દહન પ્રક્રિયાઓનો કાળજીપૂર્વક પ્રાયોગિક અભ્યાસ કરેલો. આ નિયમ રાસાયણવિજ્ઞાનમાં થયેલા કેટલાક પશ્ચાત્ત્વિકાસમાં પાયારૂપ બન્યો છે. આ નિયમ જ પ્રક્રિયકો અને નીપજોના ચોક્કસ દળના માપન અને લેવોઝિયરે કાળજીપૂર્વક કરેલા યોજનાબદ્ધ પ્રયોગોનું પરિણામ હતું.

### 1.5.2 નિશ્ચિત પ્રમાણનો નિયમ (Law of Definite Proportion)

આ નિયમ ફ્રેન્ચ રાસાયણશાસ્ત્રી જોસેફ પ્રાઉસ્ટ (Joseph Proust) દ્વારા રજૂ થયેલો. તેમણે નિવેદિત કર્યું કે, આપેલ સંયોજન હંમેશાં વજનથી સરખા પ્રમાણમાં તત્વો ધરાવે છે.



જોસેફ પ્રાઉસ્ટ  
(1754—1826)

પ્રાઉસ્ટે કોપર કાર્બોનેટના બે નમૂના સાથે કાર્ય કરેલું જેમાંનો એક કુદરતી સ્રોતમાંથી અને બીજો સાંશ્લેષિત હતો. અને નોંધ્યું કે નીચે દર્શાવ્યા પ્રમાણે બન્ને નમૂનામાં રહેલા તત્વોનું સંઘટન (composition) સરખું છે.

	કોપરના %	ઓક્સિજનના %	કાર્બનના %
કુદરતી નમૂનો	51.35	9.74	38.91
સાંશ્લેષિત નમૂનો	51.35	9.74	38.91

આમ સ્રોત ગમે તે પ્રકારનો હોવા છતાં પણ આપેલ સંયોજનમાં સમાન તત્ત્વો સરખા પ્રમાણમાં રહેલા હોય છે. આ નિયમનું વાજબીપણું જુદા જુદા પ્રયોગોથી સાબિત થયેલું છે. કેટલીક વખત તે નિશ્ચિત સંઘટનના નિયમ તરીકે દર્શાવાય છે.

### 1.5.3 ગુણક પ્રમાણનો નિયમ (Law of Multiple Proportion)

આ નિયમ ડાલ્ટને (Dalton) 1803માં રજૂ કર્યો હતો. આ નિયમ પ્રમાણે, જ્યારે બે તત્ત્વો સંયોજાઈને એક કરતાં વધારે સંયોજનો બનાવે છે ત્યારે એક તત્ત્વના દળ, બીજા તત્ત્વના સંયોજતા નિશ્ચિત (fixed) દળ સાથે જોડાય છે તે નાની પૂર્ણાંક સંખ્યાના ગુણોત્તરમાં હોય છે.

ઉદાહરણ તરીકે હાઈડ્રોજન ઓક્સિજન સાથે સંયોજાઈને બે સંયોજનો પાણી અને હાઈડ્રોજન પેરોક્સાઈડ બનાવે છે.

હાઈડ્રોજન + ઓક્સિજન → પાણી

2 g          16 g          18 g

હાઈડ્રોજન + ઓક્સિજન → હાઈડ્રોજન પેરોક્સાઈડ

2 g          32 g          34 g

અહીંયા ઓક્સિજનના દળ (16 g અને 32 g) જે હાઈડ્રોજનના નિશ્ચિત દળ (2 g) સાથે સંયોજાય છે, તે સાદો ગુણોત્તર દર્શાવે છે. એટલે કે 16 : 32 અથવા 1 : 2.

### 1.5.4 ગે લ્યુસેકનો વાયુમય કદનો નિયમ (Gay Lussac's Law of Gaseous Volumes)

આ નિયમ ગે લ્યુસેકે (Gay Lussac) 1808માં રજૂ કર્યો હતો. તેણે અવલોકન કર્યું કે જ્યારે રાસાયણિક પ્રક્રિયામાં વાયુઓ સંયોજાય છે અથવા ઉત્પન્ન થાય છે ત્યારે જો વાયુઓ સમાન તાપમાને અને દબાણે હોય તો તેમના કદ સાદો ગુણોત્તર દર્શાવે છે.



જોસેફ લુઈસ  
ગે લ્યુસેક

આમ, 100 mL હાઈડ્રોજન 50 mL ઓક્સિજન સાથે સંયોજાય તો 100 mL પાણીની બાષ્પ મળે છે.

હાઈડ્રોજન + ઓક્સિજન → પાણી (બાષ્પ)

100 mL          50 mL          100 mL

આમ હાઈડ્રોજન અને ઓક્સિજનના કદ (100 mL અને 50 mL) જ્યારે સંયોજાય છે, ત્યારે તેમના કદનો સાદો ગુણોત્તર 2 : 1 હોય છે.

ગે લ્યુસેકનો કદના સંયોજવાના સંબંધમાં પૂર્ણાંક ગુણોત્તર હકીકતમાં કદથી નિશ્ચિત પ્રમાણનો નિયમ છે. અગાઉ સમજાવેલ નિશ્ચિત પ્રમાણનો નિયમ દળના અનુસંધાનમાં હતો. ગે લ્યુસેકના નિયમને યોગ્ય રીતે એવોગેડ્રોના કાર્યોના આધારે 1811માં સમજાવવામાં આવ્યો હતો.

### 1.5.5 એવોગેડ્રો નિયમ (Avogadro Law)

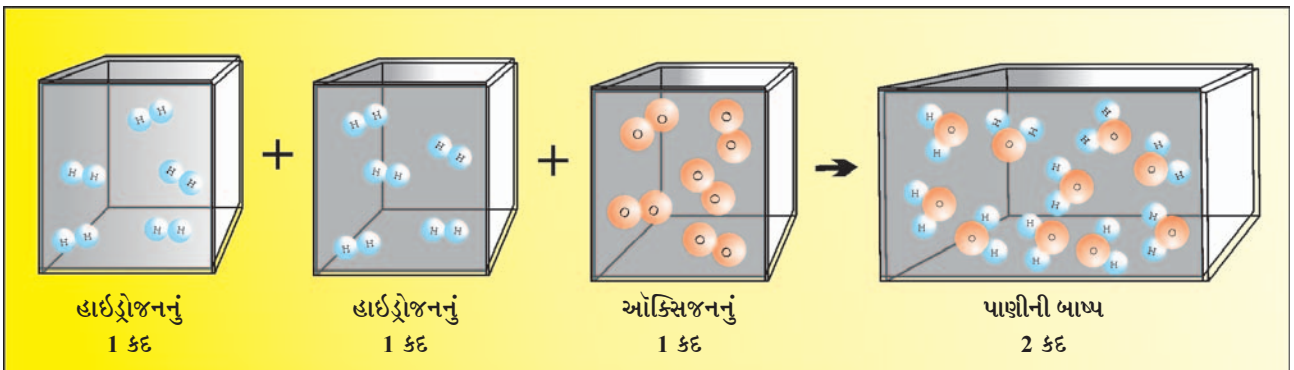
એવોગેડ્રોએ 1811માં સૂચવ્યું કે સમાન તાપમાને અને દબાણે વાયુઓના સમાન કદ, સમાન સંખ્યામાં અણુઓ ધરાવે છે. એવોગેડ્રોએ પરમાણુ અને અણુ વચ્ચે ભેદ સમજાવ્યો, જે હાલના સમયમાં સ્પષ્ટ સમજી શકાય તેમ છે. આપણે હાઈડ્રોજન અને ઓક્સિજનના સંયોજવાથી પાણી બનવાની પ્રક્રિયાનો ફરી વિચાર કરીએ તો



લોરેન્ઝો રોમેનો એમિડો  
કાર્લો એવોગેડ્રો  
એડીકાર્લો  
(1776-1856)

કહી શકાય કે હાઈડ્રોજનના બે કદ ઓક્સિજનના એક કદ સાથે સંયોજાય છે અને બે કદ પાણી મળે છે અને પ્રક્રિયા પામ્યા વિનાનો ઓક્સિજન રહેતો નથી.

એ નોંધો કે આકૃતિ 1.9માં દર્શાવેલ દરેક પેટીમાં અણુની સંખ્યા સરખી છે. ખરેખર એવોગેડ્રો ઉપરના પરિણામોને અણુ બહુપરમાણવીય હોય છે, તેમ સ્વીકારીને સમજાવી શક્યા હોત, જો હાઈડ્રોજન અને ઓક્સિજનને દ્વિપરમાણવીય ગણ્યા હોત. જેમ હાલના સમયમાં સ્વીકારાયેલ છે, તો ઉપરોક્ત પરિણામો સરળતાથી સમજી શકાય, પરંતુ તે સમયે ડાલ્ટન અને અન્ય વૈજ્ઞાનિકો માનતા હતા કે એક જ પ્રકારના પરમાણુઓ એકબીજા



આકૃતિ 1.9 હાઈડ્રોજનના બે કદ ઓક્સિજનના એક કદ જોડાઈ બે કદ પાણીની બાષ્પ આપે છે.

સાથે સંયોજાઈ શકે નહિ અને હાઈડ્રોજન કે ઓક્સિજનના બે પરમાણુ ધરાવતો અણુ સંભવી શકે નહિ. એવોગેડ્રોની દરખાસ્ત ફ્રેન્ચ **Journal de Physique**માં પ્રકાશિત થયેલી અને તે સાચી હોવા છતાં પણ તેને ખાસ ટેકો મળ્યો ન હતો.

ત્યારબાદ આશરે 50 વર્ષ પછી 1860માં જર્મનીના કર્લશ્રુહે (Karlsruhe)માં મળેલી રાસાયણવિજ્ઞાનની પ્રથમ આંતરરાષ્ટ્રીય કોન્ફરન્સની સભાએ કેટલાક ઠરાવો કર્યા હતા. આ સભામાં સ્ટેનીસલાઓ કેનિઝારો (Stanislao Cannizzaro)એ રાસાયણિક તત્ત્વજ્ઞાનના અભ્યાસનો એક સ્કેચ રજૂ કર્યો હતો, જેથી એવોગેડ્રોના કાર્યની અગત્યને મહત્ત્વ અપાયું.

## 1.6 ડાલ્ટનનો પરમાણ્વીય સિદ્ધાંત (Dalton's Atomic Theory)

દ્રવ્ય નાના અવિભાજ્ય કણો a-tomio (જેનો અર્થ થાય છે કે અવિભાજ્ય)નું પગેરું ગ્રીક તત્ત્વજ્ઞાની ડેમોક્રિટસ (Democritus) (ઈ.પૂ. 460-370) સુધી જાય છે. અને આ કેટલાક પ્રાયોગિક અભ્યાસના પરિણામ સ્વરૂપે ફરી પ્રગટ થયું જે ઉપરના નિયમો તરફ દોરી ગયું.



જહોન ડાલ્ટન  
(1776—1884)

1808માં ડાલ્ટને 'A New System of Chemical Philosophy' (રાસાયણિક તત્ત્વજ્ઞાનની નવી પદ્ધતિ) પ્રકાશિત કરેલ. જેમાં નીચે પ્રમાણેની રજૂઆત કરવામાં આવી હતી :

1. દ્રવ્ય અવિભાજ્ય પરમાણુઓનું બનેલું છે.
2. આપેલ તત્ત્વના બધા જ પરમાણુઓ સમાન ગુણધર્મ ધરાવે છે, જેમાં સમાન દળનો પણ સમાવેશ થાય છે. જુદા જુદા તત્ત્વોના પરમાણુઓના દળ જુદા જુદા હોય છે.
3. જ્યારે જુદા જુદા તત્ત્વોના પરમાણુઓ કોઈ નિશ્ચિત પ્રમાણમાં (ગુણોત્તરમાં) જોડાય છે ત્યારે સંયોજન બને છે.
4. રાસાયણિક પ્રક્રિયામાં પરમાણુઓની ફેરગોઠવણીનો સમાવેશ થાય છે. તેને રાસાયણિક પ્રક્રિયા દરમિયાન ઉત્પન્ન કરી શકાતો નથી અથવા નાશ કરી શકાતો નથી. ડાલ્ટનનો સિદ્ધાંત રાસાયણિક સંયોજન (સંયોગીકરણ)ના નિયમો સમજાવી શક્યો છે.

## 1.7 પરમાણ્વીય અને આણ્વીયદળ (Atomic and Molecular Masses)

પરમાણુ અને અણુ વિશે કાંઈક ખ્યાલ આવ્યા પછી એ અહીંયા એ યોગ્ય છે કે આપણે પરમાણ્વીય અને આણ્વીય દળો એટલે શું તે સમજીએ.

### 1.7.1 પરમાણ્વીયદળ (Atomic Mass)

પરમાણ્વીયદળ અથવા પરમાણુનું દળ હકીકતમાં ઘણું ઓછું હોય છે. કારણ કે પરમાણુ અતિ નાના હોય છે. હાલમાં આપણે ખૂબ જ આધુનિક પદ્ધતિ દા.ત., દળ સ્પેક્ટ્રોમિતિ, જેના ઉપયોગથી વધુ ચોકસાઈથી પરમાણ્વીયદળ નક્કી કરી શકીએ છીએ, પરંતુ ઓગણીસમી સદીમાં વૈજ્ઞાનિકો એક પરમાણુનું દળ બીજા પરમાણુની સાપેક્ષમાં પ્રાયોગિક રીતે અગાઉ દર્શાવ્યા પ્રમાણે નક્કી કરી શક્યા હતા. હાઈડ્રોજન જે સૌથી હલકો પરમાણુ છે તેનું અડસદે દળ 1 ગણવામાં આવ્યું. (કોઈ પણ એકમ વગર) અને બીજા પરમાણુના દળ તેની સાપેક્ષમાં દર્શાવવામાં આવ્યા હતા. પરમાણ્વીયદળની હાલની પદ્ધતિમાં કાર્બન-12ને પ્રમાણિત ગણી તેના આધારે અન્યના દળ દર્શાવાય છે. આ માટેની સંમતિ 1961માં સધાઈ હતી. કાર્બન-12 કાર્બનનો એક સમસ્થાનિક છે, જેને  $^{12}\text{C}$  તરીકે દર્શાવાય છે. આ પદ્ધતિમાં  $^{12}\text{C}$ નું દળ 12 પરમાણ્વીયદળ એકમ (atomic mass unit - **amu**) નક્કી કરવામાં આવ્યું અને બીજા બધા જ પરમાણુના દળ આની સાપેક્ષમાં નક્કી કરવામાં આવેલ છે. એક પરમાણ્વીયદળ એકમ (amu)ની વ્યાખ્યા આ રીતે આપી શકાય છે તે કાર્બન-12 પરમાણુના દળના  $\frac{1}{12}$  અંશ (ભાગ) જેટલો છે.

$$1 \text{ amu} = 1.66056 \times 10^{-24} \text{ g}$$

$$\text{હાઈડ્રોજન પરમાણુનું દળ} = 1.6736 \times 10^{-24} \text{ g}$$

આથી હાઈડ્રોજનનું amu એકમમાં દળ

$$= \frac{1.6736 \times 10^{-24}}{1.66056 \times 10^{-24}}$$

$$= 1.0078 \text{ amu}$$

$$\approx 1.0080 \text{ amu}$$

તે જ પ્રમાણે ઓક્સિજન-16નું ( $^{16}\text{O}$ ) દળ 15.995 amu થશે.

હાલમાં **amu**ના સ્થાને **u** લખાય છે. જેને એકીકૃત દળ (unified mass) કહે છે.

આપણે જ્યારે ગણતરીમાં તત્ત્વના પરમાણ્વીયદળ લઈએ ત્યારે ખરેખર તત્ત્વના સરેરાશ પરમાણ્વીયદળ લઈએ છીએ જે નીચે પ્રમાણે સમજાવેલ છે.

### 1.7.2 સરેરાશ પરમાણ્વીયદળ (Average Atomic Mass)

કુદરતી રીતે મળતા ઘણા તત્ત્વો એક કરતાં વધારે સમસ્થાનિક ધરાવતા હોય છે, જ્યારે આપણે આ સમસ્થાનિકોનું

અસ્તિત્વ અને તેમની સાપેક્ષ પ્રચુરતા (ટકામાં પ્રમાણ) ધ્યાનમાં લઈએ તો તેના પરથી તત્ત્વનું સરેરાશ પરમાણ્વીયદળ ગણી શકીએ. ઉદાહરણ તરીકે લઈએ તો કાર્બન ત્રણ સમસ્થાનિક ધરાવે છે. તેમના દળ અને તેમની સાપેક્ષ પ્રચુરતા તે દરેકની સામે નીચેના કોષ્ટકમાં દર્શાવેલ છે :

સમસ્થાનિક	સાપેક્ષ પ્રચુરતા (%)	પરમાણ્વીયદળ (amu)
$^{12}\text{C}$	98.892	12
$^{13}\text{C}$	1.108	13.00335
$^{14}\text{C}$	$2 \times 10^{-10}$	14.00317

ઉપરની માહિતી પરથી કાર્બનનું સરેરાશ પરમાણ્વીયદળ નીચે દર્શાવ્યા પ્રમાણે મળશે :

$$(0.98892)(12 \text{ u}) + (0.01108)(13.00335 \text{ u}) + (2 \times 10^{-12})(14.00317 \text{ u}) = 12.011 \text{ u}$$

આ જ પ્રમાણે બીજા તત્ત્વોના સરેરાશ પરમાણ્વીયદળની ગણતરી કરી શકીએ. તત્ત્વોના આવર્તકોષ્ટકમાં જુદા જુદા તત્ત્વોના દર્શાવેલ પરમાણ્વીયદળ ખરેખર સરેરાશ પરમાણ્વીયદળ જ છે.

### 1.7.3 આણ્વીયદળ (Molecular Mass)

આણ્વીયદળ એક અણુમાં રહેલા બધા જ તત્ત્વોના પરમાણ્વીય- દળના સરવાળા બરાબર હોય છે. તે દરેક તત્ત્વના પરમાણ્વીયદળ અને દરેક પરમાણુની સંખ્યાનો ગુણાકાર કરીને તે બધાનો સરવાળો કરી મેળવી શકાય છે. ઉદાહરણ તરીકે મિથેનનું આણ્વીયદળ ગણતાં મિથેન જેમાં એક કાર્બન પરમાણુ અને ચાર હાઈડ્રોજન પરમાણુ છે. તેના પરથી નીચે મુજબ મેળવી શકાય છે.

મિથેનનું આણ્વીયદળ :

$$\begin{aligned} (\text{CH}_4) &= (12.011 \text{ u}) + 4(1.008 \text{ u}) \\ &= 16.043 \text{ u} \end{aligned}$$

તે જ પ્રમાણે પાણી ( $\text{H}_2\text{O}$ )નું આણ્વીયદળ

$$\begin{aligned} &= 2 \times \text{હાઈડ્રોજનનું પરમાણ્વીયદળ} + \\ &\quad 1 \times \text{ઑક્સિજનનું પરમાણ્વીયદળ} \\ &= 2 \times (1.008 \text{ u}) + 16.00 \text{ u} \\ &= 18.02 \text{ u} \end{aligned}$$

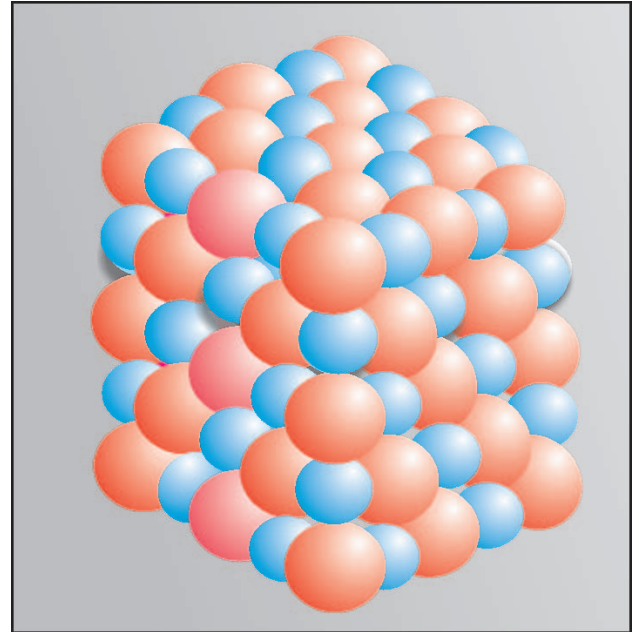
#### કોયડો 1.1

ગ્લુકોઝ ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ) અણુનું આણ્વીયદળ ગણો.

$$\begin{aligned} \text{ઉકેલ : ગ્લુકોઝ } (\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) \text{ અણુનું આણ્વીયદળ} \\ &= 6(12.011 \text{ u}) + 12(1.008 \text{ u}) + 6(16.00 \text{ u}) \\ &= 72.066 \text{ u} + 12.096 \text{ u} + 96.00 \text{ u} \\ &= 180.162 \text{ u} \end{aligned}$$

### 1.7.4 સૂત્રદળ (Formula Mass)

કેટલાક પદાર્થો જેવાં કે સોડિયમ ક્લોરાઈડ તેમના બંધારણીય એકમ તરીકે સ્વતંત્ર અણુ ધરાવતા નથી. આવા સંયોજનોમાં ધન (સોડિયમ) અને ઋણ(ક્લોરાઈડ) સ્પીસિઝ આકૃતિ 1.10માં દર્શાવ્યા મુજબ ત્રિપરિમાણીય રચનામાં ગોઠવાયેલા છે.



આકૃતિ 1.10 સોડિયમ ક્લોરાઈડમાં  $\text{Na}^+$  અને  $\text{Cl}^-$  આયનોનું પેકિંગ

એ નોંધવું જોઈએ કે સોડિયમ ક્લોરાઈડમાં દરેક  $\text{Na}^+$ , 6  $\text{Cl}^-$  વડે ઘેરાયેલ હોય છે અને દરેક  $\text{Cl}^-$ , 6  $\text{Na}^+$  વડે ઘેરાયેલ હોય છે.

$\text{NaCl}$ નું સૂત્ર તેનું સૂત્રદળ ગણવા માટે વપરાય છે. આણ્વીયદળ ગણતરીને બદલે સૂત્રદળ ગણવામાં આવે છે. કારણ કે ધન સ્થિતિમાં સોડિયમ ક્લોરાઈડ એકાકી સ્પીસિઝ તરીકે હોતું નથી.

$$\begin{aligned} \text{આથી સોડિયમ ક્લોરાઈડનું સૂત્રદળ} &= \text{સોડિયમનું} \\ &\text{પરમાણ્વીયદળ} + \text{ક્લોરિનનું પરમાણ્વીયદળ} \\ &= 23.0 \text{ u} + 35.5 \text{ u} = 58.5 \text{ u} \end{aligned}$$



## 1.8 મોલ સંકલ્પના અને મોલરદળ (Mole Concept and Molar Mass)

પરમાણુઓ અને અણુઓ કદમાં અતિ સૂક્ષ્મ છે અને કોઈ પણ પદાર્થના નાના જથ્થામાં પણ તેમની સંખ્યા ઘણી જ વધારે હોય છે. આવી વિશાળ સંખ્યા માટે તેની માત્રા જેવો કોઈ સમાન એકમ જરૂરી બને છે.

આપણે એક ડઝન એટલે 12 નંગ, એક કોડી એટલે 20 નંગ અને એક ગ્રોસ એટલે 144 નંગ એમ દર્શાવીએ છીએ. સૂક્ષ્મ સ્તરે સ્પીસિઝ (પરમાણુઓ / અણુઓ / કણો / ઈલેક્ટ્રોન / આયનો વગેરે)ને ગણવા માટે મોલ સંકલ્પનાનો ઉપયોગ કરીએ છીએ.

SI પદ્ધતિમાં મોલ(Mole) (સંજ્ઞા તરીકે mol)ને પદાર્થના જથ્થા માટેની પાયાની સાતમી રાશિ દાખલ કરવામાં આવી.

એક મોલ એટલે પદાર્થનો એટલો જથ્થો કે જે 12 g (અથવા 0.012 kg)  $^{12}\text{C}$  સમસ્થાનિકમાં રહેલા પરમાણુઓ અથવા સ્પીસિઝ ધરાવે છે. એના પર ખાસ ભાર મૂકીએ કે પદાર્થનો એક મોલ એટલે કોઈ પણ પદાર્થમાં રહેલા પછી તે ગમે તે હોય તો પણ સરખી સંખ્યામાં સ્પીસિઝ ધરાવે છે. ખૂબ જ પરિશુદ્ધતાથી આ સંખ્યા નક્કી કરવા માટે દળ સ્પેક્ટ્રોમીટરની મદદથી કાર્બન-12 પરમાણુનું દળ નક્કી કરવામાં આવ્યું હતું અને તેનું મૂલ્ય  $1.992648 \times 10^{-23}$  g હતું. આપણે જાણીએ છીએ કે એક મોલ કાર્બનનું વજન 12 g છે. આથી તેમાં રહેલા પરમાણુની સંખ્યા નીચે પ્રમાણે થશે :

$$\frac{12 \text{ g/mol } ^{12}\text{C}}{1.992648 \times 10^{-23} \text{ g } ^{12}\text{C પરમાણુ}} = 6.0221367 \times 10^{23} \text{ પરમાણુઓ/મોલ}$$

એક મોલમાં રહેલી સ્પીસિઝની સંખ્યા એટલી અગત્યની હતી કે તેને અલગ નામ અને સંજ્ઞા આપવામાં આવ્યા. વૈજ્ઞાનિક એમિડો એવોગેડ્રોના સન્માનરૂપે તે એવોગેડ્રો અચળાંક તરીકે ઓળખાય છે અને  $N_A$  સંજ્ઞાથી દર્શાવાય છે. આ અંકની બૃહદતા(largness)ની કદર કરવા માટે આપણે તેને દસના ઘાતાંકમાં લખવાને બદલે બધા જ શૂન્ય સાથે લખીએ તો,

$$602213670000000000000000$$

આમ, કોઈ પણ પદાર્થની આટલી મોટી સંખ્યામાં સ્પીસિઝ (પરમાણુ/અણુ અથવા બીજા કોઈ પણ કણો) તે પદાર્થનો એક મોલ કહેવાય છે.

આથી આપણે કહી શકીએ કે એક મોલ હાઈડ્રોજન પરમાણુ એટલે  $6.022 \times 10^{23}$  હાઈડ્રોજન પરમાણુઓ.

એક મોલ પાણીના અણુ =  $6.022 \times 10^{23}$  પાણીના અણુઓ.



આકૃતિ 1.11 જુદા જુદા પદાર્થોના એક મોલ

1 મોલ સોડિયમ ક્લોરાઈડ =  $6.022 \times 10^{23}$  સોડિયમ ક્લોરાઈડના સૂત્ર એકમો

મોલની વ્યાખ્યા આપ્યા પછી કોઈ પણ પદાર્થના અથવા તેના ઘટક સ્પીસિઝનું 1 મોલ દળ જાણવું સરળ બન્યું છે. પદાર્થના 1 મોલનું ગ્રામમાં દર્શાવેલ દળ તેનું મોલર દળ કહેવાય છે. ગ્રામમાં મોલર દળ સંખ્યાની દૃષ્ટિએ પરમાણ્વીય/આણ્વીય/સૂત્રદળ (n એકમમાં) જેટલું થાય છે.

પાણીનું મોલર દળ =  $18.02 \text{ g mol}^{-1}$  અને સોડિયમ ક્લોરાઈડનું મોલર દળ =  $58.5 \text{ g mol}^{-1}$

## 1.9 બંધારણીય (સંઘટનીય) ટકાવારી (Percentage Composition)

હજી સુધી આપણે આપેલ નમૂનામાં હાજર સ્પીસિઝની સંખ્યા સાથે સંકળાયેલ હતા. પરંતુ ઘણી વખત સંયોજનમાં રહેલા તત્ત્વોના ટકા પણ જાણવા જરૂરી બને છે. ધારો કે તમને કોઈ નવું અથવા અજ્ઞાત સંયોજન આપવામાં આવેલ છે. તો તમે પ્રથમ પ્રશ્નો પૂછશો કે તેનું સૂત્ર શું છે ? અને તેના ઘટકો શું છે ? અને કયા પ્રમાણમાં તે પદાર્થમાં રહેલાં છે ? જ્ઞાત સંયોજન માટે પણ આવી માહિતી વડે શુદ્ધ નમૂનામાં રહેલા તત્ત્વોની ટકાવારી ગણતરી પ્રમાણેની છે કે નહિ તેને તપાસી શકીએ છીએ. બીજા શબ્દોમાં, પ્રાપ્ત માહિતીના પૃથક્કરણ પરથી આપેલ નમૂનાની શુદ્ધતા પારખી શકીએ છીએ.

આ સમજવા માટે આપેલા પાણી( $\text{H}_2\text{O}$ )નાં નમૂનાનું ઉદાહરણ લઈએ. પાણીમાં હાઈડ્રોજન અને ઓક્સિજન બે જ તત્ત્વો રહેલા હોવાથી તેમનું ટકાવારી પ્રમાણ નીચે પ્રમાણે ગણી શકીએ :

$$\text{તત્ત્વની દળ ટકાવારી} = \frac{\text{સંયોજનમાં તે તત્ત્વનું દળ}}{\text{સંયોજનનું મોલર દળ}} \times 100$$

$$\text{પાણીનું મોલર દળ} = 18.02 \text{ g}$$

$$\begin{aligned}\text{હાઈડ્રોજનનું દળ \%} &= \frac{2 \times 1.008}{18.02} \times 100 \\ &= 11.18\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ઑક્સિજનનું દળ \%} &= \frac{16.00}{18.02} \times 100 \\ &= 88.79\end{aligned}$$

આપણે એક વધુ ઉદાહરણ લઈએ. ઈથેનોલમાં કાર્બન, હાઈડ્રોજન અને ઑક્સિજનના કેટલા ટકા છે ?

ઈથેનોલનું આણ્વીય સૂત્ર :  $C_2H_5OH$

ઈથેનોલનું મોલર દળ

$$\begin{aligned}&= (2 \times 12.01 + 6 \times 1.008 + 16.00) \text{ g} \\ &= 46.068 \text{ g}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{કાર્બનનું દળ \%} &= \frac{24.02 \text{ g}}{46.068 \text{ g}} \times 100 \\ &= 52.14 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{હાઈડ્રોજનનું દળ \%} &= \frac{6.048 \text{ g}}{46.068 \text{ g}} \times 100 \\ &= 13.13 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ઑક્સિજનનું દળ \%} &= \frac{16.00 \text{ g}}{46.068 \text{ g}} \times 100 \\ &= 34.73 \%\end{aligned}$$

દળ ટકાવારીની ગણતરી કરવાની સમજણ પડ્યા પછી હવે આપણે આ દળ ટકાવારીની ગણતરી પરથી કઈ માહિતી મેળવી શકીએ તે જોઈએ.

### 1.9.1 આણ્વીય સૂત્ર માટે પ્રમાણસૂચક સૂત્ર (Empirical Formula for Molecular Formula)

પ્રમાણસૂચક સૂત્ર સંયોજનમાં રહેલા જુદા જુદા પરમાણુઓની પૂર્ણ સંખ્યાનો સરળ ગુણોત્તર દર્શાવે છે, જ્યારે આણ્વીય સૂત્ર સંયોજનના અણુમાં રહેલા જુદા જુદા પ્રકારના પરમાણુઓની ચોક્કસ સંખ્યા દર્શાવે છે.

જો સંયોજનમાં રહેલા જુદા જુદા તત્ત્વોની દળ ટકાવારી જાણતા હોઈએ તો તેનું પ્રમાણસૂચક સૂત્ર નક્કી કરી શકીએ છીએ. જો મોલર દળ જ્ઞાત હોય તો આણ્વીય સૂત્ર પણ મેળવી શકીએ છીએ. નીચેનું ઉદાહરણ તેની સમજણ આપે છે.

#### કોયડો 1.2

એક સંયોજન 4.07 % હાઈડ્રોજન, 24.47 % કાર્બન અને 71.65 % ક્લોરિન ધરાવે છે. તેનું મોલર દળ 98.96 g છે. તેના પ્રમાણસૂચક અને આણ્વીય સૂત્રો શું હશે ?

ઉકેલ :

સોપાન-1 : દળ ટકાને ગ્રામમાં ફેરવવા :

આપણને ટકાવારી પ્રાપ્ય છે તો શરૂઆતથી 100 g નમૂનો લેવો વધુ અનુકૂળ પડશે. આમ ઉપરના સંયોજનના 100 ગ્રામ નમૂનામાં 4.07 g હાઈડ્રોજન હાજર છે, 24.27 g કાર્બન હાજર છે અને 71.65 g ક્લોરિન હાજર છે.

સોપાન-2 : દરેક તત્ત્વને મોલ સંખ્યામાં ફેરવો :

ઉપર મળેલા જુદા જુદા તત્ત્વોના દળને તેને અનુવર્તી પરમાણ્વીય દળ વડે ભાગીને તત્ત્વના મોલમાં ફેરવો.

$$\text{હાઈડ્રોજનના મોલ} = \frac{4.07 \text{ g}}{1.008 \text{ g}} = 4.04$$

$$\text{કાર્બનના મોલ} = \frac{24.27 \text{ g}}{12.01 \text{ g}} = 2.021$$

$$\text{ક્લોરિનના મોલ} = \frac{71.65 \text{ g}}{35.453 \text{ g}} = 2.021$$

સોપાન-3 : ઉપરની ગણતરીમાં મળેલ મોલની સંખ્યાનો સૌથી નાની સંખ્યા વડે ભાગાકાર કરો.

અહીં સૌથી નાની કિંમત 2.021 છે તેથી તેના વડે ભાગાકાર કરતાં તે H : C : Cl માટે 2 : 1 : 1 ગુણોત્તર આવશે.

જો આ ગુણોત્તર પૂર્ણાંક ના હોય તો કોઈ યોગ્ય ગુણાંક વડે ગુણીને પૂર્ણ સંખ્યામાં ફેરવો.

સોપાન-4 : દરેક તત્ત્વની સંજ્ઞા લખી તેને અનુરૂપ સંખ્યા લખી પ્રમાણસૂચક સૂત્ર લખો.

આમ,  $CH_2Cl$  ઉપરના સંયોજનનું પ્રમાણસૂચક સૂત્ર થશે.

સોપાન-5 : આણ્વીય સૂત્ર લખવું.

(a) પ્રમાણસૂચક સૂત્રનું દળ નક્કી કરો. પ્રમાણસૂચક સૂત્રમાં હાજર રહેલા જુદા જુદા પરમાણુઓના પરમાણ્વીયદળનો સરવાળો કરો.

$\text{CH}_2\text{Cl}$  માટે પ્રમાણસૂચક સૂત્ર પ્રમાણે દળ

$$12.01 + 2 \times 1.008 + 35.453$$

$$= 49.48 \text{ g થશે.}$$

(b) મોલર દળને પ્રમાણસૂચક દળ વડે ભાગો :

$$\frac{\text{મોલર દળ}}{\text{પ્રમાણસૂચક દળ}} = \frac{98.96 \text{ g}}{49.48 \text{ g}}$$

$$= 2 = (n)$$

(c) પ્રમાણસૂચક સૂત્રને ઉપર પ્રમાણે મેળવેલ n વડે ગુણો

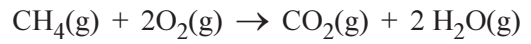
જેથી આણ્વીય સૂત્ર મળશે.

$$\text{પ્રમાણસૂચક સૂત્ર} = \text{CH}_2\text{Cl}, n = 2$$

$$\therefore \text{આણ્વીય સૂત્ર} = \text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2 \text{ થશે.}$$

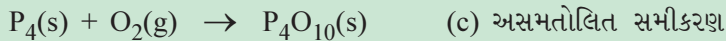
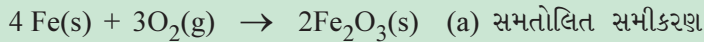
## 1.10 તત્વયોગમિતિ અને તત્વયોગમિતિય ગણતરીઓ (Stoichiometry and Stoichiometric Calculations)

Stoichiometry (તત્વયોગમિતિ) શબ્દ બે ગ્રીક શબ્દો પરથી લેવામાં આવેલ છે : Stoichion (અર્થ છે તત્ત્વ) અને metron (અર્થ છે માપન). આમ, તત્વયોગમિતિ રાસાયણિક પ્રક્રિયામાં સમાવિષ્ટ પ્રક્રિયકો અને નીપજોના દળની ગણતરી (કેટલીક વખત કદ) સાથે સંકળાયેલ છે. રાસાયણિક પ્રક્રિયામાં જરૂરી પ્રક્રિયકોના જથ્થાની કે પ્રાપ્ત થતી નીપજોના જથ્થાની ગણતરી કેવી રીતે થાય તેની સમજૂતી મેળવીએ તે પહેલા આપણે આપેલ પ્રક્રિયાના સમતોલિત રાસાયણિક સમીકરણ પરથી શું માહિતી પ્રાપ્ત કરી શકીએ છીએ તેનો અભ્યાસ કરીએ. આપણે મિથેનના દહનને ગણતરીમાં લઈએ. આ પ્રક્રિયા માટે સમતોલિત સમીકરણ નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય :

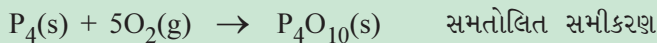


### રાસાયણિક સમીકરણનું સમતોલન

દળસંચયના નિયમ પ્રમાણે કોઈ સમતોલિત રાસાયણિક સમીકરણમાં દરેક તત્ત્વના પરમાણુઓની સંખ્યા સમીકરણની બન્ને બાજુએ સરખી હોવી જોઈએ. પ્રયત્ન અને ભૂલ પદ્ધતિને આધારે ઘણા રાસાયણિક સમીકરણોને સમતોલિત કરી શકાય છે. આપણે કેટલીક ધાતુઓ અને અધાતુઓની ઓક્સિજન સાથેની પ્રક્રિયાઓ લઈએ કે જે ઓક્સાઈડ આપે છે.

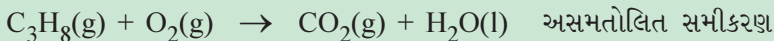


સમીકરણ (a) અને (b) સમતોલિત છે, કારણ કે સમીકરણની બન્ને બાજુએ ધાતુ અને ઓક્સિજન પરમાણુની સંખ્યા સરખી છે. જ્યારે સમીકરણ (c) સમતોલિત નથી. આ સમીકરણ ફોસ્ફરસ પરમાણુથી સમતોલિત છે પણ ઓક્સિજન પરમાણુથી સમતોલિત નથી. તેને સમતોલ કરવા માટે આપણે સમીકરણની ડાબી બાજુએ ઓક્સિજનના ગુણાંક તરીકે 5 મૂકવા પડશે. કારણ કે સમીકરણની જમણી બાજુએ તેટલા રહેલા છે.

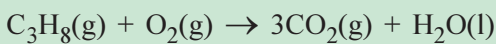


હવે, આપણે પ્રોપેન  $\text{C}_3\text{H}_8$ ની દહન પ્રક્રિયા લઈએ. આ સમીકરણ નીચેના સોપાનો પ્રમાણે સમતોલ કરી શકાય :

**સોપાન 1 :** પ્રક્રિયક અને નીપજના સાચા સૂત્રો લખો. અહીંયા પ્રોપેન અને ઓક્સિજન પ્રક્રિયકો છે. જ્યારે કાર્બન ડાયોક્સાઈડ અને પાણી નીપજો છે.



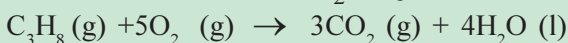
**સોપાન 2 :** C પરમાણુની સંખ્યાને સમતોલ કરો. પ્રક્રિયકમાં 3 કાર્બન પરમાણુ છે, માટે જમણી બાજુ  $\text{CO}_2$ ના 3 અણુઓ દર્શાવવા પડે.



**સોપાન 3 :** H પરમાણુની સંખ્યાને સમતોલ કરો. ડાબી બાજુ 8 હાઈડ્રોજન પરમાણુ પ્રક્રિયકમાં છે. કારણ કે દરેક પાણીના અણુમાં બે હાઈડ્રોજન પરમાણુ છે. આથી પાણીના ચાર અણુની જરૂર પડશે જેથી જમણી બાજુ આઠ હાઈડ્રોજન પરમાણુ થશે.



**સોપાન 4 :** O પરમાણુની સંખ્યાને સમતોલ કરો. જમણી બાજુ 10 ઓક્સિજન પરમાણુ છે. ( $3 \times 2 = 6 \text{ CO}_2$ માં અને  $4 \times 1 = 4$  પાણીમાં). આથી પાંચ  $\text{O}_2$  અણુઓની જરૂર પડશે. જેથી 10 ઓક્સિજન પરમાણુ જમણી બાજુ થશે.



**સોપાન 5 :** ખાતરી કરો કે અંતિમ સમીકરણમાં દરેક તત્ત્વના પરમાણુની સંખ્યા સરખી છે. સમીકરણ ત્રણ કાર્બન પરમાણુ, આઠ હાઈડ્રોજન પરમાણુ અને દસ ઓક્સિજન પરમાણુ દરેક બાજુ દર્શાવે છે. બધા જ સમીકરણો જેમાં બધા જ પ્રક્રિયકો અને નીપજોના સૂત્ર સાચાં હોય તેમને સમતોલ કરી શકાય છે. હંમેશાં યાદ રાખો કે પ્રક્રિયકો અને નીપજોના સૂત્રોમાં પદાક્ષર (subscripts) સમીકરણ સમતોલ કરવા માટે બદલી શકાય નહિ.

અહીંયા મિથેન અને ડાયઑક્સિજન પ્રક્રિયકો કહેવાય છે અને કાર્બન ડાયોક્સાઈડ અને પાણી નીપજો કહેવાય છે. એ નોંધવું જરૂરી છે કે ઉપરની પ્રક્રિયામાં બધા જ પ્રક્રિયકો અને નીપજો વાયુઓ છે. આ માટે દરેકના સૂત્રની પાછળ કોંસમાં અક્ષર (g) લખવામાં આવે છે અને તે પ્રમાણે ઘન અને પ્રવાહી માટે અનુક્રમે અક્ષર (s) અને (l) લખવામાં આવે છે.

O<sub>2</sub> અને H<sub>2</sub>O માટે ગુણાંક 2 તત્વયોગમિતિય ગુણાંક કહેવાય છે, તે જ પ્રમાણે CH<sub>4</sub> અને O<sub>2</sub>નો તત્વયોગમિતિય ગુણાંક 1 છે. તેઓ પ્રક્રિયામાં ભાગ લેતા અને પ્રક્રિયામાં બનતા પદાર્થના અણુઓની (અને મોલની પણ) સંખ્યા દર્શાવે છે. આમ ઉપર પ્રમાણેની રાસાયણિક પ્રક્રિયા અનુસાર,

- CH<sub>4</sub>(g)નો એક મોલ O<sub>2</sub>(g)નાં બે મોલ સાથે પ્રક્રિયા કરી CO<sub>2</sub>(g)નો એક મોલ અને H<sub>2</sub>O(g)ના બે મોલ આપે છે.
- CH<sub>4</sub>(g)નો એક અણુ O<sub>2</sub>(g)ના બે અણુ સાથે પ્રક્રિયા કરે છે અને CO<sub>2</sub>(g) એક અણુ અને H<sub>2</sub>O(g)ના બે અણુ આપે છે.
- CH<sub>4</sub>(g)ના 22.7 L, O<sub>2</sub>(g)ના 45.4 L સાથે પ્રક્રિયા કરી CO<sub>2</sub>(g)ના 22.7 L અને H<sub>2</sub>O(g)ના 45.4 L આપે છે.
- CH<sub>4</sub>(g)ના 16 g, O<sub>2</sub>(g)ના 2 × 32 g સાથે પ્રક્રિયા કરી CO<sub>2</sub>(g)ના 44 g અને H<sub>2</sub>O(g)ના 2 × 18 g આપે છે.

આ સંબંધો પરથી મળતી માહિતી નીચે પ્રમાણે એકબીજામાં રૂપાંતરિત કરી શકાય છે.

દળ ⇌ મોલ ⇌ અણુઓની સંખ્યા

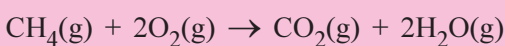
$$\frac{\text{દળ}}{\text{કદ}} = \text{ઘનતા}$$

### કોયડો 1.3

16 g મિથેનના દહનથી ઉત્પન્ન થયેલ પાણી(g)નો જથ્થો ગણો.

ઉકેલ :

મિથેનના દહન માટેનું સમતોલિત રાસાયણિક સમીકરણ છે :



(i) 16 g CH<sub>4</sub> બરાબર 1 મોલ થાય.

(ii) ઉપરના સમીકરણ પરથી 1 મોલ CH<sub>4</sub>(g)

2 મોલ H<sub>2</sub>O(g) આપે છે.

$$2 \text{ મોલ H}_2\text{O}(\text{g}) = 2 \times (2 + 16) = 2 \times 18 = 36 \text{ g}$$

$$1 \text{ મોલ H}_2\text{O}(\text{g}) = 18 \text{ g H}_2\text{O} = \frac{18 \text{ g} \cdot \text{H}_2\text{O}}{1 \text{ મોલ H}_2\text{O}} = 1$$

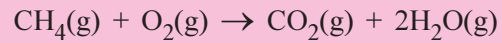
$$\begin{aligned} \text{તેથી } 2 \text{ મોલ H}_2\text{O}(\text{g}) &= \frac{18 \text{ g} \cdot \text{H}_2\text{O}}{1 \text{ મોલ H}_2\text{O}} = 2 \times 18 \text{ g H}_2\text{O} \\ &= 36 \text{ g H}_2\text{O} \end{aligned}$$

### કોયડો 1.4

દહનની પ્રક્રિયાને અંતે 22 g CO<sub>2</sub>(g) ઉત્પન્ન કરવા માટે કેટલા મોલ મિથેનની જરૂર પડે ?

ઉકેલ :

રાસાયણિક સમીકરણ પ્રમાણે,



44 g CO<sub>2</sub>(g) એ 16 g CH<sub>4</sub> માંથી મળેલ છે.

કારણ કે, 1 મોલ CO<sub>2</sub>(g); 1 મોલ CH<sub>4</sub>(g) માંથી મળેલ છે.

$$\begin{aligned} \text{CO}_2(\text{g})\text{ના મોલ} &= 22 \text{ g CO}_2(\text{g}) \times \frac{1 \text{ મોલ CO}_2(\text{g})}{44 \text{ g} \cdot \text{CO}_2(\text{g})} \\ &= 0.5 \text{ mol CO}_2(\text{g}) \end{aligned}$$

આમ, 0.5 મોલ CO<sub>2</sub>(g), 0.5 મોલ CH<sub>4</sub>(g)માંથી અથવા CH<sub>4</sub>(g)ના 0.5 મોલ ની 22 g CO<sub>2</sub>(g) ઉત્પન્ન કરવા માટે જરૂરિયાત પડશે.

### 1.10.1 સીમિત પ્રક્રિયક (Limiting Reagent)

ઘણી વખત રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ કરવામાં આવે છે ત્યારે હાજર રહેલા પ્રક્રિયકોના જથ્થા સમતોલિત રાસાયણિક પ્રક્રિયાની ગણતરી પ્રમાણેના પ્રમાણમાં હોતા નથી. આવા સંજોગોમાં એક પ્રક્રિયક બીજા પ્રક્રિયક કરતાં વધારે હોય છે. જે પ્રક્રિયક ઓછા પ્રમાણમાં હોય છે તે કેટલાક સમય પછી વપરાઈ જાય છે અને ત્યારબાદ બીજા પ્રક્રિયકનું પ્રમાણ ગમે તેટલું હોય તો પણ પ્રક્રિયા આગળ વધતી નથી. આથી જે પ્રક્રિયક વપરાઈ ગયેલ છે તે બનતી નીપજના ઉત્પાદનને સીમિત કરે છે અને તેથી તેને સીમિત પ્રક્રિયક કહે છે.

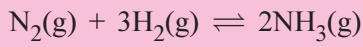
તત્વયોગમિતિય ગણતરીઓ કરતી વખતે આ બાબતને ધ્યાનમાં રાખવાની હોય છે.

**કોયડો 1.5**

50.0 kg N<sub>2</sub>(g) અને 10 kg H<sub>2</sub>(g)ને NH<sub>3</sub>(g) મેળવવા માટે મિશ્ર કરવામાં આવ્યા. ઉત્પન્ન થયેલા NH<sub>3</sub>(g)ની ગણતરી કરો. આ પરિસ્થિતિમાં NH<sub>3</sub>(g)ના ઉત્પાદનમાં સીમિત પ્રક્રિયકને ઓળખી બતાવો.

**ઉકેલ :**

ઉપરની પ્રક્રિયા માટે સમતોલિત સમીકરણ નીચે પ્રમાણે લખી શકાય :



**મોલની ગણતરી :**

**N<sub>2</sub>ના મોલ :**

$$= 50.0 \text{ kg N}_2 \times \frac{1000 \text{ g N}_2}{1 \text{ kg N}_2} \times \frac{1 \text{ mol N}_2}{28.09 \text{ g N}_2}$$

$$= 17.86 \times 10^2 \text{ mol}$$

**H<sub>2</sub>ના મોલ :**

$$= 10.00 \text{ kg H}_2 \times \frac{1000 \text{ g H}_2}{1 \text{ kg H}_2} \times \frac{1 \text{ mol H}_2}{2.016 \text{ g H}_2}$$

$$= 4.96 \times 10^3 \text{ mol}$$

ઉપરના સમીકરણ પ્રમાણે 1 mol N<sub>2</sub>(g) સાથેની પ્રક્રિયામાં 3 mol(H<sub>2</sub>)ની જરૂર પડે છે. તેથી 17.86 × 10<sup>2</sup> mol N<sub>2</sub>(g) માટે જરૂરી H<sub>2</sub>(g)ના mol થશે.

$$= 17.86 \times 10^2 \text{ mol} \times \frac{3 \text{ mol H}_2(\text{g})}{1 \text{ mol N}_2(\text{g})}$$

$$= 5.36 \times 10^3 \text{ mol H}_2(\text{g})$$

પરંતુ આપણી પાસે 4.96 × 10<sup>3</sup> mol H<sub>2</sub> જ છે. તેથી ડાયહાઇડ્રોજન આ પ્રક્રિયામાં સીમિત પ્રક્રિયક થશે. આ ઉપરાંત આટલા જ ડાયહાઇડ્રોજનમાંથી NH<sub>3</sub>(g) બનશે.

3 mol H<sub>2</sub>(g), 2 mol NH<sub>3</sub>(g) આપશે.

$$\text{તો } 4.96 \times 10^3 \text{ mol H}_2(\text{g}) \times \frac{2 \text{ mol NH}_3(\text{g})}{3 \text{ mol H}_2(\text{g})}$$

$$= 3.30 \times 10^3 \text{ mol NH}_3(\text{g}) \text{ મળશે.}$$

જો તેમને ગ્રામમાં ફેરવવા હોય તો નીચે પ્રમાણે થશે :

$$1 \text{ mol NH}_3(\text{g}) = 17.0 \text{ g NH}_3(\text{g})$$

$$\therefore 3.30 \times 10^3 \text{ mol NH}_3(\text{g}) \times \frac{17.0 \text{ g} \cdot \text{NH}_3(\text{g})}{1 \text{ mol NH}_3(\text{g})}$$

$$= 3.30 \times 10^3 \times 17 \text{ g NH}_3(\text{g})$$

$$= 5.61 \times 10^3 \text{ g NH}_3$$

$$= 5.61 \text{ kg NH}_3(\text{g})$$

**1.10.2 દ્રાવણોમાં પ્રક્રિયાઓ (Reactions in Solutions)**

પ્રયોગશાળાઓમાં મોટા ભાગની પ્રક્રિયાઓ દ્રાવણોમાં કરવામાં આવે છે. આથી એ સમજવું અગત્યનું છે કે દ્રાવણ સ્વરૂપે રહેલા પદાર્થનો જથ્થો (પ્રમાણ) કેવી રીતે દર્શાવી શકાય ? દ્રાવણની સાંદ્રતા અથવા આપેલા કદમાં રહેલા પદાર્થનો જથ્થો નીચેનામાંથી કોઈ પણ રીતે દર્શાવી શકાય છે :

1. દળ ટકાવારી અથવા વજનથી ટકા (w/w %)
2. મોલ અંશ
3. મોલારિટી
4. મોલાલિટી

હવે આપણે તે દરેકનો વિગતે અભ્યાસ કરીએ.

**1. દળ ટકાવારી :**

તે નીચેના સંબંધથી મેળવી શકાય છે :

$$\text{દળ ટકા} = \frac{\text{દ્રવ્યનું દળ}}{\text{દ્રાવણનું દળ}} \times 100$$

**કોયડો 1.6**

પદાર્થ Aના 2 ગ્રને 18 ગ્ર પાણીમાં ઉમેરી દ્રાવણ બનાવવામાં આવ્યું છે. દ્રાવ્યના દળ ટકા ગણો.

**ઉકેલ :**

$$\text{Aના દળ ટકા} = \frac{\text{Aનું દળ}}{\text{દ્રાવણનું દળ}} \times 100$$

$$= \frac{2 \text{ g}}{2 \text{ g A} + 18 \text{ g પાણી}} \times 100$$

$$= \frac{2 \text{ g}}{20 \text{ g}} \times 100$$

$$= 10 \%$$

## 2. મોલ અંશ :

મોલ અંશ કોઈ એક ઘટકના મોલની સંખ્યા અને દ્રાવણના કુલ મોલની સંખ્યાનો ગુણોત્તર છે. જો પદાર્થ 'A' પદાર્થ 'B'માં ઓગળેલ છે અને તેમના મોલ અનુક્રમે  $n_A$  અને  $n_B$  છે, તો A અને Bના મોલ અંશ નીચે પ્રમાણે ગણી શકાય :

Aના મોલ અંશ

$$= \frac{\text{Aના મોલની સંખ્યા}}{\text{દ્રાવણમાં કુલ મોલની સંખ્યા}}$$

$$= \frac{n_A}{n_A + n_B}$$

Bના મોલ અંશ

$$= \frac{\text{Bના મોલની સંખ્યા}}{\text{દ્રાવણમાં કુલ મોલની સંખ્યા}}$$

$$= \frac{n_B}{n_A + n_B}$$

## 3. મોલારિટી :

તે ખૂબ જ બહોળા પ્રમાણમાં વપરાતો એકમ છે અને તેને M વડે દર્શાવવામાં આવે છે. તેની વ્યાખ્યા આ પ્રમાણે છે : 1 લિટર દ્રાવણમાં રહેલા દ્રાવ્યની મોલ સંખ્યા.

$$\text{મોલારિટી (M)} = \frac{\text{દ્રાવ્યના મોલની સંખ્યા}}{\text{દ્રાવણનું કદ લિટરમાં}}$$

ધારો કે આપણી પાસે એક પદાર્થ NaOHનું 1 M દ્રાવણ છે અને તેમાંથી આપણે 0.2 M દ્રાવણ બનાવવું છે.

1 M NaOH એટલે 1 લિટર દ્રાવણમાં 1 mol NaOH. જ્યારે 0.2 M દ્રાવણ માટે આપણને 1 લિટર દ્રાવણમાં 0.2 mol NaOHની જરૂર પડશે.

આથી આપણે 0.2 મોલ NaOH લઈ 1 લિટર દ્રાવણ બનાવીશું.

હવે, સાંદ્ર (1 M) NaOHના દ્રાવણનું કેટલું કદ 0.2 મોલ NaOH ધરાવતું દ્રાવણ બનાવવા માટે જરૂરી થશે ? આની ગણતરી નીચે પ્રમાણે કરી શકાય :

જો 1 mol 1 L અથવા 1000 mL માં હાજર હોય તો 0.2 mol હાજર હશે.

$$\frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ mol}} \times 0.2 \text{ mol}$$

$$= 200 \text{ mL}$$

આમ 1 M NaOH દ્રાવણના 200 mL લેવામાં આવશે અને તેમાં પાણી ઉમેરી 1 લિટર બનાવવામાં આવશે.

હકીકતમાં આવી ગણતરી કરવા માટે  $M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$  સૂત્રનો ઉપયોગ કરી શકીએ. જ્યાં M અને V અનુક્રમે મોલારિટી અને કદ છે. આ ઉદાહરણમાં  $M_1 = 0.2$ ;  $V_1 = 1000 \text{ mL}$  અને  $M_2 = 1.0$  અને  $V_2$  ગણતરીથી શોધવાનું છે.

સૂત્રમાં કિંમતો મૂકતાં,

$$0.2 \text{ M} \times 1000 \text{ mL} = 1.0 \text{ M} \times V_2$$

$$\therefore V_2 = \frac{0.2 \text{ M} \times 1000 \text{ mL}}{1.0 \text{ M}} = 200 \text{ mL}$$

એ નોંધો કે દ્રાવ્ય(NaOH)ના મોલની સંખ્યા 0.2 (200 mLમાં) હતી તે સમાન જ રહી એટલે કે મંદન કર્યા પછી પણ 0.2 (1000 mLમાં) રહી છે કારણ કે આપણે ફક્ત દ્રાવકના (પાણીના) કદનાં જથ્થામાં જ ફેરફાર કર્યો છે એટલે કે NaOHની બાબતમાં કંઈ જ કર્યું નથી, પરંતુ સાંદ્રતા ધ્યાનમાં રાખશો.

### કોયડો 1.7

4 g NaOHને પૂરતા પાણીમાં દ્રાવ્ય કરીને 250 mL દ્રાવણ બનાવેલ છે. આ દ્રાવણની મોલારિટી ગણો.

ઉકેલ :

$$\begin{aligned} \text{મોલારિટી (M)} &= \frac{\text{દ્રાવ્યના મોલની સંખ્યા}}{\text{દ્રાવણનું કદ લિટરમાં}} \\ &= \frac{\text{NaOHનું દળ} / \text{NaOHનું મોલર દળ}}{0.250 \text{ L}} \\ &= \frac{4 \text{ g} / 40 \text{ g}}{0.250} = \frac{0.1}{0.250} \\ &= 0.4 \text{ mol L}^{-1} = 0.4 \text{ M} \end{aligned}$$

એ નોંધશો કે તાપમાનના ફેરફાર સાથે મોલારિટી બદલાશે કારણ કે દ્રાવણનું કદ તાપમાન આધારિત છે.

## 4. મોલાલિટી :

તેને આ રીતે વ્યાખ્યાયિત કરી શકાય.

દ્રાવ્યના મોલની સંખ્યા જે 1 kg દ્રાવકમાં ઓગળેલા હોય છે, તેને  $m$  વડે દર્શાવવામાં આવે છે.

$$\text{આમ મોલાલિટી (m)} = \frac{\text{દ્રાવ્યના મોલની સંખ્યા}}{\text{દ્રાવકનું દળ કિલોગ્રામમાં}}$$

**કોયડો 1.8**

3 M NaCl દ્રાવણની ઘનતા  $1.25 \text{ g mL}^{-1}$  છે. દ્રાવણની મોલાલિટી ગણો.

ઉકેલ :

$$M = 3.0 \text{ mol L}^{-1}$$

$$1 \text{ L દ્રાવણમાં NaClનું દળ} = 3 \times 58.5 = 175.5 \text{ g}$$

$$1 \text{ L દ્રાવણનું દળ} = 1000 \times 1.25 = 1250 \text{ g}$$

$$(\text{કારણ કે ઘનતા} = 1.25 \text{ g mL}^{-1} \text{ અને ઘનતા} = \frac{\text{દળ}}{\text{કદ}})$$

$$\text{દ્રાવણમાં પાણીનું દળ} = 1250 - 175.5 = 1074.5 \text{ g}$$

$$\text{મોલાલિટી} = \frac{\text{દ્રાવ્યના મોલની સંખ્યા}}{\text{દ્રાવકનું દળ કિલોગ્રામમાં}}$$

$$= \frac{3 \text{ mol}}{1.0745 \text{ kg}}$$

$$= 2.79 \text{ m}$$

રાસાયણવિજ્ઞાનની પ્રયોગશાળામાં સામાન્ય રીતે જરૂરી સાંદ્રતાવાળા દ્રાવણ મેળવવા માટે વધુ સાંદ્ર દ્રાવણનું મંદન કરીને મેળવાય છે. વધુ સાંદ્ર દ્રાવણની સાંદ્રતા જાણીતી હોય છે અને તેને સ્ટોક (stock) દ્રાવણ કહે છે. એ નોંધશો કે મોલાલિટી તાપમાન સાથે બદલાતી નથી, કારણ કે પદાર્થનું દળ તાપમાન સાથે બદલાતું નથી.

**સારાંશ**

રાસાયણવિજ્ઞાનનો અભ્યાસ ખૂબ જ અગત્યનો છે. કારણ કે તેનું ક્ષેત્ર જીવનના દરેક ક્ષેત્ર સાથે સંકળાયેલ છે. રસાયણશાસ્ત્રીઓ પદાર્થોના ગુણધર્મો અને બંધારણનો તથા તેમાં થતા ફેરફારનો અભ્યાસ કરે છે. બધા જ પદાર્થો દ્રવ્ય સ્વરૂપે અસ્તિત્વ ધરાવે છે. જે ત્રણ અવસ્થાઓ ધન, પ્રવાહી અને વાયુ સ્વરૂપમાં હોઈ શકે છે. આ અવસ્થાઓમાં પદાર્થના ઘટક કણો અલગ અલગ રીતે જોડાયેલા હોય છે, જેથી તે તેમના લાક્ષણિક ગુણધર્મો દર્શાવે છે. દ્રવ્યને તત્ત્વ, સંયોજન અથવા મિશ્રણ તરીકે પણ વર્ગીકૃત કરી શકાય. તત્ત્વ એક જ પ્રકારના કણ ધરાવે છે, જે પરમાણુઓ કે અણુઓ હોઈ શકે છે. સંયોજનમાં બે કે તેથી વધારે તત્ત્વોના પરમાણુઓ કોઈ નિશ્ચિત પ્રમાણમાં એકબીજા સાથે જોડાયેલા રહે છે. મિશ્રણ વિપુલ પ્રમાણમાં હોઈ શકે છે અને આપણી આસપાસ (ચોપાસ) રહેલા ઘણા પદાર્થો મિશ્રણ છે.

જ્યારે પદાર્થના ગુણધર્મોનો અભ્યાસ કરવામાં આવે છે ત્યારે તેમનું માપન સહજ (inherent) હોય છે. ગુણધર્મોનો જથ્થાત્મક રીતે અભ્યાસ કરતાં માપન અને એકમોની જરૂર પડે છે. જેમાં તે દર્શાવી શકાય. માપનની ઘણી પદ્ધતિઓ છે, પરંતુ તેમાંથી ઈંગ્લિશ પદ્ધતિ અને મેટ્રિક પદ્ધતિનો વધુ ઉપયોગ થાય છે. વૈજ્ઞાનિકોના સમૂહે વિશ્વમાં બધે જ એકસરખી અને સામાન્ય પદ્ધતિ વપરાય તેને માટે સંમતિ દર્શાવેલી છે અને આ પદ્ધતિને SI એકમ (International System of Units) તરીકે ટૂંકમાં દર્શાવેલ છે.

માપનમાં માહિતી એકઠી કરવાની હોય છે. જે કેટલાક પ્રમાણમાં અનિશ્ચિતતા સાથે સંકળાયેલ હોય છે. જથ્થાના માપનથી મેળવાયેલી માહિતીનો યોગ્ય ઉપયોગ થાય છે. રસાયણવિજ્ઞાન જથ્થાના માપન  $10^{-31}$  થી  $10^{+23}$ ની વચ્ચે ફેલાયેલું છે. આથી સંખ્યાઓને સગવડભરી રીતે દર્શાવવા માટે વૈજ્ઞાનિક સંકેતો વપરાય છે. માપનમાંની અનિશ્ચિતતાની કાળજી માટે અર્થસૂચક અંકનો નિર્દેશ થાય છે. પરિમાણાત્મક પૃથક્કરણ એકમોની જુદી જુદી પદ્ધતિમાં માપન કરેલી રાશિઓને દર્શાવવામાં મદદરૂપ કરે છે. આથી એક રાશિનું માપન બીજી રાશિમાં આંતરરૂપાંતર શક્ય બને છે.

જુદા જુદા પરમાણુઓનું સંયોગીકરણ રાસાયણિક સંયોજનના પાયાના નિયમોને આધીન છે. આ નિયમોમાં દળ સંચયનો નિયમ, નિશ્ચિત પ્રમાણનો નિયમ, ગુણક પ્રમાણનો નિયમ, વાયુમય કદનો ગે લ્યુસેકનો નિયમ અને એવોગેડ્રોનો નિયમ છે. આ બધા જ નિયમો ડાલ્ટનના પરમાણુ સિદ્ધાંત તરફ દોરી ગયા જે દર્શાવે છે કે બધા જ પરમાણુઓ દ્રવ્યના બંધનના પાયાના ઘટકો છે. કાર્બનના સમસ્થાનિક  $^{12}\text{C}$ ની સાપેક્ષમાં તત્ત્વના પરમાણ્વીયદળ

દર્શાવાય છે. સામાન્ય રીતે પરમાણ્વીયદળનો ઉપયોગ તત્ત્વ માટે થાય છે, જે સરેરાશ પરમાણ્વીયદળ હોય છે અને તે તત્ત્વના જુદા જુદા સમસ્થાનિકોની કુદરતી પ્રચુરતાને ધ્યાનમાં લઈને મેળવવામાં આવે છે. અણુનું આણ્વીયદળ અણુમાં રહેલા જુદાજુદા પરમાણુઓના દળના સરવાળા તરીકે લેવામાં આવે છે. આણ્વીયસૂત્ર સંયોજનમાં રહેલા જુદા જુદા તત્ત્વોના દળ ટકા તથા તેના આણ્વીયદળ પરથી નક્કી કરી શકાય છે.

આપેલ પદાર્થમાં રહેલા પરમાણુ, અણુ અથવા અન્ય કોઈ કણ હાજર હોય તેમને એવોગેડ્રો અયણાંક ( $6.022 \times 10^{23}$ )ના રૂપમાં દર્શાવાય છે. આને જે-તે સંબંધિત કણ અથવા સ્પીસિઝ (entity)ના 1 mol તરીકે ઓળખાય છે.

રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ જુદા જુદા તત્ત્વો અને સંયોજનો દ્વારા થયેલા રાસાયણિક ફેરફારો દર્શાવે છે. સમતોલિત રાસાયણિક સમીકરણ ઘણી બધી માહિતી પૂરી પાડે છે. ગુણાંક આણ્વીય ગુણોત્તર દર્શાવે છે અને જે-તે પ્રક્રિયામાં ભાગ લેતાં કણોની સંખ્યા દર્શાવે છે. રાસાયણિક પ્રક્રિયામાં જરૂરી પ્રક્રિયકો અને પ્રાપ્ત થતી નીપજો વચ્ચેના જથ્થાત્મક અભ્યાસને તત્ત્વયોગમિતિ કહે છે. તત્ત્વયોગમિતિય ગણતરીના આધારે કોઈ એક નીપજનો જરૂરી જથ્થો ઉત્પન્ન કરવા માટે જરૂરી એક કે એક કરતાં વધુ પ્રક્રિયકોના જરૂરી જથ્થાની ગણતરી કરી શકાય છે. તથા તેનાથી ઉલટી ગણતરી પણ કરી શકાય છે. દ્રાવણના આપેલ કદમાં રહેલા પદાર્થનો જથ્થો ઘણી બધી રીતે દર્શાવાય છે. ઉદાહરણ તરીકે દળ ટકા, મોલ અંશ, મોલારિટી, મોલાલિટી.

### સ્વાધ્યાય

- 1.1 નીચેનાના મોલર દળ ગણો :  
(i)  $H_2O$  (ii)  $CO_2$  (iii)  $CH_4$
- 1.2 સોડિયમ સલ્ફેટ ( $Na_2SO_4$ )માં રહેલા જુદા જુદા તત્ત્વોના દળ ટકા ગણો.
- 1.3 આયર્નના એક ઓક્સાઈડ, જેમાં દળથી 69.9 % આયર્ન અને 30.1 % ડાયઑક્સિજન છે, તો તે ઓક્સાઈડનું પ્રમાણસૂચક સૂત્ર નક્કી કરો.
- 1.4 ઉત્પન્ન થયેલ કાર્બન ડાયોક્સાઈડનું પ્રમાણ ગણો. જ્યારે,  
(i) 1 મોલ કાર્બનને હવામાં બાળવામાં આવે છે.  
(ii) 1 મોલ કાર્બનને 16 g ડાયઑક્સિજનમાં બાળવામાં આવે છે.  
(iii) 2 મોલ કાર્બનને 16 g ડાયઑક્સિજનમાં બાળવામાં આવે છે.
- 1.5 500 mL 0.375 મોલર જલીય દ્રાવણ બનાવવા માટે જરૂરી સોડિયમ એસિટેટ ( $CH_3COONa$ )નું દળ ગણો. સોડિયમ એસિટેટનું મોલર દળ  $82.0245 \text{ g mol}^{-1}$  છે.
- 1.6 નાઈટ્રિક એસિડનો એક નમૂનો જેની ઘનતા  $1.41 \text{ g mL}^{-1}$  અને નાઈટ્રિક એસિડના દળ ટકા 69 % છે. આ નમૂનામાં નાઈટ્રિક એસિડની સાંદ્રતા મોલ પ્રતિ લિટરમાં ગણો.
- 1.7 100 ગ્રામ કોપર સલ્ફેટ( $CuSO_4$ )માંથી કેટલું કોપર મેળવી શકાય ?
- 1.8 આયર્ન ઓક્સાઈડનું આણ્વીયસૂત્ર ગણો. જેમાં આયર્ન અને ઓક્સિજનના દળ ટકા અનુક્રમે 69.9 અને 30.1 છે.
- 1.9 નીચેની માહિતીનો ઉપયોગ કરીને ક્લોરિનનું પરમાણ્વીયદળ (સરેરાશ) ગણો :

	% કુદરતી પ્રચુરતા	મોલર દળ
$^{35}Cl$	75.77	34.9689
$^{37}Cl$	24.23	36.9659



- 1.10 ઈથેન( $C_2H_6$ )ના 3 મોલમાં નીચેનાની ગણતરી કરો :
- કાર્બન પરમાણુના મોલની સંખ્યા
  - હાઈડ્રોજન પરમાણુના મોલની સંખ્યા
  - ઈથેનના અણુની સંખ્યા
- 1.11 જો 20 ગ્રામ ખાંડ ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ) પૂરતા પાણીમાં ઓગાળી અંતિમ કદ 2 L કરવામાં આવ્યું તો ખાંડની સાંદ્રતા  $mol\ L^{-1}$  માં ગણો.
- 1.12 જો મિથેનોલની ઘનતા  $0.793\ kg\ L^{-1}$  હોય તો તેનું 2.5 L 0.25 M દ્રાવણ બનાવવા માટે કેટલું કદ જોઈશે ?
- 1.13 એક ક્ષેત્રફળ ધરાવતી સપાટી પર લાગતા બળ વડે દબાણ નક્કી કરવામાં આવે છે. દબાણનો SI એકમ પાસ્કલ (Pascal- Pa) નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય :
- $$1Pa = 1N\ m^{-2}$$
- જો દરિયાની સપાટી પર હવાનું દળ  $1034\ g\ cm^{-2}$  હોય તો દબાણ પાસ્કલમાં ગણો.
- 1.14 દળનો SI એકમ શું છે ? તેને કેવી રીતે વ્યાખ્યાયિત કરવામાં આવે છે ?
- 1.15 નીચેના પૂર્વગોને તેમના ગુણક સાથે સરખાવો :
- | પૂર્વગ      | ગુણક       |
|-------------|------------|
| (i) માઈક્રો | $10^6$     |
| (ii) ડેકા   | $10^9$     |
| (iii) મેગા  | $10^{-6}$  |
| (iv) ગિગા   | $10^{-15}$ |
| (v) ફેમ્ટો  | 10         |
- 1.16 અર્થસૂચક અંક અંગે તમે શું સમજો છો ?
- 1.17 એક પીવાના પાણીનો નમૂનો ખરાબ રીતે ક્લોરોફોર્મ ( $CHCl_3$ ) વડે સંદૂષિત થયેલ છે.  $CHCl_3$  સ્વભાવે કેન્સરજન્ય છે. સંદૂષિતતાનું સ્તર (પ્રમાણ) 15 ppm (દળથી) હતું.
- આને દળ ટકામાં દર્શાવો.
  - પાણીના નમૂનામાં ક્લોરોફોર્મની મોલાલિટી ગણો.
- 1.18 નીચેનાને વૈજ્ઞાનિક સંકેતમાં દર્શાવો :
- 0.0048
  - 234,000
  - 8008
  - 500.0
  - 6.0012
- 1.19 નીચેનામાં અર્થસૂચક અંક કેટલા છે ?
- 0.0025
  - 208
  - 5005
  - 126.000
  - 500.0
  - 2.0034

1.20 નીચેનાનું ત્રણ અર્થસૂચક અંક સુધી સંનિકટન કરો :

- (i) 34.216
- (ii) 10.4107
- (iii) 0.04597
- (iv) 2808

1.21 જ્યારે ડાયનાઈટ્રોજન અને ડાયઑક્સિજન એકબીજા સાથે પ્રક્રિયા કરે છે ત્યારે જુદા જુદા સંયોજનો બને છે. આની માહિતી નીચે પ્રમાણે મળેલ છે :

	ડાયનાઈટ્રોજનનું દળ	ડાયઑક્સિજનનું દળ
(i)	14 g	16 g
(ii)	14 g	32 g
(iii)	28 g	32 g
(iv)	28 g	80 g

(a) ઉપરની પ્રાયોગિક માહિતીમાં રાસાયણિક સંયોગીકરણનો કયો નિયમ પળાયો છે ? તેનું નિવેદન કરો.

(b) નીચેના પરિવર્તનો(રૂપાંતરણો)માં ખાલી જગ્યા પૂરો :

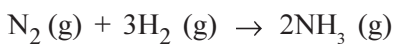
- (i) 1 km = ..... mm = ..... pm
- (ii) 1 mg = ..... kg = ..... ng
- (iii) 1 mL = ..... L = ..... dm<sup>3</sup>

1.22 જો પ્રકાશની ઝડપ (વેગ)  $3.0 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$  હોય તો 2.00 ns માં પ્રકાશે કાપેલું અંતર ગણો.

1.23 પ્રક્રિયા  $A + B_2 \rightarrow AB_2$  માં નીચેના પ્રક્રિયા મિશ્રણોમાં સીમિત પ્રક્રિયક હોય તો ઓળખી બતાવો :

- (i) Aના 300 પરમાણુ + Bના 200 અણુ
- (ii) 2 mol A + 3 mol B
- (iii) Aના 100 પરમાણુ + Bના 100 અણુ
- (iv) 5 mol A + 2.5 mol B
- (v) 2.5 mol A + 5 mol B

1.24 નીચેના રાસાયણિક સમીકરણ પ્રમાણે ડાયનાઈટ્રોજન અને ડાયહાઈડ્રોજન એકબીજા સાથે પ્રક્રિયા કરી એમોનિયા ઉત્પન્ન કરે છે :



- (i) જો  $2.00 \times 10^3 \text{ g}$  ડાયનાઈટ્રોજન  $1.00 \times 10^3 \text{ g}$  ડાયહાઈડ્રોજન સાથે પ્રક્રિયા કરે તો ઉત્પન્ન થતા એમોનિયાનું દળ ગણો.
- (ii) બન્ને પ્રક્રિયકોમાંથી કોઈ પણ પ્રક્રિયા પામ્યા વગર રહેશે ?
- (iii) જો હા, તો કયો પ્રક્રિયક અને તેનું દળ કેટલું હશે ?

1.25 0.50 mol  $Na_2CO_3$  અને 0.50 M  $Na_2CO_3$  કેવી રીતે જુદા પડે છે ?

1.26 જો ડાયહાઈડ્રોજન વાયુના 10 કદ ડાયઑક્સિજન વાયુના 5 કદ સાથે પ્રક્રિયા કરે છે, તો પાણીની બાષ્પનું કેટલું કદ ઉત્પન્ન થશે ?

1.27 નીચેનાને પાયાના એકમોમાં ફેરવો :

- (i) 28.7 pm
- (ii) 15.15 pm
- (iii) 25365 mg

1.28 નીચેનામાંથી શેમાં સૌથી વધારે સંખ્યામાં પરમાણુઓ હશે ?

- (i) 1 g Au (s)
- (ii) 1 g Na (s)
- (iii) 1 g Li (s)
- (iv) 1 g Cl<sub>2</sub>(g)

1.29 એક દ્રાવણ જેમાં ઈથેનોલના મોલ અંશ 0.040 છે, તે દ્રાવણમાં ઈથેનોલની પાણીમાં મોલારિટી ગણો. (પાણીની ઘનતા એક છે તેમ ધારો.)

1.30 <sup>12</sup>C પરમાણુનું દળ g માં કેટલું હશે ?

1.31 નીચેની ગણતરીથી મળતા જવાબમાં કેટલા અર્થસૂચક અંક હશે ?

- (i)  $\frac{0.02856 \times 298.15 \times 0.112}{0.5785}$  (ii)  $5 \times 5.364$
- (iii)  $0.0125 + 0.7864 + 0.0215$

1.32 કુદરતી રીતે મળતા આર્ગોનનું મોલર દળ નીચેના કોષ્ટકમાં આપેલ માહિતી પરથી ગણો :

સમસ્થાનિક	સમસ્થાનિકીય મોલર દળ	પ્રચુરતા
<sup>36</sup> Ar	35.96755 g mol <sup>-1</sup>	0.337%
<sup>38</sup> Ar	37.96272 g mol <sup>-1</sup>	0.063%
<sup>40</sup> Ar	39.9624 g mol <sup>-1</sup>	99.600%

1.33 નીચેનામાંના દરેકમાં પરમાણુની સંખ્યા ગણો :

- (i) Arના 52 મોલ (ii) Heના 52 u (iii) Heના 52 g

1.34 એક વેલ્ડિંગ કરવાનો બળતણ વાયુ કાર્બન અને હાઈડ્રોજન ધરાવે છે. તેના થોડા પ્રમાણને ઓક્સિજનની હાજરીમાં બાળતા 3.38 g કાર્બન ડાયોક્સાઈડ, 0.690 g પાણી આપે છે અને અન્ય કોઈ નીપજ આપતું નથી. આ વેલ્ડિંગ વાયુનું 10.0 L કદ (STP એ માપન કરેલ) 11.6 g વજન દર્શાવે છે. ગણતરી કરો :

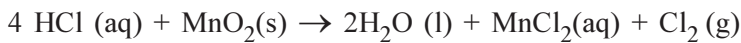
- (i) પ્રમાણસૂચક સૂત્ર (ii) વાયુનું મોલર દળ (iii) આણ્વીય સૂત્ર

1.35 કેલ્શિયમ કાર્બોનેટ જલીય HCl સાથે પ્રક્રિયા કરે છે અને નીચેની પ્રક્રિયા પ્રમાણે CaCl<sub>2</sub> અને CO<sub>2</sub> આપે છે :



25 mL 0.75 M HCl સાથે સંપૂર્ણ રીતે પ્રક્રિયા કરવા માટે CaCO<sub>3</sub>નું કેટલું દળ જોઈશે ?

1.36 પ્રયોગશાળામાં મેંગેનીઝ ડાયોક્સાઈડ(MnO<sub>2</sub>)ની જલીય હાઈડ્રોક્લોરિક એસિડ સાથે નીચે પ્રમાણે પ્રક્રિયા કરી ક્લોરિન બનાવવામાં આવે છે :



5.0 g મેંગેનીઝ ડાયોક્સાઈડ સાથે HClના કેટલા ગ્રામ પ્રક્રિયા કરશે ?

## પરમાણુનું બંધારણ (Structure of Atom)

### હેતુઓ :

આ એકમના અભ્યાસ પછી તમે...

- ઈલેક્ટ્રોન, પ્રોટોન અને ન્યુટ્રોન વિશેની શોધ અને લાક્ષણિકતાઓ જાણશો.
- થોમસન, રૂથરફોર્ડ અને બોહ્રના પરમાણુ નમૂના (model)નું વર્ણન કરી શકશો.
- પરમાણુના ક્વોન્ટમ યાંત્રિકી નમૂનાની અગત્યની ખાસિયતો સમજી શકશો.
- વિદ્યુતચુંબકીય વિકિરણની પ્રકૃતિ અને પ્લાન્કના ક્વોન્ટમવાદને સમજી શકશો.
- ફોટોઈલેક્ટ્રિક અસર અને પરમાણ્વીય વર્ણપટની ખાસિયતો સમજાવી શકશો.
- દ-બ્રોગલીનો દ્વૈતવાદનો નિયમ અને હાઈઝનબર્ગનો અનિશ્ચિતતાનો સિદ્ધાંત નિવેદિત કરી શકશો.
- પરમાણ્વીય કક્ષકોને ક્વોન્ટમ આંકના સંદર્ભમાં વ્યાખ્યાયિત કરી શકશો.
- આઉફ-બાઉ સિદ્ધાંત, પૌલીનો નિષેધ(બાકાત)નો સિદ્ધાંત અને હુન્ડનો મહત્તમ ગુણકતા (બ્રમણ)ના નિયમોનું નિવેદન કરી શકશો.
- પરમાણુઓની ઈલેક્ટ્રોનીય રચના લખી શકશો.

“જુદા જુદા તત્વોની રાસાયણિક વર્તણૂકની સમૃદ્ધ વિવિધતાને આ તત્વોમાંના પરમાણુઓના આંતરિક બંધારણ સાથે આરેખી શકાય.”

પરમાણુઓનું અસ્તિત્વ ભારતીય અને ગ્રીક તત્ત્વજ્ઞાનીઓ (ઈ.સ. પૂર્વે 400)એ પ્રતિપાદિત કરેલ છે. તેઓ એ મતના હતા કે પરમાણુઓ દ્રવ્યના પાયાના ઘટક (block) છે. તેઓના મત પ્રમાણે દ્રવ્યનું સતત વિભાજન કરતા જઈએ તો અંતે પરમાણુઓ મળશે જેનું વધુ વિભાજન થઈ શકતું નથી. પરમાણુ-Atom શબ્દ ગ્રીક શબ્દ ‘a-tomio’ પરથી ઉતરી આવેલો છે. આ ગ્રીક શબ્દનો અર્થ કાપી શકાય નહિ કે વિભાજિત કરી શકાય નહિ તેવો થાય છે. આ પૂર્વ વિચારો માત્ર એક અડસટ્ટો (speculation) જ હતો અને તેની પ્રાયોગિક રીતે પરખ થઈ શકે તેમ ન હતી. આ વિચારો ઘણા લાંબા સમય સુધી પ્રસુપ્ત (dormant) રહ્યા અને ઓગણીસમી સદીમાં તેને પુનર્જીવિત કરાયા.

દ્રવ્યનો પરમાણ્વીય સિદ્ધાંત બ્રિટિશ શાળાના શિક્ષક જહોન ડાલ્ટને 1908માં વૈજ્ઞાનિક આધારો પર રજૂ કર્યો. તેનો સિદ્ધાંત ડાલ્ટનનો પરમાણ્વીય સિદ્ધાંત કહેવાય છે અને પરમાણુને દ્રવ્યના અંતિમ કણ તરીકે ગણવામાં આવ્યા (એકમ 1).

આ એકમમાં આપણે ઓગણીસમી સદીના અંતમાં અને વીસમી સદીની શરૂઆતમાં વૈજ્ઞાનિકોએ કરેલા પ્રાયોગિક અવલોકનોથી શરૂઆત કરીશું. આમાંથી એ પ્રસ્થાપિત થયું કે પરમાણુનું વધુ વિભાજન થઈ શકે છે અને અવપરમાણ્વીય (sub-atomic) કણો એટલે કે ઈલેક્ટ્રોન, પ્રોટોન અને ન્યુટ્રોનમાં વિભાજિત કરી શકાય છે. આ ખ્યાલ ડાલ્ટનના સિદ્ધાંતથી તદ્દન અલગ પડતો હતો. વૈજ્ઞાનિકો સમક્ષ તે સમયે જે મોટી સમસ્યાઓ હતી તે નીચે પ્રમાણે હતી :

- અવપરમાણ્વીય કણોની શોધ પછી પણ પરમાણુની સ્થાયીતા સમજાવવી.
- એક તત્ત્વની બીજા તત્ત્વ સાથેની વર્તણૂકની સરખામણી ભૌતિક અને રાસાયણિક ગુણધર્મોના સંદર્ભમાં કરવી.

- જુદા જુદા પરમાણુઓના સંયોગીકરણથી બનતા જુદા જુદા અણુઓના સર્જનની સમજણ આપવી.
- પરમાણુ દ્વારા શોષાતા કે ઉત્સર્જન પામતાં વિદ્યુતચુંબકીય વિકિરણની લાક્ષણિકતાનો સ્વભાવ અને ઉદ્ભવને સમજવા.

## 2.1 અવપરમાણ્વીય કણો (Subatomic Particles)

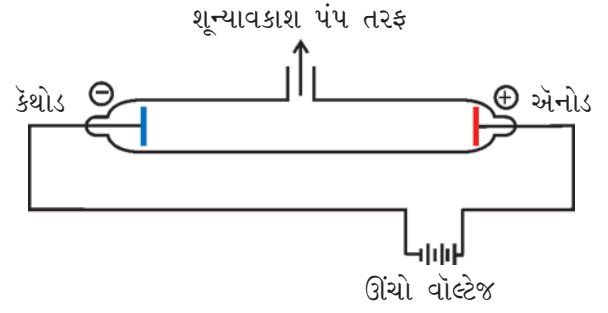
ડાલ્ટનનો પરમાણ્વીય સિદ્ધાંત, દળ સંચયનો નિયમ, નિશ્ચિત પ્રમાણનો નિયમ અને ગુણક પ્રમાણનો નિયમ સફળતાપૂર્વક સમજાવી શક્યો હતો. તેમ છતાં પણ તે ઘણા પ્રયોગોના પરિણામોને સમજાવવામાં નિષ્ફળ નીવડ્યો. ઉદાહરણ તરીકે એ જાણીતું હતું કે કાચ અથવા ઓબોનાઈટને જ્યારે રેશમ અથવા રૂવાંટીવાળા ચામડાં (fur) સાથે ઘસવામાં આવે છે ત્યારે વિદ્યુત ઉત્પન્ન થાય છે. વીસમી સદીમાં જુદા જુદા પ્રકારના ઘણા અવપરમાણ્વીય કણો શોધાયાં છે. આ વિભાગમાં આપણે બે જ કણો ઇલેક્ટ્રોન અને પ્રોટોન વિશે વાત કરીશું.

### 2.1.1 ઇલેક્ટ્રોનની શોધ (Discovery of Electron)

1830માં માઈકલ ફેરાડે (Faraday)એ દર્શાવ્યું કે જ્યારે વિદ્યુતવિભાજનના દ્રાવણમાંથી વિદ્યુતપ્રવાહ પસાર કરવામાં આવે છે ત્યારે વિદ્યુતધ્રુવો પર રાસાયણિક પ્રક્રિયા થાય છે. જેને પરિણામે વિદ્યુતધ્રુવો પર દ્રવ્ય જમા થાય છે. તેમણે કેટલાક નિયમો દર્શાવ્યા જેનો અભ્યાસ તમે ધોરણ 12માં કરશો. આ પરિણામો પરથી એ સૂચન થઈ શક્યું કે વિદ્યુત પણ કણ સ્વભાવ ધરાવે છે.

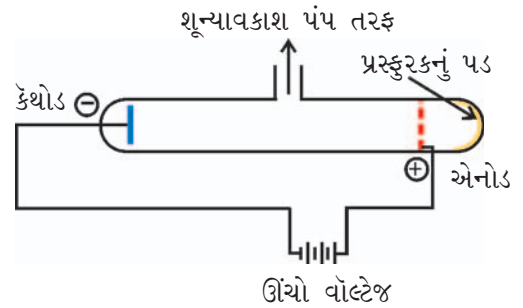
વાયુઓના વિદ્યુતવિભારના પ્રયોગો પરથી પરમાણુના બંધારણની ભીતરમાં નજર કરી શકાઈ. આ પરિણામોની ચર્ચા કરતાં પહેલાં આપણે વીજભારિત કણોની વર્તણૂક વિશેનો પાયાનો નિયમ ધ્યાનમાં રાખવો પડશે. “સમાન વીજભાર એકબીજાને અપાકર્ષે છે અને અસમાન વીજભાર એકબીજાને આકર્ષે છે.”

1850ની આસપાસમાં ઘણા વૈજ્ઞાનિકો અને ખાસ કરીને માઈકલ ફેરાડેએ શૂન્યાવકાશ નળીમાંથી વિદ્યુતવિભારનો અભ્યાસ શરૂ કર્યો. આવી નળીઓ **કેથોડ કિરણ વિભાર નળીઓ** તરીકે ઓળખાય છે. તેનું ચિત્રણ આકૃતિ 2.1માં દર્શાવેલ છે. કેથોડ કિરણ નળી કાચની બનેલી હોય છે. જેમાં ધાતુના બે પાતળા ટુકડા હોય છે તેને વિદ્યુતધ્રુવ કહે છે. તે સીલ (seal) કરી દીધેલા હોય છે. વાયુઓમાંથી વિદ્યુતવિભાર માત્ર ખૂબ નીચા દબાણે અને ઘણા ઊંચા વોલ્ટેજે અવલોકી શકાય છે. જુદા જુદા વાયુઓના દબાણ શૂન્યાવકાશ કરતાં જઈને મેળવી શકાય છે. પૂરતું ઊંચું વીજ દબાણ વિદ્યુતધ્રુવોની વચ્ચે



આકૃતિ 2.1(a) કેથોડ કિરણ વિભાર નળી

દાખલ કરવામાં આવે છે ત્યારે પ્રવાહ વહેવા માંડે છે. આ કણોનો પ્રવાહ ઋણવિદ્યુત ધ્રુવ (કેથોડ) તરફથી ધન વિદ્યુતધ્રુવ (એનોડ) તરફ વહેવા માંડે છે. આને **કેથોડ કિરણો** અથવા **કેથોડ કિરણ કણો** કહેવામાં આવ્યા. કેથોડથી એનોડ તરફના પ્રવાહની આગળ ઉપર તપાસ કરવા માટે એનોડમાં એક છિદ્ર પાડી એનોડ પાછળ નળી પર ઝિંક સલ્ફાઈડ જેવા સ્ફુરદીપ્તનું (Phosphorescent) પડ ચઢાવી દેવાયું. જ્યારે કિરણો એનોડમાંથી પસાર થઈ ઝિંક સલ્ફાઈડવાળા પ્રસ્ફુરકને અથડાયાં ત્યારે ચઢાવેલા પડ પર એક તેજસ્વી ધબ્બો (spot) વિકસી આવ્યો (આવું જ ટેલિવિઝન સેટમાં થાય છે.) આકૃતિ 2.1(b).



આકૃતિ 2.1(b) કેથોડ કિરણ વિભાર નળી

છિદ્રવાળા એનોડ સાથે

આ પ્રયોગોના પરિણામોનો સારાંશ નીચે મુજબ છે :

- કેથોડ કિરણો કેથોડથી શરૂ થાય છે અને એનોડ તરફ ખસે છે.
- આ કિરણો પોતે દૃશ્યમાન નથી, પરંતુ તેમની વર્તણૂક અમુક પ્રકારના પદાર્થની મદદથી જાણી શકાય છે. આ સ્ફુરદીપ્ત (Phosphorescent) અથવા પ્રસ્ફુરણ (fluorescent) પદાર્થ પર જ્યારે આ કિરણો અથડાય છે ત્યારે પદાર્થ ચળકે છે. ટેલિવિઝન પિક્ચર ટ્યૂબ કેથોડ કિરણની ટ્યૂબ હોય છે અને ટીવીના પડદા (screen) પર લગાડેલ સ્ફુરદીપ્ત અથવા પ્રસ્ફુરણ પદાર્થને લીધે ટેલિવિઝનમાં ચિત્ર દેખાય છે.

- (iii) વિદ્યુતીય અથવા ચુંબકીય ક્ષેત્રની ગેરહાજરીમાં આ કિરણો સીધી લીટીમાં ગમન કરે છે (આકૃતિ 2.2).
- (iv) વિદ્યુતીય અથવા ચુંબકીય ક્ષેત્રની હાજરીમાં કેથોડ કિરણોની વર્તણૂક ઋણ વીજભાર ધરાવતા કણો જેવી હોય છે. આ સૂચવે છે કે કેથોડ કિરણો ઋણ વીજભાર ધરાવતાં કણો છે. જેને ઈલેક્ટ્રોન કહેવામાં આવે છે.
- (v) કેથોડ કિરણોની લાક્ષણિકતા વિદ્યુતધ્રુવોના પદાર્થો પર અને કેથોડ કિરણ નળીમાં રહેલા વાયુના સ્વભાવ પર આધાર રાખતી નથી. આથી આપણે એમ તારણ કરી શકીએ કે ઈલેક્ટ્રોન બધા જ પ્રકારના પરમાણુઓના પાયાના ઘટક કણો છે.

### 2.1.2 ઈલેક્ટ્રોનનો વીજભાર અને દળનો ગુણોત્તર (Charge to Mass Ratio of Electron)

1897માં બ્રિટિશ ભૌતિકશાસ્ત્રી જે. જે. થોમસને (J. J. Thomson) ઈલેક્ટ્રોનના વીજભાર ( $e$ ) અને ઈલેક્ટ્રોનના દળ ( $m_e$ )ના ગુણોત્તરનું માપન કર્યું. આ માટે કેથોડ કિરણ નળીનો ઉપયોગ કર્યો અને વિદ્યુતીય અને ચુંબકીય ક્ષેત્રને એકબીજાને લંબદિશામાં અને ઈલેક્ટ્રોનના માર્ગ પર લાગુ પાડી નક્કી કરેલ હતું (આકૃતિ 2.2). થોમસને દલીલ કરી કે વિદ્યુતીય અથવા ચુંબકીય ક્ષેત્રની હાજરીમાં કણોના તેમના માર્ગમાંથી વિચલનની માત્રા નીચેની બાબતો પર આધાર રાખે છે.

- (i) કણો પરના ઋણવીજભાર પર; કણો પરના વીજભારની માત્રા જેટલી વધારે તેટલી વધારે વિદ્યુતીય અથવા ચુંબકીય ક્ષેત્રની પારસ્પરિક ક્રિયા અને તેથી વધારે વિચલન.

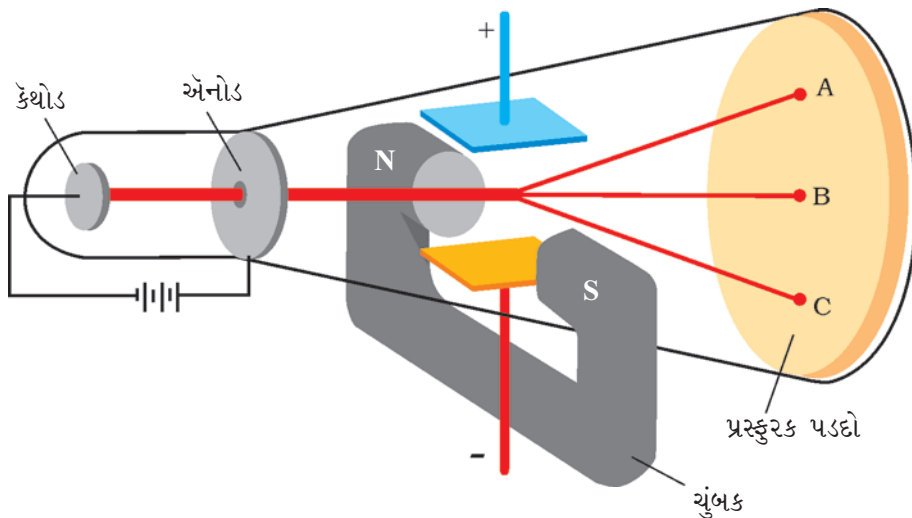
- (ii) કણોનું દળ – કણો જેટલાં હલકા તેટલું વધુ વિચલન.

- (iii) વિદ્યુતીય અથવા ચુંબકીય ક્ષેત્રના બળ પર – મૂળ પથમાંથી ઈલેક્ટ્રોનનું વિચલન વિદ્યુતધ્રુવો વચ્ચેના વોલ્ટેજના વધારા સાથે વધે છે અથવા ચુંબકીય ક્ષેત્રની પ્રબળતા સાથે પણ વધે છે.

જ્યારે માત્ર વિદ્યુતીય ક્ષેત્ર લાગુ પાડવામાં આવે છે ત્યારે ઈલેક્ટ્રોન તેના મૂળ પથમાંથી વિચલિત થાય છે અને કેથોડ કિરણ નળીમાં બિંદુ A આગળ અથડાય છે. તે જ પ્રમાણે જ્યારે માત્ર ચુંબકીય ક્ષેત્ર લાગુ પાડવામાં આવે છે, ત્યારે કેથોડ કિરણો નળીમાં બિંદુ C પર અથડાય છે. વિદ્યુતીય અને ચુંબકીય ક્ષેત્રોની પ્રબળતાને કાળજીપૂર્વક સમતોલિત કરવામાં આવે તો કેથોડ કિરણો આ બંને ક્ષેત્રોની ગેરહાજરીમાં જે પથ પર જતા હતા તે પથ પર જાય છે અને તે કેથોડ કિરણ નળીમાં બિંદુ B પર અથડાય છે. વિદ્યુતીય ક્ષેત્ર અથવા ચુંબકીય ક્ષેત્રની પ્રબળતા પૈકી કોઈ પણ એકની હાજરીમાં ઈલેક્ટ્રોન વિચલનની માત્રાનું ચોકસાઈપૂર્વક માપન કરીને થોમસન  $e/m_e$  ગુણોત્તર નક્કી કરી શકેલા જે નીચે પ્રમાણે છે :

$$e/m_e = 1.758820 \times 10^{11} \text{ Ckg}^{-1} \quad (2.1)$$

જ્યાં,  $m_e$  ઈલેક્ટ્રોનનું દળ kg એકમમાં છે અને  $e$  ઈલેક્ટ્રોન પરના વીજભારની માત્રા કુલમ્બ (C)માં છે. ઈલેક્ટ્રોન ઋણ વીજભાર ધરાવતા હોવાથી ઈલેક્ટ્રોન પર વીજભાર ઋણ હોય છે એટલે કે  $-e$ .



આકૃતિ 2.2 ઈલેક્ટ્રોનના વીજભાર અને દળનો ગુણોત્તર નક્કી કરવાનું સાધન

### 2.1.3 ઇલેક્ટ્રોન પરનો વીજભાર (Charge on the Electron)

આર. એ. મિલિકને (Milikan)(1868-1953) ઇલેક્ટ્રોનનો વીજભાર નક્કી કરવા માટે એક પદ્ધતિ વિકસાવી (1906-'14) જે તેલ બિંદુ પદ્ધતિ (oil drop method) તરીકે જાણીતી છે. તેને માલૂમ પડ્યું કે ઇલેક્ટ્રોન પરનો વીજભાર  $-1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$  છે. હાલમાં સ્વીકારાયેલ મૂલ્ય  $-1.6022 \times 10^{-19} \text{ C}$  છે. થોમસનના નક્કી કરેલા  $e/m_e$  ગુણોત્તરને આ પરિણામો સાથે જોડતાં ઇલેક્ટ્રોનનું દળ નક્કી કરી શકાયું હતું.

$$m_e = \frac{e}{e/m_e} = \frac{1.6022 \times 10^{-19} \text{ C}}{1.758820 \times 10^{11} \text{ C kg}^{-1}} = 9.1094 \times 10^{-31} \text{ kg} \quad (2.2)$$

### 2.1.4 પ્રોટોન અને ન્યુટ્રોનની શોધ (Discovery of Protons and Neutrons)

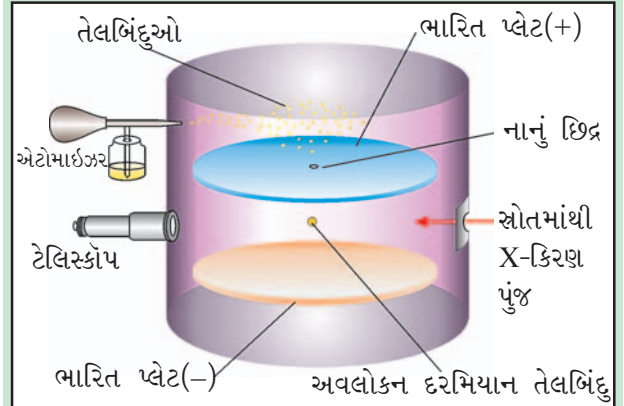
ફેરફારવાળી કેથોડ કિરણ નળીમાં વિદ્યુતવિભાર કરતાં ધન વીજભાર ધરાવતા કણોની શોધ થઈ હતી. તેમને કેનાલ (canal) કિરણો તરીકે ઓળખવામાં આવ્યા હતા. આ ધનવીજભાર ધરાવતા કણોની લાક્ષણિકતાની યાદી નીચે પ્રમાણે છે :

- કેથોડ કિરણો કરતાં વિપરિત ધનવીજભારવાળા કણો કેથોડ નળીમાં હાજર રહેલા વાયુના સ્વભાવ પર આધાર રાખે છે. આ માત્ર સાદા ધનવીજભારિત વાયુમય આયનો છે.
- કણોના વીજભાર અને દળનો ગુણોત્તર વાયુ કે જેમાંથી તે ઉદ્ભવે છે તેના પર આધાર રાખે છે.
- કેટલાક ધનવીજભારિત કણો વિદ્યુતભારના મૂળભૂત એકમના ગુણક જેટલો ધન વીજભાર ધરાવે છે.
- ચુંબકીય અથવા વિદ્યુતીય ક્ષેત્રોની હાજરીમાં આ કણોની વર્તણૂક ઇલેક્ટ્રોન અથવા કેથોડ કિરણો કરતાં તદ્દન વિપરિત (opposite) છે.

સૌથી નાનો અને હલકો ધન આયન હાઈડ્રોજનમાંથી મેળવાયો હતો અને તેને પ્રોટોન કહે છે. આ ધન વીજભારિત કણ 1919માં લાક્ષણિક તરીકે દર્શાવાયો હતો. ત્યારબાદ એવું લાગવા માંડ્યું હતું કે તેમાં વિદ્યુતીય રીતે તટસ્થ કણો પણ હોવા જોઈએ, જેની પરમાણુના સંગઠનમાં જરૂરિયાત હોય. આ કણો ચેડવિકે (Chadwick) (1932) બેરિલિયમના પાતળા પતરા પર આઢ્કા કણોનો મારો (bombarding) ચલાવીને શોધેલા. આ વિદ્યુતીય રીતે તટસ્થ કણો જેમનું દળ ઉત્સર્જિત થયેલા પ્રોટોન કરતાં થોડું વધારે હતું. તેમણે આ કણોને ન્યુટ્રોન નામ આપ્યું. આ મૂળભૂત કણોના ગુણધર્મો કોષ્ટક 2.1માં આપેલ છે.

### મિલિકન તેલ બિંદુ પદ્ધતિ

વિદ્યુતીય સંઘટક(condenser)ની ઉપરની પ્લેટ (plate)માં કરેલા નાના છિદ્રમાંથી તેલના બિંદુઓ જે એટમાઈઝરની (પદાર્થને નાના નાના કણોમાં ફેરવવાનું સાધન) મદદથી ધુમ્મસરૂપે દાખલ કરવામાં આવેલા. આ તેલબિંદુનું નીચેની તરફનું ગમન માઈક્રોમીટર નેટ્રિકા (આઈપીસ) ધરાવતા ટેલિસ્કોપની મદદથી જોવામાં આવ્યું હતું. આ તેલબિંદુઓના નીચે તરફના પતનનો દર નક્કી કરીને મિલિકન (Millikan) તેલબિંદુનું દળ નક્કી કરી શક્યા. ચેમ્બરમાંની હવામાંથી ક્ષ-કિરણોના પુંજને પસાર કરીને આયનીકરણ કરવામાં આવ્યું હતું. આ તેલબિંદુઓ પરનો વિદ્યુતીય ભાર વાયુમય આયનો સાથે અથડામણથી પ્રાપ્ત થયો. આ ભારિત તેલબિંદુઓના પડવાનો દર ઓછો કરી શકાય. પ્રવેગિત કરી શકાય અથવા સ્થિર રાખી શકાય. આ તેલબિંદુ પરનો ભાર અને ધ્રુવીયતા તથા પ્લેટમાં લાગુ પાડેલ વોલ્ટેજની પ્રબળતાની તેલબિંદુની ગતિ પર વિદ્યુતીય ક્ષેત્રની અસર માપીને મિલિકને તારણ કાઢ્યું કે તેલબિંદુઓ પર ભાર વની માત્રા હંમેશાં વિદ્યુતીય ભાર  $e$ નો પૂર્ણ ગુણક છે. એટલે કે  $q = ne$ . જ્યાં  $n = 1, 2, 3, \dots$



**આકૃતિ 2.3** ભાર 'e' નક્કી કરવાની મિલિકન તેલબિંદુ સાધન. ચેમ્બરમાં (પાત્રમાં) તેલબિંદુ પર અસર કરતાં બળોમાં ગુરુત્વાકર્ષણીય, વિદ્યુતીય ક્ષેત્રને લીધે સ્થિરવિદ્યુતીય અને જ્યારે બિંદુ ખસે ત્યારે સ્નિગ્ધતાને લીધે ખેંચતું બળનો સમાવેશ થાય છે.

### 2.2 પરમાણ્વીય નમૂના (Atomic Models)

અગાઉના વિભાગોમાં વર્ણવેલા પ્રયોગોના મળેલા પરિણામોએ એવું સૂચન કર્યું કે ડાલ્ટનનો અવિભાજ્ય પરમાણુ, ધન અને ઋણ ભાર ધરાવતા અવપરમાણ્વીય કણોનો બનેલો છે. જુદા જુદા નમૂનાઓ પરમાણુમાં આ ભારિત કણો કેવી રીતે

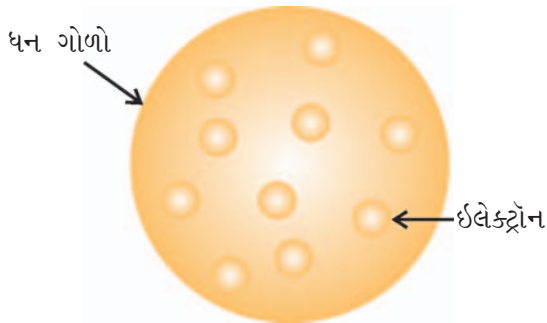
## કોષ્ટક 2.1 મૂળભૂત કણોના ગુણધર્મો

નામ	સંજ્ઞા	નિરપેક્ષ ભાર / C	સાપેક્ષ ભાર	દળ/kg	દળ/u	આશરે દળ/u
ઇલેક્ટ્રોન	e	$-1.6022 \times 10^{-19}$	-1	$9.10939 \times 10^{-31}$	0.00054	0
પ્રોટોન	p	$+1.6022 \times 10^{-19}$	+1	$1.67262 \times 10^{-27}$	1.00727	1
ન્યુટ્રોન	n	0	0	$1.67493 \times 10^{-27}$	1.00867	1

વહેંચાયેલા છે તે વિશે રજૂ કરવામાં આવ્યા. આમાંના ઘણા નમૂના પરમાણુની સ્થાયીતા સમજાવી શક્યા ન હતા. આમાંના બે નમૂના જે. જે. થોમસન (J. J. Thomson) અને અર્નેસ્ટ રૂથરફોર્ડ (Ernst Rutherford) નમૂનાની ચર્ચા નીચે કરવામાં આવી છે.

### 2.2.1 પરમાણુનો થોમસન નમૂનો (Thomson Model of Atom)

જે. જે. થોમસને 1898માં રજૂઆત કરી કે પરમાણુ ગોળાકાર આકાર ધરાવે છે (ત્રિજ્યા આશરે  $10^{-10}$  m). જેમાં ધનભાર એકસરખી રીતે બધે વહેંચાયેલો છે અને ઇલેક્ટ્રોન તેમાં એવી રીતે ગોઠવાઈ ગયા છે કે સૌથી વધુ સ્થાયી સ્થિર વિદ્યુતીય રચના આપે છે (આકૃતિ 2.4). આ નમૂનાને ઘણા જુદા જુદા નામો આપવામાં આવ્યા છે. જેમકે પ્લમ પુડિંગ, રાઈસન પુડિંગ અથવા વોટરમેલન (તડબૂચ).



આકૃતિ 2.4 પરમાણુનો થોમસન નમૂનો

આ નમૂનામાં પરમાણુના ધનભારને પુડિંગ કે તડબૂચ તરીકે કલ્પી શકીએ જેમાં પ્લમ અથવા બીજ (ઇલેક્ટ્રોન) પથરાયેલા છે. આ નમૂનાની એક અગત્યની બાબત એ હતી કે પરમાણુનું દળ એકસરખી રીતે બધે વહેંચાયેલું છે, તેમ ધારી શકાયું. આમ છતાં આ નમૂનો પરમાણુની એકંદરે તટસ્થતા સમજાવી શકતો પણ પાછળથી મેળવેલા પરિણામો સાથે સુસંગત ન હતો. જે. જે. થોમસનને 1906માં ભૌતિકવિજ્ઞાનમાં નોબેલ પારિતોષિક આપવામાં આવ્યું હતું. આ પારિતોષિક તેમના વાયુઓથી વિદ્યુતનું વહન થવા અંગેના સૈદ્ધાંતિક તેમજ પ્રાયોગિક સંશોધનોના કારણે આપવામાં આવ્યું હતું.

ઓગણીસમી સદીના પૂર્વાર્ધમાં અગાઉ જણાવ્યા ઉપરાંત જુદા પ્રકારના કિરણો શોધાયા હતા. વિલ્હેમ રોન્ટજન (Wilhelm Roentgen)(1845-1923)એ 1895માં દર્શાવ્યું કે કેથોડ કિરણ ઇલેક્ટ્રોન નળીમાં રહેલા પદાર્થ સાથે અથડાય છે ત્યારે તે કેથોડ નળીની બહાર ગોઠવેલા પ્રસ્ફુરણ પદાર્થોને પ્રસ્ફુરિત કરે છે. રોન્ટજનને આ વિકિરણનો સ્વભાવ ખબર ન હોવાથી તેનું નામ ક્ષ-કિરણો આપ્યું જે હજુ પણ વપરાય છે. એ નોંધવામાં આવ્યું કે જ્યારે ઇલેક્ટ્રોન ધાતુ એનોડ જેને લક્ષ્ય (target) કહે છે તેની સાથે અથડાય છે ત્યારે ક્ષ-કિરણો ઉદ્ભવે છે. આ કણો વિદ્યુતીય કે ચુંબકીય ક્ષેત્રથી વિચલિત થતાં નથી, પરંતુ તેમના પદાર્થમાં પસાર થવાની ભેદનશક્તિ (penetrating power) ઘણી ઊંચી છે. આ જ કારણને લીધે આ કિરણોનો ઉપયોગ વસ્તુના આંતરિક ભાગોનો અભ્યાસ કરવામાં થાય છે. આ કિરણો ઘણી ટૂંકી તરંગલંબાઈવાળા હોય છે ( $\sim 0.1$  nm) અને વિદ્યુતચુંબકીય ખાસિયત ધરાવે છે (વિભાગ 2.3.1).

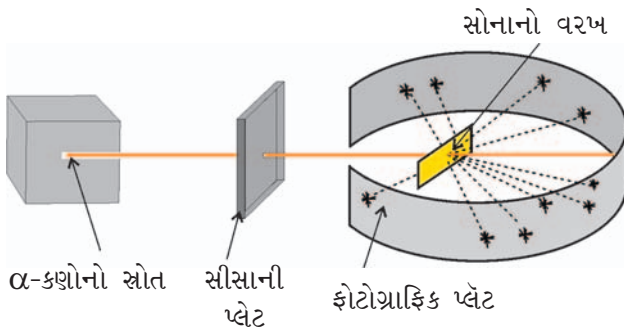
હેન્રી બેકવેરેલે (Henri Becquerel)(1852-1908) અવલોકિત કર્યું કે કેટલાક તત્ત્વો એવાં છે કે જે આપમેળે વિકિરણનું ઉત્સર્જન કરે છે. અને આ ઘટનાને રેડિયોસક્રિયતા કહી અને તે તત્ત્વોને રેડિયોસક્રિય તત્ત્વો કહ્યાં. આ ક્ષેત્રનો વિકાસ મેરી ક્યુરિ (Marie Curie), પીયરી ક્યુરિ (Piere Curie), રૂથરફોર્ડ, ફ્રેડરિક સોડીએ કરેલો. એવું અવલોકન કરવામાં આવેલું કે ત્રણ પ્રકારનાં - આલ્ફા ( $\alpha$ ), બીટા ( $\beta$ ) અને ગેમા ( $\gamma$ ) કિરણો ઉત્સર્જિત થાય છે. રૂથરફોર્ડ શોધ્યું કે  $\alpha$ -કિરણો ઊંચી ઊર્જા ધરાવતા કણો છે જે બે એકમ ધનભાર અને ચાર એકમ પરમાણ્વીય દળ ધરાવે છે. તેમણે સમાપન કર્યું કે  $\alpha$ -કણો હિલિયમ કેન્દ્ર છે, જ્યારે  $\alpha$ -કણો બે ઇલેક્ટ્રોન સાથે સંયોજાય છે. ત્યારે હિલિયમ વાયુ આપે છે.  $\beta$ -કિરણો ઋણ વીજભારિત



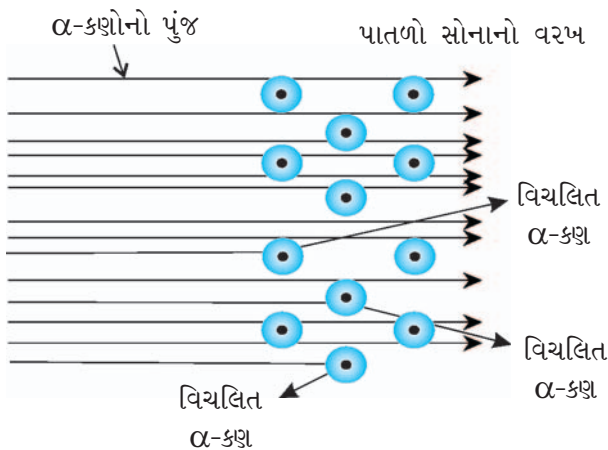
કણો છે અને ઈલેક્ટ્રોન જેવાં છે.  $\gamma$ -કિરણો, X-કિરણો જેવાં ઊંચી આવૃત્તિના વિકિરણ છે, સ્વભાવે તટસ્થ છે. અને કોઈ કણ ધરાવતા નથી. ભેદનશક્તિના સંદર્ભમાં  $\alpha$ -કણો સૌથી ઓછી, પછી  $\beta$ -કિરણો ( $\alpha$ -કણો કરતાં 100 ગણી) વધુ ભેદનશક્તિ અને  $\gamma$ -કિરણો ( $\alpha$ -કણોની ભેદનશક્તિ કરતાં) 1000 ગણી વધારે છે.

## 2.2.2 રૂથરફોર્ડનો પરમાણુનો કેન્દ્રિય નમૂનો (Rutherford's Nuclear Model of Atom)

રૂથરફોર્ડ અને તેમના વિદ્યાર્થીઓ હેન્સ ગાઈગર (Hans Geiger) અને અર્નેસ્ટ માર્સડન (Ernest Marsden) સોનાના ખૂબ પાતળા વરખ પર  $\alpha$ -કણોનો મારો ચલાવ્યો. ખૂબ જ જાણીતો રૂથરફોર્ડનો  $\alpha$ -કણ પ્રકીર્ણન પ્રયોગ આકૃતિ 2.5માં દર્શાવેલ છે.



### A. રૂથરફોર્ડનો પ્રકીર્ણન પ્રયોગ



### B. સોનાના વરખનું વ્યવસ્થિત આણ્વીય દૃશ્ય

**આકૃતિ 2.5** રૂથરફોર્ડના પ્રકીર્ણન પ્રયોગનું વ્યવસ્થિત દૃશ્ય. જ્યારે આલ્ફા ( $\alpha$ ) કણોનું પુંજ પાતળા સોનાના વરખ પર અથડાય છે ત્યારે તેમાંના મોટા ભાગના કણો વધુ અસર પામ્યા સિવાય પસાર થઈ જાય છે. કેટલાક વિચલન પામે છે.

સોનાની ધાતુના 100 nm જેટલી જાડાઈના પાતળા વરખ ઉપર રેડિયોસક્રિય સ્રોતમાંથી ઊંચી શક્તિ ધરાવતા  $\alpha$ -કણોના પ્રવાહનો મારો ચલાવ્યો. સોનાના આ પાતળા વરખને ફરતે વર્તુળાકાર પ્રસ્ફુરક ઝિંક સલ્ફાઈડનો પડદો લગાડેલો હતો, જ્યારે પણ  $\alpha$ -કણ આ પડદા પર અથડાય ત્યારે પ્રકાશનો નાનો ઝબકારો થતો હતો.

આ પ્રકીર્ણન પ્રયોગના પરિણામો તદ્દન બિનઅપેક્ષિત હતાં. થોમસનના પરમાણુના નમૂના પ્રમાણે સોનાના વરખમાં દરેક પરમાણુનું દળ સમગ્ર પરમાણુમાં સમાન રીતે પથરાયેલું હોવું જોઈએ અને  $\alpha$ -કણો એટલી જરૂરી ઊર્જા ધરાવે છે કે તે સમાન રીતે વહેંચાયેલા દળમાંથી પસાર થઈ શકે. અહીં એવી અપેક્ષા કરવામાં આવી હતી કે કણો ધીમા પડવા જોઈએ અને પતરામાંથી પસાર થતાં નાના સરખા ખૂણે દિશા બદલશે. એવું નોંધવામાં આવ્યું કે,

- મોટા ભાગના  $\alpha$ -કણો સોનાના વરખમાંથી વિચલન થયા વગર પસાર થયા.
- ખૂબ જ ઓછા પ્રમાણમાં  $\alpha$ -કણોનું બહુ નાના ખૂણાએ વિચલન થયું.
- ઘણા ઓછા  $\alpha$ -કણો (20,000માં ~1) અથડાઈને લગભગ 180°ના ખૂણે પાછા ફર્યા.

ઉપરના અવલોકનોના આધારે રૂથરફોર્ડ પરમાણુના નમૂના અંગે નીચે પ્રમાણેના તારણો કર્યા :

- મોટા ભાગના  $\alpha$ -કણો વિચલિત થયા વગર પસાર થઈ જવાથી પરમાણુમાંનો મોટો વિસ્તાર ખાલી હોવો જોઈએ.
- ધનભાર ધરાવતાં થોડા  $\alpha$ -કણો વિચલિત થયાં. આ વિચલન કોઈ ખૂબ જ મોટા અપાકર્ષણ બળને લીધે હોવું જોઈએ અને તેથી કહી શકાય કે ધનભાર પરમાણુમાં બધે જ પ્રસરેલો નથી જે થોમસનના નમૂનામાં સૂચવવામાં આવેલું. ધનભાર ખૂબ જ નાના કદમાં સંકેન્દ્રિત થયેલો હોવો જોઈએ જે આ  $\alpha$ -કણોનું અપાકર્ષણ અને વિચલન કરે છે.
- રૂથરફોર્ડે કરેલી ગણતરીઓ પરથી દર્શાવાયું કે કેન્દ્ર દ્વારા રોકાયેલું કદ પરમાણુના કુલ કદની સરખામણીમાં નહિવત્ છે. પરમાણુની ત્રિજ્યા આશરે  $10^{-10}$  m છે, જ્યારે કેન્દ્રની ત્રિજ્યા  $10^{-15}$  m છે. કદમાં જોવા મળતા આ તફાવતનો અનુભવ એ રીતે કરી શકાય કે જો કેન્દ્રને ક્રિકેટનો દડો માનીએ તો પરમાણુની ત્રિજ્યા આશરે 5 કિમી જેટલી હોય.

ઉપરના અવલોકનો અને તારણો પરથી રૂથરફોર્ડ પરમાણુનો કેન્દ્રિય નમૂનો (પ્રોટોનની શોધ પછી) સૂચવ્યો. આ નમૂના પ્રમાણે :

- પરમાણુનો ધનભાર અને પરમાણુનું મોટા ભાગનું દળ ખૂબ જ ગીચતાથી ઘણા નાના ભાગમાં સંકેન્દ્રિત થયેલું હતું. રૂથરફોર્ડ પરમાણુના આ ખૂબ જ નાના ભાગને કેન્દ્ર (nucleus) કહ્યું હતું.
- આ કેન્દ્રની આજુબાજુ રહેલા ઇલેક્ટ્રોન કેન્દ્રની આસપાસ અને ઘણી ઝડપથી વર્તુળાકાર પથમાં ઘૂમે છે જેને કક્ષાઓ કહી. આમ, રૂથરફોર્ડના પરમાણુ નમૂનાને સૌરમંડળ સાથે સરખાવી શકાય જેમાં પરમાણુ કેન્દ્રને સૂર્ય સાથે અને ઇલેક્ટ્રોનને ભ્રમણ કરતા ગ્રહો સાથે સરખાવી શકાય.
- ઇલેક્ટ્રોન અને કેન્દ્ર એકબીજાની સાથે સ્થિરવિદ્યુતીય આકર્ષણ બળોથી જોડાયેલા છે.

### 2.2.3 પરમાણ્વીય-ક્રમાંક અને દળ ક્રમાંક (Atomic Number and Mass Number)

કેન્દ્ર પરનો ધનભાર તેમાં રહેલા પ્રોટોનને કારણે છે. આગળ પ્રસ્થાપિત કર્યા પ્રમાણે પ્રોટોનનો ભાર ઇલેક્ટ્રોનના ભાર જેટલો પરંતુ તેનાથી વિરુદ્ધ છે. કેન્દ્રમાં રહેલા પ્રોટોનની સંખ્યા પરમાણ્વીય-ક્રમાંક (Z) બરાબર હોય છે. ઉદાહરણ તરીકે હાઈડ્રોજનના કેન્દ્રમાં 1 પ્રોટોન છે, સોડિયમના પરમાણુમાં 11 પ્રોટોન છે તેથી હાઈડ્રોજનનો પરમાણ્વીય-ક્રમાંક 1 અને સોડિયમનો પરમાણ્વીય-ક્રમાંક 11 છે. વિદ્યુતીય તટસ્થતા જાળવી રાખવા માટે તેનાં પ્રોટોનની સંખ્યા (પરમાણ્વીય-ક્રમાંક Z) જેટલા જ ઇલેક્ટ્રોન હોવા જોઈએ. ઉદાહરણ તરીકે હાઈડ્રોજન પરમાણુમાં અને સોડિયમ પરમાણુમાં અનુક્રમે 1 અને 11 ઇલેક્ટ્રોન હોવા જોઈએ.

$$\begin{aligned} \text{પરમાણ્વીય-ક્રમાંક (Z)} &= \text{પરમાણુના કેન્દ્રમાં રહેલા} \\ &\quad \text{પ્રોટોનની સંખ્યા} \\ &= \text{તટસ્થ પરમાણુમાં રહેલા} \\ &\quad \text{ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા} \end{aligned}$$

(2.3)

પ્રોટોનને કારણે જ કેન્દ્રનો ધનભાર હોવાથી કેન્દ્રનું દળ પ્રોટોન અને ન્યુટ્રોનના દળને લીધે જ હોવું જોઈએ. અગાઉ નોંધ્યા પ્રમાણે કેન્દ્રમાં રહેલ પ્રોટોન અને ન્યુટ્રોનને સંયુક્ત રીતે ન્યુક્લિઓન્સ (Nucleons) તરીકે ઓળખવામાં આવે છે. ન્યુક્લિઓનની કુલ સંખ્યા પરમાણુનો દળ-ક્રમાંક (A) કહેવાય છે.

$$\begin{aligned} \text{દળક્રમાંક (A)} &= \text{પ્રોટોનની સંખ્યા (Z)} + \\ &\quad \text{ન્યુટ્રોનની સંખ્યા (n)} \end{aligned} \quad (2.4)$$

### 2.2.4 સમભારિકો અને સમસ્થાનિકો (Isobars and Isotopes)

કોઈ પણ પરમાણુનું સંઘટન સામાન્ય તત્ત્વની સંજ્ઞા X અને તેના ઉપર ડાબી બાજુએ મૂર્ધક (superscript) તરીકે પરમાણ્વીયદળ ક્રમાંક (A) અને પાદાંક (subscript) તરીકે ડાબી બાજુએ નીચે પરમાણ્વીય-ક્રમાંક (Z) (એટલે કે  ${}^A_ZX$  તરીકે) દર્શાવાય છે.

સમભારિકો એટલે સરખા દળક્રમાંક પરંતુ જુદા જુદા પરમાણ્વીય-ક્રમાંક ધરાવતા પરમાણુઓ. ઉદાહરણ તરીકે  ${}^{14}_6\text{C}$ ,  ${}^{14}_7\text{N}$ . સમાન પરમાણ્વીય-ક્રમાંક અને જુદા જુદા દળક્રમાંક ધરાવતા પરમાણુઓને સમસ્થાનિકો કહે છે. બીજા શબ્દોમાં કહીએ તો (સમીકરણ 2.4 પ્રમાણે) એ સ્પષ્ટ થાય છે કે સમસ્થાનિકો વચ્ચેનો આ તફાવત કેન્દ્રમાં રહેલા ન્યુટ્રોનની જુદી જુદી સંખ્યાને લીધે છે. ઉદાહરણ તરીકે લઈએ તો હાઈડ્રોજન પરમાણુઓમાંના 99.985 % હાઈડ્રોજન પરમાણુ માત્ર 1 પ્રોટોન ધરાવે છે. આ સમસ્થાનિકને પ્રોટિયમ ( ${}^1_1\text{H}$ ) કહે છે. બાકીના ટકામાં બે અન્ય સમસ્થાનિક જેમાં 1 પ્રોટોન અને 1 ન્યુટ્રોન ધરાવે છે. તેને ડ્યુટેરિયમ ( ${}^2_1\text{D}$  0.015 %) અને અન્ય જે 1 પ્રોટોન અને 2 ન્યુટ્રોન ધરાવે છે તેને ટ્રિટિયમ ( ${}^3_1\text{T}$ ) કહે છે. ટ્રિટિયમ પૃથ્વીમાં અલ્પમાત્રામાં મળી આવે છે. સામાન્ય રીતે મળી આવતા અન્ય સમસ્થાનિકોના ઉદાહરણમાં કાર્બન પરમાણુ છે. જે 6 પ્રોટોન ઉપરાંત 6, 7 અને 8 ન્યુટ્રોન ધરાવે છે ( ${}^{12}_6\text{C}$ ,  ${}^{13}_6\text{C}$ ,  ${}^{14}_6\text{C}$ ). ક્લોરિનના સમસ્થાનિક 17 પ્રોટોન ઉપરાંત 18 અને 20 ન્યુટ્રોન ધરાવે છે ( ${}^{35}_{17}\text{Cl}$ ,  ${}^{37}_{17}\text{Cl}$ ).

સમસ્થાનિકો અંગે એક અગત્યનો મુદ્દો નોંધવા જેવો છે. પરમાણુના રાસાયણિક ગુણધર્મો પરમાણુમાં રહેલા ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યાથી નિયંત્રિત થાય છે અને આ ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા પ્રોટોનની સંખ્યા પરથી નક્કી થાય છે. તત્ત્વના રાસાયણિક ગુણધર્મો પર કેન્દ્રમાં રહેલા ન્યુટ્રોનની સંખ્યાની અસર ખૂબ જ ઓછી હોય છે. આથી જ આપેલ તત્ત્વના બધા જ સમસ્થાનિકો સમાન રાસાયણિક ગુણધર્મો દર્શાવે છે.

**કોયડો 2.1**

$^{80}_{35}\text{Br}$  માં પ્રોટોન, ન્યુટ્રોન અને ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા ગણો.

ઉકેલ :

$^{80}_{35}\text{Br}$  માં  $Z = 35$ ,  $A = 80$  અને સ્પીસિઝ તટસ્થ છે. તેથી પ્રોટોનની સંખ્યા = ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા =  $Z = 35$ . ન્યુટ્રોનની સંખ્યા =  $80 - 35 = 45$  (સમીકરણ 2.4)

**કોયડો 2.2**

એક સ્પીસિઝમાં ઇલેક્ટ્રોન, પ્રોટોન અને ન્યુટ્રોનની સંખ્યા અનુક્રમે 18, 16 અને 16 છે. આ સ્પીસિઝની સંજ્ઞા દર્શાવો.

ઉકેલ :

પરમાણ્વીય-ક્રમાંક પ્રોટોનની સંખ્યા બરાબર = 16. આથી આ તત્ત્વ સલ્ફર (S) છે. પરમાણ્વીય દળક્રમાંક = પ્રોટોનની સંખ્યા + ન્યુટ્રોનની સંખ્યા =  $16 + 16 = 32$ .

સ્પીસિઝ તટસ્થ નથી કારણ કે પ્રોટોનની સંખ્યા અને ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા સરખી નથી. તે ઋણાયન છે. (ઋણ ભાર દર્શાવે છે) જેનો ભાર ઇલેક્ટ્રોનની વધારાની સંખ્યા  $18 - 16 = 2$  થશે. આથી સ્પીસિઝની સંજ્ઞા  $^{32}_{16}\text{S}^{2-}$  થશે.

**નોંધ :**  $^A_Z\text{X}$  સંકેતનો ઉપયોગ કરતાં પહેલાં શોધી કાઢો કે સ્પીસિઝ તટસ્થ પરમાણુ છે કે ધનાયન કે ઋણાયન. જો તે તટસ્થ હોય તો સમીકરણ (2.3) વાજબી ગણાશે એટલે કે પ્રોટોનની સંખ્યા ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા = પરમાણ્વીય-ક્રમાંક. જો સ્પીસિઝ આયન હોય તો નક્કી કરો કે પ્રોટોનની સંખ્યા = ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યાથી વધારે છે (ધનાયન - ધનભાર ધરાવતો આયન) અથવા પ્રોટોનની સંખ્યા ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યાથી ઓછી છે. (ઋણાયન - ઋણ ભાર ધરાવતો આયન.) ન્યુટ્રોનની સંખ્યા હંમેશાં  $A - Z$  થી અપાય છે, પછી તે સ્પીસિઝ તટસ્થ હોય કે આયન તરીકે હોય.

**2.2.5 રૂથરફોર્ડ નમૂનાની ખામીઓ (Drawbacks of Rutherford Model)**

રૂથરફોર્ડનો નમૂનો નાના પાયા પર સૂર્યમંડળ (ગ્રહોની ગોઠવણી) જેવો છે. જેમાં કેન્દ્ર દળદાર સૂર્યનો ભાગ

ભજવે છે અને ઇલેક્ટ્રોન બીજા હલકા ગ્રહોની જેમ છે. આ ઉપરાંત કુલમ્બ બળો ( $Kq_1q_2/r^2$ ) જ્યાં  $q_1$  અને  $q_2$  ભાર છે અને  $r$  ભારને અલગ કરતું અંતર છે.  $K$  ઇલેક્ટ્રોન અને કેન્દ્ર વચ્ચેનો સમપ્રમાણતા અચળાંક છે. ગાણિતીય રીતે તે ગુરુત્વાકર્ષણ બળ ( $G \frac{m_1m_2}{r^2}$ ) જ્યાં  $m_1$  અને  $m_2$  દળ છે તથા  $r$  દળના અલગીકરણનું અંતર છે.  $G$  ગુરુત્વાકર્ષણ અચળાંક છે.\* જો ચિરસંમત (classical) યંત્રશાસ્ત્ર સૂર્યમંડળને લાગુ પાડીએ તો તે દર્શાવે છે કે ગ્રહો સૂર્યની આજુબાજુ સ્પષ્ટ રીતે વ્યાખ્યાયિત કરેલી કક્ષાઓમાં ધૂમે છે. આ સિદ્ધાંતથી ચોકસાઈપૂર્વક ગ્રહીય કક્ષાઓની ગણતરી કરી શકાય. આ ગણતરી પ્રાયોગિક માપન સાથે સુસંગત છે. સૂર્યમંડળ અને કેન્દ્રિય નમૂના વચ્ચે સરખામણી કરીએ તો કહી શકીએ કે ઇલેક્ટ્રોન કેન્દ્રની આજુબાજુ નિશ્ચિત કક્ષામાં ધૂમતા હોવા જોઈએ, જ્યારે કોઈ પદાર્થ કક્ષામાં ધૂમે છે ત્યારે તે પ્રવેગિત થાય છે. (જો પદાર્થ અચળ ગતિથી કક્ષામાં ધૂમતો હોય તો પણ દિશા બદલવાના કારણે પ્રવેગિત થવો જોઈએ.) આથી કેન્દ્રિય નમૂનામાં ઇલેક્ટ્રોન ગ્રહની જેમ કક્ષામાં ધૂમે છે અને પ્રવેગિત થાય છે. મેક્સવેલના વિદ્યુતચુંબકીય સિદ્ધાંત પ્રમાણે કોઈ ભારિત કણ પ્રવેગિત થાય ત્યારે વિદ્યુતચુંબકીય વિકિરણ ઉત્સર્જિત કરે છે. (આ ઘટના ગ્રહો માટે બનતી નથી કારણ કે તેઓ ભારવિહિન હોય છે). આથી કક્ષામાંનો ઇલેક્ટ્રોન વિકિરણનું ઉત્સર્જન કરશે. વિકરણ વડે લઈ જવાતી ઊર્જા ઇલેક્ટ્રોનીય ગતિમાંથી આવે છે. આથી કક્ષાઓનું સંકોચવાનું ચાલુ જ રહેશે. ગણતરીઓએ દર્શાવ્યું છે કે ઇલેક્ટ્રોન  $10^{-8}$  s માં જ સર્પિલ થઈને કેન્દ્રમાં જશે. પરંતુ આવું બનતું નથી. આમ રૂથરફોર્ડનો નમૂનો પરમાણુની સ્થાયીતા સમજાવી શકતો નથી. જો ઇલેક્ટ્રોનની ગતિ ચિરસંમત યંત્રશાસ્ત્ર અને વિદ્યુતચુંબકીય સિદ્ધાંતોના આધારે વર્ણવીએ તો તમે પૂછી શકો છો કે કક્ષામાં ઇલેક્ટ્રોનની ગતિ જે પરમાણુને અસ્થાયીતા પર લઈ જતાં હોય તો ઇલેક્ટ્રોન કેન્દ્રની આસપાસ સ્થિર કેમ ન ગણવા? જો ઇલેક્ટ્રોન સ્થિર હોત તો ગીચ કેન્દ્ર અને ઇલેક્ટ્રોન વચ્ચેના સ્થિરવિદ્યુતીય આકર્ષણને લીધે ઇલેક્ટ્રોન કેન્દ્ર તરફ

\* ચિરસંમત યંત્રશાસ્ત્ર ન્યુટનના ગતિના નિયમો પર આધારિત સૈદ્ધાંતિક વિજ્ઞાન છે તે સ્થૂળદર્શીય વસ્તુઓની ગતિના નિયમો નિર્દિષ્ટ કરે છે.

ખેંચાશે અને તેથી પરમાણુના થોમસન નમૂનાનું લઘુરૂપ રચાશે.

રૂથરફોર્ડ નમૂનાની બીજી ચિંતાજનક ખામી એ હતી કે પરમાણુની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના માટે કંઈ જ વિગત દર્શાવતો નથી. એટલે કે કેન્દ્રની આસપાસ ઇલેક્ટ્રોન કઈ રીતે વહેંચાયેલા છે અને આ ઇલેક્ટ્રોનની ઊર્જા કેટલી છે ?

### 2.3 પરમાણુના બોહ્રના નમૂના તરફ દોરી જતો વિકાસ (Development Leading to the Bohr's Model of Atom)

ઐતિહાસિક રીતે જોઈએ તો દ્રવ્ય સાથે વિકિરણોની પારસ્પરિક ક્રિયાને કારણે મળેલા પરિણામોએ પરમાણુ અને અણુના બંધારણ વિશે વિપુલ માહિતી પૂરી પાડી છે. નીલ બોહ્રે આ પરિણામોનો ઉપયોગ રૂથરફોર્ડ સૂચવેલા નમૂનામાં સુધારાવધારા કરવા માટે કર્યો. બોહ્રના પરમાણુના નમૂનાની રચનામાં બે વિકાસશીલ બાબતોએ મુખ્ય ભાગ ભજવ્યો છે :

- વિદ્યુતચુંબકીય વિકિરણ દ્વિત સ્વભાવ જેનો અર્થ થાય છે કે વિકિરણ કણ જેવા અને તરંગ જેવા એમ બે પ્રકારના ગુણધર્મ ધરાવે છે.
- પરમાણ્વીય વર્ણપટ (spectra) અંગેના પ્રાયોગિક પરિણામો માત્ર પરમાણુઓમાંના ક્વોન્ટીકૃત ઇલેક્ટ્રોનીય શક્તિસ્તર દ્વારા જ સમજાવી શકાય (વિભાગ 2.4).

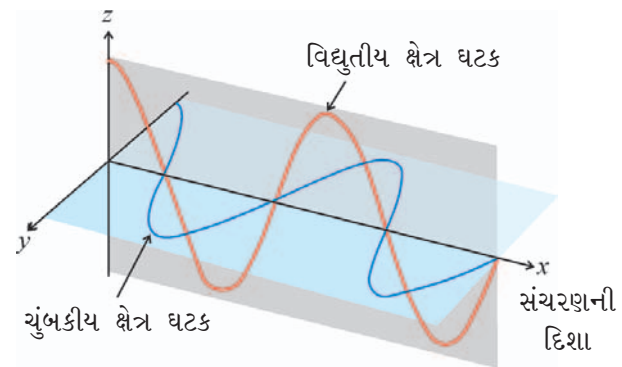
#### 2.3.1 વિદ્યુતચુંબકીય વિકિરણનો તરંગ સ્વભાવ (પ્રકૃતિ) (Wave Nature of Electromagnetic Radiation)

જેમ્સ મેક્સવેલ (James Maxwell)(1870) સૌ પ્રથમ વૈજ્ઞાનિક હતા જેમણે સ્થૂળદર્શી સ્તરે (macroscopic level) વિદ્યુતીય અને ચુંબકીય ક્ષેત્રની વર્તણૂક અને ભારિત પદાર્થો વચ્ચેની પારસ્પરિક ક્રિયાની વિગતવાર સમજણ આપી. તેમણે સૂચવ્યું કે જ્યારે વિદ્યુતીય રીતે ભારિત કણો પ્રવેગ હેઠળ ઘૂમે છે ત્યારે એકાંતરીય રીતે વિદ્યુતીય અને ચુંબકીય ક્ષેત્ર ઉત્પન્ન થાય છે અને પારગમિત થાય છે. આ ક્ષેત્રો તરંગ તરીકે પારગમિત થાય છે. જેને વિદ્યુતચુંબકીય તરંગો અથવા વિદ્યુતચુંબકીય વિકિરણ કહે છે.

પ્રકાશ વિકિરણનું સ્વરૂપ છે. તે ઘણા સમયથી જાણીતું છે અને તેનો સ્વભાવ (પ્રકૃતિ) આદિકાળથી જાણીતો છે. અગાઉના સમયમાં (ન્યૂટન) પ્રકાશ કણો (corpuscles)નો બનેલો છે તેમ ધારવામાં આવેલું હતું. 19મી સદીમાં જ પ્રકાશની તરંગ પ્રકૃતિ પ્રસ્થાપિત થઈ હતી.

મેક્સવેલ ફરીવાર સૌપ્રથમ હતા જેમણે જણાવ્યું કે પ્રકાશના તરંગો આંદોલન કરતાં વિદ્યુતીય અને ચુંબકીય લાક્ષણિકતા સાથે સંકળાયેલ છે (આકૃતિ 2.6). વિદ્યુતચુંબકીય તરંગની ગતિ ઘણી જ જટિલ હોવાથી આપણે અહીંયા તેના કેટલાક સરળ ગુણધર્મોને સમજીશું.

- આંદોલન કરતાં ભારવાળા કણો દ્વારા ઉત્પાદિત આંદોલનીય વિદ્યુતીય અને ચુંબકીય ક્ષેત્ર એકબીજાને લંબ હોય છે અને તે તરંગના સંચરણની દિશાને પણ લંબ હોય છે. વિદ્યુતચુંબકીય તરંગનું સરળ ચિત્ર આકૃતિ 2.6માં દર્શાવેલ છે.



**આકૃતિ 2.6** વિદ્યુતચુંબકીય તરંગના વિદ્યુતીય અને ચુંબકીય ક્ષેત્ર ઘટકો. આ ઘટકોને સરખી તરંગલંબાઈ, આવૃત્તિ ઝડપ અને કંપવિસ્તાર છે, પરંતુ તેઓ એકબીજાને લંબ સમતલમાં કંપે છે.

- અવાજના અથવા પાણીના તરંગોની જેમ વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોને માધ્યમની જરૂર હોતી નથી, શૂન્યાવકાશમાં પણ ગતિ કરી શકે છે.
- હવે એ ઘણી સારી રીતે પ્રસ્થાપિત થયેલું છે કે વિદ્યુતચુંબકીય તરંગો ઘણા પ્રકારના હોય છે જે એકબીજાથી તેમની તરંગલંબાઈ અથવા આવૃત્તિથી અલગ પડે છે. આ એવી રચના કરે છે જેને વિદ્યુતચુંબકીય વર્ણપટ (આકૃતિ 2.7) કહેવામાં આવે છે. વર્ણપટના જુદા જુદા ભાગોને જુદા જુદા નામથી ઓળખવામાં આવે છે. કેટલાક ઉદાહરણો છે : રેડિયો આવૃત્તિ ક્ષેત્ર ( $10^6$  Hz) જેનો ઉપયોગ રેડિયો પ્રસારણમાં થાય છે, સૂક્ષ્મતરંગ (microwave) ક્ષેત્ર ( $10^{10}$  Hz)નો ઉપયોગ રડાર માટે, પારસ્પરિક (infrared) ક્ષેત્રનો ઉપયોગ ( $10^{13}$  Hz) ગરમ કરવા માટે થાય છે. અલ્ટ્રા વાયોલેટ (પારજાંબલી) ( $10^{16}$  Hz) જે સૂર્યના વિકિરણનો એક ઘટક છે. ઘણો થોડો ભાગ ( $10^{15}$  Hz) જેને આપણે

સામાન્ય રીતે દૈશ્યમાન પ્રકાશ કહીએ છીએ તે છે. આ એક જ એવો ભાગ છે કે જેને આપણી આંખો જોઈ શકે છે અથવા પારખી શકે છે. દૈશ્યમાન ન હોય તેવા વિકિરણની પરખ માટે ખાસ સાધનોની જરૂર પડે છે.

(iv) વિદ્યુતચુંબકીય વિકિરણને રજૂ કરવા માટે જુદાજુદા પ્રકારના એકમોની જરૂર પડે છે. આ વિકિરણોની લાક્ષણિકતા તેમના ગુણધર્મો જેવાં કે આવૃત્તિ ( $\nu$ ) અને તરંગલંબાઈ ( $\lambda$ ) દ્વારા નક્કી થાય છે.

આવૃત્તિ ( $\nu$ )નો SI એકમ હર્ટ્ઝ ( $\text{Hz}$ ,  $\text{s}^{-1}$ ) વૈજ્ઞાનિક હેનરિચ હર્ટ્ઝના નામ પરથી લીધેલ છે. તેની વ્યાખ્યા આપી શકાય કે – એક સેકન્ડમાં આપેલ બિંદુમાંથી પસાર થતાં તરંગોની સંખ્યા.

તરંગલંબાઈમાં લંબાઈ માટેનો એકમ જરૂરી બને. તેમ જાણો છો કે લંબાઈનો SI એકમ મીટર ( $m$ ) છે. વિદ્યુતચુંબકીય વિકિરણ જુદા જુદા પ્રકારના તરંગો ધરાવે છે જે ઘણી જ નાની તરંગલંબાઈના હોય છે તેથી નાના એકમોનો ઉપયોગ થાય છે. આકૃતિ 2.7માં જુદા જુદા પ્રકારના વિદ્યુતચુંબકીય વિકિરણો જે એકબીજાથી તરંગલંબાઈ અને આવૃત્તિમાં જુદા પડે છે તે દર્શાવેલા છે.

શૂન્યાવકાશમાં બધા જ પ્રકારના વિદ્યુતચુંબકીય વિકિરણો તરંગલંબાઈ કે આવૃત્તિને ધ્યાનમાં લીધા વગર સરખી

ગતિએ મુસાફરી કરે છે. જેનું મૂલ્ય છે  $3.0 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$  ( $2.997925 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$  ચોક્કસ કિંમત). આને પ્રકાશની ગતિ કહે છે અને તેને સંજ્ઞા  $c$  આપવામાં આવી છે. આવૃત્તિ ( $\nu$ ), તરંગલંબાઈ ( $\lambda$ ) અને પ્રકાશની ગતિ ( $c$ ) સમીકરણ 2.5 દ્વારા સંબંધિત છે.

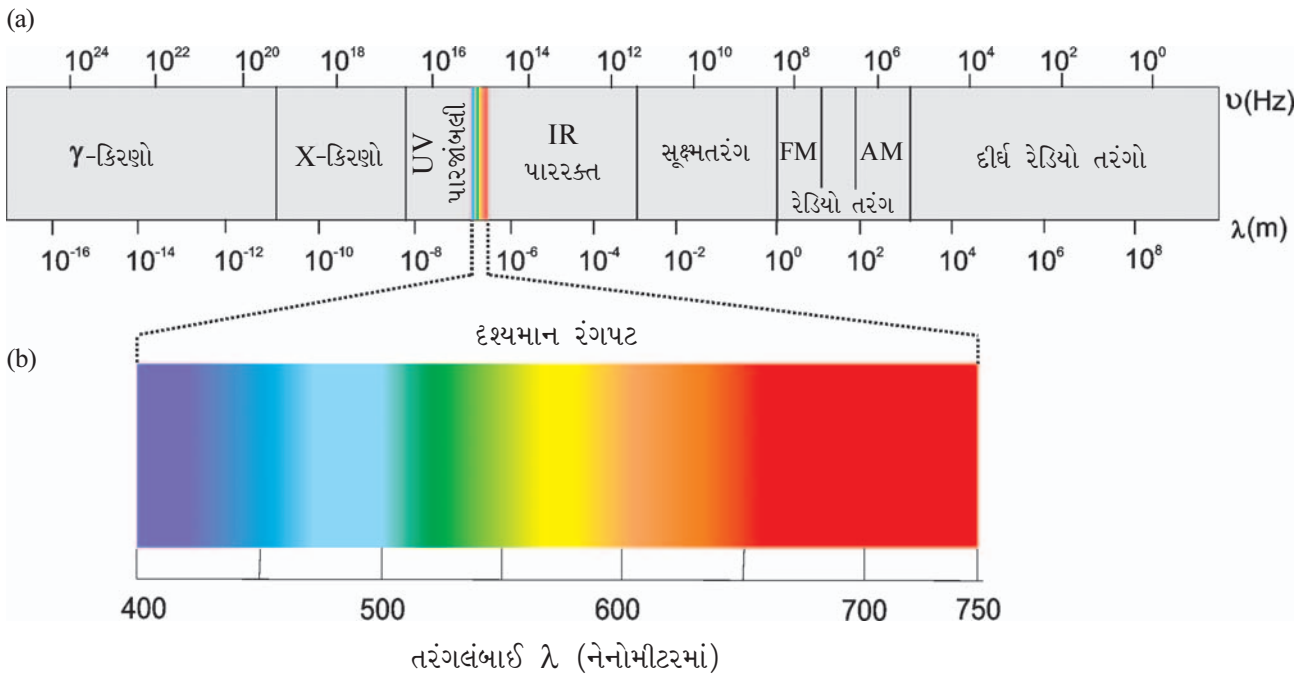
$$c = \nu\lambda \quad (2.5)$$

બીજી એક સામાન્ય રીતે વપરાતી રાશિ જે ખાસ કરીને સ્પેક્ટ્રોસ્કોપીમાં વપરાય છે તેને તરંગ સંખ્યા ( $\bar{\nu}$ ) કહે છે. તેની વ્યાખ્યા આપી શકાય કે – એકમ લંબાઈમાં રહેલા તરંગની સંખ્યા. તેના એકમ તરંગલંબાઈના એકમનો વ્યુત્ક્રમ છે એટલે કે  $\text{m}^{-1}$ . સામાન્ય રીતે વપરાતો એકમ  $\text{cm}^{-1}$  છે (SI એકમ નથી.).

**કોયડો 2.3**

ઓલ ઈન્ડિયા રેડિયો, દિલ્હીનું વિવિધભારતી સ્ટેશન 1,368 kHz (કિલોહર્ટ્ઝ) આવૃત્તિ પર પ્રસારણ કરે છે. ટ્રાન્સમીટર વડે ઉત્સર્જિત થયેલા વિદ્યુતચુંબકીય વિકિરણની તરંગલંબાઈ ગણો. તે વિદ્યુતચુંબકીય વર્ણપટના કયા વિસ્તારમાં છે ?

ઉકેલ : તરંગલંબાઈ  $\lambda = \frac{c}{\nu}$  જ્યાં,  $c$  વિદ્યુતચુંબકીય વિકિરણની શૂન્યાવકાશમાં ગતિ છે અને  $\nu$  આવૃત્તિ છે. આપેલી કિંમતો પરથી ગણતરી કરતાં,



આકૃતિ 2.7 (a) વિદ્યુતચુંબકીય વિકિરણનો વર્ણપટ (b) દૈશ્યમાન વર્ણપટ. દૈશ્યમાન વિસ્તાર સંપૂર્ણ વર્ણપટનો એક નાનો ભાગ છે.

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3.00 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}}{1368 \text{ kHz}} = \frac{3.00 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}}{1368 \times 10^3 \text{ s}^{-1}} = 219.3 \text{ m}$$

આ રેડિયોતરંગની લાક્ષણિક તરંગલંબાઈ છે.

#### કોયડો 2.4

દૃશ્યમાન વર્ણપટનો તરંગલંબાઈ વિસ્તાર જાંબલી (400 nm) થી લાલ (750 nm) સુધી વિસ્તરેલો છે. આ તરંગલંબાઈને આવૃત્તિમાં દર્શાવો. (Hz) (1 nm = 10<sup>-9</sup> m)

ઉકેલ : સમીકરણ 2.5નો ઉપયોગ કરીને જાંબલી પ્રકાશ માટે

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3.00 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}}{400 \times 10^{-9} \text{ m}} = 7.50 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

લાલ પ્રકાશની આવૃત્તિ માટે

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3.00 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}}{750 \times 10^{-9} \text{ m}} = 4.00 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

દૃશ્યમાન વર્ણપટનો વિસ્તાર 4.0 × 10<sup>14</sup> થી 7.5 × 10<sup>14</sup> Hz આવૃત્તિ એકમમાં છે.

#### કોયડો 2.5

પીળું વિકિરણ જેની તરંગલંબાઈ 5800 Å છે તેની (a) તરંગ સંખ્યા અને (b) આવૃત્તિ ગણો.

ઉકેલ : (a) તરંગ સંખ્યા ( $\bar{\nu}$ )ની ગણતરી :

$$\lambda = 5800 \text{ Å} = 5800 \times 10^{-8} \text{ cm} = 5800 \times 10^{-10} \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \bar{\nu} &= \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{5800 \times 10^{-10} \text{ m}} \\ &= 1.724 \times 10^6 \text{ m}^{-1} \\ &= 1.724 \times 10^4 \text{ cm}^{-1} \end{aligned}$$

(b) આવૃત્તિની ગણતરી ( $\nu$ ) :

$$\begin{aligned} \nu &= \frac{c}{\lambda} = \frac{3.00 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}}{5800 \times 10^{-10} \text{ m}} \\ &= 5.172 \times 10^{14} \text{ s}^{-1} \end{aligned}$$

### 2.3.2 વિદ્યુતચુંબકીય વિકિરણનો કણ સ્વભાવ (Particle Nature of Electromagnetic Radiation)

#### પ્લાન્કનો ક્વોન્ટમ સિદ્ધાંત (Planck's Quantum Theory)

વિવર્તન\* અને વ્યતિકરણ\*\* જેવી કેટલીક પ્રાયોગિક ઘટનાઓ છે જે વિદ્યુતચુંબકીય વિકિરણના તરંગ સ્વભાવથી સમજાવી શકાય. નીચેના કેટલાક અવલોકનો એવાં છે કે જે 19મી સદીના ભૌતિકવિજ્ઞાનના વિદ્યુતચુંબકીય સિદ્ધાંત (જેને ચિરસંમત (classical) ભૌતિકવિજ્ઞાન કહે છે) દ્વારા પણ સમજાવી શકાતા નથી.

- ગરમ પદાર્થો(કાળા પદાર્થો)માંથી ઉત્સર્જિત થતાં વિકિરણનો સ્વભાવ.
- ધાતુની સપાટી પર જ્યારે વિકિરણ અથડાય છે ત્યારે ઈલેક્ટ્રોન ઉત્સર્જિત થાય છે (ફોટોઇલેક્ટ્રિક અસર)
- ઘન પદાર્થની ઉષ્માધારિતામાં થતું વિચલન તાપમાનનું વિધેય છે.
- હાઈડ્રોજનના સંદર્ભમાં રેખા વર્ણપટ

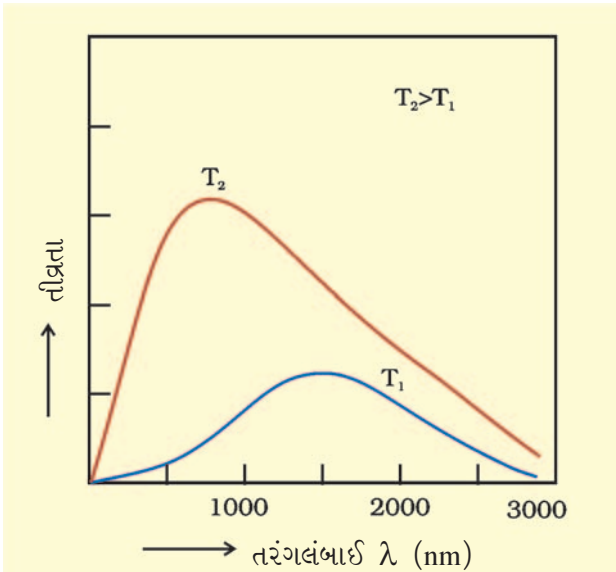
એ નોંધવું જરૂરી છે કે કાળા પદાર્થના વિકિરણની સ્પષ્ટ સમજૂતી સૌપ્રથમ 1900માં મેક્સ પ્લાન્કે આપી હતી. આ ઘટના નીચે વર્ણવી છે.

જ્યારે ઘનને ગરમ કરવામાં આવે છે ત્યારે તે વિશાળ વિસ્તાર ધરાવતી તરંગલંબાઈવાળા વિકિરણ ઉત્સર્જિત કરે છે. ઉદાહરણ તરીકે લોખંડના સળીયાને ભઠ્ઠીમાં ગરમ કરીએ તો પ્રથમ તે ઝાંખો લાલ થાય છે અને ત્યારબાદ ધીમે ધીમે તાપમાનના વધારા સાથે વધારે ને વધારે લાલ થતો જાય છે. આને હજુ પણ વધારે ગરમ કરવામાં આવે છે ત્યારે તે સફેદ

\* વિવર્તન (diffraction) એટલે કોઈ નડતર(obstacle)ને કારણે તરંગનો વળાંક (વિચલન).

\*\* વ્યતિકરણ (interference) એટલે બે જુદી જુદી અથવા સરખી આવૃત્તિઓવાળા બે તરંગોનું સંયોગીકરણ એવું તરંગ આપે છે જે દરેક વ્યતિકરણમાંથી પરિણમતું તરંગ દરેક બિંદુએ બૈજિક અથવા સદિશ હોય છે.

બને છે અને તાપમાન ખૂબ જ વધે ત્યારે વાદળી (blue) બને છે. આવૃત્તિના સંદર્ભમાં કહીએ તો આનો અર્થ એમ થાય છે કે તાપમાન જેમ જેમ વધારવામાં આવે છે તેમ તેમ તેની આવૃત્તિ નીચા મૂલ્યોથી ઊંચા મૂલ્યો તરફ જાય છે. વિદ્યુત ચુંબકીય વર્ણપટના લાલ રંગ નીચી આવૃત્તિમાં હોય છે, જ્યારે વાદળી રંગ ઊંચી આવૃત્તિ ધરાવે છે. આદર્શ પદાર્થ કે જે બધી જ આવૃત્તિઓનું ઉત્સર્જન અને અવશોષણ કરે છે તેને કાળો પદાર્થ કહે છે. આવા કાળા પદાર્થમાંથી ઉત્સર્જિત થતા વિકિરણને કાળા પદાર્થ વિકિરણ કહે છે. કાળા પદાર્થમાંથી ઉત્સર્જિત વિકિરણની આવૃત્તિની ચોક્કસ વહેંચણી એટલે તીવ્રતા વિરુદ્ધ વિકિરણની આવૃત્તિની (આવૃત્તિ વક્ર) તીવ્રતા. તે માત્ર તાપમાન પર આધારિત છે. કોઈ આપેલ તાપમાને ઉત્સર્જિત વિકિરણની તીવ્રતા તરંગલંબાઈના ઘટાડા સાથે વધે અને મહત્તમ થાય છે, ત્યારબાદ તરંગલંબાઈના ઘટાડા સાથે ઘટવાનું શરૂ કરે છે જે આકૃતિ 2.8માં દર્શાવેલ છે.



આકૃતિ 2.8 તરંગલંબાઈ-તીવ્રતા સંબંધ

ઉપરના પ્રાયોગિક પરિણામો પ્રકાશના તરંગ સિદ્ધાંતના આધારે સંતોષકારક રીતે સમજાવી શકાય નહિ. તે સમયની પ્રચલિત માન્યતાના આધારે પ્લાન્કે સૂચવ્યું કે પરમાણુ અને અણુ શક્તિનું ઉત્સર્જન કે અવશોષણ કોઈ અસતત રીતે જથ્થામાં હોય છે નહિ કે સતત રીતે. ઊર્જાનું સૌથી ઓછું પ્રમાણ જે શોષાય છે કે ઉત્સર્જિત થાય છે તેને પ્લાન્કે **ક્વૉન્ટમ** નામ આપ્યું. વિકિરણના એક ક્વૉન્ટમની ઊર્જા (E) તેની આવૃત્તિ (ν)ને સમપ્રમાણ છે અને તેને સમીકરણ 2.6 પ્રમાણે દર્શાવાય છે.

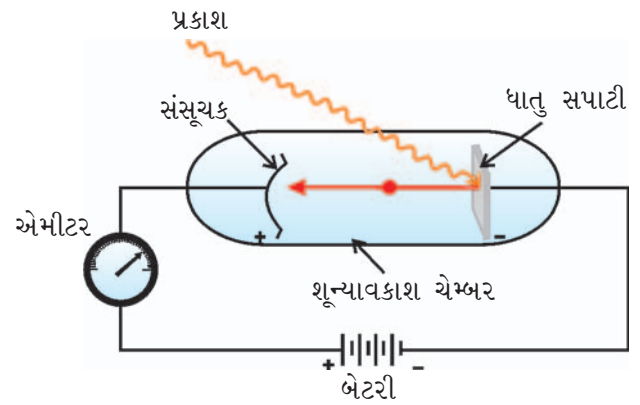
$$E = h\nu \quad \dots(2.6)$$

સપ્રમાણતા અચળાંક 'h'ને પ્લાન્કનો અચળાંક કહે છે અને તેનું મૂલ્ય  $6.626 \times 10^{-34}$  Js છે.

આ સિદ્ધાંતથી પ્લાન્ક એ સમજાવી શક્યા કે કાળા પદાર્થમાંથી ઉદ્ભવતી વિકિરણની તીવ્રતાની વહેંચણી જુદા જુદા તાપમાને તરંગલંબાઈ અથવા આવૃત્તિનું વિધેય છે.

### ફોટોઇલેક્ટ્રિક અસર :

1887માં એચ. હર્ટ્ઝે (H. Hertz) આકૃતિ 2.9માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે કેટલીક ધાતુઓ (ઉદાહરણ તરીકે પોટેશિયમ, રુબિડિયમ, સીઝિયમ વગેરે)ને પ્રકાશના પુંજ સામે રાખવામાં આવી ત્યારે તેમાંથી ઇલેક્ટ્રોનનું ઉત્સર્જન થયું. આ ઘટનાને **ફોટોઇલેક્ટ્રિક અસર** કહે છે.



આકૃતિ 2.9 ફોટોઇલેક્ટ્રિક અસરનો અભ્યાસ કરવાનું સાધન. કોઈ ચોક્કસ આવૃત્તિવાળો પ્રકાશ શૂન્યાવકાશ ચેમ્બરમાંની સ્વચ્છ ધાતુની સપાટી પર અથડાય છે. ધાતુમાંથી ઇલેક્ટ્રોન બહાર નીકળે છે અને સંસૂચક (detector)ની મદદથી તેની ગણતરી કરવામાં આવે છે જે તેમની ગતિજ ઊર્જાનું માપન કરે છે.

### મેક્સ પ્લાન્ક (1858-1947)



જર્મન ભૌતિકશાસ્ત્રી મેક્સ પ્લાન્કે 1879માં મ્યુનિચ યુનિવર્સિટીમાંથી સૈદ્ધાંતિક ભૌતિકવિજ્ઞાનમાં Ph.D.ની પદવી પ્રાપ્ત કરી હતી. 1888માં બર્લિન યુનિવર્સિટીમાંની ઈન્સ્ટિટ્યૂટ ઓફ થિયોરેટિકલ ફિઝિક્સમાં નિયામક તરીકે

તેઓ નિમાયા હતા. પ્લાન્કને 1918માં તેમના ક્વૉન્ટમવાદના સિદ્ધાંત માટે નોબેલ પારિતોષિક એનાયત થયેલ. પ્લાન્કે આ ઉપરાંત ઉષ્માગતિશાસ્ત્ર અને ભૌતિકવિજ્ઞાનના અન્ય ક્ષેત્રોમાં નોંધપાત્ર પ્રદાન કરેલ છે.

જેમાંથી મળેલા પ્રાયોગિક પરિણામો નીચે પ્રમાણે હતા :

- ધાતુની સપાટી પર પ્રકાશનો પુંજ જેવો અથડાય છે કે તરત જ તેમાંથી ઇલેક્ટ્રોનનું ઉત્સર્જન થાય છે. એનો અર્થ એમ કે પ્રકાશ પુંજનું અથડાવું અને ઇલેક્ટ્રોનનું ધાતુની સપાટી પર ઉત્સર્જિત થવું વચ્ચે કોઈ સમયગાળો જતો નથી.
- ઉત્સર્જિત થતાં ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા પ્રકાશની તીવ્રતા અથવા તેજસ્વિતાના સમપ્રમાણમાં હોય છે.
- દરેક ધાતુ માટે કોઈ સૌથી ઓછી લાક્ષણિક ન્યૂનતમ આવૃત્તિ  $\nu_0$  હોય છે (જે દેહલી (threshold) આવૃત્તિ તરીકે ઓળખાય છે). આ આવૃત્તિથી નીચેની આવૃત્તિએ ફોટોઇલેક્ટ્રિક અસર થતી નથી, જ્યારે  $\nu > \nu_0$  થાય ત્યારે ઉત્સર્જિત થયેલા ઇલેક્ટ્રોન અમુક ગતિજ ઊર્જા ધરાવતા હોય છે.

આ ઇલેક્ટ્રોનની ગતિજ ઊર્જા વપરાતા પ્રકાશની આવૃત્તિના વધારા સાથે વધે છે.

ઉપરના બધા જ પરિણામો ચિરસંમત (classical) ભૌતિકવિજ્ઞાનના નિયમોના આધારે સમજાવી શકાતા નથી. આ સિદ્ધાંત પ્રમાણે પ્રકાશના પુંજની ઊર્જા પ્રકાશની તેજસ્વિતા પર આધાર રાખે છે. બીજા શબ્દોમાં કહીએ તો ઉત્સર્જિત થતાં ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા અને તેમની ગતિજ ઊર્જા પ્રકાશની તેજસ્વિતા પર આધાર રાખશે. પરંતુ એવું નોંધવામાં આવ્યું છે કે ઉત્સર્જિત થતા ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા પ્રકાશિત તીવ્રતા પર આધાર રાખે છે, પણ ઉત્સર્જિત ઇલેક્ટ્રોનની ગતિજ ઊર્જા તેના ઉપર આધારિત નથી. ઉદાહરણ તરીકે, લાલ પ્રકાશ [ $\nu = (4.3$  થી  $4.6) \times 10^{14}$  Hz]ની કોઈ પણ

તેજસ્વિતા (તીવ્રતા) પોટેશિયમ ધાતુના ટુકડા પર કલાકો સુધી ચળકશે, પરંતુ ફોટોઇલેક્ટ્રોન ઉત્સર્જિત થતાં નથી, પરંતુ નબળો પીળો પ્રકાશ ( $\nu = 5.1-5.2 \times 10^{14}$  Hz) પોટેશિયમ ધાતુ પર ચળકે છે અને ફોટોઇલેક્ટ્રિક અસર અવલોકિત થાય છે. પોટેશિયમ ધાતુ માટે દેહલી આવૃત્તિ ( $\nu_0$ )  $5.0 \times 10^{14}$  Hz છે.

1905માં આઈન્સ્ટાઈન (Einstein) શરૂઆતના મુદ્દા તરીકે પ્લાન્કના વિદ્યુતચુંબકીય વિકિરણના સિદ્ધાંતનો ઉપયોગ કરી ફોટો-ઇલેક્ટ્રિક અસર સમજાવી શક્યા હતા.

ધાતુની સપાટી પર પ્રકાશના પુંજનું ચળકવું ઘટનાને પ્રકાશના પુંજ ફોટોન વડે નિશાનગત (shooting) કરી શકાય, જ્યારે પૂરતી ઊર્જાવાળા ફોટોન ધાતુના પરમાણુના ઇલેક્ટ્રોન સાથે અથડાય છે ત્યારે તે તરત જ તેની અથડામણ દરમિયાન તરત જ તેની ઊર્જા ઇલેક્ટ્રોનને આપી દે છે અને ઇલેક્ટ્રોન કોઈ પણ જાતનો સમય બગાડ્યા વગર અથવા મોડું કર્યા વગર ઉત્સર્જિત થાય છે. જેટલી વધારે ફોટોનની ગતિજ ઊર્જા તેટલી જ વધારે ઊર્જાની બદલી (transfer) થાય અને તેટલી જ વધારે ઇલેક્ટ્રોનની ગતિજ ઊર્જા થાય. બીજા શબ્દોમાં કહીએ તો ઉત્સર્જિત થતા ઇલેક્ટ્રોનની ગતિજ ઊર્જા વિદ્યુતચુંબકીય વિકિરણની આવૃત્તિના સમપ્રમાણમાં હોય છે. અથડાતા ફોટોનની ઊર્જા બરાબર  $h\nu$  થશે અને ઇલેક્ટ્રોન ઉત્સર્જિત કરવા માટે ઓછામાં ઓછી ઊર્જા  $h\nu_0$  (જેને કાર્યવિધેય  $W_0$  કહેવાય છે) છે (કોષ્ટક 2.2). તેમના તફાવત ( $h\nu - h\nu_0$ ) ફોટોઇલેક્ટ્રોનની તબદીલ થતી ગતિજ ઊર્જા છે. ઊર્જા સંચયના નિયમને અનુસરીએ તો ઉત્સર્જિત ઇલેક્ટ્રોનની ગતિજ ઊર્જા સમીકરણ 2.7 પ્રમાણે આપી શકાય.

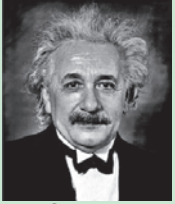
$$h\nu = h\nu_0 + \frac{1}{2} m_e V^2 \quad (2.7)$$

જ્યાં,  $m_e$  ઇલેક્ટ્રોનનું દળ અને  $V$  ઉત્સર્જિત થતા ઇલેક્ટ્રોનનો વેગ છે. અંતમાં, પ્રકાશની ઓછી તીવ્રતાવાળા પુંજ કરતાં વધુ તીવ્ર પ્રકાશનો પુંજ વધારે સંખ્યામાં ફોટોન ધરાવે છે. આને પરિણામે વધુ ઇલેક્ટ્રોન ઉત્સર્જિત થાય છે.

**વિદ્યુતચુંબકીય વિકિરણનો દ્વૈત (dual) સ્વભાવ :**

પ્રકાશની કણ પ્રકૃતિએ વૈજ્ઞાનિકોને મૂંઝવણમાં મૂકી દીધા. એક બાજુ તે કાળા પદાર્થનું ઉત્સર્જિત વિકિરણ અને

જર્મનીમાં જન્મેલા અને અમેરિકન ભૌતિકશાસ્ત્રી આલ્બર્ટ આઈન્સ્ટાઈન વિશ્વને જાણીતા બે ભૌતિકશાસ્ત્રીઓમાંના એક છે (બીજા છે આઈઝેક ન્યુટન) તેમના ત્રણ સંશોધન પત્રો (સાપેક્ષતાવાદ, આલ્બર્ટ આઈન્સ્ટાઈન બ્રાઉનિયન ગતિ અને ફોટોઇલેક્ટ્રિક અસર) જે 1905માં પ્રકાશિત કર્યા ત્યારે બર્ને(Berne)માંની સ્વીસ પેટન્ટ ઓફિસમાં ટેકનિકલ આસિસ્ટન્ટ તરીકે નોકરી કરતા હતા. આ સંશોધન પત્રોએ ભૌતિકવિજ્ઞાનના ગહન વિકાસને અસર પહોંચાડી છે. 1921માં ફોટોઇલેક્ટ્રિક અસરની સમજ આપવા બદલ તેમને ભૌતિકવિજ્ઞાનમાં નોબેલ પારિતોષિક એનાયત કરવામાં આવ્યું.



આલ્બર્ટ આઈન્સ્ટાઈન  
(1879-1955)



કોષ્ટક 2.2 કેટલીક ધાતુઓ માટે કાર્ય વિધેય ( $W_0$ )ના મૂલ્યો

ધાતુ	Li	Na	K	Mg	Cu	Ag
$W_0$ /eV	2.42	2.3	2.25	3.7	4.8	4.3

ફોટોઇલેક્ટ્રિક અસરની સંતોષકારક સમજણ આપે છે પરંતુ બીજી બાજુ પ્રકાશની તરંગપ્રકૃતિ કે જે વ્યતિકરણ અને વિવર્તન ઘટનાઓની સમજણ આપે છે. તેની સાથે સુસંગત નથી. આ મૂંઝવણના નિરાકરણનો એક જ માર્ગ છે કે પ્રકાશ બન્ને કણ અને તરંગ જેવા ગુણધર્મો ધરાવે છે. એટલે કે પ્રકાશની દ્વિત વર્તણૂક છે. પ્રયોગ પર આધાર રાખીને આપણે જાણી શકીએ કે પ્રકાશ તરંગ તરીકે વર્તે છે અથવા કણના પ્રવાહ તરીકે. જ્યારે વિકિરણ દ્રવ્ય સાથે પારસ્પરિક ક્રિયા કરે છે ત્યારે તે કણ પ્રકૃતિ દર્શાવે છે. જે તેની તરંગપ્રકૃતિથી (વ્યતિકરણ અને વિવર્તન) વિરોધાભાસી છે જેને ગમન કરે ત્યારે દર્શાવે છે. આ ખ્યાલ વૈજ્ઞાનિકો વિચારતા હતા તેનાથી તદ્દન ભિન્ન વિચાર દ્રવ્ય અને વિકિરણ માટે હતો. આથી તેનો સ્વીકાર અને વાજબીપણા માટે ઘણો લાંબો સમય લાગ્યો. તમે આગળ ઉપર જાણશો કે ઇલેક્ટ્રોન જેવા સૂક્ષ્મદર્શીય કણો પણ આવી જ તરંગ-કણ પ્રકૃતિ દર્શાવે છે.

## કોયડો 2.6

વિકિરણના 1 મોલ ફોટોન કે જેની આવૃત્તિ  $5 \times 10^{14}$  Hz છે તેની ઊર્જા ગણો.

ઉકેલ : એક ફોટોન માટેની ઊર્જા (E) નીચેના સમીકરણથી દર્શાવી શકાય.

$$E = hv$$

$$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}$$

$$v = 5 \times 10^{14} \text{ s}^{-1} \text{ (આપેલ છે.)}$$

$$E = (6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}) \times (5 \times 10^{14} \text{ s}^{-1})$$

$$= 3.313 \times 10^{-19} \text{ J}$$

એક મોલ ફોટોનની ઊર્જા

$$= (3.313 \times 10^{-19} \text{ J}) \times (6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1})$$

$$= 199.51 \text{ kJ mol}^{-1}$$

## કોયડો 2.7

100 વોટનો એક ગોળો 400 nm તરંગલંબાઈના એકવર્ણી પ્રકાશનું ઉત્સર્જન કરે છે. ગોળા વડે પ્રતિ સેકન્ડ ઉત્સર્જિત થયેલા ફોટોનની સંખ્યા ગણો.

$$\begin{aligned} \text{ઉકેલ : ગોળાની શક્તિ (Power)} &= 100 \text{ watt} \\ &= 100 \text{ Js}^{-1} \end{aligned}$$

$$\text{એક ફોટોનની ઊર્જા } E = hv = \frac{hc}{\lambda}$$

$$= \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ J s} \times 3.0 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}}{400 \times 10^{-9} \text{ m}}$$

$$= 4.969 \times 10^{-19} \text{ J}$$

ઉત્સર્જિત થયેલા ફોટોનની સંખ્યા :

$$= \frac{100 \text{ J s}^{-1}}{4.969 \times 10^{-19} \text{ J}}$$

$$= 2.012 \times 10^{20} \text{ s}^{-1}$$

## કોયડો 2.8

જ્યારે વિદ્યુતચુંબકીય વિકિરણની 300 nm તરંગલંબાઈ ધરાવતું વિકિરણ સોડિયમની સપાટી પર પડે છે ત્યારે  $1.68 \times 10^5 \text{ J mol}^{-1}$  ગતિજ ઊર્જા ધરાવતાં ઇલેક્ટ્રોન ઉત્સર્જિત થાય છે.

સોડિયમમાંથી એક ઇલેક્ટ્રોન દૂર કરવા માટે ઓછામાં ઓછી કેટલી ઊર્જાની જરૂર પડશે ? ફોટોઇલેક્ટ્રોનને ઉત્સર્જિત થવા માટે કેટલી વધુમાં વધુ તરંગલંબાઈની જરૂર પડશે ?

ઉકેલ : 300 nm ફોટોનની ઊર્જા (E)ને ગણી શકાય.

$$E = hv = \frac{hc}{\lambda}$$

$$= \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ J s} \times 3.0 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}}{300 \times 10^{-9} \text{ m}}$$

$$= 6.626 \times 10^{-19} \text{ J}$$

એક મોલ ફોટોનની ઊર્જા

$$= 6.626 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\times 6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$= 3.99 \times 10^5 \text{ J mol}^{-1}$$

સોડિયમમાંથી 1 મોલ ઇલેક્ટ્રોન દૂર કરવા માટે જરૂરી ઓછામાં ઓછી ઊર્જા =  $(3.99 - 1.68) \times 10^5 \text{ J mol}^{-1}$

$$= 2.31 \times 10^5 \text{ J mol}^{-1}$$

એક ઇલેક્ટ્રોન માટેની ઓછામાં ઓછી ઊર્જા

$$= \frac{2.31 \times 10^5 \text{ J mol}^{-1}}{6.022 \times 10^{23} \text{ ઇલેક્ટ્રોન mol}^{-1}}$$

$$= 3.84 \times 10^{-19} \text{ J}$$

આના બરાબર તરંગલંબાઈ થશે.

$$\therefore \lambda = \frac{hc}{E} = \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ J s} \times 3.0 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}}{3.84 \times 10^{-19} \text{ J}}$$

$$\text{તરંગલંબાઈ} = 517 \text{ nm}$$

(આ લીલા પ્રકાશને અનુરૂપ છે.)

### કોયડો 2.9

એક ધાતુ માટે દેહલી આવૃત્તિ ( $\nu_0$ )  $7.0 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$  છે. જ્યારે ધાતુ આવૃત્તિ  $\nu = 1.0 \times 10^{15} \text{ s}^{-1}$  તીવ્રતાવાળું વિકિરણ જ્યારે ધાતુની સપાટી પર અથડાય છે ત્યારે ઉત્સર્જિત થયેલા ઇલેક્ટ્રોનની ગતિજ ઊર્જા ગણો.

ઉકેલ : આઈન્સ્ટાઈન સમીકરણ પ્રમાણે,

$$\text{ગતિજ ઊર્જા} = \frac{1}{2} m_e v^2 = h(\nu - \nu_0)$$

$$= (6.626 \times 10^{-34} \text{ Js})$$

$$(1.0 \times 10^{15} \text{ s}^{-1} - 7.0 \times 10^{14} \text{ s}^{-1})$$

$$= (6.626 \times 10^{-34} \text{ Js})$$

$$(10.0 \times 10^{14} \text{ s}^{-1} - 7.0 \times 10^{14} \text{ s}^{-1})$$

$$= (6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}) (3.0 \times 10^{14} \text{ s}^{-1})$$

$$= 1.988 \times 10^{-19} \text{ J}$$

### 2.3.3 ક્વોન્ટીકૃત\* ઇલેક્ટ્રોનીય ઊર્જા સ્તરના પુરાવા (પરમાણ્વીય વર્ણપટ) (Evidence for the Quantized Electron Energy Levels : Atomic Spectrum)

પ્રકાશની ઝડપ તે કયા માધ્યમમાંથી પસાર થાય છે તેના પર આધાર રાખે છે. આને પરિણામે, જ્યારે કોઈ પ્રકાશનું પુંજ એક માધ્યમમાંથી બીજા માધ્યમમાં પસાર થાય છે ત્યારે પોતાના મૂળ માર્ગ પરથી વિચલિત થાય છે અથવા વક્રીભવન પામે છે. એ નોંધવામાં આવ્યું છે કે જ્યારે પ્રકાશનું સફેદ કિરણ ત્રિપાસ્થ(Prism)માંથી પસાર કરવામાં આવે છે ત્યારે ટૂંકી તરંગલંબાઈવાળું કિરણ મોટી તરંગલંબાઈવાળા કરતાં વધુ વળાંક લે છે. સામાન્ય સફેદ પ્રકાશ દૃશ્યમાન વિસ્તારમાં

બધી જ તરંગલંબાઈ ધરાવતા તરંગો ધરાવે છે. તેથી તે સફેદ પ્રકાશનું કિરણ જુદા જુદા રંગીન પટ્ટાની શ્રેણીમાં ફેરવાય છે જેને વર્ણપટ કહે છે. લાલ પ્રકાશ કે જે સૌથી વધુ લાંબી તરંગલંબાઈ ધરાવે છે તેનું વળવું સૌથી ઓછું હોય છે, જ્યારે જાંબલી પ્રકાશ કે જે સૌથી ઓછી તરંગલંબાઈ ધરાવે છે તે સૌથી વધુ વળે છે. દૃશ્યમાન વર્ણપટનો વિસ્તાર જાંબલી  $7.50 \times 10^{-14} \text{ Hz}$  થી લાલ  $4 \times 10^{-14} \text{ Hz}$  સુધીનો હોય છે. આ વર્ણપટને સતત (continuous) વર્ણપટ કહે છે. સતત એટલા માટે કે જાંબલી વાદળીમાં ભળી જાય છે, વાદળી લીલામાં અને અન્ય રંગો પણ તે પ્રમાણે ભળી જાય છે. આવી જ વર્ણપટ આકાશમાં જ્યારે મેઘધનુષ રચાય છે ત્યારે બને છે. એ યાદ રાખશો કે દૃશ્યમાન વર્ણપટ વિદ્યુતચુંબકીય વિકિરણનો એક નાનો ભાગ (આકૃતિ 2.7) છે. વિદ્યુતચુંબકીય વિકિરણ જ્યારે દ્રવ્ય સાથે પારસ્પરિક ક્રિયા કરે છે ત્યારે પરમાણુઓ, અણુઓ ઊર્જાનું શોષણ કરે છે અને ઊંચા ઊર્જાસ્તર પર જાય છે. ઊંચા ઊર્જાસ્તરને કારણે તેઓ અસ્થાયી અવસ્થામાં હોય છે. ઊંચા ઊર્જાસ્તરમાંથી તેમના સામાન્ય સ્તર (વધારે સ્થાયી, નીચી ઊર્જા અવસ્થા)માં આવે છે ત્યારે વિદ્યુતચુંબકીય વર્ણપટના જુદા જુદા વિસ્તારના વિકિરણોનું ઉત્સર્જન થાય છે.

#### ઉત્સર્જન અને અવશોષણ વર્ણપટ

કોઈ પદાર્થ કે જેણે ઊર્જાનું અવશોષણ કરેલ છે અને તેના વડે વિકિરણનું વર્ણપટ ઉત્સર્જિત થાય છે તેને ઉત્સર્જન વર્ણપટ કહે છે. પરમાણુ, અણુ અથવા આયન કે જે વિકિરણનું અવશોષણ કરે છે, તેને ઉત્તેજિત થયેલા કહેવામાં આવે છે. ઉત્સર્જન વર્ણપટ મેળવવા માટે નમૂનાને કાં તો ગરમ કરીને અથવા વિકિરણનો મારો ચલાવીને ઊર્જા પૂરી પાડવામાં આવે છે અને ત્યારબાદ જે તરંગલંબાઈ (અથવા આવૃત્તિ) ઉત્સર્જિત થાય છે તેને નોંધવામાં આવે છે.

અવશોષણ વર્ણપટ ઉત્સર્જન વર્ણપટની ફોટોગ્રાફીની નેગેટીવ જેવી હોય છે. નમૂનામાંથી સતત રીતે વિકિરણ પસાર કરવામાં આવે છે જેથી તે અમુક તરંગલંબાઈનું વિકિરણ અવશોષે છે. શોષિત વિકિરણમાંથી ગૂમ થયેલી અથવા ન મળતી તરંગલંબાઈ તેજસ્વી સતત વર્ણપટમાં કાળી જગ્યાઓ (space) રાખે છે.

ઉત્સર્જન કે અવશોષણ વર્ણપટના અભ્યાસને સ્પેક્ટ્રોસ્કોપી (વર્ણપટદર્શકી) કહે છે. દૃશ્યમાન પ્રકાશનું વર્ણપટ જેની આગળ ઉપર ચર્ચા કરી છે તે સતત છે. કારણ કે તે દૃશ્યમાન પ્રકાશની બધી જ તરંગલંબાઈઓ(લાલથી જાંબલી)નું વર્ણપટમાં પ્રતિનિધિત્વ કરે છે. બીજી તરફ વાયુમય કલામાં પરમાણુઓના ઉત્સર્જન વર્ણપટ લાલથી જાંબલીની તરંગલંબાઈનો ફેલાવો સતત દર્શાવતા નથી પણ અમુક જ જગ્યાઓએ વિશિષ્ટ

\* વિભિન્ન મૂલ્યો પર કોઈ ગુણધર્મનું પ્રતિબંધન (Restriction) ક્વોન્ટીકૃત કહેવાય છે.

તરંગલંબાઈઓ અને તેમની વચ્ચે કાળો અવકાશ દર્શાવે છે. આવા વર્ણપટને રેખા વર્ણપટ અથવા પરમાણ્વીય વર્ણપટ કહે છે. કારણ કે વર્ણપટમાં ઉત્સર્જિત વિકિરણ વર્ણપટમાં તેજસ્વી રેખાઓ તરીકે દેખાય છે (આકૃતિ 2.10).

રેખા ઉત્સર્જન વર્ણપટ ઇલેક્ટ્રોનીય રચનાના અભ્યાસમાં ખૂબ જ રસપ્રદ છે. પ્રત્યેક તત્ત્વને પોતાનો એક વિશેષ રેખા-ઉત્સર્જન વર્ણપટ હોય છે. પરમાણ્વીય વર્ણપટની લાક્ષણિક રેખાઓનો ઉપયોગ જેમ માણસને તેની ફિંગર પ્રિન્ટ પરથી ઓળખી શકાય છે તેમ અજ્ઞાત પરમાણુઓને પણ ઓળખી શકીએ છીએ. જ્ઞાત નમૂનાના રેખા વર્ણપટમાં મળતી રેખાઓને અસલ નમૂનામાંથી મળેલ વર્ણપટ રેખાઓની સાથે ચોક્કસાઈપૂર્વક મેળવણી કરવામાં આવે છે અને તેના પરથી અજ્ઞાત નમૂનાના પરમાણુઓને ઓળખી શકીએ છીએ. જર્મન રસાયણશાસ્ત્રી રોબર્ટ બુનસેન (Robert Bunsen) (1811-1899) તત્ત્વોની ઓળખ માટે રેખા વર્ણપટનો ઉપયોગ કરનાર સૌ પ્રથમ વૈજ્ઞાનિક હતા.

રૂબીડિયમ (Rb), સીઝિયમ (Cs), થેલિયમ (Tl), ઈન્ડિયમ (In), ગેલિયમ (Ga) અને સ્કેન્ડિયમ (Sc) તત્ત્વોની

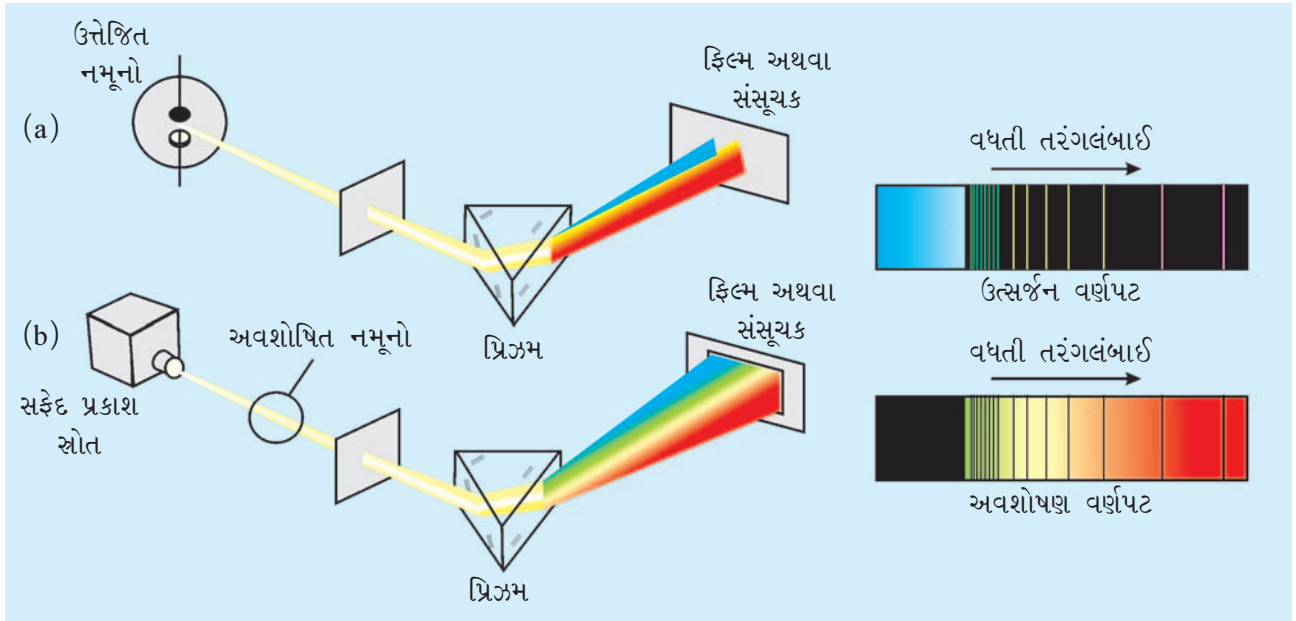
શોધ જ્યારે તેમના ખનીજોનું પૃથક્કરણ સ્પેક્ટ્રોસ્કોપી વડે કરવામાં આવ્યું હતું ત્યારે થઈ હતી. સૂર્યમાં હિલિયમ (He) તત્ત્વની શોધ સ્પેક્ટ્રોસ્કોપી પદ્ધતિ વડે થઈ હતી.

### હાઈડ્રોજનનો રેખા વર્ણપટ

જ્યારે વાયુમય હાઈડ્રોજનમાંથી વિદ્યુતવિભાર પસાર કરવામાં આવે છે ત્યારે અણુ વિયોજિત થાય છે અને હાઈડ્રોજન પરમાણુ ઉત્તેજિત થાય છે અને જુદી જુદી આવૃત્તિવાળું વિદ્યુતચુંબકીય વિકિરણ ઉત્પન્ન કરે છે. હાઈડ્રોજન વર્ણપટ કેટલીક શ્રેણીઓનું બનેલું છે, જેને શોધનાર વૈજ્ઞાનિકોના નામ પરથી દર્શાવવામાં આવે છે. બામરે 1885માં પ્રાયોગિક અવલોકનના આધારે દર્શાવ્યું કે જો વર્ણપટની રેખાઓને તરંગ સંખ્યા ( $\bar{\nu}$ )માં દર્શાવવામાં આવે તો હાઈડ્રોજન વર્ણપટની દૃશ્યમાન રેખાઓ નીચેના સૂત્રનું પાલન કરે છે.

$$\bar{\nu} = 109.677 \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \text{ cm}^{-1} \quad (2.8)$$

જ્યાં  $n$  પૂર્ણાંક સંખ્યા છે. તે ત્રણ કે ત્રણ કરતાં વધારે છે. ( $n = 3, 4, 5, \dots$ ).



**આકૃતિ 2.10 (a) પરમાણ્વીય ઉત્સર્જન :** ઉત્તેજિત હાઈડ્રોજન પરમાણુઓના નમૂના (અથવા બીજું કોઈ તત્ત્વ) વડે ઉત્સર્જિત કરેલ પ્રકાશ જ્યારે પ્રિઝમમાંથી પસાર થાય છે અને અમુક ચોક્કસ કેટલીક તરંગલંબાઈમાં અલગ થાય છે. આથી ઉત્સર્જન વર્ણપટ જે અલગ થયેલી તરંગલંબાઈનો ફોટોગ્રાફિક રેકોર્ડ છે તેને રેખા વર્ણપટ કહે છે. યોગ્ય માપનો કોઈ પણ નમૂનો ઘણી મોટી સંખ્યામાં પરમાણુઓ ધરાવે છે. જો કે કોઈ પણ સમયે એક જ પરમાણુ ઉત્તેજિત થાય છતાં પણ શક્ય બધી જ ઉત્તેજિત અવસ્થાઓ પરમાણુઓ ધરાવે છે, જ્યારે આ પરમાણુઓ નીચી ઊર્જા અવસ્થામાં આવે છે ત્યારે પ્રકાશ ઉત્સર્જિત થાય છે. જે વર્ણપટ માટે જવાબદાર છે. **(b) પરમાણ્વીય અવશોષણ વર્ણપટ :** બિનઉત્તેજિત પરમાણ્વીય હાઈડ્રોજનમાંથી જ્યારે સફેદ પ્રકાશ પસાર કરવામાં આવે છે ત્યારે ઇદ્ર અને પ્રિઝમમાંથી સંચરિત (transmitted) થતો પ્રકાશ (a)માં ઉત્સર્જિત થયેલી જ તરંગલંબાઈમાં તીવ્રતામાં ઘટાડો બતાવે છે અને રેકોર્ડ કરેલા અવશોષણ વર્ણપટને રેખા વર્ણપટ પણ કહે છે અને તે ઉત્સર્જિત વર્ણપટની ફોટોગ્રાફિક નેગેટીવ છે.

આ સૂત્ર દ્વારા વર્ણન કરાયેલી રેખાની શ્રેણીને **બામર શ્રેણી** કહેવાય છે. હાઈડ્રોજન વર્ણપટમાં બામર શ્રેણીની રેખાઓ જ માત્ર હોય છે. જે વિદ્યુતચુંબકીય વર્ણપટમાં દૃશ્યમાન છે. સ્વીડનના સ્પેક્ટ્રોસ્કોપીના નિષ્ણાત જોહાનીસ રીડબર્ગ (Johannes Rydberg) નોંધ્યું કે હાઈડ્રોજન વર્ણપટ રેખાઓની બધી જ શ્રેણીઓ નીચે પ્રમાણે રજૂ કરી શકાય :

$$\bar{\nu} = 109,677 \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \text{ cm}^{-1} \quad (2.9)$$

જ્યાં,  $n_1 = 1, 2, 3, \dots$

$$n_2 = n_1 + 1, n_1 + 2, n_1 + 3, \dots$$

$1,09,677 \text{ cm}^{-1}$ ને હાઈડ્રોજન માટેનો રીડબર્ગ અચળાંક કહે છે. રેખાઓની પ્રથમ પાંચ શ્રેણી જે  $n_1 = 1, 2, 3, 4, 5$  ને અનુરૂપ હોય છે. તે અનુક્રમે લાયમેન (Lyman), બામર (Balmer), પાશ્ચન (Paschen), બ્રેકેટ (Brackett), ફુન્ડ (Pfund) શ્રેણી તરીકે ઓળખાય છે. હાઈડ્રોજન વર્ણપટમાં ઉપરની શ્રેણીઓની સંક્રાંતિ કોષ્ટક 2.3માં દર્શાવેલ છે. આકૃતિ 2.11 હાઈડ્રોજન પરમાણુ માટે સંક્રાંતિની લાયમેન, બામર અને પાશ્ચન શ્રેણીઓ દર્શાવે છે.

બધા જ તત્ત્વોમાં હાઈડ્રોજન પરમાણુનો સૌથી સરળ રેખા વર્ણપટ છે. ભારે પરમાણુઓ માટે રેખા વર્ણપટ વધુ ને વધુ જટિલ બનતો જાય છે. તેમ છતાં કેટલીક ખાસ વિશિષ્ટતાઓ રહેતી હોય છે જે બધા જ રેખા વર્ણપટમાં સામાન્ય છે એટલે (i) તત્ત્વ માટેનું રેખા વર્ણપટ અદ્વિતીય હોય છે. (ii) દરેક તત્ત્વના રેખાવર્ણપટમાં એક પ્રકારની નિયમિતતા જોવા મળે છે. હવે પ્રશ્નો ઉદ્ભવે છે કે આ સરખાપણા માટે કયા કારણો હોઈ શકે ? શું તેને પરમાણુની ઈલેક્ટ્રોનીય રચના સાથે કંઈ લાગેવળગે છે ? આ પ્રશ્નોના ઉત્તર આપવા જરૂરી છે. આપણે આગળ ઉપર અભ્યાસ કરીશું કે તેના ઉત્તરો તત્ત્વોની ઈલેક્ટ્રોનીય રચના સમજવામાં આવીરૂપ છે.

## 2.4 હાઈડ્રોજન પરમાણુ માટેનો બોહરનો નમૂનો (Bohr's Model for Hydrogen Atom)

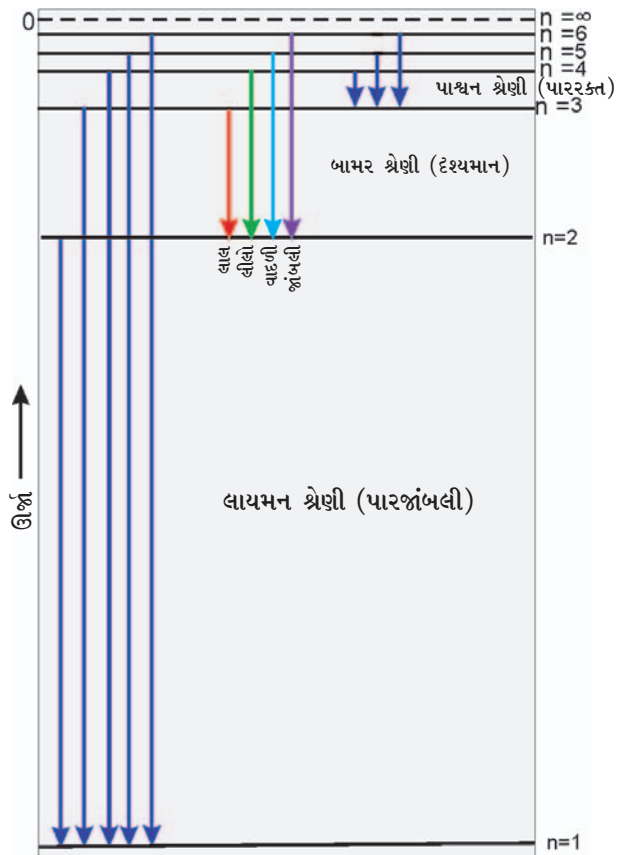
નિલ્સ બોહર (Niels Bohr)(1913) સૌપ્રથમ હતા જેમણે હાઈડ્રોજન પરમાણુની રચના અને તેના વર્ણપટને પરિમાણાત્મક રીતે સમજાવેલ હતો. જો કે આ સિદ્ધાંત આધુનિક ક્વોન્ટમ યંત્રશાસ્ત્રનો ન હતો પણ તે પરમાણ્વીય રચના અને વર્ણપટના ઘણા મુદ્દાઓનું સંમેયીકરણ (rationalization) કરવામાં

ઉપયોગી નીવડ્યો. બોહરનો હાઈડ્રોજન પરમાણુ માટેનો નમૂનો નીચેની અભિધારણાઓ પર આધારિત છે.

- હાઈડ્રોજન પરમાણુમાં રહેલો ઈલેક્ટ્રોન કેન્દ્રની આસપાસ વર્તુળાકાર પથમાં ચોક્કસ ત્રિજ્યા અને ઊર્જા સાથે ફરે છે. આ પથને **કક્ષા**, સ્થિર અવસ્થા અથવા માન્ય ઊર્જા અવસ્થાઓ કહે છે. આ કક્ષાઓ કેન્દ્રની આસપાસ સંકેન્દ્રિય (concentrically) રીતે ગોઠવાયેલી છે.
- કક્ષામાંના ઈલેક્ટ્રોનની ઊર્જા સમય સાથે બદલાતી નથી, પરંતુ જ્યારે ઈલેક્ટ્રોન નીચલી સ્થિર કક્ષામાંથી ઉપલી

### કોષ્ટક 2.3 પરમાણ્વીય હાઈડ્રોજનની વર્ણપટ રેખાઓ

શ્રેણી	$n_1$	$n_2$	વર્ણપટ વિસ્તાર
લાયમેન	1	2, 3, ...	પારજાંબલી
બામર	2	3, 4, ...	દૃશ્યમાન
પાશ્ચન	3	4, 5, ...	પારરક્ત
બ્રેકેટ	4	5, 6, ...	પારરક્ત
ફુન્ડ	5	6, 7, ...	પારરક્ત



આકૃતિ 2.11 હાઈડ્રોજન પરમાણુમાં ઈલેક્ટ્રોનની સંક્રાંતિ (આકૃતિ સંક્રાંતિની લાયમેન, બામર અને પાશ્ચન શ્રેણીઓ દર્શાવે છે.)

સ્થિર કક્ષામાં જાય છે ત્યારે ઊર્જાનું અવશોષણ કરે છે અથવા ઊંચી ઊર્જા અવસ્થામાંથી નીચી ઊર્જાસ્તરમાં આવે છે ત્યારે ઊર્જાનું ઉત્સર્જન થાય છે (સમીકરણ 2.16). ઊર્જા ફેરફાર સતતપણે થતો નથી.

### કોણીય વેગમાન

રેખીય વેગમાન જેમ દળ ( $m$ ) અને રેખીય વેગ ( $v$ )નો ગુણાકાર છે તેમ કોણીય વેગમાન જડત્વની ચાકમાત્ર ( $I$ ) અને કોણીય વેગ ( $\omega$ )નો ગુણાકાર છે.  $m_e$  દળ ધરાવતા ઈલેક્ટ્રોન જે કેન્દ્રની આજુબાજુ  $r$  અંતરે પથમાં ઘૂમે છે ત્યારે કોણીય વેગમાન  $I\omega$  પરંતુ  $I = m_e r^2$  અને  $\omega = \frac{v}{r}$  છે. જ્યાં  $v$  રેખીય વેગ છે.

$$\text{કોણીય વેગમાન} = m_e r^2 \times \frac{v}{r} = m_e v r.$$

(iii) બે સ્થિર અવસ્થાઓ જેમની વચ્ચે ઊર્જાનો ફેરફાર  $\Delta E$  હોય છે અને તેમાં સંક્રાંતિ થાય છે ત્યારે અવશોષિત થતા અથવા ઉત્સર્જિત થતા વિકિરણની આવૃત્તિ નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય.

$$v = \frac{\Delta E}{h} = \frac{E_2 - E_1}{h} \quad (2.10)$$

જ્યાં,  $E_1$  અને  $E_2$  અનુક્રમે નીચા અને ઊંચા માન્ય ઊર્જાસ્તરોની ઊર્જા છે. આ રજૂઆત સામાન્ય રીતે બોહ્ર આવૃત્તિ નિયમ તરીકે ઓળખાય છે.



નિલ્સ બોહ્ર  
(1885–1962)

ડચ ભૌતિકશાસ્ત્રી નિલ્સ બોહ્રે 1911માં કોપનહેગન યુનિવર્સિટીમાંથી Ph.D.ની પદવી મેળવી હતી. ત્યારબાદ તેઓએ જે. જે. થોમસન અને અર્નેસ્ટ રૂથરફોર્ડ સાથે ઈંગ્લેન્ડમાં એક વર્ષ વીતાવ્યું. 1913માં કોપનહેગન પરત આવ્યા. જ્યાં તેમણે પોતાના જીવનનો શેષ ભાગ વીતાવ્યો. 1920માં તેમનું ઈન્સ્ટિટ્યૂટ ઓફ થિયોરેટીકલ ફિઝિક્સ સંસ્થાના નિર્દેશક તરીકે નામાભિધાન કરાયું. પ્રથમ વિશ્વયુદ્ધ પછી નિલ્સ બોહ્રે પરમાણ્વીય ઊર્જાના શાંતિમય ઉપયોગો માટે ખૂબ જ મહેનત કરી. તેમણે પ્રથમ એટમ્સ ફોર પીસ એવોર્ડ 1957માં મેળવ્યો. બોહ્રને ભૌતિકવિજ્ઞાનમાં નોબેલ પારિતોષિક 1922માં આપવામાં આવેલું.

(iv) આપેલ સ્થિર કક્ષામાંના ઈલેક્ટ્રોનનું કોણીય વેગમાન સમીકરણ (2.11)માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે રજૂ કરી શકાય.

$$m_e v r = n \cdot \frac{h}{2\pi} \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (2.11)$$

આમ, ઈલેક્ટ્રોન એવી જ કક્ષાઓમાં ઘૂમશે જેમના કોણીય વેગમાન  $\left(\frac{h}{2\pi}\right)$ ના સંકલન (integral) ગુણક હોય એટલે જ કેટલીક કક્ષાઓ જ માન્ય ગણાય છે.

બોહ્રે ઉપયોગ કરેલી સ્થિર કક્ષાઓની ઊર્જાના વિચલન અંગેની વિગતો ઘણી ગૂંચવાડાભરેલી હતી અને તેની ચર્ચા ઉપલા ધોરણોમાં કરવામાં આવશે. હાઈડ્રોજન પરમાણુના બોહ્રના નમૂના પ્રમાણે.

(a) ઈલેક્ટ્રોન માટેની સ્થિર કક્ષાઓને  $n = 1, 2, 3, \dots$  એમ દર્શાવેલ છે. આ સંકલિત સંખ્યા (વિભાગ 2.6.2)ને **મુખ્ય ક્વોન્ટમ આંક** તરીકે ઓળખવામાં આવે છે.

(b) સ્થિર કક્ષાઓની ત્રિજ્યાઓ નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય :

$$r_n = n^2 a_0 \quad \text{જ્યાં, } a_0 = 52.9 \text{ pm.} \quad (2.12)$$

આમ પ્રથમ સ્થિર અવસ્થાની ત્રિજ્યાને **બોહ્ર કક્ષા** કહે છે તેની ત્રિજ્યા 52.9 pm થશે. સામાન્ય રીતે હાઈડ્રોજન પરમાણુમાં ઈલેક્ટ્રોન આ કક્ષામાં મળી આવે છે (એટલે કે  $n = 1$ ). જેમ  $n$ નું મૂલ્ય વધે છે તેમ  $r$ નું મૂલ્ય પણ વધશે. બીજા શબ્દોમાં કહીએ તો ઈલેક્ટ્રોન કેન્દ્રથી દૂર હશે.

(c) ઈલેક્ટ્રોન સાથે સંકળાયેલ ખૂબ અગત્યનો ગુણધર્મ છે તે સ્થિર અવસ્થાની ઊર્જા છે. તેને નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય :

$$E_n = -R_H \left(\frac{1}{n^2}\right) \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (2.13)$$

$R_H$ ને **રીડબર્ગ અચળાંક** કહે છે અને તેનું મૂલ્ય  $2.18 \times 10^{-18} \text{ J}$  છે. સૌથી નીચી અવસ્થા જેને ધરા (ભૂમિ) અવસ્થા કહે છે તેની ઊર્જા થશે.

$$E_1 = -2.18 \times 10^{-18} \left(\frac{1}{1^2}\right) = -2.18 \times 10^{-18} \text{ J}$$

$n = 2$  માટે સ્થિર અવસ્થાની ઊર્જાનું મૂલ્ય થશે.

$$E_2 = -2.18 \times 10^{-18} \text{ J} \left(\frac{1}{2^2}\right) = -0.545 \times 10^{-18} \text{ J}$$

આકૃતિ 2.11માં જુદી જુદી હાઇડ્રોજન પરમાણુની સ્થિર અવસ્થા અથવા ઊર્જાસ્તર દર્શાવ્યા છે. આને ઊર્જાસ્તર આકૃતિ કહે છે.

### હાઇડ્રોજન પરમાણુ માટે ઋણ ઇલેક્ટ્રોનીય ઊર્જા ( $E_n$ )નો શું અર્થ થાય છે ?

હાઇડ્રોજન પરમાણુના ઇલેક્ટ્રોનની ઊર્જા ઋણ સંજ્ઞા ધરાવે છે (સમીકરણ 2.13). આ ઋણ સંજ્ઞા શું કહેવા માંગે છે ? આ ઋણ સંજ્ઞા દર્શાવે છે કે પરમાણુમાં રહેલા ઇલેક્ટ્રોનની ઊર્જા મુક્ત ઇલેક્ટ્રોન કરતાં ઓછી હોય છે. વિરામ સમયે (at rest) ઇલેક્ટ્રોન કેન્દ્રથી અનંત અંતરે દૂર હોવાનું કલ્પવામાં આવે છે અને તેની ઊર્જાનું મૂલ્ય શૂન્ય ગણવામાં આવે છે. આનો અર્થ ગણિતીય રીતે કહીએ તો સમીકરણ (2.13)માં  $n$  બરાબર અનંત ગણીને મૂકીએ તો  $E_\infty = 0$  થશે. ઇલેક્ટ્રોન જેમ કેન્દ્રની નજીક આવે છે તેમ  $n$  ઘટે છે અને નિરપેક્ષ મૂલ્યમાં વધતી જાય છે અને વધુ ને વધુ ઋણ બનતી જાય છે. સૌથી વધુ ઋણ ઊર્જા  $n = 1$  માટે મેળવી શકાય જે સૌથી વધુ સ્થાયી કક્ષાને અનુરૂપ છે. આને આપણે ધરા અથવા ભૂમિ અવસ્થા કહીએ છીએ.

જ્યારે ઇલેક્ટ્રોન કેન્દ્રની અસરથી મુક્ત હોય છે ત્યારે ઊર્જા બરાબર શૂન્ય લેવામાં આવે છે. આ પરિસ્થિતિમાં ઇલેક્ટ્રોન મુખ્ય ક્વોન્ટમ આંક  $n = \infty$  સાથે સંકળાયેલ હોય છે અને તેને આયન થયેલો હાઇડ્રોજન પરમાણુ કહે છે. જ્યારે ઇલેક્ટ્રોન કેન્દ્ર વડે આકર્ષાય છે તથા તે  $n$  કક્ષામાં હોય છે ત્યારે ઊર્જાનું ઉત્સર્જન થાય છે અને ઊર્જા ઘટે છે. સમીકરણ (2.13)માં ઋણ સંજ્ઞાનું કારણ આ જ છે અને તે પ્રતિનિધિત્વ કક્ષાની શૂન્ય ઊર્જાની ( $n = \infty$ ) સરખામણીમાં સ્થાયીતા સૂચવે છે.

(d) હાઇડ્રોજન પરમાણુમાં રહેલા એક ઇલેક્ટ્રોનની જેમ બોહ્રનો સિદ્ધાંત એક ઇલેક્ટ્રોન ધરાવતા આયનોને લાગુ પાડી શકાય. ઉદાહરણ તરીકે  $\text{He}^+$ ,  $\text{Li}^{2+}$ ,  $\text{Be}^{3+}$ , ... વગેરે. આવા આયનો (હાઇડ્રોજન જેવી જ સ્પીસિઝ તરીકે ઓળખાતી) સાથે સંકળાયેલ અવસ્થાઓની ઊર્જા નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય :

$$E_n = -2.18 \times 10^{-18} \left( \frac{Z^2}{n^2} \right) \text{ J} \quad (2.14)$$

અને ત્રિજ્યા નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય :

$$r_n = \frac{52.9(n)^2}{Z} \text{ pm} \quad (2.15)$$

જ્યાં,  $Z$  પરમાણ્વીય ક્રમાંક છે અને તેના મૂલ્યો 2, 3 અનુક્રમે હિલિયમ અને લિથિયમ પરમાણુ માટે છે.

ઉપરના સમીકરણો પરથી સ્પષ્ટ થાય છે કે  $Z$ ના વધારા સાથે ઊર્જાના મૂલ્ય વધુ ઋણ બનતા જાય છે અને ત્રિજ્યાના મૂલ્ય નાનાં થતાં જાય છે. આનો અર્થ એમ થાય કે ઇલેક્ટ્રોન કેન્દ્ર સાથે મજબૂતાઈથી બંધાયેલો હોય છે.

(e) આ કક્ષાઓમાં ધૂમતા ઇલેક્ટ્રોનનો વેગ નક્કી કરવાનું શક્ય છે. અહીંયા સંપૂર્ણ પરિશુદ્ધ સમીકરણ આપેલ નથી પણ ગુણાત્મક રીતે કહીએ તો ઇલેક્ટ્રોનના વેગની માત્રા કેન્દ્ર પરના ઘનભારના વધારા સાથે વધે છે અને મુખ્ય ક્વોન્ટમ આંકના વધારા સાથે ઘટે છે.

### 2.4.1 હાઇડ્રોજનના રેખા વર્ણપટની સમજૂતી (Explanation of Line Spectrum of Hydrogen)

વિભાગ 2.3.3માં જણાવ્યા પ્રમાણે હાઇડ્રોજન પરમાણુના મળેલા રેખા વર્ણપટને બોહ્રના નમૂનાનો ઉપયોગ કરીને જથ્થાત્મક રીતે સમજાવી શકીએ. અભિધારણા 2 પ્રમાણે જો ઇલેક્ટ્રોન નીચા મુખ્ય ક્વોન્ટમ આંક ધરાવતી કક્ષામાંથી ઊંચો મુખ્ય ક્વોન્ટમ આંક ધરાવતી કક્ષામાં જાય ત્યારે ઊર્જાનું અવશોષણ થાય અને ઊંચો મુખ્ય ક્વોન્ટમ આંક ધરાવતી કક્ષામાંથી નીચો મુખ્ય ક્વોન્ટમ આંક ધરાવતી કક્ષામાં જાય ત્યારે ઊર્જાનું ઉત્સર્જન થાય છે. ટૂંકમાં ઇલેક્ટ્રોન ઊંચી કક્ષામાંથી નીચી કક્ષામાં ખસે છે ત્યારે વિકિરણ (ઊર્જા) ઉત્સર્જિત થાય છે. બન્ને કક્ષા વચ્ચેનો ઊર્જાનો ગાળો સમીકરણ (2.16) દ્વારા દર્શાવી શકાય.

$$\Delta E = E_f - E_i \quad (2.16)$$

સમીકરણ (2.13) અને (2.16)નો સમન્વય કરતાં

$$\Delta E = \left( -\frac{R_H}{n_f^2} \right) - \left( -\frac{R_H}{n_i^2} \right)$$

જ્યાં,  $n_i$  અને  $n_f$  પ્રારંભિક (initial) કક્ષા અને અંતિમ (final) કક્ષા દર્શાવે છે.

$$\Delta E = R_H \left( \frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2} \right) = 2.18 \times 10^{-18} \text{ J} \left( \frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2} \right) \quad (2.17)$$

ફોટોનના અવશોષણ કે ઉત્સર્જન સાથે સંકળાયેલી આવૃત્તિ સમીકરણ (2.18) દ્વારા ગણી શકાય.

$$\begin{aligned} \nu &= \frac{\Delta E}{h} = \frac{R_H}{h} \left( \frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2} \right) \\ &= \frac{2.18 \times 10^{-18} \text{ J}}{6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}} \left( \frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2} \right) \quad (2.18) \end{aligned}$$

$$= 3.29 \times 10^{15} \left( \frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2} \right) \text{Hz} \quad (2.19)$$

અને તરંગસંખ્યા ( $\bar{\nu}$ )ના પર્યાયમાં

$$\bar{\nu} = \frac{\nu}{c} = \frac{R_H}{hc} \left( \frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2} \right) \quad (2.20)$$

$$= \frac{3.29 \times 10^{15} \text{ s}^{-1}}{3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}} \left( \frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2} \right)$$

$$= 1.09677 \times 10^7 \left( \frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2} \right) \text{m}^{-1} \quad (2.21)$$

અવશોષણ વર્ણપટની બાબતમાં  $n_f > n_i$  અને કોંસમાં દર્શાવેલ પર્યાય ધન છે અને ઊર્જા શોષાય છે. બીજી બાજુ લઈએ તો ઉત્સર્જન વર્ણપટમાં ( $n_i > n_f$ ),  $\Delta E$  ઋણ થશે અને ઊર્જા મુક્ત થશે.

સમીકરણ (2.17) અને રીડબર્ગ ઉપયોગ કરેલ સમીકરણ (2.9) સરખાં છે. રીડબર્ગ આની ગણતરી તે સમયે પ્રાપ્ય પ્રાયોગિક માહિતી પરથી કરી હતી. આ ઉપરાંત અવશોષણ કે ઉત્સર્જન વર્ણપટમાં મળતી દરેક રેખા સૂચવે છે કે કોઈ ચોક્કસ સંક્રાંતિ હાઈડ્રોજન પરમાણુમાં થાય છે. હાઈડ્રોજન પરમાણુની મોટી સંખ્યાને લીધે જુદી જુદી શક્ય સંક્રાંતિઓનું અવલોકન થઈ શકે અને આને પરિણામે મોટી સંખ્યામાં વર્ણપટ રેખાઓ મળે. વર્ણપટ રેખાની તેજસ્વીતા અથવા તીવ્રતા સમાન તરંગલંબાઈ, અવશોષણ કે ઉત્સર્જન પામેલા ફોટોનની સંખ્યા પર આધાર રાખે છે.

### કોયડો 2.10

હાઈડ્રોજન પરમાણુમાં  $n = 5$  થી  $n = 2$  કક્ષામાં થતી સંક્રાંતિ દરમિયાન ઉત્સર્જિત થતા ફોટોનની આવૃત્તિ અને તરંગલંબાઈ ગણો.

ઉકેલ :  $n_i = 5$  અને  $n_f = 2$  છે. આ સંક્રાંતિ બામર શ્રેણીના દૃશ્યમાન વિસ્તારમાં વર્ણપટ રેખા આપશે. સમીકરણ (2.17) પરથી

$$\Delta E = 2.18 \times 10^{-18} \text{ J} \left( \frac{1}{5^2} - \frac{1}{2^2} \right) = -4.58 \times 10^{-19} \text{ J}$$

આ ઉત્સર્જન ઊર્જા છે.

ફોટોનની આવૃત્તિ (ઊર્જાને માત્રાના પર્યાયમાં લેતાં) નીચે પ્રમાણે આપી શકાય :

$$\nu = \frac{\Delta E}{h} = \frac{4.58 \times 10^{-19} \text{ J}}{6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}} = 6.91 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3.0 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}}{6.91 \times 10^{14} \text{ Hz}} = 434 \text{ nm}$$

### કોયડો 2.11

$\text{He}^+$ ની પ્રથમ કક્ષા સાથે સંકળાયેલ ઊર્જા ગણો. કક્ષાની ત્રિજ્યા કેટલી હશે.

$$\text{ઉકેલ : } E_n = - \frac{(2.18 \times 10^{-18} \text{ J})Z^2}{n^2} \text{ પરમાણુ}^{-1}$$

$\text{He}^+$  માટે,  $n = 1$ ,  $Z = 2$

$$\therefore E_1 = - \frac{(2.18 \times 10^{-18} \text{ J})(2)^2}{(1)^2} = -8.72 \times 10^{-18} \text{ J}$$

કક્ષાની ત્રિજ્યા સમીકરણ (2.15) વડે ગણી શકાય.

$$r_1 = \frac{(0.0529 \text{ nm})(n)^2}{Z}$$

$n = 1$  અને  $Z = 2$  હોઈ

$$r_n = \frac{(0.0529 \text{ nm})1^2}{2} = 0.02645 \text{ nm}$$

## 2.4.2 બોહ્રના પરમાણુ નમૂનાની મર્યાદાઓ (Limitations of Bohr's Model)

હાઈડ્રોજન પરમાણુનો બોહ્રનો નમૂનો બેશક રૂથરફોર્ડના કેન્દ્રીય નમૂના કરતાં વધુ સુધારાવાળો હતો, કારણ કે હાઈડ્રોજન અને હાઈડ્રોજન જેવા આયનો ( $\text{He}^+$ ,  $\text{Li}^{2+}$ ,  $\text{Be}^{3+}$ )ની સ્થાયીતા અને રેખા વર્ણપટ સમજાવી શક્યો હતો. પરંતુ બોહ્રનો નમૂનો ઘણો જ સરળ હોવાથી નીચેના મુદ્દાઓ સમજાવવા માટે સક્ષમ નથી :

- અદ્યતન સ્પેક્ટ્રોસ્કોપિક તકનીકીઓનો ઉપયોગ કરી અવલોકિત થયેલા હાઈડ્રોજન પરમાણુ વર્ણપટને વધુ સૂક્ષ્મ (fine) ડબ્લેટ એટલે કે બે ખૂબ જ નજીક ગોઠવાયેલી રેખાઓ) રીતે સમજાવવામાં નિષ્ફળ નીવડ્યો. આ નમૂનો હાઈડ્રોજન સિવાયના અન્ય પરમાણુઓના વર્ણપટ

સમજાવવામાં અસમર્થ રહ્યો. ઉદાહરણ તરીકે લઈએ તો હિલિયમ પરમાણુ માત્ર બે જ ઇલેક્ટ્રોન ધરાવે છે. બીજા પરમાણુઓના વર્ણપટ સમજાવી શક્યો ન હતો. વધારામાં બોહ્રનો સિદ્ધાંત ચુંબકીય ક્ષેત્રની હાજરીમાં (ઝીમેન (Zeeman) અસર) અને વિદ્યુતીય ક્ષેત્રની હાજરીમાં (સ્ટાર્ક (Stark) અસર), વર્ણપટીય રેખાના વિપાટન (splitting) સમજાવવામાં અશક્તિમાન રહ્યો.

(ii) તે પરમાણુઓની રાસાયણિક બંધથી અણુ બનાવવાની ક્ષમતા વિશે પણ સમજાવી શકેલ નહિ.

બીજા શબ્દોમાં કહીએ તો ઉપર દર્શાવ્યા મુદ્દાઓને ધ્યાનમાં લઈને એક વધારે સારા સિદ્ધાંતની જરૂર જણાઈ જે સંકીર્ણ પરમાણુઓની રચનાની વિશિષ્ટ ખાસિયતો સમજાવી શકે.

## 2.5 પરમાણુના ક્વોન્ટમ યાંત્રિકીય નમૂના તરફ (Towards Quantum Mechanical Model of the Atom)

બોહ્રના નમૂનાની ઊણપોને કારણે પરમાણુ માટે એક વધુ યોગ્ય અને સરળ નમૂનો મેળવવા માટે પ્રયત્નો થયાં. આવા નમૂનાના નિર્માણમાં વિશિષ્ટ રીતે યોગદાન આપ્યું હોય તેવા બે અગત્યના વિકાસો (developments) હતા.

1. દ્રવ્યની દ્વૈત વર્તણૂક
2. હાઈઝનબર્ગનો અનિશ્ચિતતાનો સિદ્ધાંત

### 2.5.1 દ્રવ્યની દ્વૈત વર્તણૂક (Dual Behaviour of Matter)

1924માં ફ્રેન્ચ ભૌતિકશાસ્ત્રી દે બ્રોગ્લીએ (De Broglie) રજૂ કર્યું કે દ્રવ્ય વિકિરણની જેમ દ્વૈત વર્તણૂક ધરાવે છે એટલે કે કણ અને તરંગ બંનેના ગુણધર્મો ધરાવે છે. આનો અર્થ એમ થાય કે ફોટોનને જેમ વેગમાન અને તરંગલંબાઈ છે તેમ ઇલેક્ટ્રોનને પણ વેગમાન અને તરંગલંબાઈ હોઈ શકે છે. બ્રોગ્લીએ આ સરખામણી પરથી દ્રવ્યતરંગની તરંગલંબાઈ ( $\lambda$ ) અને વેગમાન ( $p$ ) વચ્ચે નીચેનો સંબંધ રજૂ કર્યો.

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{p} \quad \dots(2.22)$$

જ્યાં  $m$  કણનું દળ છે અને  $v$  તેનો વેગ છે અને  $p$  તેનું વેગમાન છે. દે-બ્રોગ્લીનું પ્રાકૃતિક પુરવાર થયું જ્યારે પ્રાયોગિક રીતે સાબિત થયું કે ઇલેક્ટ્રોનનો પુંજ વિવર્તન દર્શાવે છે. જે કોઈ તરંગની લાક્ષણિકતા છે. આ હકીકતનો ઉપયોગ ઇલેક્ટ્રોન માઈક્રોસ્કોપ જેનો આધાર સામાન્ય

લુઈસ દે બ્રોગ્લી (1892–1987)

ફ્રેન્ચ ભૌતિકશાસ્ત્રી લુઈસ દે બ્રોગ્લીએ 1910ની શરૂઆતમાં પૂર્વસ્નાતક કક્ષાએ ઇતિહાસનો અભ્યાસ કરેલો. પ્રથમ વિશ્વયુદ્ધ દરમિયાન તેમને રેડિયો સંદેશાવહનનું કાર્ય સોંપવામાં આવેલ હોવાથી તેમનો વિજ્ઞાન તરફ રસ તેમને ભૌતિકવિજ્ઞાન તરફ ખેંચી લાવ્યો. તેમણે 1924માં પેરિસ યુનિવર્સિટીમાંથી Dr. Sc.ની પદવી મેળવી હતી. તેઓ 1932થી 1962માં નિવૃત્તિ સમય સુધી યુનિવર્સિટી ઓફ પેરિસમાં સૈદ્ધાંતિક ભૌતિકવિજ્ઞાનના પ્રાધ્યાપક રહ્યા. તેમને 1929માં ભૌતિકવિજ્ઞાનમાં નોબેલ પારિતોષિક એનાયત થયેલ.



સૂક્ષ્મદર્શક યંત્રમાં પ્રકાશના તરંગ સ્વભાવનો ઉપયોગ કરીએ છીએ તેમ ઇલેક્ટ્રોનનો તરંગ સ્વભાવના આધારે કરવામાં આવેલો. ઇલેક્ટ્રોન માઈક્રોસ્કોપ આધુનિક સંશોધનમાં ખૂબ જ શક્તિશાળી સાધન છે કારણ કે તેના વડે 150 લાખ ગણું આવર્ધન (magnification) મેળવી શકાય છે.

એ નોંધવું જરૂરી બને છે કે દે-બ્રોગ્લી અનુસાર દરેક વસ્તુ ગતિમાં હોય ત્યારે તરંગની લાક્ષણિકતા દર્શાવે છે. સામાન્ય વસ્તુઓ સાથે સંકળાયેલી તરંગલંબાઈ ઘણી ટૂંકી (કારણ કે તેમના ભારે દળ) હોય છે અને તેથી તરંગપ્રકૃતિ પારખી શકાતી નથી. ઇલેક્ટ્રોન અને બીજા અવપરમાણ્વીય કણો (જેમના દળ ઘણા ઓછા છે) સાથે સંકળાયેલી તરંગલંબાઈ પારખી શકાય છે. નીચે દર્શાવેલ કોયડા પરથી મળેલા પરિણામો આ મુદ્દાઓને ગુણાત્મક રીતે સાબિત કરે છે.

#### કોયડો 2.12

0.1 kg દળ ધરાવતો દડો જેનો વેગ  $10 \text{ ms}^{-1}$  છે તેની તરંગલંબાઈ ગણો.

ઉકેલ : દે-બ્રોગ્લી સમીકરણ (2.22) પ્રમાણે

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{(6.626 \times 10^{-34} \text{ Js})}{(0.1 \text{ kg})(10 \text{ ms}^{-1})} = 6.626 \times 10^{-34} \text{ m} \quad (\text{J} = \text{kg m}^2\text{s}^{-2})$$

#### કોયડો 2.13

ઇલેક્ટ્રોનનું દળ  $9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$  છે. જો તેની ગતિજ ઊર્જા  $3.0 \times 10^{-25} \text{ J}$  હોય તો તરંગલંબાઈ ગણો.

ઉકેલ : ગતિજ ઊર્જા =  $\frac{1}{2}mv^2$



$$\begin{aligned}\therefore v &= \left( \frac{2 \text{ K.E.}}{m} \right)^{\frac{1}{2}} \\ &= \left( \frac{2 \times 3.0 \times 10^{-25} \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2}}{9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}} \right)^{\frac{1}{2}} \\ &= 812 \text{ ms}^{-1} \\ \therefore v &= \frac{h}{mv} = \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}}{(9.1 \times 10^{-31} \text{ kg})(812 \text{ ms}^{-1})} \\ &= 8967 \times 10^{-10} \text{ m} \\ &= 896.7 \text{ nm}\end{aligned}$$

**કોયડો 2.14**

$\lambda = 3.6 \text{ \AA}$  તરંગલંબાઈ ધરાવતા ફોટોનનું દળ ગણો.

ઉકેલ :  $\lambda = 3.6 \text{ \AA} = 3.6 \times 10^{-10} \text{ m}$

ફોટોનનો વેગ = પ્રકાશનો વેગ

$$\begin{aligned}m &= \frac{h}{\lambda v} = \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}}{(3.6 \times 10^{-10} \text{ m})(3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1})} \\ &= 6.135 \times 10^{-29} \text{ kg}\end{aligned}$$

## 2.5.2 હાઈઝનબર્ગનો અનિશ્ચિતતા સિદ્ધાંત (Heisenberg's Uncertainty Principle)

જર્મન ભૌતિકશાસ્ત્રી હાઈઝનબર્ગે 1927માં અનિશ્ચિતતા સિદ્ધાંતનું નિવેદન કરેલું, જે દ્રવ્ય અને વિકિરણ દ્વેત વર્તણૂકનું પરિણામ હતું. આ નિયમ નિવેદિત કરે છે કે ઈલેક્ટ્રોનનું ચોક્કસ સ્થાન અને ચોક્કસ વેગમાન (અથવા વેગ) એક જ સાથે નક્કી કરવાનું અશક્ય છે. ગાણિતીય રીતે તે સમીકરણ (2.23) પ્રમાણે દર્શાવી શકાય.

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \frac{h}{4\pi} \quad (2.23)$$

$$\text{અથવા } \Delta x \times \Delta(mv_x) \geq \frac{h}{4\pi}$$

$$\text{અથવા } \Delta x \times \Delta v_x \geq \frac{h}{4\pi m}$$

જ્યાં,  $\Delta x$  કણની તેના સ્થાનમાં અનિશ્ચિતતા છે અને  $\Delta p_x$  (અથવા  $\Delta v_x$ ) તેના વેગમાનમાં (અથવા વેગમાં)

અનિશ્ચિતતા છે. જો ઈલેક્ટ્રોનનું સ્થાન ( $\Delta x$  નાનો છે) ખૂબ જ ચોક્કસાઈથી જાણતા હોઈએ તો તે સમયે ઈલેક્ટ્રોનનો વેગ  $\Delta v_x$ નું મૂલ્ય ઘણું મોટું હશે. જો ઈલેક્ટ્રોનનો વેગ ચોક્કસાઈપૂર્વક જાણતા હોઈએ તો તે સમયે ઈલેક્ટ્રોનનું સ્થાન અનિશ્ચિત હશે ( $\Delta x$  ઘણું ઊંચું મૂલ્ય હશે.). આમ, આપણે ઈલેક્ટ્રોનના સ્થાન કે વેગ માટે કોઈ ભૌતિક માપન કરીએ તો નતીજો (outcome) હંમેશાં અસ્પષ્ટ અને ધૂંધળું ચિત્ર હશે.

અનિશ્ચિતતાનો સિદ્ધાંત ઉદાહરણ દ્વારા સૌથી સારી રીતે સમજી શકાશે. ધારો કે તમને એક પાતળા કાગળની જાડાઈ માપવા માટે અંકિત કર્યા વગરની માપપટ્ટીથી માપવાનું કહેવામાં આવે તો સ્વાભાવિક છે મળતા પરિણામો ખૂબ જ અચોક્કસ અને અર્થહીન હશે. ધારો કે તમને પાતળા કાગળની અંકિત કરેલ માપપટ્ટી વડે જાડાઈ માપવાનું કહેવામાં આવે તો, કાગળની જાડાઈ કરતાં ઓછી જાડાઈ માપે તેવું સાધન વાપરવું પડે. એ જ પ્રમાણે ઈલેક્ટ્રોનનું સ્થાન નક્કી કરવા માટે તમારે ઈલેક્ટ્રોનના પરિમાણો કરતાં ઓછા પરિમાણોવાળા એકમોમાં અંકિત કરેલી માપપટ્ટી વાપરવી પડે. (એ ધ્યાનમાં રાખવું કે ઈલેક્ટ્રોન બિંદુભાર છે અને તેથી તે પરિમાણરહિત હશે.) ઈલેક્ટ્રોનને અવલોકિત કરવા માટે તેને પ્રકાશ અથવા વિદ્યુતચુંબકીય વિકિરણથી પ્રદીપ્ત (illuminated) કરી શકીએ. ઉપયોગમાં લેવાયેલા પ્રકાશની તરંગલંબાઈ ઈલેક્ટ્રોનના પરિમાણો (dimension) કરતાં ઓછી હોવી જોઈએ. આવા પ્રકાશના ઊંચા વેગમાનવાળા ફોટોન ( $p = \frac{h}{\lambda}$ ) અથડામણને કારણે ઈલેક્ટ્રોનની ઊર્જામાં ફેરફાર કરે. આ પ્રક્રમમાં બેશક આપણે ઈલેક્ટ્રોનનું સ્થાન ગણી શકીએ, પરંતુ અથડામણ પછી ઈલેક્ટ્રોનના વેગ વિશે ઘણું ઓછું જાણી શકીએ.

### અનિશ્ચિતતા નિયમનું મહત્ત્વ :

હાઈઝનબર્ગ અનિશ્ચિતતા સિદ્ધાંતની એક અગત્યની બાબત એ છે કે ઈલેક્ટ્રોન અને બીજા સમાન કણોના નિશ્ચિત પથ અથવા પ્રક્ષેપ પથના અસ્તિત્વને નકારી દે છે. વસ્તુઓના પ્રક્ષેપ પથ તેના સ્થાન અને વેગ જુદી જુદી માત્રાઓથી નક્કી કરી શકાય છે. જો આપણે કોઈ ચોક્કસ સમયે પદાર્થનું સ્થાન અને તેનો વેગ જાણતા હોઈએ અને તેના પર તે સમયે લાગુ પડતું બળ જાણતા હોઈએ તો અમુક સમય પછી પદાર્થ ક્યાં હશે તે કહી શકીએ. આથી આપણે તારણ કાઢી શકીએ કે વસ્તુનું સ્થાન અને તેનો વેગ તેના પ્રક્ષેપ પથ

નક્કી કરે છે. ઈલેક્ટ્રોન જેવી અવપરમાણ્વીય વસ્તુ માટે કોઈ પણ ક્ષણે ચોકસાઈપૂર્વક તેના સ્થાન અને વેગ એકસાથે નક્કી કરવા અશક્ય છે. ઈલેક્ટ્રોન પ્રક્ષેપ પથ વિશે વાત કરવી પણ શક્ય નથી.

હાઈઝનબર્ગ (Heisenberg) અનિશ્ચિતતા સિદ્ધાંતની અસર આપણને સૂક્ષ્મદર્શીય (microscopic) વસ્તુઓ માટે સાર્થક લાગે, પરંતુ સ્થૂળદર્શીય (macroscopic) વસ્તુઓ માટે તે નગણ્ય (negligible) છે. નીચેના ઉદાહરણો પરથી આ જોઈ શકાશે :

ધારો કે 1 મિલિગ્રામ ( $10^{-6}$  kg) દળ ધરાવતી વસ્તુને અનિશ્ચિતતા લાગુ પાડીએ તો,

$$\begin{aligned}\Delta v \cdot \Delta x &= \frac{h}{4\pi \cdot m} \\ &= \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}}{4 \times 3.1416 \times 10^{-6} \text{ kg}} \\ &\approx 10^{-28} \text{ m}^2\text{s}^{-1}\end{aligned}$$

$\Delta v \cdot \Delta x$  નું પ્રાપ્ત મૂલ્ય ઘણું જ નાનું હોવાથી નગણ્ય છે. આથી કોઈ એમ કહી શકે કે મિલિગ્રામ માપના અથવા તેનાથી ભારે વસ્તુઓ સાથે ગણતાં આનુસંગિત ચોકસાઈ ભાગ્યે જ કોઈ સાચા પરિણામની હોય.

સૂક્ષ્મદર્શીય કણ જેવા કે ઈલેક્ટ્રોન માટે  $\Delta v \cdot \Delta x$  નું મૂલ્ય ઘણું મોટું (વધારે) હોય છે. આવી અચોક્કસતા સાચાં પરિણામની હોય છે. ઉદાહરણ તરીકે લઈએ તો ઈલેક્ટ્રોનનું દળ  $9.1 \times 10^{-31}$  kg છે. હાઈઝનબર્ગ અનિશ્ચિતતા સિદ્ધાંત પ્રમાણે

$$\begin{aligned}\Delta v \cdot \Delta x &= \frac{h}{4\pi m} \\ &= \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}}{4 \times 3.1416 \times 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}} \\ &= 10^{-4} \text{ m}^2\text{s}^{-1}\end{aligned}$$

આનો અર્થ એમ થાય છે કે કોઈ ઈલેક્ટ્રોનનું ચોક્કસ સ્થાન નક્કી કરવાનો પ્રયત્ન કરે તો અનિશ્ચિતતા ફક્ત  $10^{-8}$  છે અને ગતિમાં અનિશ્ચિતતા થશે.

$$\frac{10^{-4} \text{ m}^2\text{s}^{-1}}{10^{-8} \text{ m}} = 10^4 \text{ ms}^{-1}$$

આ મૂલ્ય એટલું મોટું છે કે બોહ્રની કક્ષા(નિશ્ચિત)માં ફરતા ઈલેક્ટ્રોનનું ચિરસંમત ચિત્ર વાજબી રહી શકે નહિ. એટલા માટે તેનો એ જ અર્થ થાય છે કે ઈલેક્ટ્રોનના સ્થાન અને વેગમાનના પરિશુદ્ધ (ચોક્કસ) નિવેદનોને બદલે આપેલ સ્થાન અને વેગ માટે સંભાવનાને નિવેદિત કરવી પડે. આવું જ પરમાણુના ક્વોન્ટમ યંત્રશાસ્ત્રીય નમૂનામાં બને છે.

### કોયડો 2.15

સૂક્ષ્મદર્શક યંત્રનો ઉપયોગ કરીને યોગ્ય ફોટોનથી પરમાણુમાં ઈલેક્ટ્રોનનું સ્થાન  $0.1 \text{ \AA}$  અંતરમાં જાણવા માટે કરવામાં આવેલ છે. તેની ગતિના માપનમાં કેટલી અનિશ્ચિતતા રહેલી છે ?

ઉકેલ :  $\Delta x \cdot \Delta p = \frac{h}{4\pi}$  અથવા  $\Delta x \cdot m\Delta v = \frac{h}{4\pi}$

$$\begin{aligned}\Delta v &= \frac{h}{4\pi \Delta x m} \\ &= \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}}{4 \times 3.14 \times 0.1 \times 10^{-10} \text{ m} \times 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}} \\ &= 0.579 \times 10^7 \text{ ms}^{-1} \quad (1\text{J} = 1 \text{ kg m}^2\text{s}^{-2}) \\ &= 5.79 \times 10^6 \text{ ms}^{-1}\end{aligned}$$

### કોયડો 2.16

એક ગોલ્ડના દડાનું દળ 40 ગ્રામ છે અને વેગ  $45 \text{ m/s}$  છે. જો વેગ 2 %ની ચોકસાઈથી માપી શકાય તો સ્થાનમાં અનિશ્ચિતતા ગણો.

વર્નર હાઈઝનબર્ગ (1901 - 1976) 1923માં મ્યુનિચ યુનિવર્સિટીમાંથી Ph.D.ની પદવી મેળવી હતી. ત્યારબાદ તેઓ ગોટિન્જન ખાતે મેક્સ બોર્ન સાથે અને નિલ્સ બોહ્ર સાથે કોપનહેગમાં 3 વર્ષ રહ્યા. તેઓ 1927 થી 1941 સુધી લિપ્ઝિગ (Leipzig) યુનિવર્સિટીમાં ભૌતિકવિજ્ઞાનના પ્રાધ્યાપક તરીકે રહ્યા. બીજા વિશ્વયુદ્ધ દરમિયાન હાઈઝનબર્ગ પરમાણુ બોમ્બની જર્મન શોધમાં ઈન્ચાર્જ હતા. વિશ્વયુદ્ધ પછી તેમને ગોટિન્જનની મેક્સ પ્લાન્ક ઈન્સ્ટિટ્યૂટમાં નિયામક તરીકે નીમવામાં આવ્યા. તેઓ એક કુશળ પર્વતારોહક હતા. હાઈઝનબર્ગને 1932માં ભૌતિકવિજ્ઞાનમાં નોબેલ પારિતોષિક આપવામાં આવેલું.



ઉકેલ :

વેગમાં અનિશ્ચિતતા 2 % છે.

$$\Delta v = 45 \times \frac{2}{100} = 0.9 \text{ ms}^{-1}$$

સમીકરણ (2.22)નો ઉપયોગ કરતાં,

$$\begin{aligned} \Delta x &= \frac{h}{4\pi m} \\ &= \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}}{4 \times 3.14 \times 40 \text{ g} \times 10^{-3} \text{ kg g}^{-1} (0.9 \text{ ms}^{-1})} \\ &= 1.46 \times 10^{-33} \text{ m} \end{aligned}$$

આ મૂલ્ય કોઈ નમૂનારૂપ પરમાણ્વીય કેન્દ્રના વ્યાસ કરતાં લગભગ  $\sim 10^{18}$  ગણુ નાનું છે. આગળ દર્શાવ્યું તેમ મોટા કણો માટે અનિશ્ચિતતા સિદ્ધાંત માપનની પરિશુદ્ધતામાં કોઈ અર્થપૂર્ણ સીમા સ્થાપતો નથી.

### બોહ્ર નમૂનાની નિષ્ફળતાના કારણો :

હવે કોઈ પણ વ્યક્તિ બોહ્ર નમૂનાની નિષ્ફળતાના કારણો સમજી શકશે. બોહ્ર નમૂનામાં ઈલેક્ટ્રોન ભાર ધરાવતો કણ હતો અને કેન્દ્રની આસપાસ નિશ્ચિત કક્ષાઓમાં ફરતો સ્વીકારવામાં આવેલો. બોહ્ર નમૂનામાં તરંગ પ્રવૃત્તિને ગણતરીમાં લીધેલ નથી. બીજું કે કક્ષાઓને નિશ્ચિત પથ ગણવામાં આવેલી, પરંતુ આવી રીતે કક્ષાઓને નિશ્ચિત ત્યારે જ કહી શકાય કે ઈલેક્ટ્રોનનું સ્થાન અને વેગ બંનેને ચોકસાઈપૂર્વક એક જ સમયે જાણતા હોઈએ. આ હાઈઝનબર્ગના અનિશ્ચિતતા સિદ્ધાંત પ્રમાણે શક્ય નથી. આમ હાઈઝનબર્ગના પરમાણુનો બોહ્ર નમૂનો દ્રવ્યના દ્વૈત સ્વભાવને ધ્યાનમાં લેતો નથી અને હાઈઝનબર્ગના સિદ્ધાંતનો વિરોધાભાસ દર્શાવે છે. બોહ્ર નમૂનામાં રહેલી આ સહજ નબળાઈને કારણે બોહ્રના નમૂનાને બીજા પરમાણુઓ માટે લાગુ પાડવાનો કોઈ અર્થ નથી. ખરેખર તો પરમાણુની રચનામાં ડોકિયું જરૂરી હતું કે જે દ્રવ્ય માટે તરંગ-કણ ગુણધર્મ સમજાવે અને હાઈઝનબર્ગના અચોક્કસતા સિદ્ધાંત સાથે સુસંગત રહે. ક્વોન્ટમ યંત્રશાસ્ત્રના આગમન સાથે આ શક્ય બન્યું.

## 2.6 પરમાણુનો ક્વોન્ટમ યાંત્રિકીય નમૂનો (Quantum Mechanical Model of Atom)

ન્યૂટનના ગતિના નિયમો પર આધારિત ચિરસંમત (classical) યંત્રશાસ્ત્ર સફળતાપૂર્વક સ્થૂળ કણો જેવાં કે

ઓસ્ટ્રિયન ભૌતિકશાસ્ત્રી ઈરવિન શ્રોડિંજરે (Erwin Schrodinger)

વિયેના યુનિવર્સિટીમાંથી 1910માં Ph.D. પદવી મેળવી હતી. 1927માં પ્લાન્કની વિનંતીથી યુનિવર્સિટી ઓફ બર્લિનમાં મેક્સ પ્લાન્કના ઉત્તરાધિકારી તરીકે નિમાયા હતા. શ્રોડિંજરે 1933માં બર્લિન છોડી દીધું, કારણ કે તેઓ



ઈરવિન શ્રોડિંજર  
(1887-1961)

હિટલર અને નાઝી નીતિઓના વિરોધી હતા અને તેથી ઓસ્ટ્રિયા પરત આવી ગયા. જર્મની દ્વારા ઓસ્ટ્રિયા પર ચઢાઈ બાદ શ્રોડિંજરને જબરદસ્તીથી તેમની પ્રોફેસરશીપમાંથી દૂર કરવામાં આવ્યા હતા. ત્યારબાદ તેઓ આયર્લેન્ડના ડબ્લીનમાં ગયા અને ત્યાં સત્તર વર્ષ રહ્યા. શ્રોડિંજરને 1933માં પી. એ. એમ. ડિરાક (P. A. M. Dirac) સાથે સંયુક્ત રીતે નોબેલ પારિતોષિક આપવામાં આવેલું.

પથરનું પડવું, ગ્રહોનું કક્ષામાં ફરવું વગેરેનું વર્ણન કરી શકે છે. અગાઉના વિભાગમાં જોયું તેમ આ પદાર્થો કણ તરીકેની વર્તણૂક દર્શાવે છે, પરંતુ જ્યારે આ નિયમો સૂક્ષ્મદર્શિય પદાર્થો જેવાં કે ઈલેક્ટ્રોન, પરમાણુ, અણુ વગેરે માટે નિષ્ફળ નીવડે છે. આનું કારણ ચિરસંમત યંત્રશાસ્ત્ર દ્રવ્યનો દ્વૈત સ્વભાવ, ખાસ કરીને અવપરમાણ્વીય કણો માટે અને અનિશ્ચિતતા સિદ્ધાંતને અવગણ્યા હતા. વિજ્ઞાનની શાખા જે દ્રવ્યની આ દ્વૈત વર્તણૂકને ધ્યાનમાં લે છે તેને ક્વોન્ટમ યંત્રશાસ્ત્ર કહે છે.

ક્વોન્ટમ યંત્રશાસ્ત્ર સૈદ્ધાંતિક વિજ્ઞાન છે. જે સૂક્ષ્મદર્શિય પદાર્થો જેમને બન્ને કણ તરીકે અને તરંગ તરીકે અવલોકી શકાય તેવા ગુણધર્મો ધરાવે છે તેનો અભ્યાસ છે. તે આ કણો વેગના જે નિયમો પાળે છે તેને નિર્દિષ્ટ કરે છે. જ્યારે ક્વોન્ટમ યંત્રશાસ્ત્ર સ્થૂળદર્શિય પદાર્થોને (જેમને માટે તરંગ જેવા ગુણધર્મો નગણ્ય છે) લાગુ પાડવામાં આવે છે ત્યારે ચિરસંમત યંત્રશાસ્ત્ર લાગુ પાડવાથી મળતાં પરિણામો જેવા જ છે.

ક્વોન્ટમ યંત્રશાસ્ત્ર 1926માં સ્વતંત્ર રીતે વર્નર હાઈઝનબર્ગ અને ઈરવિન શ્રોડિંજરે વિકસિત કરેલા. આપણે અહીંયા એ ક્વોન્ટમ યંત્રશાસ્ત્રની ચર્ચા કરીશું, જે તરંગ ગતિના વિચારો પર આધારિત છે. ક્વોન્ટમ યંત્રશાસ્ત્રનું મૂળભૂત સમીકરણ શ્રોડિંજરે વિકસાવેલું અને 1933માં ભૌતિક-વિજ્ઞાનમાં નોબેલ પારિતોષિક મેળવેલું. આ સમીકરણ જેમાં દ-બ્રોગલી દ્વારા રજૂ કરાયેલ તરંગ સ્વભાવનો સમાવેશ કરવામાં

આવેલો. તે ખૂબ જ જટિલ છે અને તેના ઉકેલ માટે ઉચ્ચતર ગણિતશાસ્ત્રની જરૂર પડે. ઉચ્ચતર ધોરણોમાં તેના ઉકેલ વિશે શીખશો.

પરમાણુ કે અણુ જેવી પ્રણાલી (જેની ઊર્જા સમય સાથે બદલાતી નથી) માટેનું શ્રોરિજર સમીકરણ  $\hat{H}\Psi = E\Psi$  પ્રમાણે લખી શકાય. જ્યાં,  $\hat{H}$  ગાણિતીય કારક છે જેને હેમિલ્ટોનીયન (Hamiltonian) કારક કહેવામાં આવે છે. શ્રોરિજર પ્રણાલીની કુલ ઊર્જા માટેના પદ માટે આ કારકની રચનાની માહિતી આપી હતી. પ્રણાલીની કુલ ઊર્જા બધા જ અવપરમાણ્વીય કણો (ઇલેક્ટ્રોન, કેન્દ્ર)ની ગતિશક્તિ, કેન્દ્ર અને ઇલેક્ટ્રોન વચ્ચે આકર્ષણ તથા ઇલેક્ટ્રોન અને કેન્દ્રના વ્યક્તિગત રીતે અપાકર્ષણના વિભવને ધ્યાનમાં લીધા હતા. આ સમીકરણનો ઉકેલ  $E$  અને  $\Psi$  આપે છે.

### હાઇડ્રોજન પરમાણુ અને શ્રોરિજર સમીકરણ :

જ્યારે શ્રોરિજરનું સમીકરણ હાઇડ્રોજન પરમાણુ માટેના ઉકેલ માટે ઉપયોગમાં લેવાયું, ત્યારે તેના ઉકેલથી શક્ય ઊર્જાસ્તર કે જે ઇલેક્ટ્રોન ધરાવી શકે છે અને તેમને અનુરૂપ દરેક ઊર્જાસ્તર સાથે સંકળાયેલ તરંગ વિધેય  $\Psi$ . આ ક્વોન્ટીકૃત ઊર્જાસ્તર અને તેને અનુરૂપ તરંગવિધેય જેમને ત્રણ ક્વોન્ટમ આંક (મુખ્ય ક્વોન્ટમ આંક  $n$ , ગૌણ ક્વોન્ટમ આંક  $l$  અને ચુંબકીય ક્વોન્ટમ આંક  $m_l$ )ના સેટથી લાક્ષણિક કરવામાં આવ્યા છે. તે શ્રોરિજર સમીકરણના ઉકેલ તરીકે સહજ પરિણામ (consequence) હતું. જ્યારે કોઈ ઇલેક્ટ્રોન કોઈ ઊર્જાસ્તરમાં હોય ત્યારે તેને અનુરૂપ તરંગ વિધેય ઇલેક્ટ્રોન વિશેની બધી જ માહિતી ધરાવે છે. તરંગ વિધેય ગાણિતીય વિધેય છે જેનું મૂલ્ય પરમાણુમાં રહેલા ઇલેક્ટ્રોનના યામો પર આધાર રાખે છે અને તેનો કોઈ ભૌતિક અર્થ થતો નથી. હાઇડ્રોજન અથવા હાઇડ્રોજન જેવી સ્પીસિઝ જેમાં એક ઇલેક્ટ્રોન જ હોય છે તેમના તરંગ વિધેયોને પરમાણ્વીય કક્ષકો કહે છે. આવી એક ઇલેક્ટ્રોન ધરાવતી સ્પીસિઝને લગતા આવા તરંગ વિધેયોને એક ઇલેક્ટ્રોન પદ્ધતિ કહે છે. પરમાણુમાં કોઈ પણ બિંદુએ ઇલેક્ટ્રોન મળી આવવાની સંભાવ્યતા (propability) તે બિંદુએ  $|\Psi|^2$ ને સમપ્રમાણ હોય છે. હાઇડ્રોજન પરમાણુ માટેના ક્વોન્ટમ યંત્રશાસ્ત્રીય પરિણામો સફળતાપૂર્વક હાઇડ્રોજન પરમાણુની બધી જ બાબતો જેમાં બોહ્ર નમૂનાના આધારે ન સમજાવી શકાયેલ બાબતોનો પણ સમાવેશ થાય છે તે સમજાવી શકાય છે.

શ્રોરિજર સમીકરણ બહુઇલેક્ટ્રોન ધરાવતા પરમાણુને લાગુ પડતાં મુશ્કેલી સર્જાય છે. શ્રોરિજર સમીકરણનો બહુઇલેક્ટ્રોન પરમાણુ માટે ચોક્કસાઈપૂર્વક ઉકેલ લાવી શકાતો નથી. આ મુશ્કેલીનું નિરાકરણ આશરા પડતી (approximate) પદ્ધતિઓ વડે લાવી શકાય છે. આધુનિક કમ્પ્યુટરની મદદથી કરેલી ગણતરીઓ દર્શાવે છે કે હાઇડ્રોજન સિવાયના પરમાણુની કક્ષકો અગાઉ ચર્ચા કરેલા હાઇડ્રોજનની કક્ષકોથી ખાસ કોઈ મૂલજ (radical) રીતે અલગ પડતી નથી. મુખ્ય તફાવત વધતા જતા કેન્દ્રિય ભારને લીધે છે. આને કારણે બધી જ કક્ષકો કંઈક અંશે સંકોચાય છે. જે આગળ ઉપર જોશો (2.6.3 અને 2.6.4 પેટાવિભાગોમાં). હાઇડ્રોજન અથવા હાઇડ્રોજન જેવી સ્પીસિઝ માટેની કક્ષકો જેમની ઊર્જા માત્ર ક્વોન્ટમ આંક  $n$  પર આધાર રાખે છે તેને બદલે બહુઇલેક્ટ્રોન ધરાવતા પરમાણુમાં કક્ષકોની ઊર્જા  $n$  અને  $l$  ક્વોન્ટમ આંક પર આધાર રાખે છે.

### પરમાણુના ક્વોન્ટમયાંત્રિકીય નમૂનાની

#### અગત્યની ખાસિયતો :

પરમાણુનો ક્વોન્ટમયાંત્રિકીય નમૂનો પરમાણુની રચનાનું ચિત્ર છે. જે પરમાણુઓને શ્રોરિજર સમીકરણ લાગુ પાડતાં મળી આવે છે. પરમાણુના ક્વોન્ટમયાંત્રિકીય નમૂનાની અગત્યની ખાસિયતો નીચે પ્રમાણે છે :

1. પરમાણુમાં ઇલેક્ટ્રોનની ઊર્જા ક્વોન્ટીકૃત થયેલી હોય છે (એટલે કે તેમને કોઈ વિશિષ્ટ મૂલ્યો હોય છે). ઉદાહરણ તરીકે લઈએ તો ઇલેક્ટ્રોન પરમાણુના કેન્દ્ર સાથે બંધિત હોય છે.
2. ક્વોન્ટીકૃત ઇલેક્ટ્રોનીય ઊર્જાસ્તરનું અસ્તિત્વ ઇલેક્ટ્રોનની તરંગ પ્રકૃતિનું સીધું જ પરિણામ છે અને તે શ્રોરિજર સમીકરણથી માન્ય ઉકેલ છે.
3. પરમાણુમાં ઇલેક્ટ્રોનનું ચોક્કસ સ્થાન અને વેગ એક સાથે નક્કી કરી શકાય નહિ (હાઇઝનબર્ગ અનિશ્ચિતતા સિદ્ધાંત) માટે પરમાણુમાં ઇલેક્ટ્રોનનો પથ કદી નક્કી કરી શકાય નહિ અથવા ચોક્કસાઈપૂર્વક જાણી શકાય નહિ. આથી જ તમે આગળ જોશો કે પરમાણુમાં જુદા જુદા બિંદુએ ઇલેક્ટ્રોન મળવાની સંભાવના વિશે વાત કરે છે.

4. પરમાણ્વીય કક્ષક પરમાણુમાંના ઇલેક્ટ્રોનનું તરંગ વિધેય છે, જ્યારે કોઈ ઇલેક્ટ્રોનનું તરંગવિધેય તરીકે વર્ણન કરવામાં આવે છે ત્યારે આપણે કહીએ છીએ કે ઇલેક્ટ્રોન તે કક્ષક ધરાવે છે. આવા ઘણા તરંગ વિધેયો ઇલેક્ટ્રોન માટે શક્ય હોવાથી પરમાણુમાં ઘણી પરમાણ્વીય કક્ષકો હોય છે. “એક ઇલેક્ટ્રોન કક્ષક તરંગ વિધેયો” અથવા કક્ષકો પરમાણુની ઇલેક્ટ્રોનીય રચનાનો પાયો છે. દરેક કક્ષકમાં ઇલેક્ટ્રોનને નિશ્ચિત (definite) ઊર્જા હોય છે. કક્ષક બે કરતાં વધારે ઇલેક્ટ્રોન સમાવી શકે નહિ. બહુઇલેક્ટ્રોન ધરાવતા પરમાણુમાં વધતી ઊર્જાના ક્રમમાં ઇલેક્ટ્રોન ભરવામાં (ગોઠવવામાં) આવે છે. વધુ ઇલેક્ટ્રોન પરમાણુમાં દરેક ઇલેક્ટ્રોન માટે કક્ષક તરંગ વિધેય હોવું જોઈએ. જે તે ઇલેક્ટ્રોન ધરાવતી કક્ષકની લાક્ષણિકતા હોય છે. પરમાણુના ઇલેક્ટ્રોનની બધી જ માહિતી તેના કક્ષક-તરંગવિધેય  $\Psi$  માં સંગ્રહિત થાય છે અને તરંગશાસ્ત્રીય  $\Psi$  થી ચોક્કસ માહિતી મેળવવાનું શક્ય બને છે.
5. પરમાણુમાં કોઈ પણ બિંદુએ ઇલેક્ટ્રોન મળવાની સંભાવ્યતા કક્ષક તરંગ વિધેયના વર્ગના સમપ્રમાણમાં હોય છે એટલે કે તે બિંદુએ  $|\Psi|^2$ .  $|\Psi|^2$  સંભાવ્યતા ઘનતા તરીકે ઓળખાય છે અને તે હંમેશાં ધન હોય છે. પરમાણુમાં જુદા જુદા બિંદુએ  $|\Psi|^2$  ના મૂલ્ય પરથી કેન્દ્રની આસપાસના વિસ્તારમાં ઇલેક્ટ્રોન મળી આવવાની વધુમાં વધુ સંભાવ્યતાનું પ્રાકૃત્યન કરવાનું શક્ય બનાવે છે.

### 2.6.1 કક્ષકો અને ક્વોન્ટમ આંક (Orbitals and Quantum Numbers)

પરમાણુમાં ઘણી સંખ્યામાં કક્ષકો હોઈ શકે છે. ગુણાત્મક રીતે આ કક્ષકોને તેમના કદ, આકાર અને દિક્વિન્યાસ (orientation) પરથી વિભેદિત કરી શકાય છે. નાના કદની કક્ષકનો અર્થ એમ થાય છે કે કેન્દ્રની નજીક ઇલેક્ટ્રોન મળી આવવાની સંભાવ્યતાની તક વધારે છે. એ જ પ્રમાણે આકાર અને દિક્વિન્યાસનો અર્થ છે કે બીજી દિશાઓ કરતાં અમુક ચોક્કસ દિશામાં ઇલેક્ટ્રોન મળવાની સંભાવ્યતા વધારે છે. પરમાણ્વીય કક્ષકો પરિશુદ્ધતાપૂર્વક તેમના ક્વોન્ટમ આંક તરીકે ઓળખાતી બાબતથી વિભેદિત કરી શકાય છે. દરેક કક્ષક ત્રણ ક્વોન્ટમ આંક  $n$ ,  $l$  અને  $m$  તરીકે ચિહ્નિત કરાય છે.

**મુખ્ય ક્વોન્ટમ આંક :** ‘ $n$ ’ ધન પૂર્ણાંક છે, જેનું મૂલ્ય  $n = 1, 2, 3, \dots$  છે. મુખ્ય ક્વોન્ટમ આંક કક્ષકનું કદ અને વિશેષ પ્રમાણમાં ઊર્જા નક્કી કરે છે. હાઈડ્રોજન અને હાઈડ્રોજન જેવી સ્પીસિઝ ( $\text{He}^+$ ,  $\text{Li}^{2+}$ , ... વગેરે) માટે ઊર્જા અને કક્ષકનું કદ માત્ર ‘ $n$ ’ ઉપર આધાર રાખે છે.

મુખ્ય ક્વોન્ટમ આંક કોશની (shell) ઓળખ આપે છે.  $n$ ના મૂલ્યમાં વધારા સાથે માન્ય કક્ષકોની સંખ્યા પણ વધે છે અને તેમને ‘ $n^2$ ’ તરીકે દર્શાવાય છે. આપેલ  $n$ ના મૂલ્ય માટેની બધી જ કક્ષકોમાં પરમાણુનો એક જ કોશ હોય છે અને તેમને નીચેના મૂળાક્ષરોમાં દર્શાવાય છે.

$$n = 1 \quad 2 \quad 3 \quad 4 \quad \dots$$

$$\text{કોશ} = \text{K} \quad \text{L} \quad \text{M} \quad \text{N} \quad \dots$$

મુખ્ય ક્વોન્ટમ આંક ‘ $n$ ’ના વધારા સાથે કક્ષકનું કદ વધે છે. બીજા શબ્દોમાં કહીએ તો ઇલેક્ટ્રોન કેન્દ્રથી દૂર રહેલો હશે. ધનભાર ધરાવતા કેન્દ્રથી ઋણભાર ધરાવતા ઇલેક્ટ્રોનને ખસેડવા માટે ઊર્જાની જરૂર પડે છે. તેથી  $n$ ના વધારા સાથે વધારે ઊર્જાની જરૂર પડશે.

**ગૌણ (Azimuthal) ક્વોન્ટમ આંક  $l$  ને કક્ષક કોણીય વેગમાન અથવા સહાયક ક્વોન્ટમ આંક** પણ કહે છે. તે કક્ષકના ત્રિપરિમાણિય આકારને વ્યાખ્યાયિત કરે છે. આપેલ  $n$ ના મૂલ્ય માટે  $l$ ના મૂલ્યો 0 થી  $n - 1$  સુધીના હોઈ શકે છે.  $l = 0, 1, 2, \dots (n - 1)$ .

ઉદાહરણ તરીકે લઈએ તો જ્યારે  $n = 1$  હોય ત્યારે  $l = 0$  થશે.  $n = 2$  માટે  $l$ ના શક્ય મૂલ્યો 0, 1 થશે અને  $n = 3$  માટે  $n$ ના મૂલ્ય 0, 1, 2 થશે.

દરેક કોશ એક અથવા વધુ પેટાકોશ અથવા પેટાસ્તર ધરાવે છે. મુખ્ય કોશમાં પેટાકોશોની સંખ્યા  $n$  હોય છે. ઉદાહરણ તરીકે લઈએ તો, પ્રથમ કોશ ( $n = 1$ )માં એક જ પેટાકોશ હશે જે  $l = 0$ ને અનુરૂપ છે. બીજા કોશ ( $n = 2$ )માં બે પેટાકોશ હશે ( $l = 0, 1$ ) અને ત્રીજા કોશમાં ( $n = 3$ ) ત્રણ પેટાકોશ ( $l = 0, 1, 2$ ) અને તે પ્રમાણે આગળ ઉપર હશે. પેટાકોશને ગૌણ ક્વોન્ટમ આંક નિર્દેશિત કરવામાં આવેલ છે.  $l$ ના જુદા જુદા મૂલ્યો પ્રમાણે પેટાકોશ  $l$ ને નીચેની સંજ્ઞાઓથી દર્શાવાય છે.

$l$ નું મૂલ્ય : 0 1 2 3 4 5 .....

પેટાકોશ માટેનો : s p d f g h .....

સંકેત

કોષ્ટક 2.4માં આપેલ મુખ્ય ક્વોન્ટમ આંક માટે  $l$ ના માન્ય મૂલ્યો અને સંબંધિત પેટાકોશના સંકેત આપવામાં આવ્યા છે.

ટેબલ 2.4 પેટાકોશના સંકેત (Notations)

$n$	$l$	પેટાકોશ સંકેત
1	0	1s
2	0	2s
2	1	2p
3	0	3s
3	1	3p
3	2	3d
4	0	4s
4	1	4p
4	2	4d
4	3	4f

ચુંબકીય કક્ષકીય ક્વોન્ટમ આંક  $m_l$  : નિર્દેશાંક યામો પ્રમાણિત સેટના સંદર્ભમાં કક્ષકના અવકાશીય દિક્સ્થાન વિશે માહિતી આપે છે. કોઈ પણ પેટાકોશ માટે ( $l$  મૂલ્યો વડે વ્યાખ્યાયિત કરેલ)  $m_l$ ના  $2l + 1$  મૂલ્યો શક્ય છે. આ મૂલ્યો આ પ્રમાણે આપી શકાય.  
 $m_l = -l, -(l-1), -(l-2)... 0, 1... (l-2), (l-1), l$

આથી  $l = 0$  માટે  $m_l$ ના માન્ય મૂલ્ય  $m_l = 0$ ,  $[2(0) + 1 = 1]$ , એક  $s$  કક્ષક].  $l = 1$  માટે,  $m_l$  થશે  $-1, 0$  અને  $+1$   $[2(1)+1 = 3]$ , ત્રણ  $p$ -કક્ષકો].  $l = 2$  માટે  $m_l = -2, -1, 0, +1$  અને  $+2$ ,  $[2(2) + 1 = 5]$ , પાંચ  $d$  કક્ષકો]. એ નોંધવું જરૂરી છે કે  $m_l$  ના મૂલ્યો  $l$  માંથી અને  $l$ ના મૂલ્યો  $n$ માંથી મેળવેલા હોય છે.

આમ પરમાણુની દરેક કક્ષક માટે  $n, l$  અને  $m_l$ ના મૂલ્યોના સેટથી વ્યાખ્યાયિત હોય છે.  $n = 2, l = 1, m_l = 0$  કક્ષક  $p$ -પેટાકોશની કક્ષક છે. નીચેનો ચાર્ટ પેટાકોશ અને તેની સાથે સંબંધિત કક્ષકોની સંખ્યા દર્શાવે છે.

$l$ નું મૂલ્ય	0	1	2	3	4	5
પેટાકોશ સંકેત	s	p	d	f	g	h
કક્ષકોની સંખ્યા	1	3	5	7	9	11

ઇલેક્ટ્રોન ભ્રમણ (spin) 's' : પરમાણ્વીય કક્ષકોને ચિહ્નિત કરતાં ત્રણેય ક્વોન્ટમ આંક ઊર્જા, આકાર અને દિક્સ્થાનના સરખી રીતે ઉપયોગ કરીને વ્યાખ્યાયિત કરી શકાય છે, પરંતુ આ બધા જ ક્વોન્ટમ આંક એક વધુ ઇલેક્ટ્રોનની બાબતમાં મેળવેલા રેખા વર્ણપટ સમજાવી શકવા માટે પૂરતાં નથી. કારણ કે એમાં કેટલીક રેખાઓ ખરેખર ડબ્લેટ (ખૂબ જ નજીક-નજીક બે રેખાઓ), ટ્રિપ્લેટ (ખૂબ જ નજીક-નજીક ત્રણ રેખાઓ) વગેરે મળે છે. આ સૂચવે છે કે બીજા કેટલાક વધારે શક્તિ સ્તર ત્રણેય ક્વોન્ટમ આંકથી પ્રાકૃતિક રીતે ઉપરાંત હાજર હોવા જોઈએ.

1925માં જ્યોર્જ ઉહલેનબેક (Uhlenbeck) અને સેમ્યુઅલ ગાઉડસ્મીટ (Samuel Goudsmit) યોથા ક્વોન્ટમ આંક -

### કક્ષા, કક્ષક અને તેની અગત્ય

કક્ષા અને કક્ષક એકબીજાના પર્યાયો નથી. કક્ષા એટલે બોહ્રના જણાવ્યા પ્રમાણે કેન્દ્રની ફરતે વર્તુળાકાર માર્ગ જેમાં ઇલેક્ટ્રોન ફરે છે. હાઈડ્રોજનનું અનિશ્ચિતતા નિયમ પ્રમાણે ઇલેક્ટ્રોનના આ માર્ગનું ચોક્કસ વર્ણન આપવું અશક્ય છે. બોહ્ર કક્ષાનો આથી કોઈ વાસ્તવિક અર્થ નથી અને તેને કદી પણ પ્રાયોગિક રીતે નિર્દેશિત કરી શકાય નહિ. બીજી બાજુએ જોઈએ તો પરમાણ્વીય કક્ષક ક્વોન્ટમ યાંત્રિકીય ખ્યાલ છે અને પરમાણુમાં એક ઇલેક્ટ્રોન તરંગ વિધેય  $\psi$ નો નિર્દેશ કરે છે. તે ત્રણ ક્વોન્ટમ આંક ( $n, l$  અને  $m_l$ )થી લાક્ષણિક છે અને તેનું મૂલ્ય ઇલેક્ટ્રોનની યામો પર આધાર રાખે છે.  $\psi$ ને પોતાને પણ કોઈ ભૌતિક અર્થ નથી. તરંગવિધેયનો વર્ગ એટલે કે  $|\psi|^2$  નો ભૌતિક અર્થ છે. પરમાણુમાં કોઈપણ બિંદુએ  $|\psi|^2$ , તે બિંદુએ સંભાવ્યતા ઘનતાનું મૂલ્ય આપે છે. સંભાવ્યતા ઘનતા ( $|\psi|^2$ ) પ્રતિ એકમકદમાં સંભાવ્યતા છે અને  $|\psi|^2$  અને નાના કદ (જેને કદ તત્વ (element) કહે છે.) તેનો ગુણાકાર. તે કદમાં ઇલેક્ટ્રોન મળી આવવાની સંભાવ્યતા આપે છે. (નાના કદ તત્વનો નિર્દેશ કરવાનું કારણ એક વિસ્તાર (range)માંથી બીજા વિસ્તારમાં  $|\psi|^2$  બદલાય છે. પરંતુ તેનું મૂલ્ય નાના કદ તત્વમાં અચળ ધારવામાં આવ્યું છે.) આપેલ કદમાં ઇલેક્ટ્રોન મળી આવવાની કુલ સંભાવ્યતા  $|\psi|^2$  અને તેને અનુરૂપ કદ તત્વના ગુણાકારના સરવાળાથી ગણી શકાય છે. આમ, કક્ષકમાં ઇલેક્ટ્રોનની સંભાવ્યતા વહેંચણી મેળવવાનું શક્ય બને છે.

ઇલેક્ટ્રોન ભ્રમણ ક્વોન્ટમ આંક ( $m_s$ ) તરીકે જાણીએ છીએ તેની દરખાસ્ત કરી. પૃથ્વી જેમ પોતાની ધરી પર સૂર્યની આજુબાજુ ભ્રમણ કરે છે તેવી રીતે ઇલેક્ટ્રોન પોતાની ધરી પર ભ્રમણ કરે છે. બીજા શબ્દોમાં કહીએ તો ઇલેક્ટ્રોનને ભાર અને દળ ઉપરાંત કોઈ આંતરિક ભ્રમણ કોણીય ક્વોન્ટમ આંક હોવો જોઈએ. ઇલેક્ટ્રોનનું ભ્રમણ ક્વોન્ટમ વેગમાન-સદિશ રાશિ છે તેને બે પસંદ કરેલી ધરીની સાપેક્ષમાં બે દિક્વિન્યાસ હોઈ શકે છે. આ બે દિક્વિન્યાસ જે ભ્રમણ ક્વોન્ટમ આંક  $m_s$  થી વિભેદિત કરી શકાય છે તેના મૂલ્યો  $+\frac{1}{2}$  અથવા  $-\frac{1}{2}$  હોઈ શકે છે. આને બે ઇલેક્ટ્રોનની ભ્રમણ અવસ્થાઓ કહે છે અને સામાન્ય રીતે તે તીર વડે  $\uparrow$  (ભ્રમણ ઉપર તરફ) અને  $\downarrow$  (ભ્રમણ નીચે તરફ) તરીકે દર્શાવાય છે. બે ઇલેક્ટ્રોનના  $m_s$  જુદા જુદા હોય છે (એક  $+\frac{1}{2}$  અને બીજો  $-\frac{1}{2}$ ) અને વિરુદ્ધ સ્પિન ધરાવે છે તેમ કહેવાય છે.

એકંદરે જોઈએ તો ચારેય ક્વોન્ટમ આંક નીચેની માહિતી પૂરી પાડે છે.

- $n$  કોશને વ્યાખ્યાયિત કરે છે, કક્ષકનું કદ નક્કી કરે છે અને મોટા ભાગે કક્ષકની શક્તિ નક્કી કરે છે.
- દરેક  $n$  માં કોશમાં પેટાકોશની સંખ્યા  $n$  હોય છે,  $l$  પેટાકોશની ઓળખ આપે છે અને કક્ષકનો આકાર નક્કી કરે છે (જુઓ વિભાગ 2.6.2). દરેક પ્રકારની પેટાકોશમાં  $(2l + 1)$  પ્રકારની કક્ષકો હોય છે. એટલે કે પ્રતિ પેટાકોશમાં એક  $s$ -કક્ષક ( $l = 0$ ) અને ત્રણ  $p$ -કક્ષકો ( $l = 1$ ) અને પાંચ  $d$ -કક્ષકો ( $l = 2$ ). કંઈક અંશે વધુ ઇલેક્ટ્રોન પરમાણુમાં કક્ષકની ઊર્જા નક્કી કરે છે.
- $m_l$  કક્ષકનો દિક્વિન્યાસ દર્શાવે છે. દરેક આપેલ  $l$  ના મૂલ્ય માટે તેનું મૂલ્ય  $2l + 1$  જેટલું હોય છે જે પ્રત્યેક પેટાકોશની કક્ષકોની સંખ્યા બરાબર હોય છે. આનો અર્થ એમ થાય છે કે કક્ષકોની સંખ્યા કેટલી રીતે દિક્વિન્યાસ પામે છે તે સંખ્યા છે.
- $m_s$  ઇલેક્ટ્રોનના ભ્રમણના દિક્વિન્યાસનો સંદર્ભ આપે છે.

### કોયડો 2.17

મુખ્ય ક્વોન્ટમ આંક  $n = 3$  સાથે સંકળાયેલી કુલ કક્ષકોની સંખ્યા કેટલી હશે ?

ઉકેલ :

$n = 3$  માટે  $l$  ના શક્ય મૂલ્યો 0, 1 અને 2 છે. એક  $3s$  કક્ષક, ( $n = 3, l = 0$  અને  $m_l = 0$ ) અને ત્રણ  $3p$  કક્ષકો ( $n = 3, l = 1$  અને  $m_l = -1, 0, +1$ ) પાંચ  $d$ -કક્ષકો ( $n = 3, l = 2$  અને  $m_l = -2, -1, 0, +1, +2$ ). આમ કક્ષકોની કુલ સંખ્યા  $1 + 3 + 5 = 9$ . આ જ મૂલ્ય નીચેના સંબંધનો ઉપયોગ કરીને મેળવી શકાય. કક્ષકોની સંખ્યા  $= n^2$  એટલે  $3^2 = 9$ .

### કોયડો 2.18

$s, p, d, f$  સંકેતોનો ઉપયોગ કરીને નીચેના ક્વોન્ટમ આંક દર્શાવતી કક્ષકોનું વર્ણન કરો.

- $n = 2, l = 1$
- $n = 4, l = 0$
- $n = 5, l = 3$
- $n = 3, l = 2$

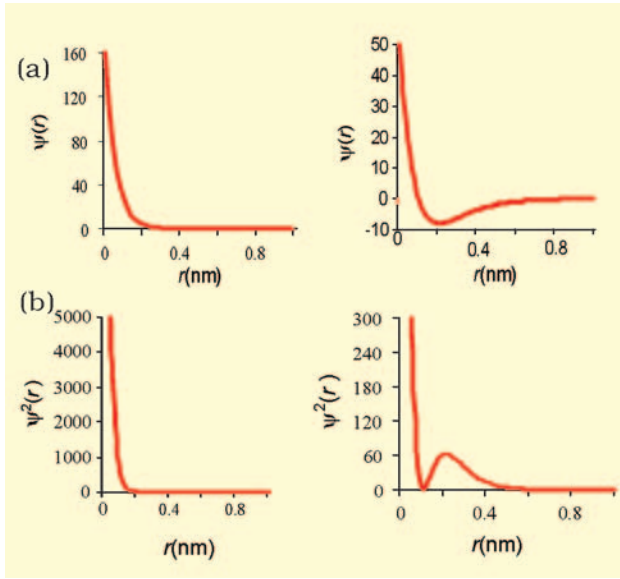
ઉકેલ :

	$n$	$l$	કક્ષક
(a)	2	1	$2p$
(b)	4	0	$4s$
(c)	5	3	$5f$
(d)	3	2	$3d$

## 2.6.2 પરમાણ્વીય કક્ષકોના આકાર (Shapes of Atomic Orbitals)

પરમાણુમાંના ઇલેક્ટ્રોન માટે કક્ષકીય તરંગ વિધેય અથવા  $\Psi$ નો કોઈ ભૌતિક અર્થ નથી. એ તો માત્ર ઇલેક્ટ્રોનના નિર્દેશાંકોનું સાદું ગાણિતિક વિધેય છે. જુદી જુદી કક્ષકો માટે તેમના અનુરૂપ તરંગવિધેયના  $r$  (કેન્દ્રથી અંતર)ના વિધેય તરીકેના મળતા આલેખ જુદા જુદા હોય છે. (આકૃતિ 2.12(a)) આવા આલેખ  $1s$  ( $n = 1, l = 0$ ) માટે અને  $2s$  ( $n = 2, l = 0$ ) કક્ષકો માટે મળે છે.

જર્મન ભૌતિકશાસ્ત્રી મેક્સ બોર્ન અનુસાર કોઈ બિંદુએ તરંગવિધેયનો વર્ગ એટલે કે  $\Psi^2$  તે બિંદુએ ઇલેક્ટ્રોનની સંભાવ્યતા ઘનતા છે. આકૃતિ 2.12(b)માં વિચરણ  $r$  ના વિધેય તરીકે  $\Psi^2$  ને  $1s$  અને  $2s$  કક્ષકો માટે દર્શાવેલ છે. અહીં વળી તમે નોંધી શકો કે  $1s$  અને  $2s$  કક્ષકો માટે વક્ર અલગ અલગ છે.

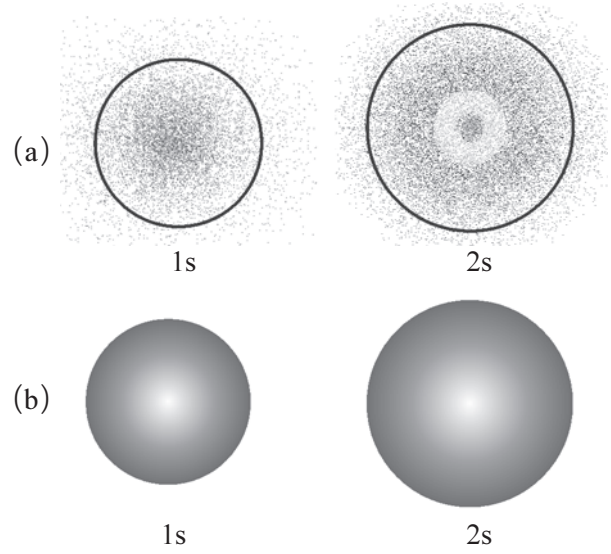


**આકૃતિ 2.12** (a) કક્ષકીય તરંગ વિધેય  $\Psi(r)$ નો આલેખ, (b) 1s અને 2s કક્ષકોના કેન્દ્રથી ઈલેક્ટ્રોનના અંતર ( $r$ ) માટે સંભાવ્યતા ઘનતા  $\Psi^2(r)$ નો વિચરણ આલેખ.

એ નોંધી શકાય છે કે 1s કક્ષક માટે સંભાવ્યતા ઘનતા કેન્દ્ર પર સૌથી વધુ છે અને તેનાથી જેમ દૂર જઈએ છીએ તેમ તીવ્રરૂપે ઘટે છે. બીજી તરફ જોઈએ તો 2s કક્ષક માટે સંભાવ્યતા ઘનતા પહેલાં તીવ્ર રીતે શૂન્ય સુધી ઘટે છે અને પછી વધવાનું શરૂ કરે છે. એક નાની મહત્તમ સ્થિતિએ પહોંચ્યા પછી તે ફરી ઘટવા માંડે છે અને  $r$  નું મૂલ્ય આગળ વધતાં તે શૂન્ય સુધી ઘટે છે. આ વિસ્તાર જ્યાં સંભાવ્યતા ઘનતા વિધેય શૂન્ય થાય છે તેને નોડલ સપાટી અથવા સામાન્ય રીતે નોડ કહે છે. સામાન્ય રીતે એ જાણવા મળ્યું છે કે  $ns$  કક્ષકોને  $(n - 1)$  નોડ હોય છે. એટલે કે નોડની સંખ્યા, મુખ્ય ક્વોન્ટમ આંક ( $n$ )ના વધવા સાથે વધે છે. બીજા શબ્દોમાં કહીએ તો, 2s કક્ષકના નોડની સંખ્યા એક, 3s માટે નોડની સંખ્યા બે અને તે પ્રમાણે હોય છે.

આ સંભાવ્યતા ઘનતા વિચરણ (variation) ચાર્જ ક્લાઉડ (ભાર વાદળ) આકૃતિઓ તરીકે (આકૃતિ 2.13(a)) કલ્પી શકાય. આકૃતિઓમાં બિંદુના વિસ્તારમાંની ઘનતા તે વિસ્તારમાં ઈલેક્ટ્રોન સંભાવ્યતા ઘનતાનું નિરૂપણ કરે છે.

જુદી જુદી કક્ષકોની અચળ સંભાવ્યતા ઘનતાની સીમા (boundary) સપાટી આકૃતિઓ કક્ષકોના આકારનું ઘણું સારું નિરૂપણ કરે છે. આ નિરૂપણમાં કોઈ કક્ષક માટે અવકાશમાં સીમા સપાટી અથવા કોન્ટુર (contour) સપાટી



**આકૃતિ 2.13** (a) 1s અને 2s કક્ષકોની સંભાવ્યતા ઘનતા આલેખ. બિંદુઓની ગીચતા તે વિસ્તારમાં ઈલેક્ટ્રોન મળવાની સંભાવ્યતા ઘનતાનું નિરૂપણ કરે છે. (b) 1s અને 2s કક્ષકો માટે સીમા સપાટી આકૃતિ.

દોરવામાં આવે છે. જેના ઉપર સંભાવ્યતા ઘનતા  $|\Psi|^2$  અચળ હોય છે.

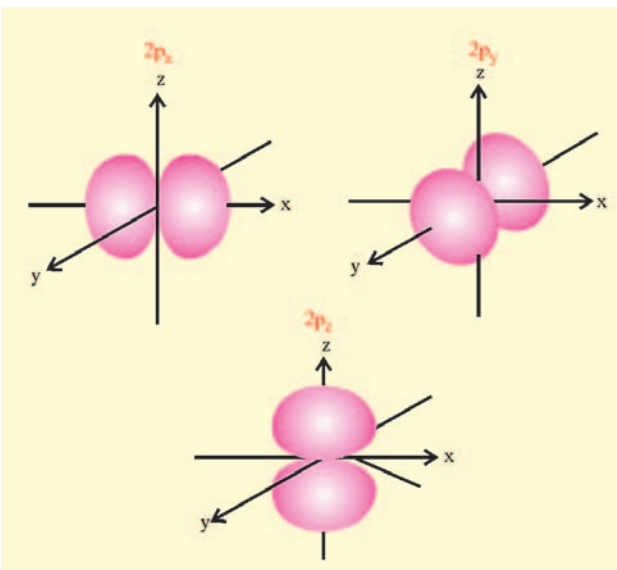
સૈદ્ધાંતિક રૂપમાં આવી ઘણી સીમા સપાટીઓ શક્ય બની શકે. આમ છતાં આપેલ કક્ષક માટે માત્ર તે નિશ્ચિત સંભાવ્યતા ઘનતા\* કક્ષકના આકાર માટે લેવાય છે. આ એવા વિસ્તારનો અથવા કદનો સમાવેશ કરે છે જ્યાં ઈલેક્ટ્રોન મળવાની સંભાવ્યતા ઘણી ઊંચી લગભગ 90 % જેટલી હોય છે. આકૃતિ 2.13(b)માં 1s અને 2s કક્ષકો માટે સીમા સપાટી આકૃતિ દર્શાવેલ છે. કોઈ પ્રશ્ન પૂછી શકે છે કે શા માટે આપણે સીમા સપાટી આકૃતિ જે ઈલેક્ટ્રોન મળવાની 100 % સંભાવ્યતાની હોય તે દોરી શકતા નથી. આનો ઉત્તર એ છે કે સંભાવ્યતા ઘનતા  $|\Psi|^2$  ને હંમેશાં ગમે તેટલું નાનું હોય તો પણ કેન્દ્રથી નિશ્ચિત અંતરે કોઈક મૂલ્ય હોય છે. આટલા માટે જ ઈલેક્ટ્રોન મળવાની 100 % સંભાવ્યતા માટે દૃઢ કદની સીમા સપાટીની આકૃતિ દોરવી શક્ય નથી. s-કક્ષક માટે સીમા સપાટી આકૃતિ ખરેખર તો કેન્દ્ર પર કેન્દ્રિત ગોળાકાર હોય છે. દ્વિ-પરિમાણમાં આ ગોળાકાર વર્તુળ જેવું દેખાય છે. તે આશરે 90 % ઈલેક્ટ્રોન મળવાની સંભાવ્યતા ઘનતાના વિસ્તારનો સમાવેશ કરે છે.

\* જો આપેલ સમતલમાં સંભાવ્યતા ઘનતા  $|\Psi|^2$  અચળ હોય તો  $|\Psi|$  પણ સમતલ પર અચળ હોય છે.  $|\Psi|^2$  માટેની સીમા સપાટી અને  $\Psi$  સરખા હોય છે.



આથી આપણે જોઈ શકીએ છીએ કે  $1s$  અને  $2s$  કક્ષકો આકારમાં ગોળાકાર હોય છે. હકીકતમાં તો બધી જ  $s$ -કક્ષકો સંમિતીય ગોળાકાર હોય છે. આનો અર્થ એમ છે કે બધી જ દિશાઓમાં આપેલ અંતરે ઇલેક્ટ્રોન મળવાની સંભાવ્યતા સરખી છે. એ પણ જણાયું છે કે  $n$  ના મૂલ્યના વધારા સાથે  $s$ -કક્ષકનું કદ પણ વધે છે. એટલે કે  $4s > 3s > 2s > 1s$  અને મુખ્ય ક્વોન્ટમ આંક વધે તેમ કેન્દ્રથી દૂર ઇલેક્ટ્રોન સ્થાન ધરાવે છે.

$2p$ -કક્ષકો ( $l = 1$ ) માટે સીમા સપાટી આકૃતિઓ આકૃતિ 2.14માં દર્શાવેલ છે. આ આકૃતિઓમાં કેન્દ્ર ઉદ્ગમસ્થાને હોય છે. અહીંયા  $s$ -કક્ષકોની જેમ સીમા સપાટી આકૃતિઓ ગોળાકાર નથી હોતી. તેને બદલે દરેક  $p$ -કક્ષક બે ભાગ ધરાવે છે જેને પિંડક (lobe) કહે છે અને તે કેન્દ્રમાંથી પસાર થતી સમતલ(plane)ની બંને બાજુએ હોય છે. સંભાવ્યતા ઘનતા વિધેય જ્યાં બંને પિંડક મળે છે. તે સમતલ પર શૂન્ય બને છે. ત્રણેય કક્ષકોના આકાર, કદ અને ઊર્જા સરખા હોય છે. તેઓ માત્ર પિંડક કઈ રીતે દિક્વિન્યાસ ધરાવે છે તેમાં અલગ પડે છે. પિંડક  $x$ ,  $y$  અને  $z$  અક્ષ પર ગણી શકીએ અને તેમને  $2p_x$ ,  $2p_y$  અને  $2p_z$  તરીકે દર્શાવી શકીએ. એ સમજવું જોઈએ કે  $m_l(-1, 0, +1)$  તથા અક્ષો  $x$ ,  $y$  અને  $z$  દિશાઓને કોઈ સરળ સંબંધ નથી. આપણા હેતુ માટે યાદ રાખવું જરૂરી છે કે  $m_l$ ના ત્રણ મૂલ્યો શક્ય છે એટલા માટે ત્રણ  $p$ -કક્ષકો જેમની અક્ષો મુખ્ય ક્વોન્ટમ આંક સાથે વધે છે અને તેથી જુદી જુદી  $p$ -કક્ષકોની ઊર્જા મુખ્ય



આકૃતિ 2.14 ત્રણ  $2p$ -કક્ષકોની સીમા સપાટી આકૃતિઓ

ક્વોન્ટમ આંકના વધવા સાથે વધે છે. તેથી  $4p > 3p > 2p$ . વળી  $s$ -કક્ષકોની જેમ  $p$ -કક્ષકો માટે સંભાવ્યતા ઘનતા વિધેય પણ શૂન્યમાંથી પસાર થાય છે અને શૂન્ય ઉપરાંત અનંત અંતરે જેમ કેન્દ્રથી અંતર વધે છે તેમ નોડની સંખ્યા ( $n - 2$ ) પ્રમાણે આપી શકાય એટલે કે  $3p$  કક્ષક માટે સંખ્યા ( $n - 2$ ) પ્રમાણે આપી શકાય. એટલે કે  $3p$  કક્ષક માટે ત્રિજ્યા ગતિ (radial) નોડ 1 થશે પણ  $4p$  કક્ષક માટે 2 એમ આગળ ઉપર થશે.

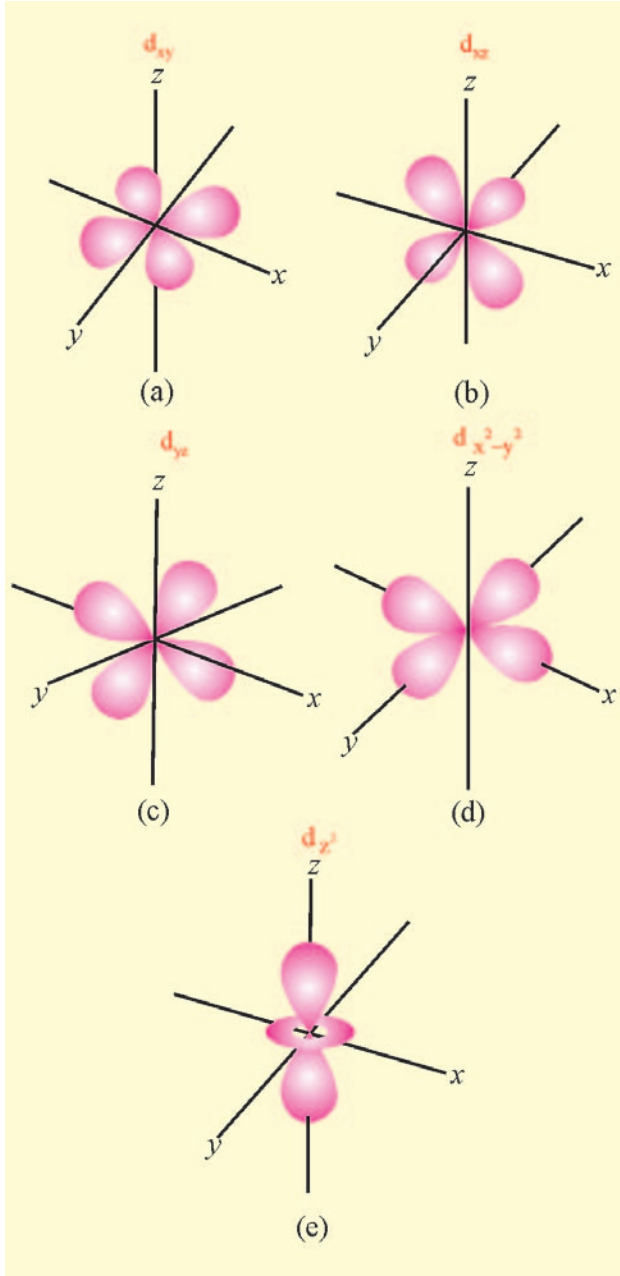
$l = 2$  માટેની કક્ષકો  $d$ -કક્ષકો તરીકે ઓળખાય છે અને તે ઓછામાં ઓછા મુખ્ય ક્વોન્ટમ આંક ( $n$ ) = 3 હોય છે અને  $l$ નું મૂલ્ય ( $n - 1$ )થી વધારે હોઈ શકે નહિ.  $l = 2$  માટે  $m_l$ ના પાંચ મૂલ્યો ( $-2, -1, 0, +1, +2$ ) હોવાથી પાંચ  $d$ -કક્ષકો થશે.  $d$ -કક્ષકોની સીમા સપાટી આકૃતિઓ આકૃતિ 2.15માં દર્શાવેલ છે.

પાંચ  $d$ -કક્ષકોને  $d_{xy}$ ,  $d_{yz}$ ,  $d_{zx}$ ,  $d_{x^2-y^2}$  અને  $d_{z^2}$  તરીકે ઓળખવામાં આવે છે. પહેલી ચાર  $d$ -કક્ષકોના આકાર એકબીજાના જેવા જ હોય છે, જ્યારે પાંચમી કક્ષક  $d_{z^2}$  તેમનાથી અલગ પડે છે, પરંતુ પાંચેય  $3d$ -કક્ષકો ઊર્જાની બાબતમાં સમતુલ્ય હોય છે.  $n$ નું મૂલ્ય 3 કરતાં વધારે માટે  $d$ -કક્ષકો ( $4d, 5d, \dots$ )ના આકાર  $3d$ -કક્ષકોના આકાર જેવા જ હોય છે પણ ઊર્જા અને કદમાં તફાવત ધરાવે છે.

ત્રિજ્યા નોડ ઉપરાંત (સંભાવ્યતા ઘનતા વિધેય શૂન્ય હોય છે) સંભાવ્યતા ઘનતા વિધેય  $np$  અને  $nd$  કક્ષકોમાં કેન્દ્રમાંથી પસાર થતી હોવાથી સમતલ આગળ નોડ (મૂળ સ્થાન - origin) શૂન્ય થાય છે. ઉદાહરણ તરીકે લઈએ તો  $p_z$  કક્ષકમાં  $xy$  સમતલ એક નોડલ પ્લેન છે.  $d_{xy}$  કક્ષકમાં બે નોડલ પ્લેન હોય છે જે ઉદ્ભવસ્થાન (origin) અને  $z$ -કક્ષક ધરાવતી સમતલને દ્વિભાજિત કરે છે. આને કોણીય નોડ કહે છે અને તેમને  $l$  દ્વારા દર્શાવી શકાય છે. એટલે કે  $p$ -કક્ષકો માટે એક કોણીય નોડ,  $d$ -કક્ષકો માટે 2-કોણીય નોડ અને તે પ્રમાણે આગળ ઉપર કુલ નોડની સંખ્યા ( $n - 1$ ) વડે દર્શાવાય છે. એટલે કે  $l$  કોણીય નોડ અને ( $n - l - 1$ ) ત્રિજ્યા નોડનો સરવાળો થાય છે.

### 2.6.3 કક્ષકોની ઊર્જા (Energies of Orbitals)

હાઈડ્રોજન પરમાણુમાં ઇલેક્ટ્રોનની ઊર્જા માત્રને માત્ર મુખ્ય ક્વોન્ટમ આંકથી નક્કી કરાય છે.

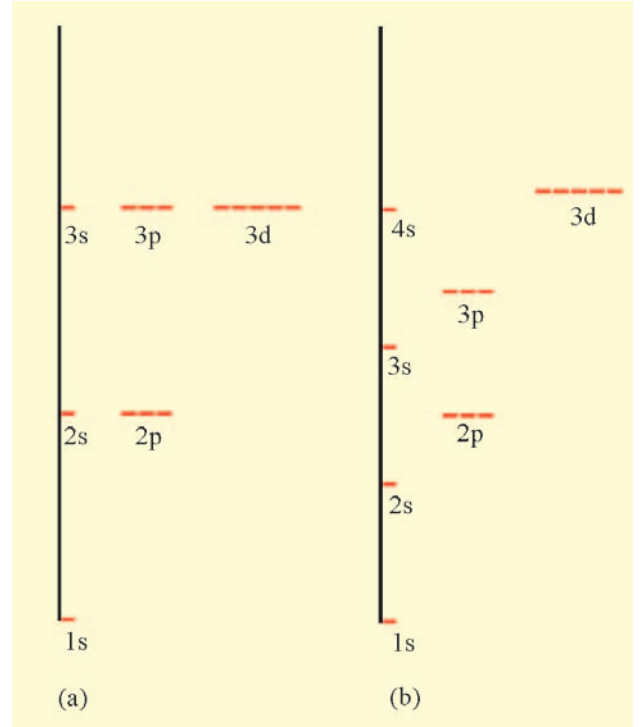


આકૃતિ 2.15 પાંચ 3d-કક્ષકોની સીમા સપાટી આકૃતિઓ

આથી કક્ષકોની ઊર્જા નીચે પ્રમાણે વધે છે :

$$1s < 2s = 2p < 3s = 3p = 3d < 4s = 4p = 4d = 4f < \quad (2.23)$$

અને તે આકૃતિ 2.16માં દર્શાવેલ છે. 2s અને 2p કક્ષકોના આકાર જુદા જુદા છે, પરંતુ જ્યારે તે 2s અને 2p કક્ષકમાં હોય ત્યારે ઊર્જા સરખી રહે છે. સરખી ઊર્જા ધરાવતી કક્ષકોને સમશક્તિક (degenerate) કક્ષકો કહે છે. આગળ દર્શાવ્યા પ્રમાણે હાઇડ્રોજન પરમાણુનો 1s ઇલેક્ટ્રોન સ્થાયી પરિસ્થિતિ સૂચવે છે અને તેને ધરા (ભૂમિ) અવસ્થા કહે છે. આ કક્ષકમાં રહેલો ઇલેક્ટ્રોન કેન્દ્ર વડે સૌથી વધુ પ્રબળતાથી



આકૃતિ 2.16 કેટલાક ઇલેક્ટ્રોનીય કોશ માટેની શક્તિ સ્તર આકૃતિઓ (a) હાઇડ્રોજન પરમાણુ (b) બહુઇલેક્ટ્રોન ધરાવતા પરમાણુ. એ નોંધવું જોઈએ કે હાઇડ્રોજન પરમાણુ માટે મુખ્ય ક્વોન્ટમ આંક સરખો હોય તેવી કક્ષકોની ગૌણ ક્વોન્ટમ આંક અલગ હોય તો પણ સરખી રહે છે. વધુ ઇલેક્ટ્રોન ધરાવતા પરમાણુઓનાં મુખ્ય ક્વોન્ટમ આંક સરખો હોય પણ અલગ ગૌણ ક્વોન્ટમ માટે ઊર્જા અલગ-અલગ હોય છે.

ગોઠવાયેલો હોય છે. 2s, 2p અથવા ઊંચી કક્ષકોમાં રહેલો હાઇડ્રોજન પરમાણુનો ઇલેક્ટ્રોન ઉત્તેજિત અવસ્થામાં હોય છે.

બહુઇલેક્ટ્રોન પરમાણુમાં ઇલેક્ટ્રોનની ઊર્જા હાઇડ્રોજન પરમાણુની જેમ તેના મુખ્ય ક્વોન્ટમ આંક (કોશ) માત્ર પર આધાર રાખતું નથી, પરંતુ તેના ગૌણ ક્વોન્ટમ આંક (પેટાકોશ) પર આધાર રાખે છે. તેથી આપેલા મુખ્ય ક્વોન્ટમ આંક માટે s, p, d, f દરેકને જુદી જુદી ઊર્જા હોય છે. પેટાકોશોની અલગ અલગ ઊર્જા હોવાનું કારણ બહુઇલેક્ટ્રોન પરમાણુના ઇલેક્ટ્રોન વચ્ચે અપાકર્ષણ હોય છે. માત્ર વિદ્યુતીય પારસ્પરિક ક્રિયા જે હાઇડ્રોજન પરમાણુમાં હાજર હોય છે તે ઋણભાર ધરાવતા ઇલેક્ટ્રોન અને ધનભાર ધરાવતા કેન્દ્ર વચ્ચે હોય છે.

બહુઇલેક્ટ્રોન ધરાવતા પરમાણુ કેન્દ્ર અને ઇલેક્ટ્રોન વચ્ચે આકર્ષણ ધરાવવા ઉપરાંત દરેક ઇલેક્ટ્રોન અને પરમાણુમાં હાજર રહેલા બીજા ઇલેક્ટ્રોન વચ્ચે અપાકર્ષણ હોય છે. બહુઇલેક્ટ્રોન ધરાવતા પરમાણુમાં કુલ આકર્ષણ બળો, કુલ અપાકર્ષણ બળો કરતાં વધારે હોય છે. સામાન્ય રીતે બાહ્ય કોશમાં ઇલેક્ટ્રોનની અપાકર્ષણ પારસ્પરિક ક્રિયા આંતરકોષમાંના ઇલેક્ટ્રોનની પારસ્પરિક ક્રિયા વધારે અગત્યની છે. બીજા શબ્દોમાં કહીએ તો કેન્દ્રનો ધનભાર ( $Z$ ) જેમ વધે છે તેમ ઇલેક્ટ્રોનની આકર્ષણ પારસ્પરિક ક્રિયા વધે છે. આંતરિક કોશમાં રહેલા ઇલેક્ટ્રોનને લીધે બાહ્ય કોશના ઇલેક્ટ્રોન કેન્દ્રના સંપૂર્ણ ભાર ( $Z$ )નો અનુભવ કરશે નહિ. કેન્દ્રના ધનભારને આંતરકોશ ઇલેક્ટ્રોનની અંશત: સ્ક્રીનિંગ(screening)(આવરણ)ને લીધે ઓછી અસર પાડે છે. આને બાહ્ય કોશના ઇલેક્ટ્રોન પર આંતરકોષના ઇલેક્ટ્રોન વડે થતું શીલ્ડિંગ (shielding)(પરિરક્ષણ) કહેવાય છે અને કુલ ધનભાર બાહ્ય ઇલેક્ટ્રોન વડે અનુભવાય તે અસરકારક કેન્દ્રીય ભાર ( $Z_{eff}$ ) તરીકે ઓળખાય છે. બાહ્ય ઇલેક્ટ્રોનનું આંતર ઇલેક્ટ્રોનથી શીલ્ડિંગ હોવા છતાં પણ બાહ્ય ઇલેક્ટ્રોન વડે અનુભવાતું આકર્ષણ બળ કેન્દ્રીય ભારના વધારા સાથે વધે છે. બીજા શબ્દોમાં કહીએ તો કેન્દ્ર અને ઇલેક્ટ્રોન વચ્ચે પારસ્પરિક ક્રિયા (એટલે કે કક્ષક ઊર્જા) પરમાણ્વીય-ક્રમાંકના ( $Z$ ) વધારા સાથે ઘટે છે. (વધુ ઋણ બને છે.)

બન્ને આકર્ષણ અને અપાકર્ષણ પારસ્પરિક કોશ અને કક્ષાના આકાર જેમાં ઇલેક્ટ્રોન રહેલો હોય છે તેના પર આધાર રાખે છે. ઉદાહરણ તરીકે લઈએ તો ગોળાકાર કક્ષકોમાં રહેતો ઇલેક્ટ્રોન બાહ્ય ઇલેક્ટ્રોનને  $p$ -કક્ષકમાં રહેલા ઇલેક્ટ્રોનની સરખામણીમાં કેન્દ્રથી વધુ શીલ્ડ (પરિરક્ષિત) કરે છે. એ જ પ્રમાણે  $p$ -કક્ષકમાં રહેલા બાહ્ય ઇલેક્ટ્રોન  $d$ -કક્ષકમાં રહેલા ઇલેક્ટ્રોન કરતાં વધારે શીલ્ડ કરે છે. જોકે બધી જ કક્ષાઓ સમાન કોશમાં હોય છે. આ ઉપરાંત કોશમાં  $s$ -ઇલેક્ટ્રોનને ગોળાકારને લીધે  $s$ -કક્ષકના ઇલેક્ટ્રોન  $p$ -કક્ષકના ઇલેક્ટ્રોન કરતાં વધુ સમય કેન્દ્ર સાથે વીતાવે છે અને  $p$ -કક્ષકના ઇલેક્ટ્રોન  $d$ -કક્ષકના ઇલેક્ટ્રોન કરતાં વધુ સમય વીતાવે છે. બીજા શબ્દોમાં કહીએ તો કોશ (મુખ્ય ક્વોન્ટમ આંક) ઇલેક્ટ્રોન વડે અનુભવાયેલ  $Z_{eff}$ , ગૌણ ક્વોન્ટમ આંક ( $l$ )ના

વધારા સાથે ઘટે છે.  $s$ -કક્ષકના ઇલેક્ટ્રોન  $p$ -કક્ષકના ઇલેક્ટ્રોન કરતાં અને  $p$ -કક્ષકના ઇલેક્ટ્રોન  $d$ -કક્ષકના ઇલેક્ટ્રોન કરતાં વધારે મજબૂતાઈથી બંધાયેલા હશે.  $s$ -કક્ષકમાંના ઇલેક્ટ્રોનની ઊર્જા  $p$ -કક્ષકના ઇલેક્ટ્રોનની ઊર્જા કરતાં ઓછી હોય છે.  $p$ -કક્ષકના ઇલેક્ટ્રોનની ઊર્જા  $d$ -કક્ષકના ઇલેક્ટ્રોનની ઊર્જા કરતાં ઓછી (વધુ ઋણ) હશે. કેન્દ્રથી શીલ્ડિંગનો અંશ (extent) જુદી જુદી કક્ષકમાંના ઇલેક્ટ્રોન માટે જુદો જુદો હશે. આને પરિણામે સમાન કોશમાં (સમાન મુખ્ય ક્વોન્ટમ આંક) પણ ઊર્જાના વિપાટન (splitting) તરફ દોરી જશે. એટલે કે અગાઉ જણાવ્યા પ્રમાણે કક્ષકમાં ઇલેક્ટ્રોનની ઊર્જા  $n$  અને  $l$  ના મૂલ્યો પર આધાર રાખશે. કક્ષકોની ગણિતીય ઊર્જાનું મૂલ્ય  $n$  અને  $l$  પર આધાર રાખતી બાબત ઘણી જ અટપટી છે, પરંતુ એક સરળ નિયમ તારવી શકાય. જેમકે કક્ષક માટે  $(n + l)$ નું નીચું મૂલ્ય તે તેની ઊર્જા છે. જો તે કક્ષકના  $(n + l)$  મૂલ્યો સમાન હોય તો નીચું  $n$ નું મૂલ્ય ધરાવતી કક્ષકની ઊર્જા ઓછી હશે. કોષ્ટક 2.5  $(n + l)$  નિયમની સમજણ આપે છે. આકૃતિ 2.16 બહુઇલેક્ટ્રોન પરમાણુના ઊર્જા સ્તર દર્શાવે છે. એ નોંધી શકાય કે કોઈ પણ કોશની જુદી જુદી પેટાકોશો બહુઇલેક્ટ્રોન પરમાણુની બાબતમાં જુદી જુદી ઊર્જા ધરાવે છે. હાઈડ્રોજન પરમાણુમાં તેમને સમાન ઊર્જા હોય છે. અંતમાં એવું નિર્દેશ કરી શકીએ કે કોઈ સમાન પેટાકોશમાં કક્ષકોની ઊર્જા પરમાણ્વીય ક્રમાંક ( $Z_{eff}$ )ના વધારા સાથે ઘટે છે. ઉદાહરણ તરીકે લઈએ તો હાઈડ્રોજન પરમાણુની  $2s$ -કક્ષકની ઊર્જા લિથિયમની  $2s$  કક્ષકની ઊર્જા કરતાં વધારે છે અને લિથિયમની ઊર્જા સોડિયમની ઊર્જા કરતાં વધારે હોય છે.

$$\text{એટલે કે, } E_{2s}(\text{H}) > E_{2s}(\text{Li}) > E_{2s}(\text{Na}) > E_{2s}(\text{K}).$$

## 2.6.4 પરમાણુમાં કક્ષકોની ગોઠવણી (Filling of Orbitals in Atom)

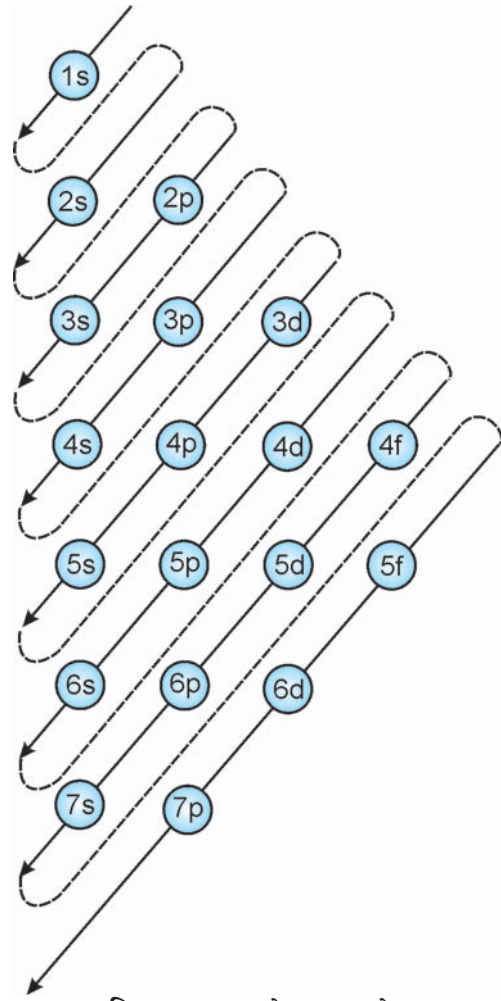
જુદા જુદા પરમાણુઓની કક્ષકોમાં ઇલેક્ટ્રોનની ગોઠવણી આઉફબાઉના સિદ્ધાંત જે પૌલી (Pauli)નો નિષેધનો નિયમ, હુન્ડ (Hund)નો મહત્તમ ગુણકનો નિયમ અને કક્ષકોની ઊર્જા પર આધારિત છે તે પ્રમાણે ભરાય છે.

### આઉફબાઉ સિદ્ધાંત :

આઉફબાઉ શબ્દનો અર્થ જર્મન ભાષામાં 'ગોઠવણી અથવા રચના' તેવો થાય છે. કક્ષકોની રચના એટલે

કોષ્ટક 2.5 ( $n + l$ ) નિયમના આધારે વધતી ઊર્જા સાથેના કક્ષકોની ગોઠવણ

કક્ષક	$n$ નું મૂલ્ય	$l$ નું મૂલ્ય	$(n + l)$ નું મૂલ્ય	
1s	1	0	1 + 0 = 1	
2s	2	0	2 + 0 = 2	
2p	2	1	2 + 1 = 3	2p( $n=2$ )ને નીચેના કરતાં ઓછી ઊર્જા હોય છે.
3s	3	0	3 + 0 = 3	3s( $n=3$ )
3p	3	1	3 + 1 = 4	3p( $n=3$ )ને નીચેના કરતાં ઓછી ઊર્જા હોય છે.
4s	4	0	4 + 0 = 4	4s( $n=4$ )
3d	3	2	3 + 2 = 5	3d( $n=3$ )ને નીચેના કરતાં ઓછી ઊર્જા હોય છે.
4p	4	1	4 + 1 = 5	4p( $n=4$ )



આકૃતિ 2.17 કક્ષકો ભરાવાનો ક્રમ

પૌલીનો નિષેધ(બાકાતી)નો નિયમ :

કક્ષકોનું ઇલેક્ટ્રોન વડે ભરાવું. સિદ્ધાંત નિવેદિત કરે છે કે ધરા સ્થિતિમાં કક્ષકો તેમના વધતી ઊર્જાના ક્રમમાં ભરાય છે. બીજા શબ્દોમાં કહીએ તો ઇલેક્ટ્રોન પ્રથમ સૌથી ઓછી ઊર્જાવાળી કક્ષકમાં ગોઠવાય છે અને તે પૂર્ણ ભરાઈ જાય પછી ઇલેક્ટ્રોન ઊંચી ઊર્જાવાળી કક્ષકમાં ભરાય છે.

કક્ષકો જે ક્રમમાં વધે છે એટલે કે કક્ષકો કયા ક્રમમાં ભરાય છે તે નીચે પ્રમાણે છે :

1s, 2s, 2p, 3s, 3p, 4s, 3d, 4p, 5s, 4d, 5p, 4f, 5d, 6p, 7s...

આ ક્રમને આકૃતિ 2.17માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે યાદ રાખી શકાય. ઉપરથી શરૂ કરતાં દર્શાવેલા તીરની દિશા કક્ષકોના ભરાવાનો ક્રમ દર્શાવે છે એટલે કે જમણી બાજુ ઉપરથી શરૂ થઈ ડાબી બાજુ તળિયા તરફ જાય છે.

જુદી જુદી કક્ષકોમાં ભરાતા ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા નિષેધના નિયમથી પ્રતિબંધિત થાય છે. આ નિયમ ઔસ્ટ્રિયન વૈજ્ઞાનિક વુલ્ફગંગ પૌલીએ (1926) રજૂ કરેલો. આ નિયમ પ્રમાણે પરમાણુમાં કોઈ પણ બે ઇલેક્ટ્રોનના ચારેય ક્વોન્ટમ આંકનો સેટ એકસરખો હોઈ શકે નહિ. પૌલીનો નિષેધનો નિયમ બીજી રીતે દર્શાવીએ તો એક જ કક્ષકમાં માત્ર બે જ ઇલેક્ટ્રોન સમાઈ શકે અને આ ઇલેક્ટ્રોનના ભ્રમણ એકબીજાથી વિરુદ્ધ દિશામાં હોવા જોઈએ. આનો અર્થ એમ થાય છે કે બે ઇલેક્ટ્રોનના ત્રણ ક્વોન્ટમ આંક  $n$ ,  $l$  અને  $m_l$  સરખા હોઈ શકે, પરંતુ તેમના ભ્રમણ ક્વોન્ટમ આંક એકબીજાથી વિરુદ્ધ હોવા જોઈએ. કક્ષકમાં ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યાનો પૌલીનો સિદ્ધાંત આપણને પેટાકોશમાં રહી શકે તેટલા ઇલેક્ટ્રોનની ધારિતા(capacity)ની ગણતરીમાં મદદ કરે છે. ઉદાહરણ તરીકે લઈએ તો, 1s-કક્ષક જે એક જ કક્ષકની બનેલી છે, તેથી 1s પેટાકોશમાં વધુમાં વધુ રહી શકતા ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા બે થશે. p અને d પેટાકોશોમાં

ઇલેક્ટ્રોનની મહત્તમ સંખ્યા અનુક્રમે છ અને દસ તથા તે પ્રમાણે આગળ ઉપર થશે. આનો સમન્વય કરીએ તો મુખ્ય ક્વોન્ટમ આંક  $n$  ધરાવતા કોશમાં રહી શકે તે ઇલેક્ટ્રોનની મહત્તમ સંખ્યા  $2n^2$  બરાબર થશે.

### હુન્ડનો મહત્તમ ગુણકતા(ભ્રમણ)નો નિયમ :

આ નિયમ સમાન પેટાકોશમાં (એટલે કે કક્ષકો જેમની ઊર્જા સરખી હોય છે અને તેમને સમશક્તિક (degenerate) કક્ષકો કહે છે) ભરાતા ઇલેક્ટ્રોન સાથે સંકળાયેલ છે. તેને નિવેદિત કરી શકાય કે – સમાન પેટાકોશ ( $p$ ,  $d$  અથવા  $f$ )ની કક્ષકોમાં ઇલેક્ટ્રોનનું યુગ્મન જ્યાં સુધી દરેક પેટાકોશમાં એક એક ઇલેક્ટ્રોન ગોઠવાતા નથી, (એકાકી રીતે ભરાયેલ હોય) ત્યાં સુધી થતું નથી.

ત્રણ  $p$ , પાંચ  $d$  અને સાત  $f$  કક્ષકો હોવાને લીધે  $p$ ,  $d$  અને  $f$  કક્ષકોમાં ઇલેક્ટ્રોનનું યુગ્મન 4, 6 અને 8 ઇલેક્ટ્રોન દાખલ થયા પછી થશે. એવું અવલોકન કરવામાં આવેલ છે કે અર્ધભરાયેલ અને પૂર્ણ ભરાયેલી સમશક્તિક કક્ષકો વિશેષ સ્થાયીતા તેમની સમમિતિ પ્રમાણે પ્રાપ્ત કરે છે (જુઓ વિભાગ 2.6.7).

### 2.6.5 પરમાણુઓની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના (Electronic Configuration of Atoms)

પરમાણુની કક્ષકોમાં ઇલેક્ટ્રોનની વહેંચણીને ઇલેક્ટ્રોનીય રચના કહે છે. જો બધા જ પાયાના નિયમો જે ઇલેક્ટ્રોનની ગોઠવણીનું સંચાલન કરે છે તેને ધ્યાનમાં રાખીએ તો જુદી જુદી પરમાણવીય કક્ષકોમાં જુદા જુદા પરમાણુની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના સહેલાઈથી લખી શકાશે.

જુદા જુદા પરમાણુની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના બે રીતે લખી શકાય :

(i)  $s^a p^b d^c$  ..... સંકેતો

(ii) કક્ષકીય ચિત્રાર



પ્રથમ સંકેતમાં પેટાકોશને એવી રીતે દર્શાવાય છે કે સંબંધિત અક્ષર સંજ્ઞા લખવામાં આવે છે અને હાજર ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યાને મૂર્ધક (superscript) તરીકે  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,... વગેરેની જેમ દર્શાવાય છે. જુદી જુદી કોશની પેટાકોશોને તેમના મુખ્ય ક્વોન્ટમ આંક તેમના પેટાકોશ પહેલા લખવામાં આવે છે. બીજા સંકેતમાં દરેક પેટાકોશને બોક્સ (પેટી) તરીકે દર્શાવાય છે

અને ઇલેક્ટ્રોનને તીર ( $\uparrow$ ) ધન ભ્રમણ અથવા તીર ( $\downarrow$ ) ઋણ ભ્રમણ તરીકે દર્શાવાય છે. બીજા સંકેતના પહેલા સંકેત કરતાં ફાયદો એ છે કે તે ચારેય ક્વોન્ટમ આંકને દર્શાવે છે.

હાઈડ્રોજન પરમાણુને એક જ ઇલેક્ટ્રોન હોય છે. જે સૌથી ઓછી ઊર્જાવાળી  $1s$  કક્ષકમાં જાય છે. ઇલેક્ટ્રોનીય રચના  $1s^1$  છે. જેનો અર્થ થાય છે કે એક ઇલેક્ટ્રોન  $1s$  કક્ષકમાં છે. હિલિયમ (He)માંનો બીજો ઇલેક્ટ્રોન  $1s$  કક્ષકમાં જ જશે અને તેની રચના  $1s^2$  થશે. ઉપર દર્શાવ્યા પ્રમાણે બન્ને ઇલેક્ટ્રોન એકબીજાથી વિરુદ્ધ ભ્રમણ ધરાવતા અલગ અલગ છે જેને કક્ષકીય ચિત્રારમાંથી જોઈ શકાય છે.



લિથિયમ (Li)ના ત્રીજા ઇલેક્ટ્રોનને  $1s$  કક્ષકમાં દાખલ થવાની છૂટ નથી, કારણ કે પૌલીનો નિયમ લાગુ પડે છે એટલે બીજી પ્રાપ્ત પસંદગીને સ્વીકારે છે જે  $2s$  કક્ષક છે જેથી લિથિયમની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના  $1s^2 2s^1$  થશે.  $2s$  કક્ષક એક કરતાં વધારે ઇલેક્ટ્રોન સમાવી શકે. બેરિલિયમ (Be) પરમાણુની રચના  $1s^2 2s^2$  થશે. (જુઓ કોષ્ટક 2.6 તત્ત્વોની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના).

પછીના છ તત્ત્વોમાં બોરોન ( $B, 1s^2 2s^2 2p^1$ ), કાર્બન ( $C, 1s^2 2s^2 2p^2$ ), નાઈટ્રોજન ( $N, 1s^2 2s^2 2p^3$ ), ઓક્સિજન ( $O, 1s^2 2s^2 2p^4$ ), ફ્લોરિન ( $F, 1s^2 2s^2 2p^5$ ) અને નિયોન ( $Ne, 1s^2 2s^2 2p^6$ ) પ્રમાણે  $2p$  કક્ષકો ભરાય છે. આ પદ્ધતિમાં નિયોન સુધી પૂર્ણ કરી આ તત્ત્વોની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય :

Li	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow$			
Be	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$			
B	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow$		
C	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow$	$\uparrow$	
N	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow$	$\uparrow$	$\uparrow$
O	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow$	$\uparrow$
F	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow$
Ne	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$
	1s	2s	2p		

સોડિયમ ( $\text{Na}, 1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$ ) થી લઈને આર્ગોન ( $\text{Ar}, 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$ ) તત્ત્વો સુધીની ઈલેક્ટ્રોનીય રચના વિધિયમથી નિયોન સુધીના તત્ત્વો પ્રમાણોની જ ભાત (pattern) હોય છે. તફાવત માત્ર એટલો જ છે કે  $3s$  અને  $3p$  કક્ષકો ભરાય છે. આ પદ્ધતિને આપણે સરળ બનાવી શકીએ. જો પ્રથમ બે કોશોના ઈલેક્ટ્રોનની કુલ સંખ્યાને તત્ત્વ નિયોન  $[\text{Ne}]$  તરીકે રજૂ કરીને સોડિયમથી આર્ગોન સુધીના તત્ત્વોની ઈલેક્ટ્રોનીય રચના  $[\text{Na}, [\text{Ne}] 3s^1]$  થી  $[\text{Ar}, [\text{Ne}] 3s^2 3p^6]$  પ્રમાણે લખી શકાય. સંપૂર્ણ ભરાયેલ કોશ ઈલેક્ટ્રોન કોર (core) તરીકે ઓળખાય છે અને ઊંચા મુખ્ય ક્વોન્ટમ આંક ધરાવતા કોશમાં ઈલેક્ટ્રોન ઉમેરાય છે તેને સંયોજકતા ઈલેક્ટ્રોન કહે છે. ઉદાહરણ તરીકે લઈએ તો  $[\text{Ne}]$  ઈલેક્ટ્રોન કોર (core) છે અને  $\text{Na}$  થી  $\text{Ar}$  સુધીના ઈલેક્ટ્રોન સંયોજકતા ઈલેક્ટ્રોન કહેવાય છે. પોટેશિયમ ( $\text{K}$ ) અને કેલ્શિયમ ( $\text{Ca}$ )માં,  $4s$  કક્ષક  $3d$  કક્ષક કરતાં ઊર્જામાં નીચી હોવાથી તે અનુક્રમે એક અને બે ઈલેક્ટ્રોન ધરાવે છે.

$\text{Sc}$  થી શરૂ કરીને એક નવી જ ભાત (pattern) અનુસરવામાં આવે છે.  $3d$ -કક્ષકોની ઊર્જા  $4p$  કક્ષકો કરતાં ઓછી હોય છે. તેથી તે પહેલી ભરાય છે. આને પરિણામે પછીના દસ તત્ત્વો સ્કેન્ડિયમ ( $\text{Sc}$ ), ટિટેનિયમ ( $\text{Ti}$ ), વેનેડિયમ ( $\text{V}$ ), ક્રોમિયમ ( $\text{Cr}$ ), મેંગેનીઝ ( $\text{Mn}$ ), આર્ન ( $\text{Fe}$ ), કોબાલ્ટ ( $\text{Co}$ ), નિકલ ( $\text{Ni}$ ), કોપર ( $\text{Cu}$ ) અને ઝિંક ( $\text{Zn}$ )માં  $3d$ -કક્ષકો પ્રગતિપૂર્વક (progressing) ભરાય છે. આપણે એ હકીકતથી ગૂંચવાઈશું કે ક્રોમિયમ અને કોપરને અનુક્રમે ચાર અને નવને બદલે પાંચ અને દસ ઈલેક્ટ્રોન  $3d$ -કક્ષકમાં હોય છે. આનું કારણ એ છે કે પૂર્ણ ભરાયેલી અને અર્ધપૂર્ણ ભરાયેલી કક્ષકો વિશેષ સ્થાયીતા ધરાવે છે (ઓછી ઊર્જા). આમ,  $p^3, p^6, d^5, d^{10}, f^7, f^{14}$  જે અર્ધપૂર્ણ ભરાયેલી અથવા પૂર્ણ ભરાયેલી હોવાથી વધુ સ્થાયી છે. ક્રોમિયમ અને કોપર  $d^5$  અને  $d^{10}$  રચના સ્વીકારે છે (વિભાગ 2.6.7) (ચેતવણી : અપવાદ અસ્તિત્વ ધરાવે છે.)

$3d$ -કક્ષકો સંતૃપ્ત થયા પછી  $4p$ -કક્ષકો ભરાય છે જે ગેલિયમ ( $\text{Ga}$ ) થી શરૂ થાય છે અને ક્રિપ્ટોન ( $\text{Kr}$ )માં પૂર્ણ થાય છે. પછીના અઢાર તત્ત્વો રૂબિડિયમ ( $\text{Rb}$ ) થી ઝેનોન ( $\text{Xe}$ )માં ઈલેક્ટ્રોન ભરાવાની ભાત છે.  $5s, 4d$  અને  $5p$  કક્ષકો જે  $4s, 3d$  અને  $4p$  ના જેવી જ હોય છે જેની આપણે ઉપર ચર્ચા કરી. પછી  $6s$  કક્ષકનો વારો આવે છે. સીઝિયમ ( $\text{Cs}$ ) અને

બેરિયમ ( $\text{Ba}$ )માં એક અને બે ઈલેક્ટ્રોન અનુક્રમે આ કક્ષકમાં ભરાય છે. ત્યારબાદ લેન્થેનમ ( $\text{La}$ ) થી મરક્યુરિ ( $\text{Hg}$ )માં ઈલેક્ટ્રોન ભરાવાનું  $4f$  અને  $5d$  કક્ષકોમાં થાય છે. આના પછી  $6p$  અને પછી  $7s$  કક્ષકોમાં ભરાય છે. છેવટે  $5f$  અને  $6d$  કક્ષકોમાં ભરાય છે. યુરેનિયમ ( $\text{U}$ ) પછીના તત્ત્વો ટૂંકા આયુષ્યવાળા છે અને તે બધા જ કૃત્રિમ રીતે ઉત્પન્ન કરવામાં આવે છે. જાણીતા તત્ત્વોની ઈલેક્ટ્રોનીય રચના સ્પેક્ટ્રોસ્કોપિક પદ્ધતિથી નક્કી કરાય છે. ઈલેક્ટ્રોનીય રચના કોષ્ટક 2.6માં દર્શાવેલ છે.

કોઈ પૂછી શકે છે કે ઈલેક્ટ્રોનીય રચનાનો ઉપયોગ શું છે ? રસાયણવિજ્ઞાનનો આધુનિક અભિગમ ખરેખર અને સંપૂર્ણપણે ઈલેક્ટ્રોનીય રચના પર છે અને રાસાયણિક વર્તણૂકને સમજાવે છે. ઉદાહરણ તરીકે લઈએ તો પ્રશ્નો જેવાં કે બે અથવા બેથી વધારે પરમાણુઓ સંયોજન અણુ બનાવે છે ? કેટલાક તત્ત્વો શા માટે ધાતુ છે ? કેટલાક તત્ત્વો અધાતુ છે ? હિલિયમ અને આર્ગોન જેવા તત્ત્વો નિષ્ક્રિય છે, પરંતુ હેલોજન તત્ત્વો સક્રિય છે ? આના જવાબો ઈલેક્ટ્રોનીય રચના પરથી મળે છે. આ પ્રશ્નોનો કોઈ ઉત્તર ડાલ્ટનના નમૂનામાં નથી. આધુનિક રસાયણવિજ્ઞાનની જુદી જુદી બાબતોમાં ડોકિયું કરવા અને ઊંડી સમજ મેળવવા માટે પરમાણુની ઈલેક્ટ્રોનીય રચનાની વિગતવાર સમજણ જરૂરી છે.

## 2.6.6 પૂર્ણ ભરાયેલ અને અર્ધપૂર્ણ ભરાયેલ પેટાકોશોની સ્થાયીતા (Stability of Completely Filled and Half Filled Subshells)

પરમાણુની ધરા અવસ્થાની ઈલેક્ટ્રોનીય રચના હંમેશાં ઈલેક્ટ્રોનની સૌથી ઓછી કુલ ઊર્જા સાથે સુસંગત છે. મોટા ભાગના પરમાણુઓ વિભાગ 2.6.5માં આપેલા પાયાના નિયમોને અનુસરે છે; છતાં કેટલાક તત્ત્વો જેવાં કે  $\text{Cu}$  અથવા  $\text{Cr}$ . જેમાં બે પેટાકોશ ( $4s$  અને  $3d$ ) તેમની ઊર્જામાં ઘણો ઓછો તફાવત ધરાવે છે. તેથી ઈલેક્ટ્રોન નીચી ઊર્જા ( $4s$ ) પેટાકોશમાંથી ઊંચી ઊર્જા ( $3d$ ) પેટાકોશમાં ખસે છે (shifts). આને પરિણામે પેટાકોશો કાં તો અર્ધપૂર્ણ અથવા પૂર્ણ રીતે ભરાય છે.  $\text{Cr}$  અને  $\text{Cu}$ ના સંયોજકતા ઈલેક્ટ્રોનની રચના અનુક્રમે  $3d^5 4s^1$  અને  $3d^{10} 4s^1$  છે. નહિ કે  $3d^4 4s^2$  અને  $3d^9 4s^2$ . એ જણાવું છે કે આ ઈલેક્ટ્રોનીય રચના સાથે વધુ સ્થાયીતા સંકળાયેલી છે.

### પૂર્ણ ભરાયેલ અને અર્ધપૂર્ણ ભરાયેલ પેટાકોશોની સ્થાયીતા માટેના કારણો

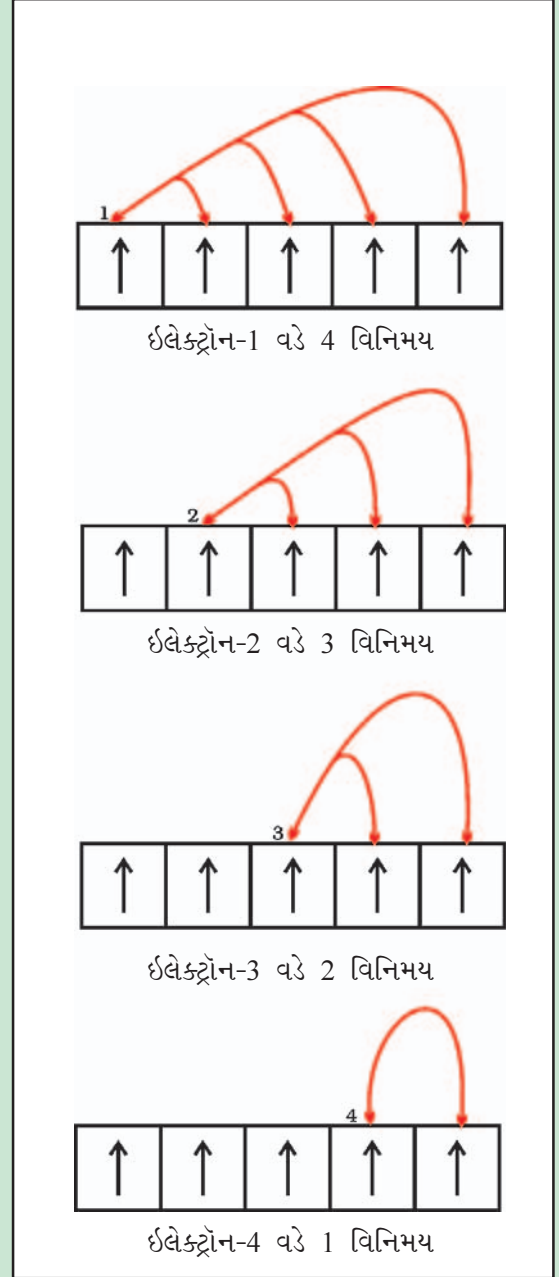
પૂર્ણ ભરાયેલી અને અર્ધપૂર્ણ ભરાયેલી પેટાકોશની સ્થાયી રચના નીચેના કારણોને લીધે હોય છે :

**1. ઈલેક્ટ્રોનની સમમિતિય વહેંચણી :** એ જાણીતું છે કે સમમિતિ સ્થાયીતા તરફ દોરે છે. પૂર્ણ ભરાયેલી કે અર્ધપૂર્ણ ભરાયેલી પેટાકોશોને ઈલેક્ટ્રોનની સમમિત વહેંચણી તેમનામાં હોય છે. આથી તેઓ વધારે સ્થાયી હોય છે. સમાન પેટાકોશ (અહીંયા  $3d$ )માં ઈલેક્ટ્રોનને સમાન ઊર્જા હોય છે, પરંતુ તેમની સ્થાનિક (spatial) વહેંચણી અલગ હોય છે. પરિણામે તેમનું એકબીજાનું શીલ્ડિંગ પ્રમાણમાં ઓછું હોય છે અને ઈલેક્ટ્રોન કેન્દ્ર દ્વારા વધુ મજબૂત રીતે આકર્ષાયેલ હોય છે.

**2. વિનિમય (Exchange) ઊર્જા :** સ્થાયીતા અસર ત્યારે ઉદ્ભવે છે જ્યારે બે કે વધારે સમાન ભ્રમણવાળા ઈલેક્ટ્રોન હોય છે. આ ઈલેક્ટ્રોન તેમના સ્થાનના વિનિમય તરફ જાય છે અને આ વિનિમયને કારણે મુક્ત થતી ઊર્જાને વિનિમય ઊર્જા કહે છે. કુલ વિનિમયની સંખ્યા જે શક્ય છે તે મહત્તમ હોય, જ્યારે (આકૃતિ 2.18) અર્ધપૂર્ણ અથવા પૂર્ણ ભરાયેલ છે. આને પરિણામે વિનિમય ઊર્જા મહત્તમ હોય છે અને તે પ્રમાણે સ્થાયીતા પણ હોય છે.

તમે નોંધી શકો છો કે વિનિમય ઊર્જા હુન્ડના નિયમના પાયામાં છે. ઈલેક્ટ્રોન જ્યારે કક્ષામાં દાખલ થાય છે ત્યારે સમાન ઊર્જા શક્ય હોય ત્યાં સુધી સમાંતર ભ્રમણ હોય છે. બીજા શબ્દોમાં કહીએ તો અર્ધપૂર્ણ અને પૂર્ણ ભરાયેલી પેટાકોશની વિશેષ ઊર્જા (i) સાપેક્ષમાં ઓછું શીલ્ડિંગ અને (ii) ઓછી કુલોમ્બિક અપાકર્ષણ ઊર્જા અને (iii) વધારે પ્રમાણમાં વિનિમય ઊર્જા.

વિનિમય ઊર્જા વિશે વિગતવાર અભ્યાસ તમે આગળના ધોરણમાં કરશો.



આકૃતિ 2.18  $d^5$  રચના માટે શક્ય વિનિમય

## કોષ્ટક 2.6 તત્વોની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના

તત્વ Z	1s	2s	2p	3s	3p	3d	4s	4p	4d	4f	5s	5p	5d	5f	6s	6p	6d	6f
H	1	1																
He	2	2																
Li	3	2	1															
Be	4	2	2															
B	5	2	2	1														
C	6	2	2	2														
N	7	2	2	3														
O	8	2	2	4														
F	9	2	2	5														
Ne	10	2	2	6														
Na	11	2	2	6	1													
Mg	12	2	2	6	2													
Al	13	2	2	6	2	1												
Si	14	2	2	6	2	2												
P	15	2	2	6	2	3												
S	16	2	2	6	2	4												
Cl	17	2	2	6	2	5												
Ar	18	2	2	6	2	6												
K	19	2	2	6	2	6	1											
Ca	20	2	2	6	2	6	2											
Sc	21	2	2	6	2	6	1	2										
Ti	22	2	2	6	2	6	2	2										
V	23	2	2	6	2	6	3	2										
Cr*	24	2	2	6	2	6	5	1										
Mn	25	2	2	6	2	6	5	2										
Fe	26	2	2	6	2	6	6	2										
Co	27	2	2	6	2	6	7	2										
Ni	28	2	2	6	2	6	8	2										
Cu*	29	2	2	6	2	6	10	1										
Zn	30	2	2	6	2	6	10	2										
Ga	31	2	2	6	2	6	10	2	1									
Ge	32	2	2	6	2	6	10	2	2									
As	33	2	2	6	2	6	10	2	3									
Se	34	2	2	6	2	6	10	2	4									
Br	35	2	2	6	2	6	10	2	5									
Kr	36	2	2	6	2	6	10	2	6									
Rb	37	2	2	6	2	6	10	2	6	1								
Sr	38	2	2	6	2	6	10	2	6	2								
Y	39	2	2	6	2	6	10	2	6	1	2							
Zr	40	2	2	6	2	6	10	2	6	2	2							
Nb*	41	2	2	6	2	6	10	2	6	4	1							
Mo*	42	2	2	6	2	6	10	2	6	5	1							
Tc	43	2	2	6	2	6	10	2	6	5	2							
Ru*	44	2	2	6	2	6	10	2	6	7	1							
Rh*	45	2	2	6	2	6	10	2	6	8	1							
Pd*	46	2	2	6	2	6	10	2	6	10								
Ag*	47	2	2	6	2	6	10	2	6	10	1							
Cd	48	2	2	6	2	6	10	2	6	10	2							
In	49	2	2	6	2	6	10	2	6	10	2	1						
Sn	50	2	2	6	2	6	10	2	6	10	2	2						
Sb	51	2	2	6	2	6	10	2	6	10	2	3						
Te	52	2	2	6	2	6	10	2	6	10	2	4						
I	53	2	2	6	2	6	10	2	6	10	2	5						
Xe	54	2	2	6	2	6	10	2	6	10	2	6						

\* અપવાદરૂપ ઇલેક્ટ્રોનીય રચનાવાળા તત્વો



તત્વ Z	1s	2s	2p	3s	3p	3d	4s	4p	4d	4f	5s	5p	5d	5f	6s	6p	6d	7s
Cs 55	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	6			1			
Ba 56	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	6			2			
La* 57	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	6	1		2			
Ce* 58	2	2	6	2	6	10	2	6	10	2	2	6			2			
Pr 59	2	2	6	2	6	10	2	6	10	3	2	6			2			
Nd 60	2	2	6	2	6	10	2	6	10	4	2	6			2			
Pm 61	2	2	6	2	6	10	2	6	10	5	2	6			2			
Sm 62	2	2	6	2	6	10	2	6	10	6	2	6			2			
Eu 63	2	2	6	2	6	10	2	6	10	7	2	6			2			
Gd* 64	2	2	6	2	6	10	2	6	10	7	2	6	1		2			
Tb 65	2	2	6	2	6	10	2	6	10	9	2	6			2			
Dy 66	2	2	6	2	6	10	2	6	10	10	2	6			2			
Ho 67	2	2	6	2	6	10	2	6	10	11	2	6			2			
Er 68	2	2	6	2	6	10	2	6	10	12	2	6			2			
Tm 69	2	2	6	2	6	10	2	6	10	13	2	6			2			
Yb 70	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6			2			
Lu 71	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	1		2			
Hf 72	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	2		2			
Ta 73	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	3		2			
W 74	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	4		2			
Re 75	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	5		2			
Os 76	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	6		2			
Ir 77	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	7		2			
Pt* 78	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	9		1			
Au* 79	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		1			
Hg 80	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2			
Tl 81	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	1		
Pb 82	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	2		
Bi 83	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	3		
Po 84	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	4		
At 85	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	5		
Rn 86	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	6		
Fr 87	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	6		1
Ra 88	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	6		2
Ac 89	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	6	1	2
Th 90	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	6	2	2
Pa 91	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	2	2	6	1	2
U 92	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	3	2	6	1	2
Np 93	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	4	2	6	1	2
Pu 94	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	6	2	6		2
Am 95	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	7	2	6		2
Cm 96	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	7	2	6	1	2
Bk 97	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	8	2	6	1	2
Cf 98	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	10	2	6		2
Es 99	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	11	2	6		2
Fm 100	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	12	2	6		2
Md 101	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	13	2	6		2
No 102	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	14	2	6		2
Lr 103	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	14	2	6	1	2
Rf 104	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	10	2	6	2	2
Db 105	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	11	2	6	3	2
Sg 106	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	12	2	6	4	2
Bh 107	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	13	2	6	5	2
Hs 108	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	14	2	6	6	2
Mt 109	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	14	2	6	7	2
Ds 110	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	14	2	6	8	2
Rg** 111	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	14	2	6	10	1

\*\* પરમાણ્વીય-ક્રમાંક 112 અને તેની ઉપરના તત્ત્વો શોધાયેલા છે, પરંતુ તેમની સંપૂર્ણપણે માન્યતા મળેલી નથી અને નામકરણ પણ દર્શાવાયા નથી.

### સારાંશ

**પરમાણુઓ** તત્ત્વોના પાયાના બ્લોક (blocks) છે. તે તત્ત્વના સૌથી નાના ભાગ છે જે રાસાયણિક રીતે પ્રક્રિયા કરે છે. પ્રથમ પરમાણ્વીય વાદ 1808માં જહોન ડાલ્ટને રજૂ કરેલો અને તેમણે દ્રવ્યના અંતિમ અને અદૃશ્ય કણો તરીકે સ્વીકાર્યા. ઓગણીસમી સદીના અંત તરફ જતાં પ્રાયોગિક રીતે એ સાબિત થયું હતું કે પરમાણુ વિભાજ્ય છે અને તે ત્રણ મૂળભૂત કણો - **ઇલેક્ટ્રોન**, **પ્રોટોન** અને **ન્યુટ્રોન** ધરાવે છે. અવપરમાણ્વીય (subatomic) કણોની શોધને લીધે પરમાણુની રચના સમજાવવા માટે જુદા જુદા પરમાણુ નમૂનાઓની દરખાસ્ત કરવામાં આવી.

1898માં થોમસને દરખાસ્ત કરી કે પરમાણુ એકસરખો ગોળો છે, જેમાં ઘન વિદ્યુતમય કણો ઇલેક્ટ્રોન સાથે પથરાયેલા છે. આ નમૂનો જેમાં પરમાણુના દળને પરમાણુમાં બધે જ પથરાયેલ છે તેવું ગણતરીમાં લેવામાં આવેલું. જે રૂથરફોર્ડના પ્રખ્યાત  $\alpha$ -કણોના પ્રકીર્ણનના 1909ના પ્રયોગથી ખોટું સાબિત કરવામાં આવેલું. રૂથરફોર્ડ તારણ કાઢ્યું કે પરમાણુ ખૂબ નાનું ઘનભારવાળું કેન્દ્ર ધરાવે છે, જેની આસપાસ ઇલેક્ટ્રોન **વર્તુળાકાર કક્ષામાં** ફરે છે. જેમ સૂર્યની આસપાસ ગ્રહો ફરે છે તેમ. **રૂથરફોર્ડનો આ નમૂનો થોમસનના નમૂના** કરતાં વધારે સુધારાપૂર્વક જરૂર હતો પણ તે પરમાણુની સ્થાયીતાને સમજાવી શક્યો ન હતો. એટલે કે ઇલેક્ટ્રોન શા માટે કેન્દ્રમાં પડી જતાં નથી. વળી, આ નમૂનો પરમાણુના બંધારણ વિશે કંઈ કહી શકતો ન હતો (મૂક હતો) એટલે કે કેન્દ્રની આસપાસ ફરતા ઇલેક્ટ્રોનની વહેંચણી અને સાપેક્ષ ઊર્જા વિશે અધૂરો હતો. રૂથરફોર્ડ નમૂનાની મુશ્કેલીઓ 1913માં નીલ્સ બોહ્રે હાઇડ્રોજન પરમાણુના તેમણે આપેલા નમૂના દ્વારા હલ કરી શકાઈ. બોહ્રે પ્રતિપાદિત કર્યું કે ઇલેક્ટ્રોન કેન્દ્રની આસપાસ વર્તુળાકાર રીતે ગતિ કરે છે. માત્ર અમુક જ કક્ષાઓ અસ્તિત્વ ધરાવી શકે છે અને દરેક કક્ષા વિશિષ્ટ ઊર્જાને અનુસરતી હોય છે. બોહ્રે જુદી જુદી કક્ષામાંના ઇલેક્ટ્રોનની ઊર્જા ગણી શક્યા અને દરેક કક્ષા માટે કેન્દ્ર અને ઇલેક્ટ્રોન વચ્ચેનું અંતર પણ ગણી શક્યા. **બોહ્ર નમૂનો** હાઇડ્રોજન પરમાણુ માટે સંતોષકારક નમૂનો હતો પણ બહુઇલેક્ટ્રોન પરમાણુના વર્ણપટ સમજાવી શક્યો નહિ. આનું કારણ ઝડપથી શોધી કાઢવામાં આવેલું. બોહ્રના નમૂનામાં ઇલેક્ટ્રોનને ભારિત કણોને કેન્દ્રની આસપાસ સારી રીતે વ્યાખ્યાયિત કરેલી કક્ષાઓના ફરતા ગણવામાં આવેલા. બોહ્રના સિદ્ધાંતમાં તરંગ પ્રકૃતિને ધ્યાનમાં લેવામાં આવી ન હતી. કક્ષા એક વ્યાખ્યાયિત પથ છે અને આ પથ પણ સંપૂર્ણપણે ઇલેક્ટ્રોનના ચોક્કસ સ્થાન અને ચોક્કસ વેગ જાણીતા છે તેમ રજૂ કરાયું. હાઇડ્રોજનબર્ગ અનિશ્ચિતતા સિદ્ધાંતને આધારે આ શક્ય ન હતું. આમ હાઇડ્રોજન માટેનો બોહ્રનો નમૂનો ઇલેક્ટ્રોનની દ્વિત વર્તણૂકને ધ્યાનમાં નથી લેતો એટલું જ નહિ પણ **હાઇડ્રોજનબર્ગના અનિશ્ચિતતા સિદ્ધાંતનો** પણ વિરોધી (contrast) છે.

1926માં ઈરવીન શ્રોડિંજરે એક સમીકરણ રજૂ કર્યું જેને શ્રોડિંજર સમીકરણ કહેવામાં આવે છે. તે અવકાશમાં ઇલેક્ટ્રોનની વહેંચણી અને પરમાણુમાં માન્ય ઊર્જાસ્તરને સમજાવે છે. આ સમીકરણ દૂ-બ્રોગલીના તરંગ-કણ દ્વિત વર્તણૂકના ખ્યાલનો સમાવેશ કરે છે. જે હાઇડ્રોજનબર્ગના અનિશ્ચિતતા સિદ્ધાંત સાથે સુસંગત છે. હાઇડ્રોજન પરમાણુમાંના ઇલેક્ટ્રોન માટે શ્રોડિંજર સમીકરણનો ઉકેલ મેળવવામાં આવ્યો. આ ઉકેલથી ઇલેક્ટ્રોન શક્ય ઊર્જા અવસ્થા અને તેને અનુરૂપ તરંગ વિધેય ( $\Psi$ )ની જાણકારી પ્રાપ્ત થઈ. (જે ખરેખર તો દરેક ઊર્જા સ્તર સાથે સંકળાયેલા ઇલેક્ટ્રોન માટે ગાણિતીય વિધેય છે.) આ ક્વોન્ટીકૃત ઊર્જા સ્તરો અને તેમને અનુરૂપ તરંગ વિધેયો ત્રણ ક્વોન્ટમ આંક (**મુખ્ય ક્વોન્ટમ આંક ( $n$ )**, **ગૌણ ક્વોન્ટમ આંક ( $l$ )**, **ચુંબકીય ક્વોન્ટમ આંક ( $m_l$ )**) છે અને તે શ્રોડિંજર સમીકરણના ઉકેલથી નડતરો(restrictions)નો ઉકેલ સહજ રીતે જ મળે છે. હાઇડ્રોજનનો ક્વોન્ટમ યાંત્રિકીય નમૂનો સફળતાપૂર્વક હાઇડ્રોજન પરમાણુ વર્ણપટની બધી જ બાબતોનું પ્રતિપાદન કરે છે. બોહ્રના નમૂનામાં સમજાવી નહિ શકાયેલ બાબતોની પણ સમજૂતી આપે છે.

ક્વોન્ટમ યાંત્રિકીય નમૂના પ્રમાણે પરમાણુના ઇલેક્ટ્રોનની વહેંચણી **કોશોમાં** વિભાજિત કરી શકાય છે. આ કોશો પણ **પેટાકોશો** ધરાવે છે તેમ ધારવામાં આવ્યું. જે ઇલેક્ટ્રોનથી ભરાય છે. હાઇડ્રોજન અને હાઇડ્રોજન જેવી પ્રણાલી ( $\text{He}^+$ ,  $\text{Li}^{2+}$  વગેરે)માં આવેલ કોશમાંની બધી જ પેટાકોશો સરખી ઊર્જા ધરાવે છે.

બહુઇલેક્ટ્રોન ધરાવતા પરમાણુમાંની કક્ષકોની ઊર્જા  $n$  અને  $l$  ના મૂલ્યો પર આધાર રાખે છે. કોઈ કક્ષા માટે  $(n + l)$ નું મૂલ્ય ઓછું તેટલી ઊર્જા ઓછી. પરમાણુમાં આવી ઘણી કક્ષકો શક્ય છે અને ઇલેક્ટ્રોન ઊર્જાના વધતા ક્રમમાં કક્ષકમાં પૌલીના નિષેધ સિદ્ધાંત (પરમાણુના કોઈ પણ બે ઇલેક્ટ્રોનના ચારેય ક્વોન્ટમ આંકનો સેટ સરખો ન હોય) અને હુન્ડનો મહત્તમ ભ્રમણ ગુણકતાનો નિયમ (કોઈ પેટાકોશમાં ઇલેક્ટ્રોનનું યુગ્મન જ્યાં સુધી બધી જ કક્ષકોમાં એક-એક ઇલેક્ટ્રોન ભરાય નહિ ત્યાં સુધી થતું નથી) મુજબ ભરાય છે. પરમાણુની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના આ સિદ્ધાંતો પર આધાર રાખે છે.

### સ્વાધ્યાય

- 2.1 (i) ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા ગણો કે જેને ભેગા કરવાથી એક ગ્રામ વજન થાય.  
(ii) એક મોલ ઇલેક્ટ્રોનનો ભાર અને દળ ગણો.
- 2.2 (i) મિથેનના એક મોલમાં રહેલા કુલ ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા ગણો.  
(ii)  $^{14}\text{C}$ ના 7 mg માં (a) કુલ ન્યુટ્રોનની સંખ્યા અને (b) કુલ ન્યુટ્રોનનું દળ ગણો. (ન્યુટ્રોનનું દળ  $1.675 \times 10^{-27}$  kg ધારી લો.)  
(iii) STP એ 34 mg  $\text{NH}_3$  માં (a) કુલ પ્રોટોનની સંખ્યા અને (b) કુલ પ્રોટોનનું દળ ગણો.  
જો દબાણ અને તાપમાન બદલવામાં આવે તો ઉત્તર બદલાશે ?
- 2.3 નીચેના કેન્દ્રોમાં કેટલા ન્યુટ્રોન અને પ્રોટોન રહેલા છે ?  
 $^{13}_6\text{C}$ ,  $^{16}_8\text{O}$ ,  $^{24}_{12}\text{Mg}$ ,  $^{56}_{26}\text{Fe}$ ,  $^{88}_{38}\text{Sr}$
- 2.4 આપેલ પરમાણ્વીય ક્રમાંક (Z) અને પરમાણ્વીય દળ (A)ના આધારે પરમાણુની સંપૂર્ણ સંજ્ઞા લખો :  
(i)  $Z = 17$ ,  $A = 35$ .  
(ii)  $Z = 92$ ,  $A = 233$ .  
(iii)  $Z = 4$ ,  $A = 9$ .
- 2.5 સોડિયમ લેમ્પમાંથી ઉત્સર્જિત થતો પીળો પ્રકાશ 580 nm તરંગલંબાઈ ( $\lambda$ ) ધરાવે છે તો પીળા પ્રકાશની (a) આવૃત્તિ ( $\nu$ ) અને (b) તરંગસંખ્યા ( $\bar{\nu}$ ) કેટલી હશે ?
- 2.6 દરેક ફોટોનની ઊર્જા ગણો જે –  
(i)  $3 \times 10^{15}$  Hz આવૃત્તિને અનુરૂપ પ્રકાશ આપે છે. (ii) તરંગલંબાઈ 0.50 Å ધરાવે છે.
- 2.7 તરંગ જેનો આવર્ત સમય  $2.0 \times 10^{-10}$  s છે તેની તરંગલંબાઈ, આવૃત્તિ અને તરંગ સંખ્યા ગણો.
- 2.8 એક પ્રકાશ જેની તરંગલંબાઈ 4000 pm છે અને તે 1 J ઊર્જા પૂરી પાડે છે. આ પ્રકાશના ફોટોનની સંખ્યા ગણો.
- 2.9  $4 \times 10^{-7}$  m તરંગલંબાઈ ધરાવતો ફોટોન એક ધાતુની સપાટીને અથડાય છે. ધાતુનું કાર્યવિધેય 2.13 eV છે. ગણતરી કરો : (i) ફોટોનની ઊર્જા (ii) ઉત્સર્જનની ગતિજ ઊર્જા અને (iii) ફોટોઇલેક્ટ્રોનનો વેગ ( $1 \text{ eV} = 1.6020 \times 10^{-19} \text{ J}$ )
- 2.10 242 nm તરંગલંબાઈ ધરાવતું વિદ્યુતચુંબકીય વિકિરણ સોડિયમ પરમાણુનું આયનીકરણ કરવા માટે પૂરતું છે. સોડિયમની આયનીકરણ ઊર્જા  $\text{kJ mol}^{-1}$ માં ગણો.
- 2.11 25 વોટનો એક બલ્બ એકવર્ણી (monochromatic) પીળો પ્રકાશ ઉત્સર્જિત કરે છે. જેની તરંગલંબાઈ 0.57  $\mu\text{m}$  છે. પ્રત્યેક સેકન્ડે ઉત્સર્જિત થતા ક્વોન્ટમનો દર ગણો.
- 2.12 એક ધાતુ સપાટીને 6800 Å ની તરંગલંબાઈવાળા વિકિરણ સામે ખુલ્લી મૂકવામાં આવે છે ત્યારે શૂન્ય વેગથી ઇલેક્ટ્રોન ઉત્સર્જિત થાય છે. ધાતુની દેહલી આવૃત્તિ ( $\nu_0$ ) અને કાર્યવિધેય ( $W_0$ ) ગણો.
- 2.13 હાઈડ્રોજન પરમાણુનો ઇલેક્ટ્રોન જ્યારે ઊર્જાસ્તર  $n = 4$  માંથી ઊર્જાસ્તર  $n = 2$  માં સંક્રમણ (transition) કરે છે ત્યારે ઉત્સર્જિત થતા પ્રકાશની તરંગલંબાઈ કેટલી હશે ?

- 2.14 જો ઇલેક્ટ્રોન  $n = 5$  ધરાવતો હોય તો H પરમાણુનું આયનીકરણ કરવા કેટલી ઊર્જા જોઈશે ? તમારા ઉત્તરની તુલના H-પરમાણુની આયનીકરણ એન્ટાલ્પી ( $n = 1$  કક્ષામાંથી ઇલેક્ટ્રોનને દૂર કરવા માટે જરૂરી ઊર્જા) સાથે કરો.
- 2.15  $n = 6$ માંથી ધરાવતા અવસ્થામાં ઇલેક્ટ્રોન દાખલ થાય ત્યારે ઉત્સર્જિત રેખાઓની મહત્તમ સંખ્યા કેટલી હશે ?
- 2.16 (i) હાઈડ્રોજન પરમાણુની પ્રથમ કક્ષા સાથે સંકળાયેલ ઊર્જા  $-2.18 \times 10^{-18} \text{ J atom}^{-1}$  છે. પાંચમી કક્ષા સાથે સંકળાયેલી ઊર્જા કેટલી હશે ?  
(ii) હાઈડ્રોજન પરમાણુ માટે બોહ્રની પાંચમી કક્ષાની ત્રિજ્યા ગણો.
- 2.17 પરમાણ્વીય હાઈડ્રોજનની બામર શ્રેણીમાંની સૌથી લાંબા સંક્રમણ માટેની તરંગ સંખ્યા ગણો.
- 2.18 હાઈડ્રોજન પરમાણુની બોહ્ર કક્ષા એકમાંથી બોહ્ર કક્ષા પાંચમા ઇલેક્ટ્રોન મોકલવા માટે કેટલા જૂલ ઊર્જાની જરૂર પડશે અને ધરાવતા અવસ્થામાં ઇલેક્ટ્રોન પાછો આવે ત્યારે ઉત્સર્જિત થનારા પ્રકાશની તરંગલંબાઈ કેટલી હશે ? ધરાવતા અવસ્થામાં ઇલેક્ટ્રોન ઊર્જા  $-2.18 \times 10^{-11}$  અર્ગ છે.
- 2.19 હાઈડ્રોજન પરમાણુની ઇલેક્ટ્રોન ઊર્જા  $E_n = (-2.18 \times 10^{-18})/n^2 \text{ J}$  તરીકે દર્શાવી શકાય છે.  $n = 2$  કક્ષામાંથી ઇલેક્ટ્રોનને સંપૂર્ણપણે દૂર કરવા માટે કેટલી ઊર્જાની જરૂર પડશે ? આ સંક્રમણ કરવા માટે સૌથી લાંબી તરંગલંબાઈ સેમીમાં કેટલી હશે ?
- 2.20  $2.05 \times 10^7 \text{ ms}^{-1}$  ના વેગથી ધૂમતા ઇલેક્ટ્રોનની તરંગલંબાઈ ગણો.
- 2.21 ઇલેક્ટ્રોનનું દળ  $9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$  છે, જો તેની ગતિજ ઊર્જા  $3.0 \times 10^{-25} \text{ J}$  હોય તો તેની તરંગલંબાઈ ગણો.
- 2.22 નીચેનામાંથી કઈ સ્પીસિઝ સમઘલેક્ટ્રોનીય છે ? (એટલે કે એકસરખી ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા ધરાવે છે.)  
 $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{S}^{2-}$ ,  $\text{Ar}$ .
- 2.23 (i) નીચેના આયનોના ઇલેક્ટ્રોનીય બંધારણ લખો :  
(a)  $\text{H}^-$  (b)  $\text{Na}^+$  (c)  $\text{O}^{2-}$  (d)  $\text{F}^-$   
(ii) જો તત્વના સૌથી બહારના ઇલેક્ટ્રોનને (a)  $3s^1$  (b)  $2p^3$  અને (c)  $3p^5$  તરીકે દર્શાવી શકતા હોઈએ તો તે તત્વોના પરમાણ્વીય-ક્રમાંક કેટલા હશે ?  
(iii) નીચેની રચના કયા પરમાણુના સંકેત છે ?  
(a)  $[\text{He}] 2s^1$  (b)  $[\text{Ne}] 3s^2 3p^3$  (c)  $[\text{Ar}] 4s^2 3d^1$ .
- 2.24  $g$ -કક્ષકોને માન્ય રાખે તેને માટે  $n$ નું સૌથી ઓછું મૂલ્ય શું હશે ?
- 2.25 એક ઇલેક્ટ્રોન  $3d$ -કક્ષકોમાંની કોઈ એક કક્ષકમાં છે. આ ઇલેક્ટ્રોન માટે  $n$ ,  $l$  અને  $m_l$  ના શક્ય મૂલ્યો આપો.
- 2.26 એક તત્વનો પરમાણુ 29 ઇલેક્ટ્રોન અને 35 ન્યુટ્રોન ધરાવે છે. (i) પ્રોટોનની સંખ્યા અને (ii) તત્વની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના તારવો.
- 2.27  $\text{H}_2^+$ ,  $\text{H}_2$  અને  $\text{O}_2^+$  સ્પીસિઝમાં ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા આપો.
- 2.28 (i) કોઈ એક પરમાણ્વીય કક્ષક માટે  $n = 3$  છે, તો  $l$  અને  $m_l$  ના શક્ય મૂલ્યો કેટલા હશે ?  
(ii)  $3d$ -કક્ષક માટે ઇલેક્ટ્રોનના ક્વોન્ટમ આંક ( $m_l$  અને  $l$ )ની યાદી કરો.  
(iii) નીચેનામાંથી કઈ કક્ષકો શક્ય છે ?  
 $1p$ ,  $2s$ ,  $2p$  અને  $3f$
- 2.29  $s$ ,  $p$ ,  $d$  સંકેતોનો ઉપયોગ કરીને નીચેના ક્વોન્ટમ આંકની કક્ષકોનું વર્ણન કરો :  
(a)  $n = 1$ ,  $l = 0$ ; (b)  $n = 3$ ;  $l = 1$  (c)  $n = 4$ ;  $l = 2$ ; (d)  $n = 4$ ;  $l = 3$ .

- 2.30 કારણ આપીને સમજાવો કે નીચેનામાંથી કયો ક્વોન્ટમ આંકનો સેટ ધરાવતી કક્ષક શક્ય નથી ?
- (a)  $n = 0, \quad l = 0, \quad m_l = 0, \quad m_s = +\frac{1}{2}$   
 (b)  $n = 1, \quad l = 0, \quad m_l = 0, \quad m_s = -\frac{1}{2}$   
 (c)  $n = 1, \quad l = 1, \quad m_l = 0, \quad m_s = +\frac{1}{2}$   
 (d)  $n = 2, \quad l = 1, \quad m_l = 0, \quad m_s = -\frac{1}{2}$   
 (e)  $n = 3, \quad l = 3, \quad m_l = -3, \quad m_s = +\frac{1}{2}$   
 (f)  $n = 3, \quad l = 1, \quad m_l = 0, \quad m_s = +\frac{1}{2}$
- 2.31 પરમાણુમાંના કેટલા ઇલેક્ટ્રોનના ક્વોન્ટમ આંક નીચે પ્રમાણે હશે ?
- (a)  $n = 4, m_s = -\frac{1}{2}$       (b)  $n = 3, l = 0$
- 2.32 દર્શાવો કે હાઈડ્રોજન પરમાણુ માટેની બોહ્ર કક્ષાનો પરિઘ દ્વ-બ્રોગલીની તરંગલંબાઈ સાથે સંબંધિત કક્ષામાં ધૂમતો ઇલેક્ટ્રોન તેનો સંકલન ગુણક છે.
- 2.33 હાઈડ્રોજન વર્ણપટનું કયું સંક્રમણ  $\text{He}^+$  વર્ણપટના બામર સંક્રમણ  $n = 4$  થી  $n = 2$  જેટલી તરંગલંબાઈ ધરાવતું હશે ?
- 2.34 પ્રક્રિયા માટે જરૂરી ઊર્જાની ગણતરી કરો :  $\text{He}^+(g) \rightarrow \text{He}^{2+}(g) + e^-$   
 H પરમાણુની ધરા અવસ્થામાં આયનીકરણ ઊર્જા  $2.18 \times 10^{-18} \text{ J atom}^{-1}$  છે.
- 2.35 જો કાર્બન પરમાણુનો વ્યાસ  $0.15 \text{ nm}$ , હોય તો કાર્બન પરમાણુની સંખ્યા ગણો જેને  $20 \text{ cm}$  લાંબી લાઈનના સ્કેલ પર સીધી લીટીમાં એકબીજાની નજીક ગોઠવી શકાય ?
- 2.36  $2 \times 10^8$  કાર્બન પરમાણુઓ એકબીજાની પાસે ગોઠવાયેલા છે. જો વ્યવસ્થાની લંબાઈ  $2.4 \text{ cm}$  હોય તો કાર્બન પરમાણુની ત્રિજ્યા ગણો.
- 2.37 ઝિંક પરમાણુનો વ્યાસ  $2.6 \text{ \AA}$  છે. (a) ઝિંક પરમાણુની ત્રિજ્યા pmમાં ગણો અને (b) જો ઇલેક્ટ્રોન એક-બીજાની લગોલગ લંબાઈ પ્રમાણે ગોઠવાયેલા હોય તો  $1.6 \text{ cm}$  લંબાઈમાં હાજર પરમાણુની સંખ્યા ગણો.
- 2.38 એક કણ  $2.5 \times 10^{-16} \text{ C}$  સ્થિરવિદ્યુતીય ભાર ધરાવે છે. તેમાં હાજર ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા ગણો.
- 2.39 મુલિકનના પ્રયોગમાં તેલબિંદુ પર ચળકતા X-કિરણો દ્વારા પ્રાપ્ત સ્થિરવિદ્યુતીય ભાર  $-1.282 \times 10^{-18} \text{ C}$  છે, તો તેમાં રહેલા ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા ગણો.
- 2.40 રૂથરફોર્ડના પ્રયોગમાં સામાન્ય રીતે ભારે પરમાણુઓ જેવાં કે, ગોલ્ડ, પ્લેટિનમના પાતળા વરખ (foil) લેવામાં આવે છે અને તેના પર  $\alpha$ -કણોનો મારો ચલાવવામાં આવે છે. જો તેને બદલે એલ્યુમિનિયમનો પાતળો વરખ વાપરવામાં આવે તો ઉપરના પરિણામોમાં શું ફેર પડશે ?
- 2.41 સંજ્ઞાઓ  $^{79}_{35}\text{Br}$  અને  $^{79}\text{Br}$  લખી શકાય, પરંતુ સંજ્ઞાઓ  $^{35}_{79}\text{Br}$  અને  $^{35}\text{Br}$  સ્વીકાર્ય નથી. ટૂંકમાં ઉત્તર આપો.
- 2.42 દળક્રમાંક 81 વાળું તત્ત્વ પ્રોટોનની સરખામણીમાં 31.7 % વધુ ન્યુટ્રોન ધરાવે છે. પરમાણુની સંજ્ઞા દર્શાવો.
- 2.43 દળક્રમાંક 37 ધરાવતો આયન એક એકમ ઋણભાર ધરાવે છે. જો આયન ઇલેક્ટ્રોન કરતાં 11.1 % વધારે ન્યુટ્રોન ધરાવે છે તો આયનની સંજ્ઞા શોધો.
- 2.44 દળક્રમાંક 56 ધરાવતા આયન ધનભારના ત્રણ એકમ ધરાવે છે અને ઇલેક્ટ્રોન કરતાં 30.4 % વધુ ન્યુટ્રોન ધરાવે છે. આયનની સંજ્ઞા દર્શાવો.
- 2.45 નીચેના પ્રકારના વિકિરણોને તેમની આવૃત્તિના ચઢતા ક્રમમાં ગોઠવો : (a) માઈક્રોવેવ ઓવનનું વિકિરણ (b) ટ્રાન્કિ સિગ્નલમાંનો અંબર પ્રકાશ (c) FM રેડિયોમાં નીકળતું વિકિરણ (d) બાહ્ય અવકાશમાંથી આવતા કોસ્મિક કિરણો અને (e) X-કિરણો.

- 2.46 નાઈટ્રોજન લેસર 337.1 nm તરંગલંબાઈએ વિકિરણ ઉત્પન્ન કરે છે. જો ઉત્સર્જિત થયેલા ફોટોન  $5.6 \times 10^{24}$  હોય તો આ લેસરની શક્તિ (power) ગણો.
- 2.47 નિયોન વાયુ સામાન્ય રીતે સાઈન બોર્ડમાં વપરાય છે. જો તે 616 nm તરંગલંબાઈ ખૂબ તીવ્રતાથી ઉત્સર્જિત કરતો હોય તો ગણો : (a) ઉત્સર્જનની આવૃત્તિ, (b) 30 sમાં આ વિકિરણ કેટલું અંતર કાપશે ? (c) ક્વોન્ટમની ઊર્જા અને (d) ક્વોન્ટમની સંખ્યા જો તે 2 J ઊર્જા ઉત્પન્ન કરતું હોય ?
- 2.48 અંતરિક્ષ અવલોકનોમાં દૂરના તારામાંથી અવલોકિત થતાં સિગ્નલ સામાન્ય રીતે નબળાં હોય છે. જો ફોટોન સંસૂચક (detector) 600 nm વિકિરણમાંથી  $3.15 \times 10^{-18}$  J પ્રાપ્ત કરે છે તો સંસૂચક વડે સ્વીકારાયેલા ફોટોનની સંખ્યા ગણો.
- 2.49 ઉત્તેજિત અવસ્થામાં અણુઓનો આયુષ્ય સમય પલ્સ વિકિરણ સ્ત્રોત(source)નો ઉપયોગ કરી નેનો સેકન્ડમાં વિસ્તારમાં (range) માપવામાં આવે છે. ધારો કે વિકિરણ સ્ત્રોત 2 nsનો હોય તો અને પલ્સ સ્ત્રોત દરમિયાન ઉત્સર્જિત ફોટોનની સંખ્યા  $2.5 \times 10^{15}$  હોય તો સ્ત્રોતની ઊર્જા ગણો.
- 2.50 સૌથી લાંબી તરંગલંબાઈ ડબ્લેટ અવશોષણ 589 અને 589.6 nm પર અવલોકિત થયેલ છે. દરેક સંક્રાંતિની આવૃત્તિ ગણો અને બંને ઉત્સર્જિત અવસ્થાઓ વચ્ચેનો ઊર્જા તફાવત ગણો.
- 2.51 સીઝિયમ પરમાણુનું કાર્યવિધેય 1.9 eV છે. તો ગણતરી કરો : (a) દેહલી તરંગલંબાઈ (b) વિકિરણની દેહલી આવૃત્તિ. (c) જો સીઝિયમ તત્ત્વને 500 nm વાળી તરંગલંબાઈથી વિકિરણીત કરવામાં આવે તો ગતિજ ઊર્જા ગણો અને ઉત્ક્ષેપિત (બહાર ફેંકાતા) (ejected) ફોટોઈલેક્ટ્રોનનો વેગ ગણો.
- 2.52 સોડિયમ ધાતુને જુદી જુદી તરંગલંબાઈથી જ્યારે વિકિરણીત કરવામાં આવી ત્યારે નીચેના પરિણામો મળ્યાં. ગણતરી કરો : (a) દેહલી તરંગલંબાઈ અને (b) પ્લાન્કનો અચળાંક.
- |  |      |      |      |
|--|------|------|------|
| $\lambda$ (nm)                           | 500  | 450  | 400  |
| $v \times 10^{-5}$ (cm s <sup>-1</sup> ) | 2.55 | 4.35 | 5.35 |
- 2.53 સિલ્વર ધાતુમાંથી ફોટોઈલેક્ટ્રિક અસરના પ્રયોગમાં ફોટોઈલેક્ટ્રોનનું ઉત્ક્ષેપન (ejection) 0.35 V વોલ્ટેજ લાગુ પાડવાથી રોકાય છે. જ્યારે વિકિરણ 256.7 nm વાપરવામાં આવે છે ત્યારે સિલ્વર ધાતુનું કાર્યવિધેય ગણો.
- 2.54 જ્યારે 150 pm તરંગલંબાઈવાળો ફોટોન પરમાણુને અથડાય છે અને તે આંતરબંધિત ઈલેક્ટ્રોનમાંથી એક ઈલેક્ટ્રોનનું ઉત્ક્ષેપન થાય છે જેનો વેગ  $1.5 \times 10^7$  ms<sup>-1</sup> છે. એ ઊર્જા ગણો જેને લીધે તે કેન્દ્ર સાથે બંધિત હતો.
- 2.55 પાશ્ચાત્ય શ્રેણીમાં ઉત્સર્જન સંક્રાંતિ  $n = 3$  કક્ષાએ અંત પામે છે અને  $n$ -કક્ષામાંથી શરૂ થાય છે અને તેને  $v = 3.29 \times 10^{15}$  (Hz) વડે રજૂ કરી શકાય છે  $\left[ \frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right]$ .
- જો 1285 nm પર સંક્રમણ અવલોકિત થાય છે, વર્ણપટનો વિસ્તાર શોધો.
- 2.56 ઉત્સર્જન સંક્રમણથી તરંગલંબાઈ ગણો. જો તે 1.3225 nm ત્રિજ્યાથી શરૂ થઈને 211.6 pm પર અંત પામે છે. આ સંક્રાંતિ કઈ શ્રેણીને લાગુ પડે છે તેનું નામ આપો અને વર્ણપટ વિસ્તાર જણાવો.
- 2.57 દ્રવ્યની દ્વૈત વર્તણૂક જે દ્-બ્રોગલીએ પ્રતિપાદિત કરેલી જેને પરિણામે ઈલેક્ટ્રોન માઈક્રોસ્કોપની શોધ થઈ જે વારંવાર જૈવિક અણુઓ અને અન્ય પ્રકારના પદાર્થોના આવર્ધન માટે ઉપયોગમાં લેવાય છે. જો આ ઈલેક્ટ્રોન માઈક્રોસ્કોપમાં ઈલેક્ટ્રોનનો વેગ  $1.6 \times 10^6$  ms<sup>-1</sup> હોય તો આ ઈલેક્ટ્રોન સાથે સંકળાયેલ દ્-બ્રોગલી તરંગલંબાઈ ગણો.
- 2.58 ઈલેક્ટ્રોન વિવર્તનની જેમ ન્યુટ્રોન વિવર્તન માઈક્રોસ્કોપ અણુની રચના નક્કી કરવા માટે વપરાય છે. જો અહીંયા ઉપયોગમાં લેવાયેલ તરંગલંબાઈ 800 pm હોય તો ન્યુટ્રોન સાથે સંકળાયેલ વેગ ગણો.

- 2.59 જો બોહ્રની પ્રથમ કક્ષામાંના ઇલેક્ટ્રોનનો વેગ  $2.19 \times 10^6 \text{ ms}^{-1}$  છે તેની સાથે સંકળાયેલ દ્વિ-બ્રોગલી તરંગલંબાઈ ગણો.
- 2.60 1000 V વિભવ તફાવતમાં (Potential difference) ધૂમતા પ્રોટોન સાથે સંકળાયેલ વેગ  $4.37 \times 10^5 \text{ ms}^{-1}$  છે. જો હોકીનો દડો જેનું દળ 0.1 kg છે તે આ વેગથી ધૂમતો હોય તો આ વેગ સાથે સંકળાયેલ તરંગલંબાઈ ગણો.
- 2.61 જો ઇલેક્ટ્રોનનું સ્થાન  $\pm 0.002 \text{ nm}$ ની ચોકસાઈથી માપવામાં આવેલ હોય તો ઇલેક્ટ્રોનના વેગમાનમાં અનિશ્ચિતતા ગણો. ધારો કે ઇલેક્ટ્રોનનું વેગમાન  $h/4\pi m \times 0.05 \text{ nm}$  હોય તો આ મૂલ્ય વ્યાખ્યાયિત કરવામાં કોઈ મુશ્કેલી હશે ?
- 2.62 છ ઇલેક્ટ્રોનના ક્વોન્ટમ આંક આપેલા છે તેમને ઊર્જાના ચઢતા ક્રમમાં ગોઠવો. આ સંયોગીકરણમાંથી કોઈ પણ સરખી ઊર્જાવાળા હોય તો તેમની યાદી કરો :
- (1)  $n = 4, l = 2, m_l = -2, m_s = -\frac{1}{2}$
  - (2)  $n = 3, l = 2, m_l = 1, m_s = +\frac{1}{2}$
  - (3)  $n = 4, l = 1, m_l = 0, m_s = +\frac{1}{2}$
  - (4)  $n = 3, l = 2, m_l = -2, m_s = -\frac{1}{2}$
  - (5)  $n = 3, l = 1, m_l = -1, m_s = +\frac{1}{2}$
  - (6)  $n = 4, l = 1, m_l = 0, m_s = +\frac{1}{2}$
- 2.63 બ્રોમિન પરમાણુ 35 ઇલેક્ટ્રોન ધરાવે છે તે 2p કક્ષકમાં 6 ઇલેક્ટ્રોન, 3p કક્ષકમાં 6 ઇલેક્ટ્રોન અને 4p કક્ષકમાં 5 ઇલેક્ટ્રોન ધરાવે છે. આમાંનો કયા ઇલેક્ટ્રોન સૌથી ઓછો અસરકારક કેન્દ્રીય ભાર અનુભવશે ?
- 2.64 નીચેની કક્ષકોની જોડમાંથી કઈ જોડ વધુ અસરકારક કેન્દ્રીય ભાર અનુભવશે ?  
(i) 2s અને 3s, (ii) 4d અને 4f, (iii) 3d અને 3p.
- 2.65 Al અને Si ની 3p કક્ષકમાં અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોન હાજર છે. કયો ઇલેક્ટ્રોન કેન્દ્રથી વધુ અસરકારક કેન્દ્રીય ભાર અનુભવશે ?
- 2.66 અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા નિર્દેશો : (a) P, (b) Si, (c) Cr, (d) Fe અને (e) Kr.
- 2.67 (a)  $n = 4$  સાથે કેટલી પેટાકોશો સંકળાયેલી છે ? (b)  $n = 4$  ધરાવતા પેટાકોશમાં  $m_s$  નું મૂલ્ય  $-\frac{1}{2}$  ધરાવતા કેટલા ઇલેક્ટ્રોન હશે ?

## તત્ત્વોનું વર્ગીકરણ અને ગુણધર્મોમાં આવર્તિતા (Classification of Elements and Periodicity in Properties)

### હેતુઓ :

આ એકમના અભ્યાસ પછી તમે...

- તત્ત્વોના ગુણધર્મોને આધારે તેમની સમૂહમાં ગોઠવણી કરવાની સંકલ્પના આવર્તકોષ્ટકના વિકાસ તરફ કેવી રીતે દોરી ગઈ તેની કદર કરશો.
- આવર્ત નિયમને સમજી શકશો.
- આવર્તીવર્ગીકરણના પાયામાં પરમાણ્વીય-ક્રમાંક અને ઇલેક્ટ્રોનીય રચનાની સાર્થકતાને સમજી શકશો.
- $Z > 100$  સહિતના તત્ત્વોના IUPAC નામ લખી શકશો.
- તત્ત્વોને  $s$ ,  $p$ ,  $d$ ,  $f$  વિભાગમાં વર્ગીકૃત કરી શકશો અને તેમની મુખ્ય લાક્ષણિકતાઓ શીખી શકશો.
- તત્ત્વોના ભૌતિક અને રાસાયણિક ગુણધર્મોમાં આવર્તી વલણને ઓળખી શકશો.
- તત્ત્વોની પ્રતિક્રિયાત્મકતાની સરખામણી કરી શકશો અને તેનો તેમની કુદરતમાંથી થતી ઉત્પત્તિ સાથે સંબંધ બાંધી શકશો.
- આયનીકરણ એન્ટાલ્પી અને ધાત્વીય ગુણ વચ્ચેના સંબંધને સ્પષ્ટ કરી શકશો.
- પરમાણુઓના કેટલાક અગત્યના ગુણધર્મો જેવા કે પરમાણ્વીય/આયનીય ત્રિજ્યા, આયનીકરણ એન્ટાલ્પી, ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્તિ એન્ટાલ્પી, વિદ્યુતઋણતા, તત્ત્વોની સંયોજકતા સંબંધિત ખ્યાલને પ્રસ્તુત કરવા વૈજ્ઞાનિક શબ્દ ભંડોળનો યોગ્ય ઉપયોગ કરી શકશો.

“આવર્તકોષ્ટક રસાયણવિજ્ઞાનના સિદ્ધાંત અને વ્યવહાર બંને માટે તાર્કિક રીતે સૌથી અગત્યની સંકલ્પના છે. તે વિદ્યાર્થીને હંમેશાં મદદરૂપ થાય તેવું, વ્યાવસાયિકોને સંશોધનો માટેની નવી રાહ સૂચવનારું અને સંપૂર્ણ રસાયણવિજ્ઞાનને સંક્ષિપ્ત સ્વરૂપે રજૂ કરનારું છે. તે રાસાયણિક તત્ત્વો એ વસ્તુઓનું યાદચ્છિક જૂથનું નથી પણ તેના બદલે વર્ગમાં એકસાથે ગોઠવાયેલા અને વલણોને પ્રદર્શિત કરનારા છે તેવા સત્યને નોંધપાત્ર રીતે નિદર્શિત કરનારું છે. આવર્ત કોષ્ટક અંગેની જાગૃતિ એવી દરેક વ્યક્તિ માટે જરૂરી છે કે જે વિશ્વના પ્રશ્નોના ઉકેલ ઇચ્છે છે અને આવર્તકોષ્ટક રસાયણ-વિજ્ઞાનના પાયાના એકમ એવા રાસાયણિક તત્ત્વોથી કેવી રીતે બન્યું છે તે જોવા માંગે છે.”

– ગ્લેન ટી. સીબોર્ગ (Glenn T. Seaborg)

આ એકમમાં આપણે હાલમાં જે આવર્તકોષ્ટક અસ્તિત્વમાં છે તેનો ઐતિહાસિક વિકાસ અને આધુનિક આવર્ત નિયમનો અભ્યાસ કરીશું. આવર્તી વર્ગીકરણ પરમાણુની ઇલેક્ટ્રોનીય રચનાની તાર્કિક ફલશ્રુતિને કેવી રીતે અનુસરે છે તે પણ આપણે શીખીશું. અંતમાં આપણે તત્ત્વોના ભૌતિક અને રાસાયણિક ગુણધર્મોમાં કેટલાક આવર્તી વલણોને તપાસીશું.

### 3.1 આપણને તત્ત્વોના વર્ગીકરણની આવશ્યકતા શા માટે જરૂરી જણાઈ ? (Why Do We Need to Classify Elements ?)

આપણે જાણીએ છીએ કે બધા જ પ્રકારના દ્રવ્યોના પાયાનો એકમ તત્ત્વ છે. વર્ષ 1800માં માત્ર 31 તત્ત્વો જ જાણીતા હતા. વર્ષ 1865માં જાણીતા તત્ત્વોની સંખ્યા બમણાથી વધારે 63 જેટલી થઈ. હાલમાં 114 તત્ત્વો જાણીતા છે. તે પૈકીના તાજેતરમાં શોધાયેલા તત્ત્વો માનવનિર્મિત છે. નવા તત્ત્વોના સંશ્લેષણના પ્રયત્નો ચાલુ છે. તત્ત્વોની સંખ્યા વધુ હોવાથી આ બધા તત્ત્વોના વ્યક્તિગત અને તેમના અસંખ્ય સંયોજનોના વ્યક્તિગત રાસાયણિક ગુણધર્મોનો અભ્યાસ ઘણો મુશ્કેલ છે. આ સમસ્યાનું નિરાકરણ કરવા વૈજ્ઞાનિકોએ પદ્ધતિસરનો માર્ગ શોધી તત્ત્વોનું વર્ગીકરણ કર્યું. આ વર્ગીકરણ માત્ર તત્ત્વોના જાણીતા રાસાયણિક સત્યો જ નહિ પણ આગળ અભ્યાસ માટે નવા તત્ત્વોની આગાહી કરવા તર્કસંગત દલીલો પણ પૂરી પાડશે.



### 3.2 આવર્તી વર્ગીકરણની ઉત્પત્તિ (Genesis of Periodic Classification)

તત્ત્વોનું સમૂહમાં વર્ગીકરણ, આવર્ત નિયમનો અને આવર્ત કોષ્ટકનો વિકાસ ઘણા વૈજ્ઞાનિકોના અવલોકનો અને પ્રયોગોમાંથી મેળવેલા તેમના જ્ઞાનનું પરિણામ છે. સૌપ્રથમ 1800ના શરૂઆતના દશકામાં જર્મન રસાયણવિજ્ઞાની જહોન ડોબરેનરે (Johann Dobereiner) તત્ત્વોના ગુણધર્મોના વલણો વિષે વિચાર્યું. તેમણે 1829 સુધીમાં ત્રણ તત્ત્વોવાળા કેટલાક સમૂહો(ત્રિપુટીઓ)ના ભૌતિક અને રાસાયણિક ગુણધર્મોમાં સામ્યતા નોંધી. પ્રત્યેક કિસ્સામાં તેમને ત્રિપુટીની મધ્યમાં રહેલા તત્ત્વનો પરમાણ્વીય ભાર, બાકી બે તત્ત્વોના કુલ પરમાણ્વીય ભાર કરતા અડધો જોવા મળ્યો (કોષ્ટક 3.1). ઉપરાંત મધ્યમાં રહેલા તત્ત્વના ગુણધર્મો બાકીના બે તત્ત્વોના ગુણધર્મો જેવા જેવા મળ્યા. ડોબરેનરે સૂચવેલ આ સંબંધ ત્રિપુટીના નિયમ તરીકે ઓળખાયો, પરંતુ ખૂબ જ ઓછા તત્ત્વો માટે જોવા મળેલ આ નિયમને એક

શક્યું નહીં. 1865માં અંગ્રેજ રસાયણવિજ્ઞાની જહોન એલેક્ઝાન્ડર ન્યુલેન્ડે (John Alexander Newland) અષ્ટકનો નિયમ (Law of Octaves) રજૂ કર્યો. તેમણે તત્ત્વોને પરમાણ્વીય ભારના ચઢતા ક્રમમાં ગોઠવ્યા અને નોંધ્યું કે પ્રત્યેક આઠમા તત્ત્વના ગુણધર્મો પ્રથમ તત્ત્વના ગુણધર્મોને મળતા આવે છે (કોષ્ટક 3.2). આ સંબંધ એવા પ્રકારનો હતો, જેમ કે સંગીતના સૂરના અષ્ટકમાં પ્રત્યેક આઠમો સૂર પ્રથમ સૂર જેવો હોય છે. ન્યુલેન્ડનો આ અષ્ટક નિયમ કેલ્શિયમ તત્ત્વ સુધી સારો માલૂમ પડ્યો. જો કે તે સમયે તેનો આ ખ્યાલ વ્યાપક અને સ્વીકાર્ય નહોતો બન્યો, પરંતુ 1887માં તેને આ કાર્ય માટે રોયલ સોસાયટી, લંડન દ્વારા ડેવી ચંદ્રક એનાયત કરવામાં આવ્યો હતો.

આજે આપણે જે આવર્ત નિયમ જાણીએ છીએ તેના વિકાસનો યશ રશિયન રસાયણવિજ્ઞાની દમિત્રી મેન્ડેલીફ (Dmitri Mendeleev)(1834-1907) અને જર્મન રસાયણ-વિજ્ઞાની લોથર મેયરના (Lothar Meyer)(1830-1895)

ટેબલ 3.1 ડોબરેનરની ત્રિપુટીઓ

તત્ત્વ	પરમાણ્વીય ભાર	તત્ત્વ	પરમાણ્વીય ભાર	તત્ત્વ	પરમાણ્વીય ભાર
Li	7	Ca	40	Cl	35.5
Na	23	Sr	88	Br	80
K	39	Ba	137	I	127

સંયોગ ગણી નામંજૂર કરવામાં આવ્યો. ત્યારબાદ 1862માં ફ્રેન્ચ ભૂસ્તરશાસ્ત્રી એ. ઈ. બી. દ્ કાનકોર્ટોઈસે (A.E.B. de Chancourtois) તત્ત્વોનું વર્ગીકરણ કરવાનો પ્રયત્ન કર્યો. તેમણે જાણીતા તત્ત્વોને તેમના પરમાણ્વીય ભારના ચઢતા ક્રમમાં ગોઠવીને નળાકાર કોષ્ટક બનાવ્યું કે જે નિશ્ચિત ગાળે ગુણધર્મોમાં પુનરાવર્તન દર્શાવતું હતું. આ પણ કોઈનું વધારે ધ્યાન ખેંચી

ફાળે જાય છે. સ્વતંત્ર રીતે કામ કરતાં આ બંને રસાયણ-વિજ્ઞાનીઓએ 1869માં જણાવ્યું કે જો તત્ત્વોને તેમના પરમાણ્વીય ભારના ચઢતા ક્રમમાં ગોઠવવામાં આવે તો નિયમિત અંતરાલને અંતે તત્ત્વોના ભૌતિક અને રાસાયણિક ગુણધર્મોમાં સામ્યતા જોવા મળે છે. લોથર મેયરે ભૌતિક ગુણધર્મો જેવા કે પરમાણ્વીય કદ, ગલનબિંદુ અને ઉત્કલનબિંદુ

ટેબલ 3.2 ન્યુલેન્ડના અષ્ટકો

તત્ત્વ	Li	Be	B	C	N	O	F
પરમાણ્વીય ભાર	7	9	11	12	14	16	19
તત્ત્વ	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl
પરમાણ્વીય ભાર	23	24	27	29	31	32	35.5
તત્ત્વ	K	Ca					
પરમાણ્વીય ભાર	39	40					

વિરુદ્ધ પરમાણ્વીય ભારનો આલેખ દોર્યો, જેમાં આવર્તિત રીતે પુનરાવર્તન પામતી ભાત જોવા મળી. પુનરાવર્તિત ભાતની લંબાઈ બાબતે લોથર મેયરે, ન્યૂલેન્ડ કરતાં કંઈક જુદું જ અવલોકન કર્યું. 1868 સુધીમાં લોથર મેયરે તત્ત્વો માટેનું કોષ્ટક વિકસાવી દીધું હતું, જે આધુનિક આવર્ત કોષ્ટકને તદ્દન મળતું આવતું હતું, પરંતુ તેનું આ કાર્ય દમિત્રી મેન્ડેલીફના કાર્ય પહેલા પ્રકાશિત ન થઈ શક્યું. આધુનિક આવર્ત કોષ્ટકના વિકાસમાં યોગદાનનો શ્રેય દમિત્રી મેન્ડેલીફને આપવામાં આવ્યો છે.

જો કે આવર્ત સંબંધ વિશેના અભ્યાસની શરૂઆત ડોબરેનરે કરી હતી પણ આવર્ત નિયમને સૌપ્રથમ પ્રસિદ્ધ કરનાર તરીકે મેન્ડેલીફ હતો. આ નિયમ આ પ્રમાણે છે...

### તત્ત્વોના ગુણધર્મો તેમના પરમાણ્વીય ભારના આવર્તનીય વિધેય છે.

મેન્ડેલીફે તત્ત્વોને કોષ્ટકની આડી હરોળ અને ઊભા સ્તંભમાં તેમના પરમાણ્વીય ભારના ચઢતા ક્રમમાં તે પ્રમાણે ગોઠવ્યા કે જેથી સમાન ગુણધર્મોવાળા તત્ત્વો એક ઊભા સ્તંભ કે સમૂહમાં ગોઠવાય. મેન્ડેલીફની તત્ત્વોના વર્ગીકરણની પદ્ધતિ લોથર મેયર કરતા વધુ વિગતવાર હતી. મેન્ડેલીફ આવર્તિતાના મહત્ત્વને સંપૂર્ણપણે સમજ્યો હતો અને તત્ત્વોના વર્ગીકરણ માટે ભૌતિક અને રાસાયણિક ગુણધર્મોને વ્યાપક રીતે આધાર માન્યા હતા. મેન્ડેલીફે ખાસ કરીને તત્ત્વો દ્વારા બનતા સંયોજનોના પ્રમાણસૂચક સૂત્રો અને તેમના ગુણધર્મોની સામ્યતાને આધાર માન્યા હતા. તેમને સમજાયું કે જો પરમાણ્વીય ભાર પ્રમાણેના ક્રમને ચુસ્તપણે અનુસરવામાં

આવે તો વર્ગીકરણની તેમની યોજનામાં ઘણા તત્ત્વો લાયક ઠરતા નથી. તેમણે પરમાણ્વીય માપનને ભૂલભરેલું વિચારી પરમાણ્વીય ભારના ક્રમને અવગણીને સમાન ગુણધર્મો ધરાવતા તત્ત્વોને એક સાથે મૂક્યા. દા.ત., ટેલુરિયમથી (સમૂહ VI) ઓછો પરમાણ્વીય ભાર ધરાવનાર આયોડિનને સમૂહ VIIમાં ફ્લોરિન, ક્લોરિન અને બ્રોમિન સાથે મૂક્યો, કારણ કે તેઓ સમાન ગુણધર્મો ધરાવતા હતા (આકૃતિ 3.1). તે સમયે તેણે સમાન ગુણધર્મોવાળા તત્ત્વોને એક જ સમૂહમાં રાખવા તેવો પ્રાથમિક ખ્યાલ રાખ્યો હતો. તેણે સૂચવ્યું હતું કે હજુ સુધી ઘણા તત્ત્વો વણશોધાયેલા છે અને તેથી કોષ્ટકમાં કેટલીક ખાલી જગ્યાઓ રાખી હતી. દા.ત., મેન્ડેલીફે જ્યારે આવર્ત કોષ્ટક પ્રસિદ્ધ કર્યું ત્યારે ગેલિયમ અને જર્મેનિયમ બંને તત્ત્વો વણશોધાયેલા હતા. તેણે વણશોધાયેલા આ તત્ત્વો માટે એલ્યુમિનિયમની નીચે અને સિલિકોનની નીચે ખાલી જગ્યા રાખી હતી. મેન્ડેલીફે આ તત્ત્વોને અનુક્રમે એકા-એલ્યુમિનિયમ અને એકા-સિલિકોન તરીકે દર્શાવ્યા હતા. મેન્ડેલીફે ગેલિયમ અને જર્મેનિયમના માત્ર અસ્તિત્વની આગાહી જ નહિ પણ તેમના કેટલાક સામાન્ય ભૌતિક ગુણધર્મો પણ વર્ણવ્યા હતા. બાદમાં આ તત્ત્વો શોધાયા હતા, જેના માટે મેન્ડેલીફે આગાહી કરેલા કેટલાક ગુણધર્મો અને પ્રાયોગિક રીતે શોધાયેલા ગુણધર્મોની યાદી કોષ્ટક 3.3માં દર્શાવેલા છે.

મેન્ડેલીફની પરિમાણ આધારે આગાહી કરવાની હિંમત અને તેમાં મેળવેલી સફળતાથી તે અને તેનું આવર્ત કોષ્ટક પ્રચલિત બન્યું હતું. વર્ષ 1905માં પ્રકાશિત થયેલું મેન્ડેલીફનું આવર્ત કોષ્ટક આકૃતિ 3.1માં દર્શાવેલું છે.

### કોષ્ટક 3.3

એકા-એલ્યુમિનિયમ અને એકા-સિલિકોન તત્ત્વોના ગુણધર્મો અંગે મેન્ડેલીફની આગાહી અને પ્રાયોગિક પરિણામો

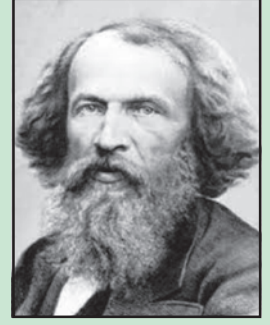
ગુણધર્મો	એકા-એલ્યુમિનિયમ (આગાહી કરેલ)	ગેલિયમ (શોધેલ)	એકા-સિલિકોન (આગાહી કરેલ)	જર્મેનિયમ (શોધેલ)
પરમાણ્વીય ભાર	68	70	72	72.6
ઘનતા / (g/cm <sup>3</sup> )	5.9	5.94	5.5	5.36
ગલનબિંદુ /K	નીચું	302.93	ઊંચું	1231
ઑક્સાઈડનું સૂત્ર	E <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	EO <sub>2</sub>	GeO <sub>2</sub>
ક્લોરાઈડનું સૂત્ર	ECl <sub>3</sub>	GaCl <sub>3</sub>	ECl <sub>4</sub>	GeCl <sub>4</sub>

## સમૂહ અને આવર્તમાં તત્વોની આવર્તી પદ્ધતિ

ક્રમ	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
1	હિલિયમ He 4.0	હાઈડ્રોજન H 1.008	બેરિલિયમ Be 9.1	બોરોન B 11.1	કાર્બન C 12.0	નાઈટ્રોજન N 14.04	ઓક્સિજન O 16.00	ફ્લોરિન F 19.0		
2	લિથિયમ Li 7.03	લિથિયમ Li 7.03	બેરિલિયમ Be 9.1	બોરોન B 11.1	કાર્બન C 12.0	નાઈટ્રોજન N 14.04	ઓક્સિજન O 16.00	ફ્લોરિન F 19.0		
3	નિયોન Ne 19.91	સોડિયમ Na 23.5	મેગ્નેશિયમ Mg 24.3	એલ્યુમિનિયમ Al 27.0	સીલિકોન Si 28.4	ફોસ્ફરસ P 31.0	સલ્ફર S 32.06	ક્લોરિન Cl 35.45		
4	આર્ગોન Ar 38	પોટેશિયમ K 39.1	કેલ્શિયમ Ca 40.1	સ્કેન્ડિયમ Sc 44.1	ટીટાનિયમ Ti 48.1	વેનેડિયમ V 51.4	ક્રોમિયમ Cr 52.1	મેંગેનિઝ Mn 55.0	આર્થન કોબાલ્ટ Fe 55.9 Co 59 Ni 59 (Cu)	
5		કોપર Cu 63.6	ઝિંક Zn 65.4	ગેલિયમ Ga 70.0	જર્મેનિયમ Ge 72.3	આર્સેનિક As 75	સેલેનિયમ Se 79	બ્રોમિન Br 79.95		
6	ક્રિપ્ટોન Kr 81.8	રુબિડિયમ Rb 85.4	સ્ટ્રોન્શિયમ Sr 87.6	યોટ્રિયમ Y 89.0	ઝીર્કોનિયમ Zr 90.6	નીઓબિયમ Nb 94.0	મોલિબ્ડેનમ Mo 96.0	રુથેનિયમ Ru 101.7	રહોડિયમ Rh 103.0 પેલેડિયમ Pd 106.5 (Ag)	
7		સિલ્વર Ag 107.9	કેડમિયમ Cd 112.4	ઇન્ડિયમ In 114.0	ટીન Sn 119.0	એન્ટીમની Sb 120.0	ટેલુરિયમ Te 127.6	આયોડિન I 126.9		
8	એનોન Xe 128	સિસ્મિયમ Cs 132.9	બેરિયમ Ba 137.4	લેન્થેનમ La 139	સીસ્મિયમ Ce 140					
9				યીટરબિયમ Yb 173		ટેન્ટાલમ Ta 183	ટંગસ્ટન W 184		ઓસ્મિયમ Os 191	ઈરીડિયમ Ir 193 પ્લેટિનમ Pt 194.9 (Au)
10		ગોલ્ડ Au 197.2	મરક્યુરી Hg 200.0	થેલિયમ Tl 204.1	લેડ Pb 206.9		યુરેનિયમ U 239			
11										
12										
	R	R <sub>2</sub> O	RO	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	RO <sub>2</sub> RH <sub>4</sub>	વધુ ક્ષારીય ઓક્સાઇડ R <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ઉચ્ચ વાયુમય હાઈડ્રોજન સંયોજનો RH <sub>3</sub>	રોઝમન RO <sub>3</sub> RH <sub>2</sub>	R <sub>2</sub> O <sub>7</sub> RH	RO <sub>4</sub>	

આકૃતિ 3.1 મેન્ડેલીફનું અગાઉ પ્રસિદ્ધ થયેલું આવર્તકોષ્ટક

દમિત્રિ મેન્ડેલીફનો જન્મ રશિયાના સાઈબેરિયાના તોબાસ્કમાં થયો હતો. તેમના પિતાજીના અવસાન બાદ તેમનું કુટુંબ સેન્ટ પિટ્સબર્ગ ખાતે ગયું હતું. તેમણે 1856માં રસાયણવિજ્ઞાન વિષય સાથે પારંગતની (M.Sc.) પદવી અને 1865માં વિદ્યાવાચસ્પતિની (Ph.D.) પદવી મેળવી હતી. તે 1867માં યુનિવર્સિટી ઓફ પિટ્સબર્ગ ખાતે રસાયણવિજ્ઞાનના પ્રાધ્યાપક તરીકે જોડાયા હતા. તેમના ગૌરવશાળી પુસ્તક 'રસાયણવિજ્ઞાનના સિદ્ધાંતો'નું પ્રાથમિક કાર્ય, મેન્ડેલીફને આવર્ત નિયમ રજૂ કરવા અને તત્ત્વોના આવર્તકોષ્ટકના નિર્માણ કરવા સુધી દોરી ગયું. તે સમયે પરમાણુના બંધારણ વિશે જાણકારી ન હતી અને તત્ત્વોના ગુણધર્મો કેટલીક રીતે તેમના પરમાણ્વીયભાર સાથે સંબંધિત છે તેવો મેન્ડેલીફનો ખ્યાલ અતિ કલ્પનાજન્ય લાગતો હતો. મેન્ડેલીફે કેટલાક તત્ત્વોને તેના રાસાયણિક ગુણધર્મોને ધ્યાનમાં રાખી યોગ્ય સમૂહમાં મૂકવા માટે તત્ત્વોની કેટલીક જોડીઓના ક્રમને ઉલટાવ્યો અને જાહેર કર્યું કે તેઓના પરમાણ્વીયભાર ખોટાં છે. મેન્ડેલીફે તેમની દીર્ઘદષ્ટિથી તે સમયે વણશોધાયેલા તત્ત્વો માટે આવર્તકોષ્ટકમાં સ્થાન ખાલી રાખ્યા અને તેને સંબંધિત તત્ત્વોના ગુણધર્મોમાં જોવા મળતા વલણોના અવલોકનના આધારે વણશોધાયેલા તત્ત્વોના ગુણધર્મોની આગાહી કરી હતી. બાદમાં જ્યારે આ તત્ત્વો શોધાયા ત્યારે મેન્ડેલીફે કરેલી આગાહી વિસ્મયકારક રીતે સાચી ઠરી.



દમિત્રિ ઈવાનોવિચ મેન્ડેલીફ  
(1834-1907)

મેન્ડેલીફના આવર્ત નિયમે તે પછીના દશકા દરમિયાન સંશોધનના ઘણા ક્ષેત્રોને પ્રોત્સાહન આપ્યું હતું. 1890માં પ્રથમ બે ઉમદા વાયુઓ હિલિયમ અને આર્ગોનની શોધ તેને સમાન એવા બીજા તત્ત્વોને તે વર્ગમાં સમાવી શકવાની સંભાવના સૂચવી હતી. આ વિચારે રામસેને પોતાની ક્રિપ્ટોન અને ઝેનોનની સફળતાપૂર્વકની શોધને દોરવણી આપી હતી. વીસમી સદીની શરૂઆતમાં યુરેનિયમ અને થોરિયમની રેડિયોસક્રિય ખંડિત શ્રેણીના કાર્ય માટે આવર્તકોષ્ટકે માર્ગદર્શન પૂરું પાડ્યું હતું.

મેન્ડેલીફ એક બહુમુખી પ્રતિભાશાળી વ્યક્તિ હતી. તે રશિયાના કુદરતી સોતોને સંબંધિત ઘણા પ્રશ્નો વિશે કાર્ય કરતા હતા. તેમણે ક્ષતિરહિત બેરોમીટર બનાવ્યું હતું. 1890માં તેમણે પ્રાધ્યાપકના પદેથી રાજીનામું આપ્યું હતું. ત્યારબાદ તેમણે વજન અને માપન સંસ્થાના નિયામક તરીકે નિમવામાં આવ્યા હતા. તેમણે 1907માં પોતાના અવસાન સુધી ઘણા ક્ષેત્રોમાં મહત્વના સંશોધન કાર્ય કરવાનું ચાલુ રાખ્યું હતું.

આધુનિક આવર્તકોષ્ટક પરથી તમે નોંધી શકશો કે 101 પરમાણ્વીય-ક્રમાંકવાળા તત્ત્વનું નામ મેન્ડેલીવિયમ રાખવાથી મેન્ડેલીફનું નામ અમર થઈ ગયું. આ નામ આ તત્ત્વની શોધ કરનાર અમેરિકન વૈજ્ઞાનિક ગ્લેન ટી. સીબોર્ગે સૂચવ્યું હતું. મેન્ડેલીફ એવા પ્રથમ રસાયણવિજ્ઞાની હતા કે જેમણે વણશોધાયેલા તત્ત્વોના રાસાયણિક ગુણધર્મોની આગાહી કરવા માટે તત્ત્વોના આવર્તિતા સિદ્ધાંતનો આધાર લીધો. આ સિદ્ધાંત અનુયુરેનિયમ તત્ત્વોના નજીકના બધા તત્ત્વોની શોધ માટે ચાવીરૂપ બન્યો.

### 3.3 આધુનિક આવર્ત નિયમ અને આવર્તકોષ્ટકનું વર્તમાન સ્વરૂપ (Modern Periodic Law and the Present Form of the Periodic Table)

અહીં એ બાબત નોંધવા જેવી છે કે જ્યારે મેન્ડેલીફે તેમનું આવર્તકોષ્ટક વિકસાવ્યું ત્યારે રસાયણવિજ્ઞાનીઓને પરમાણુના આંતરિક બંધારણ વિશે જાણકારી નહોતી. તેમ છતાં વીસમી સદીની શરૂઆત, અવપરમાણ્વીય કણો અંગેના સિદ્ધાંતોનો ઊંડાણપૂર્વક વિકાસ થયાની સાક્ષી પૂરે છે. 1913માં અંગ્રેજ ભૌતિકવિજ્ઞાની હેન્રી મોસલેએ (Henry Moseley) તત્ત્વોના ક્ષ-કિરણ વર્ણપટ લાક્ષણિકતામાં નિયમિતતા જોઈ હતી. તેમણે  $\sqrt{v}$  (જ્યાં  $v$  ઉત્સર્જિત ક્ષ-કિરણોની આવૃત્તિ છે.) વિરુદ્ધ પરમાણ્વીય-ક્રમાંક ( $Z$ )નો આલેખ દોર્યો, જે સીધી રેખા સ્વરૂપે મળ્યો પણ  $\sqrt{v}$  વિરુદ્ધ પરમાણ્વીયભારનો આલેખ સીધી રેખા સ્વરૂપે ન મળ્યો. આ પરથી મોસલેએ દર્શાવ્યું કે તત્ત્વના પરમાણ્વીયભાર કરતાં પરમાણ્વીય-ક્રમાંક વધુ મૂળભૂત ગુણધર્મ છે. આના આધારે મેન્ડેલીફના આવર્ત નિયમમાં સુધારો કરવામાં આવ્યો, જેને આધુનિક આવર્ત નિયમ કહે છે. તેને આ પ્રમાણે રજૂ કરી શકાય છે.

તત્ત્વોના ભૌતિક અને રાસાયણિક ગુણધર્મો

તેના પરમાણ્વીય-ક્રમાંકના આવર્તનીય વિધેયો છે.

આવર્ત નિયમ દ્વારા કુદરતમાંથી મળી આવતા 94 જેટલા તત્ત્વોમાં નોંધનીય સમાનતા જોવા મળી (એક્ટિનિયમ અને પ્રોટેક્ટિનિયમની જેમ નોબ્યુનિયમ અને પ્લુટોનિયમ પણ પીયબ્લેન્ડ કે જે યુરેનિયમની કાચી ધાતુ છે તેમાંથી મળી આવ્યા). જેથી અકાર્બનિક રસાયણવિજ્ઞાનને પ્રોત્સાહન મળ્યું અને કૃત્રિમ અલ્પજીવી તત્ત્વોની શોધ થઈ.

આપણે જાણીએ છીએ કે પરમાણ્વીય-ક્રમાંક કેન્દ્રના વીજભાર જેટલો (એટલે કે પ્રોટોનની સંખ્યા) અથવા તટસ્થ પરમાણુમાં રહેલા ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા જેટલો હોય છે. જેનાથી ક્વોન્ટમ આંકની સાર્થકતા અને ઇલેક્ટ્રોનીય રચનાની આવર્તિતા સમજવી સરળ થઈ જાય છે. હાલમાં એ સ્વીકારવામાં આવ્યું છે કે આવર્ત નિયમ તત્ત્વો તથા તેના સંયોજનોના ભૌતિક અને રાસાયણિક ગુણધર્મોનું પરિણામ છે કે જે તત્ત્વોની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના પર આધાર રાખે છે.

સમયાંતરે આવર્તકોષ્ટકના અનેક સ્વરૂપો વિચારાયા હતા. કેટલાક સ્વરૂપો તત્ત્વોની રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ અને સંયોજકતા પર ભાર મૂકતા હતા. જ્યારે બીજા સ્વરૂપો તત્ત્વની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના પર ભાર મૂકતા હતા. તત્ત્વોના આવર્તકોષ્ટકના 'વિસ્તૃત સ્વરૂપ' તરીકે ઓળખાતું આધુનિક સ્વરૂપ (આકૃતિ 3.2) વ્યાપક રીતે ઉપયોગમાં લઈ શકાય તેવું છે. આવર્તકોષ્ટકમાં આડી હરોળને (જેને મેન્ડેલીફે શ્રેણી કહ્યું છે) આવર્ત કહેવામાં આવે છે અને ઊભા સ્તંભને સમૂહ કહે છે. જે તત્ત્વોના પરમાણુઓની સૌથી બાહ્યતમ કક્ષામાં ઇલેક્ટ્રોનીય રચના સમાન જોવા મળે છે તેમને આવર્તકોષ્ટકના ઊભા સ્તંભોમાં ગોઠવવામાં આવે છે કે જે સમૂહ (group) અથવા કુટુંબ (family) તરીકે ઓળખાવા લાગ્યા હતા. IUPACની ભલામણ મુજબ જૂની પદ્ધતિ પ્રમાણે સમૂહોને આપેલા નંબરો IA...VII A, VIII, IB...VII B અને 0ને સ્થાને 1 થી 18 નંબર આપવામાં આવ્યા છે.

આવર્તકોષ્ટકમાં કુલ સાત આવર્તો છે. આવર્તક્રમ, આવર્તમાં તત્ત્વનો મહત્તમ ક્વોન્ટમ આંક ( $n$ ) દર્શાવે છે. પ્રથમ આવર્તમાં બે તત્ત્વો છે, તે પછીના આવર્તોમાં અનુક્રમે 8, 8, 18, 18 અને 32 તત્ત્વો છે. સાતમો આવર્ત અપૂર્ણ આવર્ત છે. સૈદ્ધાંતિક રીતે (ક્વોન્ટમઆંકના આધારે) આ આવર્તમાં તત્ત્વોની સંખ્યા છઠ્ઠા આવર્તની જેમ 32 છે. આવર્તકોષ્ટકના આ સ્વરૂપમાં છઠ્ઠા અને સાતમા આવર્તના (અનુક્રમે લેન્થેનાઈડ તત્ત્વો અને એક્ટિનાઈડ તત્ત્વો) 14-14 તત્ત્વોને નીચે અલગથી દર્શાવેલા છે.\*

### 3.4 100થી વધુ પરમાણ્વીય-ક્રમાંકવાળા તત્ત્વોનું નામકરણ (Nomenclature of Elements with Atomic Numbers > 100)

અગાઉ તત્ત્વોનું નામકરણ પરંપરાગત પદ્ધતિ મુજબ જે-તે તત્ત્વના શોધકના (કે શોધકોના) નામ પરથી કરવામાં આવતું હતું તથા IUPAC દ્વારા તે નામને સમર્થન આપી મંજૂર રાખવામાં આવતું હતું, પરંતુ છેલ્લા કેટલાંક સમયમાં આ મુદ્દા પર વિવાદ થયેલો જોવા મળ્યો છે. ઊંચા પરમાણ્વીય-ક્રમાંકવાળા નવા તત્ત્વ એટલા અસ્થાયી હોય છે કે તેમની નજીવી માત્રા (અને ક્યારેક-ક્યારેક તો કેટલાક પરમાણુ માત્ર જ) જ પ્રાપ્ત

\* ગ્લેન ટી સીબોર્ગના કાર્યની શરૂઆત વીસમી સદીના મધ્યભાગમાં (1940) પ્લુટોનિયમની શોધથી થઈ હતી. બાદમાં બધા અનુયુરેનિયમ તત્ત્વોને (94 થી 102) આવર્તકોષ્ટકમાં પુનઃ ગોઠવી એક્ટિનોઈડ્સને લેન્થેનોઈડ્સની નીચે રાખવામાં આવ્યા. 1951માં સીબોર્ગને તેના કાર્ય માટે રસાયણવિજ્ઞાનનો નોબેલ પુરસ્કાર એનાયત કરવામાં આવ્યો હતો. વિજ્ઞાની સીબોર્ગને સન્માન આપવા તત્ત્વ 106નું નામ સીબોર્ગિયમ (Sg) રાખવામાં આવ્યું છે.

d સંક્રાંતિ તત્ત્વો

પ્રતિનિધિ તત્ત્વો સમૂહ ક્રમાંક		પ્રતિનિધિ તત્ત્વો સમૂહ ક્રમાંક										ઉમદા વાયુઓ	
18		18										0	
2		2										2	
Hc		Hc										Hc	
1s <sup>2</sup>		1s <sup>2</sup>										1s <sup>2</sup>	
10		10										10	
Ne		Ne										Ne	
2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup>		2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup>										2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup>	
18		18										18	
Ar		Ar										Ar	
3s <sup>2</sup> 3p <sup>6</sup>		3s <sup>2</sup> 3p <sup>6</sup>										3s <sup>2</sup> 3p <sup>6</sup>	
36		36										36	
Kr		Kr										Kr	
4s <sup>2</sup> 4p <sup>6</sup>		4s <sup>2</sup> 4p <sup>6</sup>										4s <sup>2</sup> 4p <sup>6</sup>	
54		54										54	
Xe		Xe										Xe	
5s <sup>2</sup> 5p <sup>6</sup>		5s <sup>2</sup> 5p <sup>6</sup>										5s <sup>2</sup> 5p <sup>6</sup>	
86		86										86	
Rn		Rn										Rn	
6s <sup>2</sup> 6p <sup>6</sup>		6s <sup>2</sup> 6p <sup>6</sup>										6s <sup>2</sup> 6p <sup>6</sup>	
118		118										118	
Uuo		Uuo										Uuo	

સમૂહ ક્રમાંક		સમૂહ ક્રમાંક									
1		1									
H		H									
1s <sup>1</sup>		1s <sup>1</sup>									
7		7									
I		I									
← VIII		← VIII									
8		8									
← VIII		← VIII									
9		9									
← VIII		← VIII									
10		10									
→ IB		→ IB									
11		11									
→ IB		→ IB									
12		12									
→ IB		→ IB									

પ્રતિનિધિ તત્ત્વો સમૂહ ક્રમાંક		પ્રતિનિધિ તત્ત્વો સમૂહ ક્રમાંક										ઉમદા વાયુઓ	
1		1										0	
2		2										2	
IA		IA										IA	
IIA		IIA										IIA	
3		3										3	
III A		III A										III A	
4		4										4	
IVA		IVA										IVA	
5		5										5	
VA		VA										VA	
6		6										6	
VIA		VIA										VIA	
7		7										7	
VIIA		VIIA										VIIA	
8		8										8	
← VIII		← VIII										← VIII	
9		9										9	
← VIII		← VIII										← VIII	
10		10										10	
→ IB		→ IB										→ IB	
11		11										11	
→ IB		→ IB										→ IB	
12		12										12	
→ IB		→ IB										→ IB	

f - આંતર સંક્રાંતિ તત્ત્વો

58	Ce	4f <sup>1</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup>	59	Pr	4f <sup>3</sup> 5d <sup>0</sup> 6s <sup>2</sup>	60	Nd	4f <sup>4</sup> 5d <sup>0</sup> 6s <sup>2</sup>	61	Pm	4f <sup>5</sup> 5d <sup>0</sup> 6s <sup>2</sup>	62	Sm	4f <sup>6</sup> 5d <sup>0</sup> 6s <sup>2</sup>	63	Eu	4f <sup>7</sup> 5d <sup>0</sup> 6s <sup>2</sup>	64	Gd	4f <sup>7</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup>	65	Tb	4f <sup>9</sup> 5d <sup>0</sup> 6s <sup>2</sup>	66	Dy	4f <sup>10</sup> 5d <sup>0</sup> 6s <sup>2</sup>	67	Ho	4f <sup>11</sup> 5d <sup>0</sup> 6s <sup>2</sup>	68	Er	4f <sup>12</sup> 5d <sup>0</sup> 6s <sup>2</sup>	69	Tm	4f <sup>13</sup> 5d <sup>0</sup> 6s <sup>2</sup>	70	Yb	4f <sup>14</sup> 5d <sup>0</sup> 6s <sup>2</sup>	71	Lu	4f <sup>14</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup>									
87	Fr	7s <sup>1</sup>	88	Ra	7s <sup>2</sup>	89	Ac	6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>	90	Th	5f <sup>14</sup> 6d <sup>2</sup> 7s <sup>2</sup>	91	Pa	5f <sup>14</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>	92	U	5f <sup>14</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>	93	Np	5f <sup>14</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>	94	Pu	5f <sup>14</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>	95	Am	5f <sup>14</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>	96	Cm	5f <sup>14</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>	97	Bk	5f <sup>14</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>	98	Cf	5f <sup>14</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>	99	Es	5f <sup>14</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>	100	Fm	5f <sup>14</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>	101	Md	5f <sup>14</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>	102	No	5f <sup>14</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>	103	Lr	5f <sup>14</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>

\* લેન્થનોઇડ  
4f<sup>n</sup>5d<sup>0-1</sup>6s<sup>2</sup>  
\*\* એક્ટીનોઇડ  
5f<sup>n</sup>6d<sup>0-2</sup>7s<sup>2</sup>

**આકૃતિ 3.2** તત્ત્વોના આવર્તકોષ્ટકનું વિસ્તૃત સ્વરૂપ તત્ત્વોના પરમાણ્વીય-ક્રમાંક અને તેઓની ધરા અવસ્થાની બાહ્ય ઇલેક્ટ્રોનીય રચના સહિત. IUPAC એ 1984માં કરેલી ભલામણ મુજબ સમૂહોને 1-18 નંબરો આપેલા છે. આ નવી સંકેત પદ્ધતિ ઝૂની નંબર આપવાની પદ્ધતિ IA-VIIA, VIII, IB-VIIB અને 0ને બદલે ઉપયોગમાં લેવાય છે.

થતી હોય છે. આ તત્ત્વોના સંશ્લેષણ અને લાક્ષણિકતાના અભ્યાસ માટે મોંઘા તથા આધુનિક સાધનો અને પ્રયોગશાળા આવશ્યક બને છે. વિશ્વની કેટલીક જ પ્રયોગશાળાઓમાં સ્પર્ધાની ભાવનાથી આવા કાર્ય થતા હોય છે. ક્યારેક-ક્યારેક વૈજ્ઞાનિકો નવા તત્ત્વ વિષેની વિશ્વસનીય માહિતી એકઠી કર્યા વિના તેની શોધ માટેનો દાવો કરવા લલચાતા હોય છે. ઉદાહરણ તરીકે અમેરિકા અને સોવિયેત દેશના વૈજ્ઞાનિકોએ 104 પરમાણ્વીય-ક્રમાંકવાળા તત્ત્વની શોધ કર્યાના શ્રેય માટે દાવો કર્યો હતો. અમેરિકાના વૈજ્ઞાનિકોએ તેને રુથરફોર્ડિયમ તથા સોવિયેત દેશના વૈજ્ઞાનિકોએ તેને કુર્યાટોવિયમ નામ આપ્યું. આ પ્રકારની મુશ્કેલીઓને દૂર કરવા માટે IUPACએ સૂચવ્યું કે જ્યાં સુધી તત્ત્વની શોધ સિદ્ધ ન થઈ જાય અને નામનું સમર્થન અધિકૃત રીતે ન થઈ જાય ત્યાં સુધી તત્ત્વના પરમાણ્વીય-ક્રમાંકના આધારે 0 તથા 1 થી 9 સુધીના આંકડાના ઉપયોગથી સંખ્યાદર્શક શબ્દ સીધેસીધો નક્કી કરવામાં આવે. આ વિગત કોષ્ટક 3.4માં દર્શાવવામાં આવી છે.

### કોષ્ટક 3.4 તત્ત્વોના IUPAC નામકરણ માટેની સંકેત પદ્ધતિ

અંક	નામ	ટૂંકું રૂપ
0	nil	n
1	un	u
2	bi	b
3	tri	t
4	quad	q
5	pent	p
6	hex	h
7	sept	s
8	oct	o
9	enn	e

તત્ત્વના પરમાણ્વીય-ક્રમાંક જે અંકોના બનેલા હોય તે અંકોના ક્રમમાં સંખ્યાદર્શક શબ્દ મૂકી ‘ઇયમ’ પ્રત્યય લગાવવાથી તત્ત્વનું નામ બને છે. કોષ્ટક 3.5માં 100થી વધુ પરમાણ્વીય-ક્રમાંકવાળા તત્ત્વોના નામકરણ દર્શાવેલા છે.

### કોષ્ટક 3.5 100થી વધુ પરમાણ્વીય-ક્રમાંકવાળા તત્ત્વોનું નામકરણ

પરમાણ્વીય-ક્રમાંક	નામ	સંજ્ઞા	IUPAC દ્વારા સ્વીકૃત નામ	IUPAC સંજ્ઞા
101	Unnilunium	Unu	મેન્ડેલિવિયમ	Md
102	Unnilbium	Unb	નોબેલિયમ	No
103	Unniltrium	Unt	લોરેન્સિયમ	Lr
104	Unnilquadium	Unq	રુથર્ફોર્ડિયમ	Rf
105	Unnilpentium	Unp	ડુબનિયમ	Db
106	Unnilhexium	Unh	સીબોર્ગિયમ	Sg
107	Unnilseptium	Uns	બોહ્રિયમ	Bh
108	Unniloctium	Uno	હાસિયમ	Hs
109	Unnilennium	Une	મેઈટ્નેરિયમ	Mt
110	Ununillium	Uun	દરમ્સ્ટાદટિયમ	Ds
111	Unununnium	Uuu	રોન્ટજેનિયમ	Rg
112	Ununbium	Uub	કોપરનિશિયમ	Cn
113	Ununtrium	Uut	*	—
114	Ununquadium	Uuq	ફ્લેરોવિયમ	Fl
115	Ununpentium	Uup	*	—
116	Ununhexium	Uuh	લિવરમોરિયમ	Lv
117	Ununseptium	Uus	*	—
118	Ununoctium	Uuo	*	—

\* IUPAC દ્વારા નામકરણ કરવાનું બાકી છે.

આ રીતે નવા તત્ત્વને શરૂઆતમાં અસ્થાયી નામ અને ત્રણ અક્ષરોવાળી સંજ્ઞા આપવામાં આવે છે. ત્યારબાદ પ્રત્યેક દેશના IUPAC પ્રતિનિધિના મતદાનથી સ્થાયી નામ તથા સંજ્ઞા આપવામાં આવે છે. તત્ત્વના સ્થાયી નામમાં તેની શોધ થઈ હોય તે દેશ(અથવા જે-તે દેશનું રાજ્ય)નું નામ અથવા કોઈ પ્રસિદ્ધ વૈજ્ઞાનિકને બિરદાવવા તેનું નામ જોડવામાં આવે છે. અત્યાર સુધીમાં 112 પરમાણ્વીય-ક્રમાંક સુધીના તથા 114 અને 116 પરમાણ્વીય-ક્રમાંકવાળા તત્ત્વોની શોધ થયેલી છે. 113, 115, 117 અને 118 પરમાણ્વીય-ક્રમાંકવાળા તત્ત્વો હાલમાં જાણીતા નથી.

### કોયડો 3.1

120 પરમાણ્વીય-ક્રમાંકવાળા તત્ત્વના IUPAC નામ તથા સંજ્ઞા શું થશે ?

ઉકેલ :

કોષ્ટક 3.4 મુજબ 1, 2 તથા 0 અંકો માટે સંખ્યાદર્શક શબ્દ અનુક્રમે un, bi તથા nil થશે. તેથી 120 પરમાણ્વીય-ક્રમાંકવાળા તત્ત્વનું નામ Unbinilium અને સંજ્ઞા Ubn થશે.

## 3.5 તત્ત્વોની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના અને આવર્તકોષ્ટક (Electronic Configuration of Elements and the Periodic Table)

અગાઉના એકમમાં આપણે એ જાણ્યું કે કોઈ પરમાણુમાં ઇલેક્ટ્રોનની ઓળખ ચાર ક્વોન્ટમ આંકથી થઈ શકે છે. મુખ્ય ક્વોન્ટમ આંક ( $n$ ) પરમાણુની મુખ્ય શક્તિ સ્તર કે જેને 'કોશ' (shell) કહે છે તેને દર્શાવે છે. આપણે એ પણ જાણ્યું કે પરમાણુમાં ઇલેક્ટ્રોન કેવી રીતે પેટાકોશમાં ભરાય છે કે જેને આપણે  $s$ ,  $p$ ,  $d$ ,  $f$  કક્ષકો કહીએ છીએ. પરમાણુમાં ઇલેક્ટ્રોનના વિતરણને તેની 'ઇલેક્ટ્રોનીય રચના' કહે છે. કોઈ તત્ત્વનું આવર્તકોષ્ટકમાં સ્થાન તેમાં છેલ્લે ભરાનાર કક્ષકના ક્વોન્ટમ આંક દર્શાવે છે. આ ભાગમાં આપણે તત્ત્વોની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના અને આવર્તકોષ્ટકના વિસ્તૃત સ્વરૂપ વચ્ચેના સંબંધને જાણીશું.

### (a) આવર્તમાં ઇલેક્ટ્રોનીય રચના :

આવર્તક્રમ બાહ્યતમ કક્ષા અથવા સંયોજકતા કોશ માટે  $n$ નું મૂલ્ય દર્શાવે છે. જેમ આવર્તક્રમ વધતો જાય તેમ મુખ્ય શક્તિ સ્તરનું મૂલ્ય વધતું જાય છે ( $n = 1, n = 2$  વગેરે). એવું જોવા મળે છે કે પ્રત્યેક આવર્તમાં તત્ત્વોની સંખ્યા, ભરાનારા શક્તિ સ્તરમાં ઉપલબ્ધ પરમાણ્વીય કક્ષકોની સંખ્યાથી બમણી હોય

છે. આ પ્રમાણે પ્રથમ આવર્તની ( $n = 1$ ) શરૂઆત નીચલા શક્તિ સ્તર ( $1s$ ) ભરાવાથી થાય છે. તેમાં બે તત્ત્વો હાઇડ્રોજન ( $1s^1$ ) અને હિલિયમ ( $1s^2$ ) હોય છે. આ રીતે પ્રથમ કોશ (K કોશ) પૂર્ણ થાય છે. બીજા આવર્તની ( $n = 2$ ) શરૂઆત લિથિયમથી થાય છે જેમાં ત્રીજો ઇલેક્ટ્રોન  $2s$  કક્ષકમાં પ્રવેશે છે. પછીના તત્ત્વ બેરિલિયમમાં ચાર ઇલેક્ટ્રોન હાજર હોય છે. તેની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના  $1s^2 2s^2$  છે, ત્યારબાદ બોરોન તત્ત્વથી શરૂ કરીને જ્યારે આપણે નિયોન તત્ત્વ સુધી પહોંચીએ છીએ ત્યારે  $2p$  કક્ષક ઇલેક્ટ્રોનથી સંપૂર્ણપણે ભરાઈ જાય છે. આ પ્રમાણે L કોશ નિયોન ( $2s^2 2p^6$ ) તત્ત્વની સાથે પૂર્ણ થાય છે. આમ, બીજા આવર્તમાં તત્ત્વોની સંખ્યા આઠ હોય છે. આવર્તકોષ્ટકમાં ત્રીજા આવર્તની ( $n = 3$ ) શરૂઆત સોડિયમ તત્ત્વથી થાય છે. જેમાં ઇલેક્ટ્રોન  $3s$  કક્ષકમાં ભરાય છે. બાદમાં  $3s$  અને  $3p$  કક્ષકોમાં ઇલેક્ટ્રોન ભરાવાથી ત્રીજા આવર્તમાં તત્ત્વોની સંખ્યા સોડિયમથી આર્ગોન સુધી કુલ આઠ થાય છે. ચોથા આવર્તની ( $n = 4$ ) શરૂઆત પોટેશિયમ તત્ત્વથી -  $4s$  કક્ષક ભરાવાની શરૂઆત સાથે થાય છે. અહીં એ વાત મહત્ત્વની છે કે  $4p$  કક્ષક ભરાવાની પહેલા  $3d$  કક્ષક ભરાવાનું શરૂ થાય છે, જે શક્તિની દૃષ્ટિએ અનુકૂળ છે. આ રીતે આપણને તત્ત્વોની  $3d$  સંક્રાંતિ શ્રેણી ( $3d$  transition series) પ્રાપ્ત થાય છે. આ સ્કેન્ડિયમ ( $Z = 21$ )થી શરૂ થાય છે, જેની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના  $3d^1 4s^2$  થાય છે.  $3d$  કક્ષક ઝિંક ( $Z = 30$ ) આગળ સંપૂર્ણપણે ભરાઈ જાય છે, જેની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના  $3d^{10} 4s^2$  છે. ચોથો આવર્ત  $4p$  કક્ષકો ભરાવાની સાથે ક્રિપ્ટોન આગળ સમાપ્ત થાય છે. ચોથા આવર્તમાં કુલ 18 તત્ત્વો હોય છે. પાંચમો આવર્ત ( $n = 5$ ) રુબિડિયમથી શરૂ થાય છે, જે ચોથા આવર્તને સમાન છે.  $4d$  સંક્રાંતિ શ્રેણી ( $4d$  transition series) યટ્રિયમથી શરૂ થાય છે. આ આવર્ત  $5p$  કક્ષકો ભરાવાની સાથે ઝેનોન આગળ સમાપ્ત થાય છે. છઠ્ઠા આવર્તમાં ( $n = 6$ ) 32 તત્ત્વો હોય છે. આમ આગળને આગળ ઇલેક્ટ્રોન  $6s$ ,  $4f$ ,  $5d$  તથા  $6p$  કક્ષકોમાં ભરાય છે.  $4f$  કક્ષકો ભરાવાની શરૂઆત સીરિયમથી ( $Z = 58$ ) થઈને લ્યુટેશિયમ ( $Z = 71$ ) આગળ પૂર્ણ થાય છે. તેને  $4f$  આંતર સંક્રાંતિ શ્રેણી અથવા લેન્થેનોઇડ શ્રેણી (Lanthanoid series) કહેવાય છે. સાતમો આવર્ત ( $n = 7$ ), છઠ્ઠા આવર્તને સમાન છે. જેમાં ઇલેક્ટ્રોન આગળને આગળ  $7s$ ,  $5f$ ,  $6d$  અને  $7p$  કક્ષકમાં ભરાય છે. આમાં મોટા ભાગના માનવનિર્મિત રેડિયોસક્રિય તત્ત્વો સમાવિષ્ટ છે. સાતમો આવર્ત 118 પરમાણ્વીય-ક્રમાંકવાળા તત્ત્વની શોધ સાથે પૂર્ણ થશે, આ તત્ત્વ ઉમદા વાયુ સમૂહનું હશે. એક્ટિનિયમ ( $Z = 89$ )ની પછી



$5f$  કક્ષક ભરાવાના કારણે  $5f$  આંતર-સંક્રાંતિ શ્રેણી પ્રાપ્ત થાય છે, જેને એક્ટિનોઇડ શ્રેણી (Actinoid series) કહેવાય છે.  $4f$  અને  $5f$  આંતરસંક્રાંતિ શ્રેણીઓને આવર્તકોષ્ટકના મુખ્ય ભાગની બહાર રાખવામાં આવી છે, જેથી તેમના બંધારણને જાળવી શકાય અને સાથે સાથે સમાન ગુણધર્મોવાળા તત્ત્વોને એક જ સ્તંભમાં રાખીને વર્ગીકરણના સિદ્ધાંતનું પણ પાલન કરી શકાય.

### કોયડો 3.2

આવર્તકોષ્ટકના પાંચમા આવર્તમાં 18 તત્ત્વો હોય છે, તેને તમે કેવી રીતે સમજાવશો ?

ઉકેલ :

જ્યારે  $n = 5$  તથા  $l = 0, 1, 2, 3$  હોય ત્યારે પ્રાપ્ત કક્ષકો  $4d, 5s$  અને  $5p$  ની શક્તિનો ચડતો ક્રમ  $5s < 4d < 5p$  છે. આમ કુલ 9 કક્ષકો પ્રાપ્ય છે. જેમાં મહત્તમ 18 ઇલેક્ટ્રોન ભરી શકાય છે. તેથી 5મા આવર્તમાં 18 તત્ત્વો હોય છે.

### (b) સમૂહ પ્રમાણે ઇલેક્ટ્રોનીય રચના

એક જ સમૂહ અથવા ઊભા સ્તંભમાં રહેલા તત્ત્વોની સંયોજકતા કોશની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના સમાન હોય છે. તેમની બાહ્યકક્ષકોમાં ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા તથા ગુણધર્મો પણ સમાન હોય છે. ઉદાહરણ તરીકે સમૂહ 1ના તત્ત્વોની (આલ્કલી ધાતુઓ) સંયોજકતા કોશની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના  $ns^1$  હોય છે, જે નીચે દર્શાવેલું છે.

પાયો પૂરો પાડે છે. આવર્ત કોષ્ટકમાં ઊભા સ્તંભોમાં રહેલા તત્ત્વો એક સમૂહ અથવા કુટુંબની રચના કરે છે અને સમાન રાસાયણિક ગુણધર્મો દર્શાવે છે. આ સમાનતા એટલા માટે જોવા મળે છે કે તત્ત્વોની બાહ્યતમ કક્ષામાં ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા અને વિતરણ એક જ પ્રકારે હોય છે. આ તત્ત્વોનું વર્ગીકરણ ચાર વિભાગો  $s, p, d$  અને  $f$  માં કરી શકાય છે. જે-તે બાબત પર આધાર રાખે છે કે કયા પ્રકારની પરમાણ્વીય કક્ષકો ઇલેક્ટ્રોન દ્વારા ભરાય છે. જેને આકૃતિ 3.3માં દર્શાવેલ છે. આ પ્રકારના વર્ગીકરણમાં બે અપવાદ જોવા મળે છે. પહેલો અપવાદ હિલિયમ છે. તેનું સ્થાન  $s$ -વિભાગમાં હોવું જોઈએ, પરંતુ આવર્તકોષ્ટકમાં તેનું સ્થાન સમૂહ 18ના તત્ત્વો સાથે  $p$ -વિભાગમાં છે. તેનું વાજબીપણું એ આધાર પર છે કે હિલિયમનો સંયોજકતા કોશ પૂર્ણપણે ( $1s^2$ ) ભરાયેલો છે, જેથી તે ઉમદા વાયુ તત્ત્વો જેવા લક્ષણો ધરાવે છે. બીજો અપવાદ હાઈડ્રોજનનો છે. જેમાં માત્ર એક  $s$ -ઇલેક્ટ્રોન છે. જેથી તેનું સ્થાન સમૂહ 1માં આલ્કલી ધાતુઓ સાથે હોવું જોઈએ. બીજી બાજુ તે એક ઇલેક્ટ્રોન સ્વીકારીને ઉમદા વાયુ તત્ત્વની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના પ્રાપ્ત કરી શકે છે. આ રીતે તેનું વર્તન સમૂહ 17ના (હેલોજન સમૂહ) તત્ત્વોની જેમ હોઈ શકે છે. આમ, હાઈડ્રોજનને વિશિષ્ટ કિસ્સો ગણીને આવર્તકોષ્ટકમાં સૌથી ઉપર અલગ સ્થાન આકૃતિ 3.2 અને 3.3માં દર્શાવ્યા મુજબ આપવામાં આવ્યું છે. હવે આપણે આવર્તકોષ્ટકમાં દર્શાવ્યા મુજબના ચાર પ્રકારના તત્ત્વોના

પરમાણ્વીય-ક્રમાંક	સંજ્ઞા	ઇલેક્ટ્રોનીય રચના
3	Li	$1s^2 2s^1$ (અથવા) $[\text{He}]2s^1$
11	Na	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$ (અથવા) $[\text{Ne}]3s^1$
19	K	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1$ (અથવા) $[\text{Ar}]4s^1$
37	Rb	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 5s^1$ (અથવા) $[\text{Kr}]5s^1$
55	Cs	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^{10} 5s^2 5p^6 6s^1$ (અથવા) $[\text{Xe}]6s^1$
87	Fr	$[\text{Rn}]7s^1$

આ રીતે તે બાબત સ્પષ્ટ થાય છે કે કોઈ પણ તત્ત્વના ગુણધર્મ તેના પરમાણ્વીય-ક્રમાંક પર આધારિત હોય છે નહિ કે તેના સાપેક્ષ પરમાણ્વીય-દળ પર.

### 3.6 ઇલેક્ટ્રોનીય રચના અને તત્ત્વોના પ્રકાર : $s$ -, $p$ -, $d$ -, $f$ - વિભાગો (Electronic Configurations and Types of Elements : $s$ -, $p$ -, $d$ -, $f$ - Blocks)

આઉફબાઉ (ક્રમશઃ ગોઠવણી થવી) સિદ્ધાંત અને પરમાણુઓની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના આવર્તી વર્ગીકરણનો સૈધાંતિક

મુખ્ય લક્ષણોની ચર્ચા કરીશું. આ તત્ત્વો વિશેની વિશેષ ચર્ચા બાદમાં કરીશું. તેમના લક્ષણોની ચર્ચા કરવા માટે જે પારિભાષિક શબ્દોનો ઉપયોગ કરવામાં આવ્યો છે, તેનું વર્ગીકરણ મુદ્દા નં. 3.7માં કરવામાં આવ્યું છે.

#### 3.6.1 $s$ -વિભાગના તત્ત્વો (The $s$ -Block Elements)

સમૂહ-1ના તત્ત્વો (આલ્કલી ધાતુઓ) અને સમૂહ-2ના તત્ત્વોની (આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓ) બાહ્યતમ કક્ષામાં સામાન્ય ઇલેક્ટ્રોનીય રચના ક્રમશઃ  $ns^1$  અને  $ns^2$  છે. આ બંને સમૂહોને આવર્તકોષ્ટકમાં  $s$ -વિભાગમાં દર્શાવેલા છે. તેઓ સક્રિય ધાતુઓ

s - વિભાગ		p - વિભાગ																																									
1s	1 2	13	14	15	16	17	18	B	C	N	O	F	He	Al	Si	P	S	Cl	Ne	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Uut	Ft	Uup	Lv	Uus	Uuo
2s	Li Be																																										
3s	Na Mg																																										
4s	K Ca																																										
5s	Rb Sr																																										
6s	Cs Ba																																										
7s	Fr Ra																																										

d - વિભાગ	
3d	3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
4d	Y Zr Nb Mo Tc Ru Rh Pd Ag Cd
5d	La Hf Ta W Re Os Ir Pt Au Hg
6d	Ac Rf Db Sg Bh Hs Mt Ds Rg Cn

f - વિભાગ	
લેન્થેનોઇડ્સ 4f	Ce Pr Nd Pm Sm Eu Gd Tb Dy Ho Er Tm Yb Lu
એક્ટિનોઇડ્સ 5f	Th Pa U Np Pu Am Cm Bk Cf Es Fm Md No Lr

આકૃતિ 3.3 કક્ષકોમાં ઇલેક્ટ્રોન ભરાવાના આધારે આવર્તકોષ્ટકમાં તત્ત્વોના વિભાગો. તત્ત્વોને ધાતુઓ, અધાતુઓ, અર્ધધાતુઓ જેવા મુખ્ય વર્ગોમાં પણ દર્શાવ્યા છે.  
 ધાતુઓ ( ), અધાતુઓ ( ), અર્ધધાતુઓ ( )

છે. તેમની આયનીકરણ એન્ટાલ્પીનું મૂલ્ય ઓછું હોય છે. આ તત્ત્વો સરળતાપૂર્વક બાહ્યતમ ઇલેક્ટ્રોન ગુમાવીને  $1+$  આયન (આલ્કલી ધાતુઓના કિસ્સામાં) કે  $2+$  આયન (આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓના કિસ્સામાં) બનાવે છે. સમૂહમાં ઉપરથી નીચેની તરફ જતા આ ધાતુઓના ધાત્વીય લક્ષણ અને પ્રતિક્રિયાત્મકતામાં વધારો થાય છે. વધુ પ્રતિક્રિયાત્મકતા હોવાના કારણે તેઓ કુદરતમાં શુદ્ધ સ્વરૂપે મળતા નથી. લિથિયમ અને બેરિલિયમ સિવાયના  $s$ -વિભાગના તત્ત્વોના સંયોજનો મુખ્યત્વે આયનીય હોય છે.

### 3.6.2 $p$ -વિભાગના તત્ત્વો (The $p$ -Block Elements)

આવર્તકોષ્ટકમાં  $p$ -વિભાગમાં સમૂહ 13-18 સુધીના તત્ત્વોનો સમાવેશ થાય છે.  $s$ -વિભાગ અને  $p$ -વિભાગના તત્ત્વોને સંયુક્ત રીતે પ્રતિનિધિ તત્ત્વો (Representative Elements) અથવા મુખ્ય સમૂહ તત્ત્વો (Main Group Elements) કહે છે.  $p$ -વિભાગમાં દરેક આવર્તમાં તત્ત્વોની બાહ્યતમ ઇલેક્ટ્રોનીય રચના  $ns^2np^1$  થી  $ns^2np^6$  સુધી બદલાતી રહે છે. દરેક આવર્ત ઉમદા વાયુ તત્ત્વની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના  $ns^2np^6$  થી સમાપ્ત થાય છે. ઉમદા વાયુ તત્ત્વોમાં સંયોજકતા કોશની બધી કક્ષકો ઇલેક્ટ્રોનથી પૂર્ણ ભરાયેલી હોય છે. જેમાંથી ઇલેક્ટ્રોનને દૂર કરીને કે ઉમેરીને આ સ્થાયી અવસ્થાને બદલવી બહુ મુશ્કેલ છે. તેથી ઉમદા વાયુ તત્ત્વોની પ્રતિક્રિયાત્મકતા બહુ જ ઓછી હોય છે. ઉમદા વાયુ સમૂહ પહેલા અધાતુઓના રાસાયણિક રીતે બે અગત્યના સમૂહો છે. આ સમૂહો તરીકે 17મા સમૂહના હેલોજન તત્ત્વો (Halogens) અને 16મા સમૂહના ચાલ્કોજન તત્ત્વો (Chalcogens) છે. આ બંને સમૂહોના તત્ત્વો ઉચ્ચ ઋણ ઇલેક્ટ્રોનપ્રાપ્તિ એન્ટાલ્પી ધરાવે છે. આ તત્ત્વો સરળતાથી અનુક્રમે એક અથવા બે ઇલેક્ટ્રોન સ્વીકારીને ઉમદા વાયુ તત્ત્વ જેવી સ્થાયી ઇલેક્ટ્રોનીય રચના પ્રાપ્ત કરે છે. આવર્તમાં ડાબીથી જમણી બાજુ તરફ જતાં અધાત્વીય લક્ષણમાં વધારો થાય છે, તથા સમૂહમાં ઉપરથી નીચે તરફ જતાં ધાત્વીય લક્ષણમાં વધારો થાય છે.

### 3.6.3 $d$ -વિભાગના તત્ત્વો (સંક્રાંતિ તત્ત્વો) (The $d$ -Block Elements) (Transition Elements)

આવર્તકોષ્ટકની મધ્યમાં રહેલા સમૂહ 3 થી 12ના તત્ત્વોને  $d$ -વિભાગના તત્ત્વો કહે છે. આ વિભાગના તત્ત્વોની ઓળખ તેની આંતરિક  $d$ -કક્ષકોમાં ઇલેક્ટ્રોન ભરાવાને આધારે કરી શકાય છે. આ કારણથી જ તેઓ  $d$ -વિભાગના તત્ત્વ કહેવાય છે. આ તત્ત્વોની સામાન્ય ઇલેક્ટ્રોનીય રચના  $(n-1)d^{1-10}ns^{0-2}$  છે. આ બધા તત્ત્વો ધાતુઓ છે. તેઓ મુખ્યત્વે રંગીન આયન બનાવે છે તથા જુદી જુદી સંયોજકતા (ઓક્સિડેશન અવસ્થા) ધરાવે છે અને અનુચુંબકીય ગુણ દર્શાવે છે. તેઓ કેટલીકવાર ઉદ્દીપક તરીકે પણ વપરાય

છે. જો કે Zn, Cd અને Hgની સામાન્ય ઇલેક્ટ્રોનીય રચના  $(n-1)d^{10}ns^2$  હોવા છતાં તે ધાતુઓ સંક્રાંતિ તત્ત્વોના ઘણા લક્ષણો ધરાવતી નથી.  $d$ -વિભાગના તત્ત્વો રાસાયણિક રીતે વધુ સક્રિય એવા  $s$ -વિભાગના તત્ત્વો અને ઓછા સક્રિય એવા સમૂહ-13 અને સમૂહ-14ના તત્ત્વો વચ્ચે એક પ્રકારના સેતુ તરીકે કાર્ય કરે છે. તેથી જ  $d$ -વિભાગના તત્ત્વોને 'સંક્રાંતિ તત્ત્વો' કહે છે.

### 3.6.4 $f$ -વિભાગના તત્ત્વો (આંતર સંક્રાંતિ તત્ત્વો) (The $f$ -Block Elements) (Inner-Transition Elements)

આવર્તકોષ્ટકના તળિયે જે બે આડી હરોળમાં તત્ત્વોને રાખવામાં આવ્યા છે તે પૈકીના Ce ( $Z = 58$ ) – Lu ( $Z = 71$ ) તત્ત્વોને લેન્થેનોઈડ્સ અને Th ( $Z = 90$ ) – Lr ( $Z = 103$ ) તત્ત્વોને એક્ટિનોઈડ્સ કહે છે. આ શ્રેણીના તત્ત્વોની ઓળખ તેમની સામાન્ય ઇલેક્ટ્રોનીય રચના  $(n-2)f^{1-14}(n-1)d^{0-1}ns^2$  દ્વારા થાય છે. આ તત્ત્વોમાં છેલ્લો ઇલેક્ટ્રોન  $f$ -કક્ષકમાં ભરાય છે, જેથી આ બે શ્રેણીના તત્ત્વો  $f$ -વિભાગના તત્ત્વો (આંતરસંક્રાંતિ તત્ત્વો) કહેવાય છે. આ બધા તત્ત્વો ધાતુઓ છે. દરેક શ્રેણીમાં તત્ત્વોના ગુણધર્મો લગભગ સમાન હોય છે. એક્ટિનોઈડ શ્રેણીના શરૂઆતના તત્ત્વોની એકથી વધુ સંભવિત ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓને કારણે આ તત્ત્વોનું રસાયણવિજ્ઞાન તેમને અનુરૂપ લેન્થેનોઈડ શ્રેણીના તત્ત્વો કરતા વધુ જટિલ હોય છે. એક્ટિનોઈડ શ્રેણીના તત્ત્વો રેડિયોસક્રિય હોય છે. ઘણા એક્ટિનોઈડ તત્ત્વોને કેન્દ્રિય પ્રક્રિયાઓ દ્વારા નેનોગ્રામ કે તેનાથી ઓછા પ્રમાણમાં પ્રાપ્ત કરવામાં આવ્યા છે. આ તત્ત્વોના રસાયણવિજ્ઞાનનો અભ્યાસ પૂર્ણ રીતે થઈ શક્યો નથી. યુરેનિયમ પછીના તત્ત્વોને અનુયુરેનિયમ તત્ત્વો કહેવાય છે.

#### કોયડો 3.3

પરમાણ્વીય-ક્રમાંક  $Z = 117$  અને 120વાળા તત્ત્વોની શોધ હજુ સુધી થઈ શકી નથી. આ તત્ત્વોનું સ્થાન આવર્તકોષ્ટકમાં કયા સમૂહમાં હોવું જોઈએ અને આ બંને તત્ત્વોની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના શું હશે તે જણાવો.

#### ઉકેલ :

આકૃતિ 3.2માં દર્શાવ્યા મુજબ સ્પષ્ટ છે કે પરમાણ્વીય-ક્રમાંક  $Z = 117$ વાળા તત્ત્વનું સ્થાન આવર્તકોષ્ટકમાં હેલોજન સમૂહ (સમૂહ 17)માં Atની નીચે હશે તથા તેની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના  $[Rn]5f^{14}6d^{10}7s^27p^5$  હશે. પરમાણ્વીય-ક્રમાંક  $Z = 120$ વાળા તત્ત્વનું સ્થાન સમૂહ 2માં (આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓ) Raની નીચે હશે તથા તેની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના  $[Uuo]8s^2$  હશે.

### 3.6.5 ધાતુઓ, અધાતુઓ અને ઉપધાતુઓ (Metals, Non-metals and Metalloids)

તત્ત્વોના *s*-, *p*-, *d*- અને *f*-વિભાગમાં વર્ગીકરણ ઉપરાંત તેઓના ગુણધર્મોના આધારે તેમનું મુખ્યત્વે ધાતુઓ અને અધાતુઓમાં વર્ગીકરણ (આકૃતિ 3.3) કરી શકાય છે. જાણીતા તત્ત્વો પૈકી 78 ટકાથી વધુ તત્ત્વો ધાતુઓ છે, જે આવર્તકોષ્ટકમાં ડાબી બાજુ દર્શાવેલા છે. ધાતુઓ સામાન્ય રીતે ઓરડાના તાપમાને ઘનસ્વરૂપમાં હોય છે. [પારો તેનો અપવાદ છે, ગેલિયમ અને સીઝિયમના ગલનબિંદુ પણ ખૂબ જ નીચાં (અનુક્રમે 303 K અને 302 K છે) છે]. સામાન્ય રીતે ધાતુઓના ગલનબિંદુ અને ઉત્કલનબિંદુ ઊંચા હોય છે. તેઓ ઉષ્મા સુવાહક અને વીજસુવાહક હોય છે. તેઓ ટિપાઉપણા (હથોડા વડે ટીપાઈને પાતળા પતરા બની શકવાનો ગુણ) અને તણાવપણાનો (જેમાંથી તાર ખેંચાઈ શકવાનો ગુણ) ગુણધર્મ ધરાવે છે. અધાતુઓ આવર્તકોષ્ટકમાં જમણી બાજુએ ઉપરની તરફ હોય છે. સમૂહમાં ઉપરથી નીચે તરફ જતાં તત્ત્વોમાં ધાત્વીય ગુણધર્મ વધે છે અને આવર્તમાં ડાબીથી જમણી તરફ જતાં તત્ત્વોમાં ધાત્વીય ગુણધર્મ ઘટે છે. અધાતુઓ ઓરડાના તાપમાને ઘન અથવા વાયુ સ્વરૂપે હોય છે. તેના ગલનબિંદુ અને ઉત્કલનબિંદુ નીચાં હોય છે (બોરોન અને કાર્બન અપવાદ છે). તે ઉષ્મા અવાહક અને વિદ્યુત અવાહક હોય છે. મોટા ભાગની અધાતુઓ બરડ હોય છે. તે ટિપાઉપણા કે તણાવપણાનો ગુણધર્મ ધરાવતા નથી. આવર્તકોષ્ટકમાંના સમૂહમાં ઉપરથી નીચે તરફ જતાં તત્ત્વોમાં ધાત્વીય ગુણધર્મ વધે છે અને આવર્તમાં ડાબીથી જમણી તરફ જતા અધાત્વીય ગુણધર્મ વધે છે. તત્ત્વોમાં ધાત્વીયમાંથી અધાત્વીય ગુણધર્મમાં ફેરફાર એકાએક થતો નથી પણ આકૃતિ 3.3માં દર્શાવ્યા મુજબ જાડી સર્પાકાર (zigzag) રેખા મુજબ જોવા મળે છે. આ રેખાને અડોઅડ આવેલા અને આવર્તકોષ્ટકમાં ત્રાંસી રીતે આગળ વધતાં તત્ત્વો (દા.ત., સિલિકોન, જર્મેનિયમ, આર્સેનિક, એન્ટિમની અને ટેલુરિયમ) ધાતુઓ અને અધાતુઓ એમ બંનેના ગુણધર્મો દર્શાવે છે. તેથી આ તત્ત્વોને અર્ધધાતુ (semi-metals) અથવા ઉપધાતુઓ (metalloids) કહેવામાં આવે છે.

#### કોયડો 3.4

પરમાણ્વીય-ક્રમાંક અને આવર્તકોષ્ટકમાં સ્થાનને ધ્યાનમાં રાખીને નીચે દર્શાવેલા તત્ત્વોને તેમના ધાત્વીય ગુણધર્મોના ચડતા ક્રમમાં ગોઠવો : Si, Be, Mg, Na, P

#### ઉકેલ :

આવર્તકોષ્ટકના સમૂહમાં ઉપરથી નીચે તરફ જતાં તત્ત્વોમાં ધાત્વીય ગુણધર્મ વધે છે તથા આવર્તમાં ડાબીથી જમણી

બાજુ તરફ જતાં ધાત્વીય ગુણધર્મ ઘટે છે. આ મુજબ આપેલા તત્ત્વોને તેના ધાત્વીય ગુણધર્મના ચડતા ક્રમમાં નીચે મુજબ ગોઠવી શકાય :  $P < Si < Be < Mg < Na$

### 3.7 તત્ત્વોના ગુણધર્મોમાં આવર્તી વલણ (Periodic Trends in Properties of Elements)

આવર્તકોષ્ટકમાં સમૂહમાં ઉપરથી નીચે તરફ જતાં અથવા આવર્તમાં ડાબીથી જમણી તરફ જતાં તત્ત્વોના ભૌતિક અને રાસાયણિક ગુણધર્મોમાં ઘણી ભાતો (Pattern) જોવા મળે છે. દા.ત., એક જ આવર્તમાં, રાસાયણિક પ્રતિક્રિયાત્મકતા વલણ સમૂહ 1ની ધાતુઓમાં વધુ, કોષ્ટકની મધ્યનાં તત્ત્વોમાં ઓછું અને સમૂહ 17ના અધાતુ તત્ત્વોમાં વધીને મહત્તમ જોવા મળે છે. તે જ પ્રમાણે પ્રતિનિધિ ધાતુ તત્ત્વોના સમૂહમાં (જેમકે આલ્કલી ધાતુ) ઉપરથી નીચે તરફ જતાં પ્રતિક્રિયાત્મકતા વધે છે, જ્યારે અધાતુઓના સમૂહમાં (જેમકે હેલોજન તત્ત્વો) ઉપરથી નીચે તરફ જતાં પ્રતિક્રિયાત્મકતા ઘટતી જાય છે. તત્ત્વોના ગુણધર્મો શા માટે આવું વલણ ધરાવે છે ? ગુણધર્મોમાં આવર્તી વલણ કેવી રીતે સ્પષ્ટ કરી શકાય? આ બધા પ્રશ્નોના ઉત્તર માટે આપણે પરમાણુના બંધારણ અને પરમાણુના ગુણધર્મો તરફ ધ્યાન કેન્દ્રિત કરવું પડશે. આ ભાગમાં આપણે ભૌતિક અને રાસાયણિક ગુણધર્મોની આવર્તિતાની ચર્ચા કરીશું અને તેમને ઈલેક્ટ્રોનની સંખ્યા તથા શક્તિસ્તર સંદર્ભે સમજાશું.

#### 3.7.1 ભૌતિક ગુણધર્મોમાં આવર્તી વલણ (Trends in Physical Properties)

તત્ત્વોના અનેક ભૌતિક ગુણધર્મો જેવા કે ગલનબિંદુ, ઉત્કલનબિંદુ, ગલન ઉષ્મા, બાષ્પીભવન ઉષ્મા, પરમાણ્વીકરણ ઊર્જા વગેરે આવર્તી વલણ દર્શાવે છે, પરંતુ અહીં આપણે પરમાણ્વીય ત્રિજ્યા, આયનીય ત્રિજ્યા, આયનીકરણ એન્ટાલ્પી, ઈલેક્ટ્રોન પ્રાપ્તિ એન્ટાલ્પી અને વિદ્યુતઋણતામાં આવર્તી વલણોની ચર્ચા કરીશું.

#### (a) પરમાણ્વીય ત્રિજ્યા (Atomic Radius)

તમે કલ્પના કરી શકો છો કે દડાની ત્રિજ્યા માપવાની સરખામણીમાં પરમાણુનું કદ માપવું અતિ જટિલ છે. શું તમને તેનું કારણ ખબર છે ? તેનું કારણ એ છે કે પરમાણુનું કદ (તેની ત્રિજ્યા  $\sim 1.2 \text{ \AA}$  એટલે  $1.2 \times 10^{-10}$  મીટર હોય છે.) અતિસૂક્ષ્મ છે. વળી, પરમાણુની ચારેબાજુ છવાયેલા ઈલેક્ટ્રોન વાદળની કોઈ સ્પષ્ટ સીમા નક્કી નથી, તેથી પરમાણુનું કદ

ચોક્કસ રીતે માપી શકાતું નથી. બીજા શબ્દોમાં કહીએ તો વ્યક્તિગત પરમાણુનું કદ માપવા કોઈ પ્રાયોગિક પદ્ધતિ નથી. તેમ છતાં સંયુક્ત અવસ્થામાં પરમાણુઓ વચ્ચેના અંતરને જાણવાથી પરમાણ્વીય કદનો અંદાજ કાઢી શકાય છે. એક પ્રાયોગિક માર્ગ એ છે કે સહસંયોજક અણુઓમાં એકલ બંધથી જોડાયેલા બે અધાત્વીય પરમાણુઓના કેન્દ્રો વચ્ચેના અંતરની જાણકારીના આધારે સહસંયોજક ત્રિજ્યા (Covalent Radius) નક્કી કરી શકાય છે. દા.ત., ક્લોરિન અણુ( $Cl_2$ )માં બંધ અંતર 198 pm છે. આ અંતરના અડધા મૂલ્યને (99 pm) ક્લોરિનની પરમાણ્વીય ત્રિજ્યા તરીકે લેવામાં આવે છે. ધાતુઓમાં ધાત્વીય ત્રિજ્યાનું મૂલ્ય ધાત્વીય સ્ફટિકમાં પાસપાસેના બે પરમાણુકેન્દ્રો વચ્ચેના અંતરના અડધા મૂલ્ય જેટલું હોય છે. દા.ત., ઘન કોપરમાં બે સંલગ્ન કોપર પરમાણુ વચ્ચેનું અંતર 256 pm છે, તેથી કોપરની ધાત્વીય ત્રિજ્યા 128 pm વડે દર્શાવાય છે. સરળતા ખાતર આ પુસ્તકમાં આપણે સહસંયોજક ત્રિજ્યા કે ધાત્વીય ત્રિજ્યાને પરમાણ્વીય ત્રિજ્યા વડે ઓળખીશું પછી તે તત્ત્વ અધાતુ હોય કે ધાતુ હોય. પરમાણ્વીય ત્રિજ્યા ક્ષ-કિરણ અથવા અન્ય વર્ણપટદર્શકીય (spectroscopic) પદ્ધતિઓ દ્વારા માપી શકાય છે.

કેટલાક તત્ત્વોની પરમાણ્વીય ત્રિજ્યાના મૂલ્યો કોષ્ટક 3.6માં દર્શાવેલા છે. અહીં બે પ્રકારના વલણો સ્પષ્ટ રીતે જોવા મળે છે. જેને આપણે કેન્દ્રિય વીજભાર અને શક્તિસ્તર વડે

સમજાવી શકીએ છીએ. આકૃતિ 3.4(a)માં દર્શાવ્યા મુજબ બીજા આવર્તમાં ડાબીથી જમણી બાજુ તરફ જતા તત્ત્વોના પરમાણ્વીય કદમાં ઘટાડો જોવા મળે છે. આમ થવાનું કારણ એ છે કે એક જ આવર્તમાં રહેલા તત્ત્વોમાં બાહ્યતમ ઇલેક્ટ્રોન એક જ સંયોજકતા કોશમાં હોય છે, પરંતુ પરમાણ્વીય-ક્રમાંક વધવાની સાથે તત્ત્વોમાં અસરકારક કેન્દ્રિય વીજભાર વધતો જાય છે, તેના પરિણામે બાહ્યતમ ઇલેક્ટ્રોનનું આકર્ષણ કેન્દ્ર તરફ વધતું જાય છે. તેથી પરમાણ્વીય ત્રિજ્યા ઘટતી જાય છે. આકૃતિ 3.4(b)માં દર્શાવ્યા મુજબ આવર્તકોષ્ટકના એક જ સમૂહ અથવા ઊભા સ્તંભોમાં પરમાણ્વીય-ક્રમાંક વધવાની સાથે પરમાણ્વીય ત્રિજ્યામાં વધારો થાય છે. આલ્કલી ધાતુ સમૂહ અને હેલોજન સમૂહમાં ઉપરથી નીચે તરફ જઈએ તેમ મુખ્ય ક્વોન્ટમ આંક(n)નું મૂલ્ય વધતું જાય છે અને સંયોજકતા ઇલેક્ટ્રોન કેન્દ્રથી દૂર થતા જાય છે. આમ થવાનું કારણ એ છે કે આંતરિક શક્તિ સ્તરો ઇલેક્ટ્રોનથી ભરાયેલા હોય છે, જે ઢાલ સ્વરૂપે બાહ્ય ઇલેક્ટ્રોન પર કેન્દ્રના આકર્ષણને ઘટાડે છે. તેથી પરમાણુનું કદ વધતું જાય છે એટલે કે પરમાણ્વીય ત્રિજ્યા વધતી જાય છે.

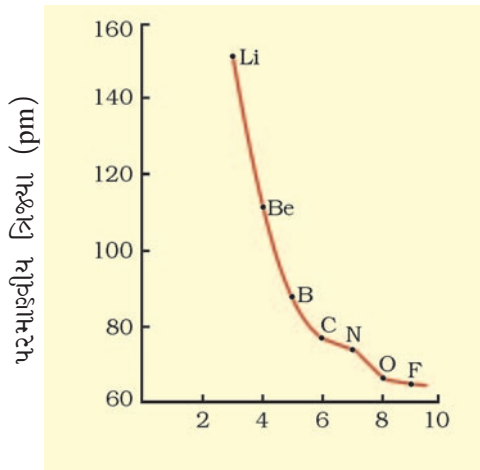
નોંધવા જેવું એ છે કે અહીં ઉમદા વાયુ તત્ત્વોની પરમાણ્વીય ત્રિજ્યાનો વિચાર કરવામાં આવ્યો નથી. તેઓ એકલ પરમાણુ હોવાના કારણે તેમની (અબંધિત ત્રિજ્યા) ત્રિજ્યાનું મૂલ્ય બહુ જ વધારે હોય છે. તેથી ઉમદા વાયુ તત્ત્વોની ત્રિજ્યાની સરખામણી અન્ય તત્ત્વોની સહસંયોજક ત્રિજ્યા સાથે ન કરતા તેઓની વાનુ ડર વાલ્સ ત્રિજ્યા સાથે કરવી જોઈએ.

### કોષ્ટક 3.6(a) આવર્તોમાં પરમાણ્વીય ત્રિજ્યા (pm)

પરમાણુ (આવર્ત II)	Li	Be	B	C	N	O	F
પરમાણ્વીય ત્રિજ્યા	152	111	88	77	74	66	64
પરમાણુ (આવર્ત III)	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl
પરમાણ્વીય ત્રિજ્યા	186	160	143	117	110	104	99

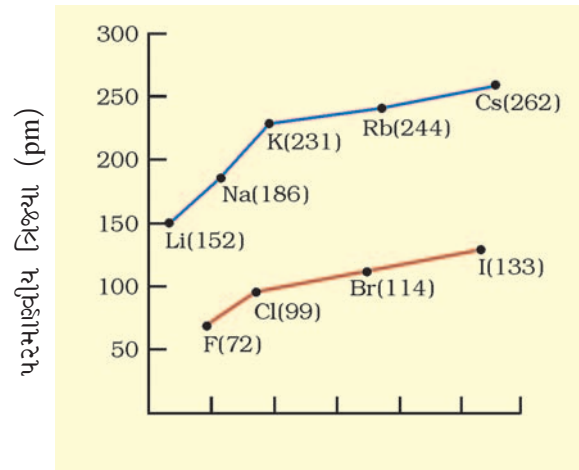
### કોષ્ટક 3.6(b) સમૂહોમાં પરમાણ્વીય ત્રિજ્યા (pm)

પરમાણુ (સમૂહ I)	પરમાણ્વીય ત્રિજ્યા	પરમાણુ (સમૂહ 17)	પરમાણ્વીય ત્રિજ્યા
Li	152	F	64
Na	186	Cl	99
K	231	Br	114
Rb	244	I	133
Cs	262	At	140



પરમાણ્વીય-ક્રમાંક (Z)

**આકૃતિ 3.4(a)** બીજા આવર્તના તત્ત્વોમાં પરમાણ્વીય-ક્રમાંકની સાથે પરમાણ્વીય ત્રિજ્યામાં થતો ફેરફાર



પરમાણ્વીય-ક્રમાંક (Z)

**આકૃતિ 3.4(b)** આલ્કલી ધાતુ અને હેલોજન સમૂહના તત્ત્વોમાં પરમાણ્વીય-ક્રમાંકની સાથે પરમાણ્વીય ત્રિજ્યામાં થતો ફેરફાર

### (b) આયનીય ત્રિજ્યા (Ionic Radius)

સામાન્ય રીતે પરમાણુ ઇલેક્ટ્રોન ગુમાવીને ધન આયન અને ઇલેક્ટ્રોન મેળવીને ઋણ આયન બને છે. આયનીય સ્ફટિકોમાં ધન આયન અને ઋણ આયન વચ્ચેના અંતરના માપન દ્વારા આયનીય ત્રિજ્યા માપી શકાય છે. સામાન્ય રીતે તત્ત્વોની આયનીય ત્રિજ્યા, પરમાણ્વીય ત્રિજ્યા જેવું જ વલણ દર્શાવે છે. ધન આયન તેના જનક પરમાણુ (parent atom) કરતાં નાનો હોય છે. કારણ કે તેની પાસે ઓછા ઇલેક્ટ્રોન હોય છે, જ્યારે તેમનો કેન્દ્રીય વીજભાર તેટલો જ રહે છે. ઋણ આયનનું કદ તેના જનક પરમાણુ કરતા મોટું હોય છે. કારણ કે એક અથવા વધુ ઇલેક્ટ્રોન ઉમેરાવાના કારણે ઇલેક્ટ્રોન-ઇલેક્ટ્રોન વચ્ચે અપાકર્ષણ વધે છે અને અસરકારક કેન્દ્રીય વીજભાર ઘટે છે. દા.ત., ફ્લોરાઇડ આયન (F<sup>-</sup>)ની આયનીય ત્રિજ્યા 136 pm છે, જ્યારે ફ્લોરિન પરમાણુની પરમાણ્વીય ત્રિજ્યા માત્ર 64 pm છે. બીજી તરફ સોડિયમ પરમાણુની પરમાણ્વીય ત્રિજ્યા 186 pm છે, જ્યારે સોડિયમ આયન (Na<sup>+</sup>)ની આયનીય ત્રિજ્યા 95 pm છે.

કેટલાક પરમાણુઓ અને આયનોમાં ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા સમાન જોવા મળે છે. જે સમઇલેક્ટ્રોનીય સ્પીસિઝ\* (isoelectronic species) તરીકે ઓળખાય છે. દા.ત., O<sup>2-</sup>, F<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup> અને Mg<sup>2+</sup> માં ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા (10) સમાન છે, પણ તેમની ત્રિજ્યા જુદી જુદી છે. કારણ કે તેઓ જુદો જુદો કેન્દ્રીય વીજભાર ધરાવે છે. વધારે ધનવીજભાર ધરાવનાર

ધન આયનની ત્રિજ્યા નાની હોય છે. કારણ કે તેના ઇલેક્ટ્રોનનું કેન્દ્ર તરફ આકર્ષણ વધારે હોય છે, જ્યારે વધારે ઋણ વીજભાર ધરાવનાર ઋણ આયનની ત્રિજ્યાનું મૂલ્ય વધુ હોય છે, કારણ કે ઇલેક્ટ્રોન-ઇલેક્ટ્રોન વચ્ચેના અપાકર્ષણની અસર કેન્દ્રીય વીજભાર કરતા વધી જાય છે. તેથી આયનનું વિસ્તરણ થાય છે એટલે કે આયનીય કદ વધે છે.

### કોયડો 3.5

નીચે જણાવેલી સ્પીસિઝમાં કોની ત્રિજ્યા મહત્તમ અને કોની ત્રિજ્યા ન્યૂનતમ હશે ?

Mg, Mg<sup>2+</sup>, Al, Al<sup>3+</sup>

ઉકેલ :

એક જ આવર્તમાં ડાબીથી જમણી બાજુ તરફ જતાં પરમાણ્વીય ત્રિજ્યાનું મૂલ્ય ઘટતું જાય છે. ધનાયનનું કદ તેના જનક પરમાણુથી નાનું હોય છે. સમઇલેક્ટ્રોનીય સ્પીસિઝમાં વધારે કેન્દ્રીય વીજભાર ધરાવનાર સ્પીસિઝની ત્રિજ્યા નાની હોય છે.

આમ, મહત્તમ ત્રિજ્યાવાળી સ્પીસિઝ Mg તથા ન્યૂનતમ ત્રિજ્યાવાળી સ્પીસિઝ Al<sup>3+</sup> થશે.

### (c) આયનીકરણ એન્થાલ્પી (Ionization Enthalpy)

તત્ત્વોની ઇલેક્ટ્રોન ગુમાવવાની વૃત્તિના જથ્થાત્મક માપને આયનીકરણ એન્થાલ્પી વડે દર્શાવાય છે. ધરાવવામાં રહેલા મુક્ત વાયુમય તટસ્થ પરમાણુ(X)માંથી એક ઇલેક્ટ્રોન દૂર કરવા માટેની જરૂરી ઊર્જાને આયનીકરણ એન્થાલ્પી કહે છે. બીજા શબ્દોમાં કહીએ તો તત્ત્વ X માટે પ્રથમ આયનીકરણ

\* સમાન સંખ્યામાં પરમાણુઓ, સમાન સંખ્યામાં સંયોજકતા ઇલેક્ટ્રોન અને સમાન બંધારણ ધરાવતી બે કે વધારે સ્પીસિઝમાં સમાવિષ્ટ તત્ત્વો કે જેનો સ્વભાવ ગમે તે હોય.

એન્ટાલ્પી, નીચેના સમીકરણમાં વર્ણવેલ પ્રક્રિયા માટેનો એન્ટાલ્પી ફેરફાર ( $\Delta_f H$ ) છે.

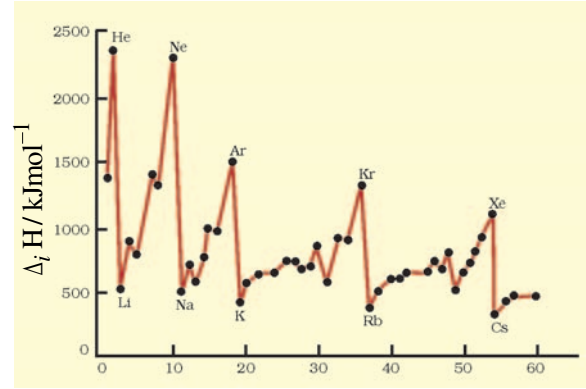


આયનીકરણ એન્ટાલ્પીને  $\text{kJ mol}^{-1}$  એકમમાં દર્શાવાય છે. તત્ત્વમાંથી બીજો સૌથી નિર્ભળ રીતે જોડાયેલો ઇલેક્ટ્રોન દૂર કરવા માટે જરૂરી ઊર્જાને દ્વિતીય આયનીકરણ એન્ટાલ્પી કહે છે. આ એન્ટાલ્પીનું મૂલ્ય રાસાયણિક પ્રક્રિયા (3.2)માં વર્ણવેલ પ્રક્રિયા માટેનો એન્ટાલ્પી ફેરફાર છે.



પરમાણુમાંથી ઇલેક્ટ્રોન દૂર કરવા માટે હંમેશાં ઊર્જાની જરૂર પડે છે. આમ, આયનીકરણ એન્ટાલ્પી હંમેશાં ધન હોય છે. તત્ત્વની દ્વિતીય આયનીકરણ એન્ટાલ્પીનું મૂલ્ય, પ્રથમ આયનીકરણ એન્ટાલ્પી કરતાં વધુ હોય છે. કારણ કે તટસ્થ પરમાણુ કરતાં ધનવીજભારિત આયનમાંથી ઇલેક્ટ્રોનને દૂર કરવો વધુ મુશ્કેલ છે. તે જ રીતે તૃતીય આયનીકરણ એન્ટાલ્પીનું મૂલ્ય દ્વિતીય આયનીકરણ એન્ટાલ્પીના મૂલ્યથી વધારે હોય છે. આમ ત્યાર પછીની આયનીકરણ એન્ટાલ્પીના મૂલ્યો ક્રમશઃ વધતા જાય છે. આયનીકરણ એન્ટાલ્પી વિશે તે કયા સ્તરની છે તેનો નિર્દેશ થયો ન હોય તો તેને પ્રથમ આયનીકરણ એન્ટાલ્પી સમજવી જોઈએ.

આકૃતિ 3.5માં 60 સુધીના પરમાણ્વીય-ક્રમાંકવાળા તત્ત્વો માટે પ્રથમ આયનીકરણ એન્ટાલ્પીના મૂલ્યો આલેખ સ્વરૂપે દર્શાવેલા છે. આલેખમાં આવર્તિતા અનિયમિત છે. આ આકૃતિથી એ સ્પષ્ટ થાય છે કે આલેખમાં આયનીકરણ એન્ટાલ્પીના મહત્તમ મૂલ્યો ઉમદા વાયુ તત્ત્વોના છે, જે ઇલેક્ટ્રોનથી પૂર્ણ ભરાયેલી કક્ષક ધરાવે છે. એટલે કે સ્થાયી ઇલેક્ટ્રોનીય રચના ધરાવે છે. બીજી બાજુ આલેખમાં

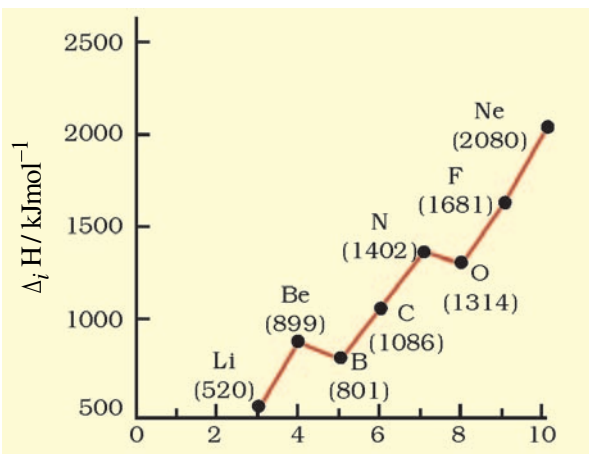


પરમાણ્વીય-ક્રમાંક (Z)

**આકૃતિ 3.5** 1થી 60 સુધીના પરમાણ્વીય-ક્રમાંકવાળા તત્ત્વોમાં પરમાણ્વીય-ક્રમાંકની સાથે પ્રથમ આયનીકરણ એન્ટાલ્પી ( $\Delta_f H$ )માં થતો ફેરફાર

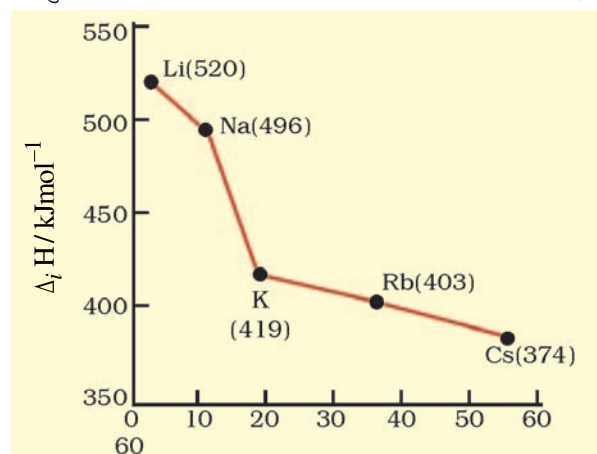
આયનીકરણ એન્ટાલ્પીના ન્યૂનતમ મૂલ્યો આલ્કલી ધાતુઓના છે. આ ધાતુઓના આયનીકરણ એન્ટાલ્પીના મૂલ્યો નીચાં હોય છે, તેથી તેઓ વધુ પ્રતિક્રિયાત્મકતા ધરાવે છે. આ ઉપરાંત તમે બે પ્રકારના વલણો જોઈ શકશો. જેમકે આવર્તમાં ડાબીથી જમણી તરફ જતાં પ્રથમ આયનીકરણ એન્ટાલ્પીનું મૂલ્ય વધે છે, જ્યારે સમૂહમાં ઉપરથી નીચે તરફ જઈએ છીએ ત્યારે પ્રથમ આયનીકરણ એન્ટાલ્પીનું મૂલ્ય ઘટે છે. આ વલણોને આકૃતિ 3.6(a) અને 3.6(b)માં અનુક્રમે બીજા આવર્તના તત્ત્વો માટે અને પ્રથમ સમૂહના તત્ત્વો માટે સારી રીતે સમજાવેલા છે. તમે પણ આ વાતને સમર્થન આપશો કે તત્ત્વોની આયનીકરણ એન્ટાલ્પી અને પરમાણ્વીય ત્રિજ્યા એકબીજા સાથે ગાઢ રીતે સંકળાયેલા ગુણધર્મો છે. આ વલણોને સમજવા માટે આપણે બે બાબતોને ધ્યાનમાં લેવી પડશે :

(i) ઇલેક્ટ્રોનનું કેન્દ્ર તરફનું આકર્ષણ (ii) ઇલેક્ટ્રોન-ઇલેક્ટ્રોન વચ્ચેનું અપાકર્ષણ. તત્ત્વોમાં અંદરની કક્ષામાં આવેલા ઇલેક્ટ્રોન,



પરમાણ્વીય-ક્રમાંક (Z)

3.6 (a)



પરમાણ્વીય-ક્રમાંક (Z)

3.6 (b)

**આકૃતિ 3.6(a)** બીજા આવર્તના તત્ત્વોની પ્રથમ આયનીકરણ એન્ટાલ્પીનું મૂલ્ય ( $\Delta_f H$ ) તેમના પરમાણ્વીય-ક્રમાંકનું (Z) વિધેય છે. **આકૃતિ 3.6(b)** આલ્કલી ધાતુની પ્રથમ આયનીકરણ એન્ટાલ્પીનું મૂલ્ય ( $\Delta_f H$ ) તેમના પરમાણ્વીય-ક્રમાંકનું (Z) વિધેય છે.

કેન્દ્ર અને સંયોજકતા ઇલેક્ટ્રોન વચ્ચે આવેલા હોવાથી તે સંયોજકતા ઇલેક્ટ્રોનને કેન્દ્રથી પરિરક્ષિત (shielded) કે આવરિત (screened) કરે છે. આ અસરને શીલ્ડિંગ (shielding) કે સ્ક્રીનિંગ (screening) અસર કહે છે. શીલ્ડિંગ અસરને કારણે પરમાણુના સંયોજકતા ઇલેક્ટ્રોન માટે અસરકારક કેન્દ્રિય વીજભાર કેન્દ્રમાં રહેલા વાસ્તવિક કેન્દ્રિય વીજભારથી ઓછો થાય છે. દા.ત., લિથિયમની  $2s$  કક્ષકના ઇલેક્ટ્રોન તેની અંદરની કક્ષક  $1s$ ના ઇલેક્ટ્રોન દ્વારા કેન્દ્ર તરફના આકર્ષણ માટે આવરિત થયેલા છે. તેથી લિથિયમના સંયોજકતા ઇલેક્ટ્રોન માટે અસરકારક કેન્દ્રિય વીજભારનું મૂલ્ય વાસ્તવિક કેન્દ્રિય વીજભાર +3 કરતાં ઓછું માલૂમ પડે છે. શીલ્ડિંગ અસરની અસરકારકતા વધારે ત્યારે હોય છે, જ્યારે પરમાણુની આંતરિક કક્ષાઓ સંપૂર્ણ ભરાયેલી હોય. આ પ્રકારની સ્થિતિ આલ્કલી ધાતુઓમાં જોવા મળે છે, જેમાં બાહ્યતમ કક્ષા  $ns$ માં એક જ ઇલેક્ટ્રોન હોય છે અને તેની અંદરની કક્ષામાં ઉમદા વાયુ તત્ત્વની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના હોય છે.

જ્યારે આપણે બીજા આવર્તમાં લિથિયમથી ફ્લોરિન તરફ જઈએ છીએ ત્યારે ક્રમશઃ ઇલેક્ટ્રોન એક જ મુખ્ય શક્તિ સ્તરમાં જ ઉમેરાતો જાય છે, તથા આંતરિક ભરાયેલી કક્ષા દ્વારા શીલ્ડિંગ અસરમાં એટલો વધારો નથી થતો કે તે ઇલેક્ટ્રોનના કેન્દ્ર તરફના વધતા આકર્ષણને સરભર કરી શકે. આવી પરિસ્થિતિમાં અસરકારક કેન્દ્રિય વીજભાર દ્વારા બાહ્યતમ ઇલેક્ટ્રોન પર લાગુ પડતી આકર્ષણ અસર તેના પર લાગુ પડતી શીલ્ડિંગ અસર કરતાં વધી જાય છે. તેથી બાહ્યતમ ઇલેક્ટ્રોન વધુ મજબૂતાઈથી બંધાયેલા રહે છે. આમ, આવર્તમાં ડાબીથી જમણી તરફ આગળ વધતા તત્ત્વોની આયનીકરણ એન્ટાલ્પીના મૂલ્યમાં વધારો થાય છે. તે જ રીતે સમૂહમાં ઉપરથી નીચે તરફ જતાં બાહ્યતમ ઇલેક્ટ્રોન કેન્દ્રથી વધુ દૂર જતાં જાય છે તથા આંતરિક ઇલેક્ટ્રોનના કારણે કેન્દ્ર પર શીલ્ડિંગ અસર વધુ હોય છે. આવી પરિસ્થિતિમાં સમૂહમાં ઉપરથી નીચે તરફ જતાં અસરકારક કેન્દ્રિય વીજભારની સરખામણીમાં શીલ્ડિંગ અસર વધુ મહત્ત્વની બની જાય છે. તેથી બાહ્યતમ ઇલેક્ટ્રોનને દૂર કરવા માટે ઓછી ઊર્જાની જરૂર પડે છે. આમ, સમૂહમાં ઉપરથી નીચેની તરફ જતાં આયનીકરણ એન્ટાલ્પીનું મૂલ્ય ઘટતું જાય છે.

આકૃતિ 3.6(a) પરથી તમે જાણી શકશો કે બોરોનનો અસરકારક કેન્દ્રિય વીજભાર વધારે છે. તેમ છતાં બોરોન ( $Z = 5$ )ની પ્રથમ આયનીકરણ એન્ટાલ્પીનું મૂલ્ય બેરિલિયમ ( $Z = 4$ )ની પ્રથમ આયનીકરણ એન્ટાલ્પીના મૂલ્ય કરતાં થોડું ઓછું છે. જ્યારે આપણે એક જ મુખ્ય શક્તિ સ્તરનો વિચાર કરીએ તો  $s$ -ઇલેક્ટ્રોન,  $p$ -ઇલેક્ટ્રોનની સરખામણીમાં કેન્દ્ર તરફ વધુ આકર્ષાય છે. બેરિલિયમમાં આયનીકરણથી દૂર કરવાનો થતો ઇલેક્ટ્રોન  $s$ -ઇલેક્ટ્રોન છે, જ્યારે બોરોનમાં આયનીકરણથી

દૂર કરવાનો થતો ઇલેક્ટ્રોન  $p$ -ઇલેક્ટ્રોન છે. કેન્દ્ર તરફ  $2s$ -ઇલેક્ટ્રોન,  $2p$ -ઇલેક્ટ્રોન કરતાં વધુ આકર્ષાયેલા હોય છે. આમ, બોરોનના  $2p$ -ઇલેક્ટ્રોન બેરિલિયમના  $2s$ -ઇલેક્ટ્રોનની સરખામણીમાં આંતરિક કક્ષાઓ દ્વારા વધુ શીલ્ડિંગ અસર અનુભવે છે. તેથી બેરિલિયમના  $2s$ -ઇલેક્ટ્રોનની સરખામણીમાં બોરોનના  $2p$ -ઇલેક્ટ્રોન વધુ સરળતાથી દૂર થઈ શકે છે. આમ, બેરિલિયમની સરખામણીમાં બોરોનની પ્રથમ આયનીકરણ એન્ટાલ્પીનું મૂલ્ય ઓછું છે. બીજી અનિયમિતતા આપણને ઓક્સિજન તથા નાઈટ્રોજનની પ્રથમ આયનીકરણ એન્ટાલ્પીના મૂલ્યોમાં જોવા મળે છે. ઓક્સિજનની પ્રથમ આયનીકરણ એન્ટાલ્પીનું મૂલ્ય નાઈટ્રોજનની પ્રથમ આયનીકરણ એન્ટાલ્પીના મૂલ્ય કરતાં ઓછું છે. આમ થવાનું કારણ એ છે કે નાઈટ્રોજનના ત્રણેય બાહ્યતમ  $2p$ -ઇલેક્ટ્રોન જુદી જુદી  $p$ -કક્ષકોમાં વિતરિત થયેલા છે (હુંડના નિયમ મુજબ). જ્યારે ઓક્સિજનના ચારેય  $2p$ -ઇલેક્ટ્રોનમાંથી બે ઇલેક્ટ્રોન એક જ  $2p$ -કક્ષકમાં ભરાય છે. તેથી ઇલેક્ટ્રોન-ઇલેક્ટ્રોન અપાકર્ષણ વધી જાય છે. પરિણામે નાઈટ્રોજનના ત્રણ  $2p$ -ઇલેક્ટ્રોનમાંથી એક ઇલેક્ટ્રોન દૂર કરવા કરતા ઓક્સિજનના ચાર  $2p$ -ઇલેક્ટ્રોનમાંથી ચોથો ઇલેક્ટ્રોન દૂર કરવો વધુ સરળ છે.

### કોયડો 3.6

ત્રીજા આવર્તના તત્ત્વો Na, Mg અને Si ની પ્રથમ આયનીકરણ એન્ટાલ્પી  $\Delta_f H$ નું મૂલ્ય ક્રમશઃ 496, 737 અને 786 kJ mol<sup>-1</sup> છે. અનુમાન કરો કે એલ્યુમિનિયમની પ્રથમ  $\Delta_f H$ નું મૂલ્ય 575 કે 760 kJ mol<sup>-1</sup> માંથી કોની વધુ નજીક હશે ? તમારા ઉત્તરનું વાજબીપણું ચર્ચો.

ઉકેલ :

તે 575 kJ mol<sup>-1</sup>ની વધુ નજીક હશે. એલ્યુમિનિયમનું મૂલ્ય, મેનેશિયમના મૂલ્યથી ઓછું હોવું જોઈએ. કારણ કે કેન્દ્રથી  $3p$ -ઇલેક્ટ્રોન  $3s$ -ઇલેક્ટ્રોન દ્વારા શીલ્ડિંગ અસર અનુભવે છે.

### (d) ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્તિ એન્ટાલ્પી (Electron Gain Enthalpy)

જ્યારે વાયુરૂપ તટસ્થ પરમાણુમાં (X) એક ઇલેક્ટ્રોન દાખલ થઈને ઋણ આયન બને છે ત્યારે થતાં એન્ટાલ્પી ફેરફારને ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્તિ એન્ટાલ્પી ( $\Delta_{eg} H$ ) કહે છે. સમીકરણ 3.3માં દર્શાવ્યા મુજબ આ એન્ટાલ્પી તે મૂલ્ય દર્શાવે છે કે પરમાણુ કેટલી સરળતાથી ઇલેક્ટ્રોન સ્વીકારીને ઋણ આયન બની શકે છે.



પરમાણુ દ્વારા ઇલેક્ટ્રોન ગ્રહણ કરવાની પ્રક્રિયા ઉષ્માક્ષેપક હશે કે ઉષ્માશોષક હશે તે તત્ત્વના સ્વભાવ પર આધાર રાખે છે. ઘણા તત્ત્વ જ્યારે ઇલેક્ટ્રોન ગ્રહણ કરે છે ત્યારે ઊર્જા મુક્ત થાય



કોષ્ટક 3.7 કેટલાંક પ્રતિનિધિ તત્ત્વોનાં ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્તિ એન્ટાલ્પીના મૂલ્યો\* (kJ mol<sup>-1</sup>)

સમૂહ 1	$\Delta_{eg}H$	સમૂહ 16	$\Delta_{eg}H$	સમૂહ 17	$\Delta_{eg}H$	સમૂહ 0	$\Delta_{eg}H$
H	-73					He	+48
Li	-60	O	-141	F	-328	Ne	+116
Na	-53	S	-200	Cl	-349	Ar	+96
K	-48	Se	-195	Br	-325	Kr	+96
Rb	-47	Te	-190	I	-295	Xe	+77
Cs	-46	Po	-174	At	-270	Rn	+68

છે. આવી અવસ્થામાં ઇલેક્ટ્રોનપ્રાપ્તિ એન્ટાલ્પી ઋણ હોય છે. દા.ત., સમૂહ 17ના તત્ત્વો(હેલોજન)ની ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્તિ એન્ટાલ્પીનું મૂલ્ય ઘણું વધારે ઋણ હોય છે. તેનું કારણ એ છે કે તેઓ માત્ર એક જ ઇલેક્ટ્રોન સ્વીકારીને સ્થાયી ઉમદા વાયુ તત્ત્વની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના પ્રાપ્ત કરે છે. આ જ પ્રમાણે ઉમદા વાયુ તત્ત્વોની ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્તિ એન્ટાલ્પીનું મૂલ્ય ઘણું વધારે ધન હોય છે. કારણ કે નવો ઇલેક્ટ્રોન દાખલ થાય છે ત્યારે તેને હાલના મુખ્ય શક્તિસ્તર કરતાં પછીના મુખ્ય શક્તિસ્તરમાં પ્રવેશવું પડે છે, જે વધુ અસ્થાયી ઇલેક્ટ્રોનીય રચના હોય છે. અહીં નોંધનીય છે કે આવર્તકોષ્ટકમાં ઉમદા વાયુ તત્ત્વોની અગાઉ જમણી બાજુ ઉપરની તરફ ગોઠવાયેલા તત્ત્વો માટે ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્તિ એન્ટાલ્પીનું મૂલ્ય ઘણું વધારે ઋણ હોય છે.

આયનીકરણ એન્ટાલ્પીની સરખામણીમાં ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્તિ એન્ટાલ્પીમાં પરિવર્તનનો ક્રમ ઓછો નિયમિત છે. સામાન્ય નિયમ મુજબ આવર્તકોષ્ટકમાં આવર્તમાં જ્યારે ડાબીથી જમણી તરફ જઈએ ત્યારે વધતા જતા પરમાણ્વીય-ક્રમાંકની સાથે ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્તિ એન્ટાલ્પી વધુ ઋણ થતી જાય છે. આવર્તમાં ડાબીથી જમણી તરફ જતા અસરકારક કેન્દ્રિય વીજભારમાં વધારો થાય છે. તેથી નાના પરમાણુમાં ઇલેક્ટ્રોન જોડાવાનું સરળ બને છે. કારણ કે દાખલ થયેલો ઇલેક્ટ્રોન ધનવીજભારિત કેન્દ્રની નજીક હોય છે. સમૂહમાં ઉપરથી નીચે તરફ જતાં ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્તિ એન્ટાલ્પીનું મૂલ્ય ઓછું ઋણ થતું જાય છે. કારણ કે પરમાણ્વીય કદ વધે છે અને દાખલ થયેલો ઇલેક્ટ્રોન કેન્દ્રથી દૂર હોય છે. સામાન્ય રીતે આવર્તકોષ્ટકમાં આ પ્રકારનું વલણ જોવા મળે છે (કોષ્ટક 3.7). અહીં એ નોંધવા જેવું છે કે ઓક્સિજન અને ફ્લોરિનની ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્તિ એન્ટાલ્પીનું મૂલ્ય તેમના સમૂહમાં તેમની પછી આવેલા તત્ત્વો કરતાં ઓછું ઋણ

જોવા મળે છે. આમ થવાનું કારણ જ્યારે ઓક્સિજન અને ફ્લોરિનમાં ઇલેક્ટ્રોન પ્રવેશે ત્યારે ઉમેરાયેલ ઇલેક્ટ્રોન નીચા શક્તિ સ્તર ( $n = 2$ )માં જાય છે. જ્યાં તેનું અગાઉથી હાજર રહેલા ઇલેક્ટ્રોન સાથે વિશેષ અપાકર્ષણ થાય છે, જ્યારે ઊંચા શક્તિસ્તરમાં ( $n = 3$ ) (S અથવા Cl માટે) પ્રવેશેલ ઇલેક્ટ્રોનને અવકાશમાં મોટો વિસ્તાર મળે છે, તેથી ત્યાં ઇલેક્ટ્રોન-ઇલેક્ટ્રોન વચ્ચે અપાકર્ષણ ઘણું ઓછું હોય છે.

## કોયડો 3.7

P, S, Cl અને F માં કોની ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્તિ એન્ટાલ્પીનું મૂલ્ય સૌથી વધુ ઋણ અને કોનું સૌથી ઓછું ઋણ હશે ? સમજાવો.

## ઉકેલ :

આવર્તમાં ડાબીથી જમણી તરફ જતાં ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્તિ એન્ટાલ્પી વધુ ઋણ તથા સમૂહમાં ઉપરથી નીચે તરફ જતા ઓછી ઋણ જોવા મળે છે.  $3p$ -કક્ષકમાં ઇલેક્ટ્રોન ઉમેરાય છે, તેના કરતાં  $2p$ -કક્ષકમાં ઇલેક્ટ્રોન ઉમેરાય છે ત્યારે ઇલેક્ટ્રોન-ઇલેક્ટ્રોન વચ્ચેનું અપાકર્ષણ વધુ જોવા મળે છે. તેથી ક્લોરિનની ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્તિ એન્ટાલ્પીનું મૂલ્ય સૌથી વધુ ઋણ હશે અને ફોસ્ફરસની ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્તિ એન્ટાલ્પીનું મૂલ્ય સૌથી ઓછું ઋણ હશે.

## (e) વિદ્યુતઋણતા (Electronegativity)

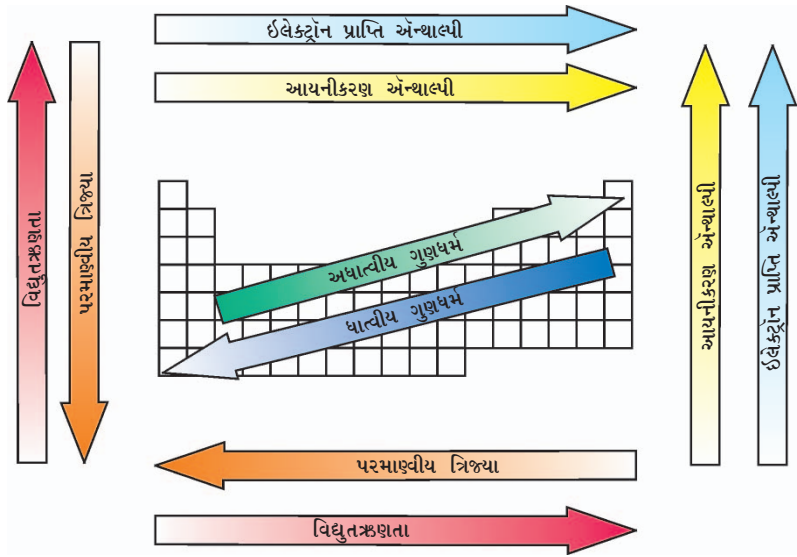
રાસાયણિક સંયોજનમાં સહસંયોજક બંધના ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મને પોતાની તરફ આકર્ષિત કરવાની પરમાણુની ક્ષમતાના ગુણાત્મક માપને વિદ્યુતઋણતા કહે છે. વિદ્યુતઋણતાને આયનીકરણ એન્ટાલ્પી અને ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્તિ એન્ટાલ્પીની જેમ માપી શકાતી નથી. તેમ છતાં તત્ત્વની વિદ્યુતઋણતા

\* ઘણા પુસ્તકોમાં રાસાયણિક પ્રક્રિયા 3.3માં દર્શાવેલા એન્ટાલ્પી ફેરફારના ઋણ મૂલ્યને ઇલેક્ટ્રોન બંધુતા (Electron Affinity) ( $A_e$ ) સ્વરૂપે વ્યાખ્યાયિત કરવામાં આવ્યું છે. પરમાણુ દ્વારા ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્ત થવાને કારણે જ્યારે ઊર્જા મુક્ત થાય છે ત્યારે ઇલેક્ટ્રોન બંધુતાને ધન સ્વરૂપે દર્શાવવામાં આવે છે જે ઉષ્માગતિશાસ્ત્રની પ્રણાલિકા વિરુદ્ધ છે. જો કોઈ પરમાણુને ઇલેક્ટ્રોન આપવા માટે બહારથી ઊર્જા આપવી પડે છે, ત્યારે ઇલેક્ટ્રોન બંધુતાને ઋણ મૂલ્ય તરીકે દર્શાવાય છે. ઇલેક્ટ્રોન બંધુતાને નિરપેક્ષ શૂન્ય પર વ્યાખ્યાયિત કરવામાં આવે છે. તેથી કોઈ પણ તાપમાને (T) પ્રક્રિયાકો અને નીપજનો ઉષ્માક્ષમતા માટે  $\Delta_{eg}H = -A_e - 5/2 RT$ ને ગણતરીમાં લેવામાં આવે છે.

માટે ઘણા સંખ્યાદર્શક માપકમ વિકસેલા છે. દા.ત., પાઉલિંગ માપકમ (Pauling scale), મુલિકન-જાફે માપકમ (Mulliken-Jaffe Scale) અને ઓલરેડ-રોચોવ માપકમ (Allred-Rochow Scale) વગેરે. તે પૈકીનો પાઉલિંગ માપકમ વ્યાપક રીતે વપરાય છે. 1922માં અમેરિકન વૈજ્ઞાનિક પાઉલિંગે ફ્લોરિનને ઇલેક્ટ્રોન આકર્ષવાની સૌથી વધુ ક્ષમતાવાળું ગણી, પોતાની રીતે ફ્લોરિનની વિદ્યુત્ક્રમણતાનું મૂલ્ય 4.0 સૂચવ્યું હતું. કેટલાક તત્ત્વોની વિદ્યુત્ક્રમણતાના મૂલ્યો કોષ્ટક 3.8(a)માં દર્શાવ્યા છે.

વિદ્યુત્ક્રમણતા કોઈ આપેલા તત્ત્વ માટે અચળ હોતી નથી; તેનું મૂલ્ય એ બાબત પર આધાર રાખે છે કે તે બીજા કયા તત્ત્વ સાથે જોડાયેલું છે. જોકે આ માપી શકાય તેવી રાશિ નથી, તેમ છતાં બે પરમાણુઓ એકબીજા સાથે કેવા પ્રકારના બળથી જોડાયેલા હોય છે તેની આગાહી કરવામાં મદદરૂપ થાય છે, જે અંગે તમે આગળ ઉપર જાણશો.

સામાન્ય રીતે વિદ્યુત્ક્રમણતા આવર્તકોષ્ટકમાં આવર્તમાં ડાબીથી જમણી બાજુ તરફ જતા (લિથિયમથી ફ્લોરિન તરફ) વધે છે તથા સમૂહમાં ઉપરથી નીચે તરફ જતા (ફ્લોરિનથી એસ્ટેટાઈન તરફ) ઘટે છે. આ વલણને કેવી રીતે સમજાવી શકાય ?



આકૃતિ 3.7 આવર્તકોષ્ટકમાં તત્ત્વોના આવર્તી વલણો

કોષ્ટક 3.8(a) આવર્તમાં વિદ્યુત્ક્રમણતાનું મૂલ્ય (પાઉલિંગ માપકમ મુજબ)

પરમાણુ (આવર્ત II)	Li	Be	B	C	N	O	F
વિદ્યુત્ક્રમણતા	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
પરમાણુ (આવર્ત III)	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl
વિદ્યુત્ક્રમણતા	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.5	3.0

કોષ્ટક 3.8(b) સમૂહમાં વિદ્યુત્ક્રમણતાનું મૂલ્ય (પાઉલિંગ માપકમ મુજબ)

પરમાણુ (સમૂહ I)	વિદ્યુત્ક્રમણતા મૂલ્ય	પરમાણુ (સમૂહ 17)	વિદ્યુત્ક્રમણતા મૂલ્ય
Li	1.0	F	4.0
Na	0.9	Cl	3.0
K	0.8	Br	2.8
Rb	0.8	I	2.5
Cs	0.7	At	2.2

વિદ્યુતઋણતા અને પરમાણ્વીય ત્રિજ્યા વચ્ચેના સંબંધ જાણ્યા બાદ શું તમે વિદ્યુતઋણતા અને અધાતુઓ વચ્ચેના સંબંધની કલ્પના કરી શકો છો ?

અધાતુ તત્ત્વોમાં ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્તિનું વલણ પ્રબળ હોય છે. તેથી વિદ્યુતઋણતાનો સીધો સંબંધ તત્ત્વોના અધાત્વીય ગુણધર્મો સાથે છે. બીજા શબ્દોમાં કહીએ તો વિદ્યુતઋણતાનો વ્યસ્ત સંબંધ તત્ત્વોના ધાત્વીય ગુણધર્મો સાથે છે. આમ, આવર્તકોષ્ટકમાં આવર્તમાં તત્ત્વોની વિદ્યુતઋણતા વધવાની સાથે તત્ત્વોનો અધાત્વીય ગુણધર્મ વધે છે (ધાત્વીય ગુણધર્મ ઘટે છે). તે જ પ્રમાણે સમૂહમાં ઉપરથી નીચે તરફ જતાં તત્ત્વોની વિદ્યુતઋણતા ઘટવાની સાથે તત્ત્વોનો અધાત્વીય ગુણધર્મ ઘટે છે (ધાત્વીય ગુણધર્મ વધે છે).

આ બધા આવર્તી વલણોને આકૃતિ 3.7માં સંક્ષિપ્ત સ્વરૂપે દર્શાવ્યા છે.

### 3.7.2 રાસાયણિક ગુણધર્મોમાં આવર્તી વલણ (Periodic Trends in Chemical Properties)

તત્ત્વોના રાસાયણિક ગુણધર્મોમાં મોટા ભાગના આવર્તી વલણો જેવા કે વિકર્ણિય સંબંધ, નિષ્ક્રિય યુગ્મ અસર, લેન્થેનોઈડ સંકોચનની અસરો વગેરે પછીના એકમોમાં જે-તે સમૂહની ચર્ચામાં સમજાવેલા છે. અહીં આપણે તત્ત્વોની સંયોજકતામાં આવર્તિતા તથા બીજા આવર્તમાં (લિથિયમથી ફ્લોરિન સુધી) અસામાન્ય ગુણધર્મોનો અભ્યાસ કરીશું.

#### (a) સંયોજકતા અથવા ઓક્સિડેશન અવસ્થાની આવર્તિતા (Periodicity of Valence or Oxidation States)

સંયોજકતા તત્ત્વનો અતિલાક્ષણિક ગુણધર્મ છે, જે તત્ત્વની ઇલેક્ટ્રોનીય રચનાના આધારે વધુ સરળતાથી સમજી શકાય છે. પ્રતિનિધિ તત્ત્વોની સંયોજકતા સામાન્ય રીતે (જો કે આવશ્યક નથી) બાહ્યતમ કક્ષામાં રહેલા ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા જેટલી અથવા ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યાને 8માંથી બાદ કરતાં મળતી સંખ્યા જેટલી હોય છે જે નીચે દર્શાવેલ છે.

હાલમાં સંયોજકતા માટે ઓક્સિડેશન અવસ્થા શબ્દ ઘણી વાર વપરાય છે. ઓક્સિજન પરમાણુવાળા બે સંયોજનો  $OF_2$  અને  $Na_2O$ ને ધ્યાનમાં લઈએ. આ સંયોજનોમાં રહેલા તત્ત્વોની વિદ્યુતઋણતાનો ક્રમ  $F > O > Na$  છે. ફ્લોરિન પરમાણુની બાહ્યતમ કક્ષાની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના  $2s^2 2p^5$  છે.  $OF_2$  અણુમાં ફ્લોરિનનો પ્રત્યેક પરમાણુ એક ઇલેક્ટ્રોનની ભાગીદારી

ઓક્સિજન પરમાણુ સાથે કરે છે. ફ્લોરિન પરમાણુ વધુ વિદ્યુતઋણમય હોવાથી તેની ઓક્સિડેશન અવસ્થા  $-1$  થાય છે. આ અણુમાં બે ફ્લોરિન પરમાણુઓ છે, ઓક્સિજનની બાહ્યતમ કક્ષાની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના  $2s^2 2p^4$  છે. અહીં ઓક્સિજન પરમાણુ બે ઇલેક્ટ્રોનની ભાગીદારી ફ્લોરિન પરમાણુ સાથે કરે છે. તેથી ઓક્સિજનની ઓક્સિડેશન અવસ્થા  $+2$  છે.  $Na_2O$ માં ઓક્સિજન વધુ વિદ્યુતઋણમય હોવાના કારણે સોડિયમના બે પરમાણુઓ પાસેથી એક-એક એમ બે ઇલેક્ટ્રોન સ્વીકારે છે. તેથી તેની ઓક્સિડેશન અવસ્થા  $-2$  છે, જ્યારે સોડિયમ તેની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના  $3s^1$  માંથી એક ઇલેક્ટ્રોન ગુમાવે છે તેથી તે  $+1$  ઓક્સિડેશન અવસ્થા દર્શાવે છે. ચોક્કસ સંયોજનોમાં રહેલા તત્ત્વની ઓક્સિડેશન અવસ્થા અણુમાં રહેલા અન્ય પરમાણુઓની વિદ્યુતઋણતાને અનુરૂપ પરમાણુઓએ પ્રાપ્ત કરેલ વીજભાર છે.

#### કોષ્ટક 3.8

આવર્તકોષ્ટકનો ઉપયોગ કરી નીચે જણાવેલ જોડીમાં દર્શાવેલા તત્ત્વોના સંયોજકતાથી બનતા સંયોજનોના આણ્વીય સૂત્રની આગાહી કરો. (a) સિલિકોન અને બ્રોમિન (b) એલ્યુમિનિયમ અને સલ્ફર.

#### ઉકેલ :

- (a) સિલિકોન આવર્તકોષ્ટકનું 14માં સમૂહનું તત્ત્વ છે. જેની સંયોજકતા 4 છે, જ્યારે બ્રોમિન 17માં સમૂહનો (હેલોજન સમૂહ) સભ્ય છે, જેની સંયોજકતા 1 છે. તેથી બનતા સંયોજનનું આણ્વીય સૂત્ર  $SiBr_4$  હશે.
- (b) એલ્યુમિનિયમ આવર્તકોષ્ટકનું 13માં સમૂહનું તત્ત્વ છે, જેની સંયોજકતા 3 છે, જ્યારે સલ્ફર 16માં સમૂહનું તત્ત્વ છે. જેની સંયોજકતા 2 છે. તેથી બનતા સંયોજનનું આણ્વીય સૂત્ર  $Al_2S_3$  હશે.

તત્ત્વોની સંયોજકતામાં (હાઈડ્રોઈડ અને ઓક્સાઈડ) જોવા મળતાં કેટલાંક આવર્તી વલણો કોષ્ટક 3.9માં દર્શાવેલા છે. તત્ત્વોના રાસાયણિક વર્તનમાં જોવા મળતા આ પ્રકારના આવર્તી વલણોની ચર્ચા આ પુસ્તકમાં અન્યત્ર પણ કરવામાં

સમૂહ	1	2	13	14	15	16	17	18
સંયોજકતા ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા	1	2	3	4	5	6	7	8
સંયોજકતા	1	2	3	4	3,5	2,6	1,7	0,8

કોષ્ટક 3.9 સંયોજનોના સૂત્રોમાં દર્શાવવામાં આવેલા તત્ત્વોની સંયોજકતામાં આવર્તી વલણ

સમૂહ	1	2	13	14	15	16	17
હાઈડ્રાઈડના સૂત્ર	LiH NaH KH	CaH <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> H <sub>6</sub> AlH <sub>3</sub>	CH <sub>4</sub> SiH <sub>4</sub> GeH <sub>4</sub> SnH <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub> PH <sub>3</sub> AsH <sub>3</sub> SbH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O H <sub>2</sub> S H <sub>2</sub> Se H <sub>2</sub> Te	HF HCl HBr HI
ઓક્સાઈડના સૂત્ર	Li <sub>2</sub> O Na <sub>2</sub> O K <sub>2</sub> O	MgO CaO SrO BaO	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> In <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub> SiO <sub>2</sub> GeO <sub>2</sub> SnO <sub>2</sub> PbO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> P <sub>4</sub> O <sub>6</sub> , P <sub>4</sub> O <sub>10</sub> As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , As <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Sb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –	SO <sub>3</sub> SeO <sub>3</sub> TeO <sub>3</sub> –	– Cl <sub>2</sub> O <sub>7</sub> – –

આવી છે. કેટલાક તત્ત્વો એવા છે કે જે જુદી જુદી સંયોજકતા દર્શાવે છે. જુદી જુદી સંયોજકતા સંક્રાંતિ તત્ત્વો અને એક્ટિનોઈડ તત્ત્વોનો વિશિષ્ટ ગુણધર્મ છે જેનો અભ્યાસ આપણે બાદમાં કરીશું.

(b) દ્વિતીય આવર્તના તત્ત્વોના અનિયમિત (વિસંગત) ગુણધર્મો (Anomalous Properties of Second Period Elements)

દરેક સમૂહના પ્રથમ તત્ત્વ સમૂહ 1 (લિથિયમ), સમૂહ 2 (બેરિલિયમ) અને સમૂહ 13-17 (બોરોનથી ફ્લોરિન) પોતાના સમૂહના અન્ય સભ્યોથી અનેક બાબતોમાં જુદા પડે છે. દા.ત., લિથિયમ, અન્ય આલ્કલી ધાતુઓથી તથા બેરિલિયમ, અન્ય આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓથી જુદા સંયોજનો (સહસંયોજક) બનાવે છે, જ્યારે અન્ય સભ્યો મુખ્યત્વે આયનીય સંયોજનો બનાવે છે. વાસ્તવમાં લિથિયમ અને બેરિલિયમ તે પછીના સમૂહના બીજા ક્રમના તત્ત્વ એટલે કે અનુક્રમે મેગ્નેશિયમ અને

એલ્યુમિનિયમ સાથે વધુ સામ્યતા ધરાવે છે. આવર્તી ગુણધર્મોમાં જોવા મળતી આ પ્રકારની સામ્યતાને 'વિકર્ણ સંબંધ' તરીકે ઓળખવામાં આવે છે.

s- અને p-વિભાગના તત્ત્વોમાં સમૂહના અન્ય તત્ત્વોની સરખામણીમાં પ્રથમ ક્રમના તત્ત્વની રાસાયણિક વર્તણૂક જુદી પડવાના કારણ શું હોઈ શકે ? આ તત્ત્વોની અનિયમિત વર્તણૂકનું કારણ તેઓનું નાનું કદ, ઊંચો વીજભાર/ત્રિજ્યા ગુણોત્તર અને વધુ વિદ્યુતઋણતા છે. વધુમાં સમૂહમાં પ્રથમ સભ્ય માટે માત્ર ચાર સંયોજકતા કક્ષકો (2s અને 2p) બંધ બનાવવા માટે પ્રાપ્ય હોય છે, જ્યારે સમૂહોના બીજા ક્રમના સભ્ય માટે 9 સંયોજકતા કક્ષકો (3s, 3p, 3d) પ્રાપ્ય હોય છે. પરિણામે દરેક સમૂહના પ્રથમ સભ્ય માટે મહત્તમ ચાર સહસંયોજકતા હોય છે. (દા.ત., બોરોન માત્ર [BF<sub>4</sub>]<sup>-</sup> બનાવી શકે છે, જ્યારે સમૂહના અન્ય સભ્યો પોતાના સંયોજકતા કોશમાં ચાર કરતા વધારે ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મોને

સમાવી શકે છે. દા.ત., એલ્યુમિનિયમ [AlF<sub>6</sub>]<sup>3-</sup> બનાવે છે). વિશેષમાં p-વિભાગના તત્ત્વોમાં સમૂહોના પ્રથમ સભ્ય પોતાની સાથે (દા.ત., C = C, C ≡ C, N = N, N ≡ N) તેમજ દ્વિતીય આવર્તના અન્ય સભ્યો સાથે (દા.ત., C = O, C = N, C ≡ N, N = O) p<sub>π</sub>-p<sub>π</sub> બંધ બનાવવાની પ્રબળ ક્ષમતા ધરાવે છે. જ્યારે સમૂહોના અન્ય તત્ત્વો આવું કરી શકતા નથી.

ગુણધર્મો	તત્ત્વ		
ધાત્વીય ત્રિજ્યા M/ pm	<b>Li</b> 152 <b>Na</b> 186	<b>Be</b> 111 <b>Mg</b> 160	<b>B</b> 88 <b>Al</b> 143
આયનીય ત્રિજ્યા M <sup>+</sup> / pm	<b>Li</b> 76 <b>Na</b> 102	<b>Be</b> 31 <b>Mg</b> 72	

**કોયડો 3.9**

શું  $[AlCl(H_2O)_5]^{2+}$  માં Alની ઓક્સિડેશન અવસ્થા અને સહસંયોજકતા સમાન છે ?

ઉકેલ :

ના. Alની ઓક્સિડેશન અવસ્થા +3 અને સહસંયોજકતા 6 છે.

### 3.7.3 આવર્તી વલણ અને રાસાયણિક પ્રતિક્રિયાત્મકતા (Periodic Trends and Chemical Reactivity)

આપણે કેટલાક મૂળભૂત ગુણધર્મો જેવા કે પરમાણ્વીય ત્રિજ્યા, આયનીય ત્રિજ્યા, આયનીકરણ એન્થાલ્પી, ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્તિ એન્થાલ્પી અને સંયોજકતા વગેરેમાં આવર્તિવલણોનો અભ્યાસ કર્યો છે. અત્યાર સુધી આપણે તે જાણતા હતા કે આવર્તિતાને ઇલેક્ટ્રોનીય રચના સાથે સંબંધ છે એટલે કે ભૌતિક અને રાસાયણિક ગુણધર્મ તત્ત્વોની ઇલેક્ટ્રોનીય રચનાની અભિવ્યક્તિ છે. હવે આપણે તત્ત્વોના આ મૂળભૂત ગુણધર્મો અને તેમની પ્રતિક્રિયાત્મકતા વચ્ચેનો સંબંધ શોધવાનો પ્રયત્ન કરીશું.

આપણે જાણીએ છીએ કે આવર્તમાં ડાબીથી જમણી તરફ જતાં પરમાણ્વીય ત્રિજ્યા અને આયનીય ત્રિજ્યા ઘટતી જાય છે. પરિણામે આવર્તમાં આયનીકરણ એન્થાલ્પીનું મૂલ્ય સામાન્ય રીતે વધતું જાય છે (કેટલાક અપવાદોને છોડીને, જેનું વર્ણન મુદ્દા નં. 3.7.1(a)માં કર્યું છે) તથા ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્તિ એન્થાલ્પી વધુ ઋણ બનતી જાય છે. બીજા શબ્દોમાં કહીએ તો આવર્તમાં સૌથી ડાબી બાજુ રહેલા તત્ત્વની આયનીકરણ એન્થાલ્પી સૌથી ઓછી અને જમણી બાજુ રહેલા તત્ત્વની ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્તિ એન્થાલ્પી સૌથી વધુ ઋણ છે. (નોંધ : ઉમદા વાયુ તત્ત્વોમાં કક્ષા સંપૂર્ણ ભરાયેલી હોય છે. તેથી તેમની ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્તિ એન્થાલ્પીનું મૂલ્ય ધન હોય છે). તેથી આવર્તકોષ્ટકમાં બંને છેડે સૌથી વધુ અને મધ્યમાં સૌથી ઓછી પ્રતિક્રિયાત્મકતા હોય છે. આમ, સૌથી ડાબી બાજુના તત્ત્વો (આલ્કલી ધાતુઓ) ઇલેક્ટ્રોન ગુમાવીને ધન આયન બનાવીને મહત્તમ રાસાયણિક પ્રતિક્રિયાત્મકતા દર્શાવે છે અને સૌથી જમણી બાજુના તત્ત્વો (હેલોજન સમૂહ) ઇલેક્ટ્રોન મેળવીને ઋણ આયન બનાવીને મહત્તમ રાસાયણિક પ્રતિક્રિયાત્મકતા દર્શાવે છે. આ ગુણધર્મનો સંબંધ તત્ત્વોની રિડક્શન અને ઓક્સિડેશન વર્તણૂક સાથે કરીશું, જે તમે આગળ ઉપર શીખશો. તત્ત્વના ધાત્વીય અને અધાત્વીય ગુણધર્મ સાથે તેનો સીધો સંબંધ છે. આવર્તમાં

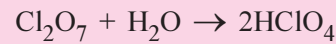
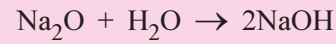
ડાબીથી જમણી તરફ જતા ધાત્વીય ગુણધર્મમાં ઘટાડો અને અધાત્વીય ગુણધર્મમાં વધારો થાય છે. તત્ત્વોની રાસાયણિક પ્રતિક્રિયાત્મકતા તેમની ઓક્સિજન અને હેલોજન સાથે પ્રક્રિયા કરીને દર્શાવી શકાય છે. અહીં આપણે તત્ત્વોની માત્ર ઓક્સિજન સાથે પ્રક્રિયાનો વિચાર કરીશું. આવર્તના બંને છેડે રહેલા તત્ત્વો ઓક્સિજન સાથે સરળતાથી પ્રક્રિયા કરી ઓક્સાઇડ બનાવે છે. સૌથી ડાબી બાજુના તત્ત્વોના સામાન્ય ઓક્સાઇડ સૌથી વધુ બેજિક હોય છે (દા.ત.,  $Na_2O$ ) અને સૌથી જમણી બાજુના તત્ત્વોના ઓક્સાઇડ સૌથી વધુ એસિડિક હોય છે. (દા.ત.,  $Cl_2O_7$ ) તથા મધ્યમાં રહેલા તત્ત્વોના ઓક્સાઇડ ઊભયધર્મી (દા.ત.,  $Al_2O_3$ ,  $As_2O_3$ ) અથવા તટસ્થ (દા.ત.,  $CO$ ,  $NO$ ,  $N_2O$ ) હોય છે. ઊભયધર્મી ઓક્સાઇડ બેઈજ સાથે એસિડિક તરીકે અને એસિડ સાથે બેજિક તરીકે વર્તે છે, જ્યારે તટસ્થ ઓક્સાઇડ એસિડિક કે બેજિક હોતા નથી.

**કોયડો 3.10**

પાણી સાથેની રાસાયણિક પ્રક્રિયાથી દર્શાવો કે  $Na_2O$  બેજિક ઓક્સાઇડ અને  $Cl_2O_7$  એસિડિક ઓક્સાઇડ છે.

ઉકેલ :

$Na_2O$  પાણી સાથે પ્રક્રિયા કરીને પ્રબળ બેઈજ બનાવે છે જ્યારે  $Cl_2O_7$  પ્રબળ એસિડ બનાવે છે.



તેઓના એસિડિક અને બેજિક સ્વભાવની ગુણાત્મક કસોટી લિટમસ પત્ર દ્વારા થઈ શકે છે.

આવર્તમાં ડાબીથી જમણી તરફ જતા પ્રતિનિધિ તત્ત્વોની સરખામણીમાં સંક્રાંતિ તત્ત્વોની (3d શ્રેણી) પરમાણ્વીય ત્રિજ્યામાં થતો ફેરફાર બહુ જ ઓછો જોવા મળે છે. પરમાણ્વીય ત્રિજ્યામાં થતો ફેરફાર આંતરસંક્રાંતિ તત્ત્વો (4f શ્રેણી)માં તેનાથી પણ ઓછો જોવા મળે છે. સંક્રાંતિ તત્ત્વોની, આયનીકરણ એન્થાલ્પીનું મૂલ્ય s- અને p-વિભાગના તત્ત્વોની વચ્ચેનું છે. તેથી તેઓ સમૂહ 1 અને 2ની ધાતુઓ કરતાં ઓછા વિદ્યુત-ધન છે.

મુખ્ય સમૂહમાં તત્ત્વોના પરમાણ્વીય-ક્રમાંક વધવાની સાથે સામાન્ય રીતે પરમાણ્વીય ત્રિજ્યા અને આયનીય ત્રિજ્યા વધતી જાય છે. પરિણામે ધીરે ધીરે આયનીકરણ એન્થાલ્પી ઘટતી જાય છે અને ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્તિ એન્થાલ્પી નિયમિત રીતે ઘટતી જાય છે. (કેટલાક અપવાદ ત્રીજા આવર્તના તત્ત્વોમાં છે, જેને મુદ્દા

નં. 3.7.1(d)માં દર્શાવેલા છે). આ રીતે સમૂહમાં ઉપરથી નીચે તરફ જતા ધાત્વીય ગુણધર્મ વધે છે અને અધાત્વીય ગુણધર્મ ઘટે છે. આ વલણને તેના રિડક્શન અને ઓક્સિડેશન ગુણધર્મ સાથે

સાંકળી શકાય છે, જેને તમે આગળ ઉપર શીખશો. સંક્રાંતિ તત્ત્વોના વલણ આનાથી ઊલટા છે. તેને આપણે પરમાણ્વીયકદ અને આયનીકરણ એન્ટાલ્પી દ્વારા સમજી શકીએ છીએ.

### સારાંશ

આ એકમમાં તમે આવર્ત નિયમ અને આવર્તકોષ્ટકના વિકાસનો અભ્યાસ કર્યો છે. મેન્ડેલીફ આવર્તકોષ્ટક પરમાણ્વીયભાર પર આધારિત હતું. આધુનિક આવર્તકોષ્ટકમાં તત્ત્વોની ગોઠવણી તેના વધતા જતા પરમાણ્વીય-ક્રમાંકના ક્રમમાં સાત આડી હરોળ (આવર્ત) અને 18 ઊભા સ્તંભોમાં (સમૂહ કે કુટુંબ) કરી છે. આવર્તમાં પરમાણ્વીય-ક્રમાંક ક્રમિક રીતે વધે છે, જ્યારે સમૂહમાં તે ચોક્કસ ભાતમાં (pattern) વધે છે. એક જ સમૂહના તત્ત્વોમાં સમાન સંયોજકતા કોશ ઇલેક્ટ્રોનીય રચના હોય છે. તેથી તેઓ સમાન રાસાયણિક ગુણધર્મો દર્શાવે છે. એક જ આવર્તમાં ડાબીથી જમણી તરફ જતા ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યામાં વધારો થાય છે એટલે કે તેમની સંયોજકતા જુદી જુદી હોય છે. આવર્તકોષ્ટકમાં ઇલેક્ટ્રોનીય રચનાના આધારે ચાર પ્રકારના તત્ત્વોની ઓળખાણ કરવામાં આવી છે. આ તત્ત્વો *s*-વિભાગ તત્ત્વ, *p*-વિભાગ તત્ત્વ, *d*-વિભાગ તત્ત્વ અને *f*-વિભાગ તત્ત્વો તરીકે ઓળખાય છે. હાઇડ્રોજનમાં 1*s* કક્ષકમાં એક ઇલેક્ટ્રોન હોવાના કારણે આવર્તકોષ્ટકમાં તેનું સ્થાન વિશિષ્ટ છે. જાણીતા તત્ત્વો પૈકી 78 % થી વધુ તત્ત્વો ધાતુઓ છે. અધાતુઓની સંખ્યા 20થી ઓછી છે, જે આવર્તકોષ્ટકમાં જમણી બાજુ ઉપરની તરફ ગોઠવાયેલા છે. એવા તત્ત્વો કે જે ધાતુઓ અને અધાતુઓના સીમાવર્તી છે, તેને અર્ધધાતુઓ (semi metals) અથવા ઉપધાતુઓ (metalloids) (દા.ત., Si, Ge, As) કહેવાય છે. સમૂહમાં ઉપરથી નીચે તરફ જતાં તત્ત્વોના ધાત્વીય ગુણધર્મોમાં વધારો થાય છે, જ્યારે આવર્તમાં ડાબીથી જમણી તરફ જતાં ધાત્વીય ગુણધર્મમાં ઘટાડો થાય છે. તત્ત્વોના ભૌતિક અને રાસાયણિક ગુણધર્મ તેમના પરમાણ્વીય-ક્રમાંકના આવર્તનીય છે.

તત્ત્વોના પરમાણ્વીય કદ, આયનીકરણ એન્ટાલ્પી, ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્તિ એન્ટાલ્પી, વિદ્યુતઋણતા તથા સંયોજકતામાં આવર્તી વલણ જોવા મળે છે. પરમાણ્વીય ત્રિજ્યા આવર્તમાં ડાબીથી જમણી તરફ જતા ઘટતી જાય છે અને સમૂહમાં પરમાણ્વીય-ક્રમાંક વધવાની સાથે વધતી જાય છે. આયનીકરણ એન્ટાલ્પી સામાન્ય રીતે આવર્તમાં પરમાણ્વીય-ક્રમાંક વધવાની સાથે વધે છે અને સમૂહમાં ઉપરથી નીચે તરફ જતા ઘટે છે. વિદ્યુતઋણતા પણ આ પ્રકારનું જ વલણ ધરાવે છે. ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્તિ એન્ટાલ્પી સામાન્ય રીતે આવર્તમાં ડાબીથી જમણી તરફ જતા વધુ ઋણ તથા સમૂહમાં ઉપરથી નીચે તરફ જતાં ઓછી ઋણ જોવા મળે છે. સંયોજકતામાં પણ આવર્તી વલણ જોવા મળ્યું છે. ઉદાહરણ તરીકે પ્રતિનિધિ તત્ત્વોની સંયોજકતા સામાન્ય રીતે બાહ્યતમ કક્ષામાં રહેલા ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા જેટલી અથવા ઇલેક્ટ્રોનની આ સંખ્યાને 8માંથી બાદ કરતા મળતી સંખ્યા જેટલી હોય છે. રાસાયણિક પ્રતિક્રિયાત્મકતા આવર્તના બંને છેડે સૌથી વધુ અને મધ્યમાં સૌથી ઓછી હોય છે. આવર્તમાં સૌથી ડાબી બાજુ રાસાયણિક પ્રતિક્રિયાત્મકતા ઇલેક્ટ્રોનને ગુમાવવાની સરળતાના (અથવા નીચી આયનીકરણ એન્ટાલ્પી) કારણે હોય છે. વધુ પ્રતિક્રિયાત્મક તત્ત્વ કુદરતમાં મુક્ત સ્વરૂપે મળતાં નથી. તેઓ સામાન્ય રીતે સંયોજન સ્વરૂપે મળે છે. આવર્તમાં ડાબી બાજુના તત્ત્વો બેઝિક ઓક્સાઇડ બનાવે છે, જ્યારે જમણી બાજુના તત્ત્વો એસિડિક ઓક્સાઇડ બનાવે છે. જે તત્ત્વો મધ્યમાં છે તે ઊભયધર્મી ઓક્સાઇડ કે તટસ્થ ઓક્સાઇડ બનાવે છે.

### સ્વાધ્યાય

- 3.1 આવર્તકોષ્ટકમાં ગોઠવણીનો મુખ્ય આધાર શું છે ?
- 3.2 મેન્ડેલીફે કયા મહત્ત્વપૂર્ણ ગુણધર્મને આધારે તેના આવર્તકોષ્ટકમાં તત્ત્વોનું વર્ગીકરણ કર્યું ? શું તે તેને દૃઢપણે પકડી રાખી શક્યો ?
- 3.3 મેન્ડેલીફના આવર્ત નિયમ અને આધુનિક આવર્ત નિયમમાં પાયાનો તફાવત શું છે ?
- 3.4 ક્વોન્ટમ આંકના આધારે સાબિત કરો કે આવર્તકોષ્ટકના છઠ્ઠા આવર્તમાં 32 તત્ત્વો હોવા જોઈએ.
- 3.5 આવર્ત અને સમૂહની દૃષ્ટિએ  $Z = 114$  વાળા તત્ત્વનું સ્થાન આવર્તકોષ્ટકમાં ક્યાં હશે ?

- 3.6 આવર્તકોષ્ટકમાં ત્રીજા આવર્ત અને 17માં સમૂહમાં આવેલા તત્ત્વનો પરમાણ્વીય-ક્રમાંક લખો.
- 3.7 કયા તત્ત્વનું નામ નીચે જણાવેલા દ્વારા આપવામાં આવ્યું છે ?  
 (i) લોરેન્સ બર્કલે લેબોરેટરી  
 (ii) સીબોર્ગ જૂથ
- 3.8 એક જ સમૂહમાં રહેલા તત્ત્વોના ભૌતિક અને રાસાયણિક ગુણધર્મો શા માટે સમાન હોય છે ?
- 3.9 આયનીય ત્રિજ્યા અને પરમાણ્વીય ત્રિજ્યા અંગે તમારી સમજ શું છે ?
- 3.10 આવર્ત અને સમૂહમાં પરમાણ્વીય ત્રિજ્યા કેવી રીતે બદલાય છે ? આ બદલાવને તમે કેવી રીતે સમજાવશો ?
- 3.11 સમઠલેક્ટ્રોનીય સ્પીસિઝ અંગે તમારી સમજ શું છે ? એક એવી સ્પીસિઝનું નામ લખો કે જે નીચે જણાવેલ પરમાણુઓ કે આયનો સાથે સમઠલેક્ટ્રોનીય હોય.  
 (i)  $F^-$  (ii) Ar (iii)  $Mg^{2+}$  (iv)  $Rb^{2+}$
- 3.12 નીચે જણાવેલ સ્પીસિઝ અંગે વિચાર કરો :  
 $N^{3-}$ ,  $O^{2-}$ ,  $F^-$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{+2}$  અને  $Al^{3+}$   
 (a) તેઓમાં શું સામ્યતા છે ?  
 (b) તેઓને આયનીય ત્રિજ્યાના ચડતા ક્રમમાં ગોઠવો.
- 3.13 ધનાયનની ત્રિજ્યા તેના જનક પરમાણુની ત્રિજ્યા કરતા શા માટે નાની હોય છે અને ઋણ આયનની ત્રિજ્યા તેના જનક પરમાણુની ત્રિજ્યા કરતા શા માટે મોટી હોય છે ? સમજાવો.
- 3.14 આયનીકરણ એન્થાલ્પી અને ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્તિ એન્થાલ્પીને વ્યાખ્યાયિત કરવામાં 'મુક્ત વાયુમય પરમાણુ' અને 'ધરાઅવસ્થા' શબ્દોની સાર્થકતા શું છે ? (સંકેત : તુલના માટે જરૂરિયાત)
- 3.15 હાઈડ્રોજન પરમાણુની ધરાઅવસ્થામાં રહેલા ઇલેક્ટ્રોનની ઊર્જા  $-2.18 \times 10^{18} J$  છે. પરમાણ્વીય હાઈડ્રોજનની આયનીકરણ એન્થાલ્પીનું મૂલ્ય  $J mol^{-1}$  એકમમાં ગણો.  
 [સંકેત : ઉત્તર મેળવવા માટે મોલ સંકલ્પનાનો ઉપયોગ કરો.]
- 3.16 દ્વિતીય આવર્તમાં તત્ત્વોની વાસ્તવિક આયનીકરણ એન્થાલ્પીનો ક્રમ આ પ્રમાણે છે :  
 $Li < B < Be < C < O < N < F < Ne$  સમજાવો કે...  
 (i) Beની  $\Delta_f H$ , Bથી વધારે શા માટે છે ?  
 (ii) Oની  $\Delta_f H$ , N અને Fથી ઓછી શા માટે છે ?
- 3.17 તમે આ તથ્યને કેવી રીતે સમજાવશો કે સોડિયમની પ્રથમ આયનીકરણ એન્થાલ્પીનું મૂલ્ય મેગ્નેશિયમની પ્રથમ આયનીકરણ એન્થાલ્પી મૂલ્ય કરતાં ઓછું છે, પરંતુ સોડિયમની દ્વિતીય આયનીકરણ એન્થાલ્પીનું મૂલ્ય મેગ્નેશિયમની દ્વિતીય આયનીકરણ એન્થાલ્પી મૂલ્ય કરતાં વધુ છે.
- 3.18 સમૂહમાં ઉપરથી નીચે તરફ જઈએ તેમ મુખ્ય સમૂહના તત્ત્વોમાં આયનીકરણ એન્થાલ્પીનું મૂલ્ય કયા પરિબળોને કારણે ઘટે છે ?
- 3.19 સમૂહ 13ના તત્ત્વોની પ્રથમ આયનીકરણ એન્થાલ્પીનું મૂલ્ય નીચે મુજબ છે :  

B	Al	Ga	In	Tl
801	577	579	558	589

 સામાન્ય વલણથી જોવા મળતા આ વિચલનને તમે કેવી રીતે સમજાવશો ?
- 3.20 નીચે દર્શાવેલા તત્ત્વોની જોડમાંથી કયું તત્ત્વ વધુ ઋણ ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્તિ એન્થાલ્પી ધરાવે છે ?  
 (i) O અથવા F (ii) F અથવા Cl
- 3.21 Oની દ્વિતીય ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્તિ એન્થાલ્પી તેની પ્રથમ ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્તિ એન્થાલ્પી કરતાં ધન હશે કે ઋણ હશે કે ઓછી ઋણ હશે તે અંગે તમારી અપેક્ષા શું છે ? તમારા ઉત્તરનું વાજબીપણું ચર્ચો.
- 3.22 ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્તિ એન્થાલ્પી અને વિદ્યુતઋણતા વચ્ચે પાયાનો તફાવત શું છે ?
- 3.23 નાઈટ્રોજનના બધા સંયોજનોમાં નાઈટ્રોજનની વિદ્યુતઋણતા પાઉલિંગ માપક્રમ મુજબ 3.0 હોય છે. આ વિધાન અંગે તમે શું પ્રતિક્રિયા આપશો ?

- 3.24 પરમાણુની ત્રિજ્યા સાથે સંકળાયેલા સિદ્ધાંતોની ચર્ચા કરો :
- (a) જ્યારે પરમાણુ ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્ત કરે છે.
- (b) જ્યારે પરમાણુ ઇલેક્ટ્રોન ગુમાવે છે.
- 3.25 કોઈ તત્ત્વના બે સમસ્થાનિકોની પ્રથમ આયનીકરણ એન્ટાલ્પીનું મૂલ્ય સમાન હશે કે જુદું જુદું, તે અંગે તમારી અપેક્ષા શું છે ? તમારા ઉત્તરનું વાજબીપણું ચર્ચો.
- 3.26 ધાતુઓ અને અધાતુઓ વચ્ચે મુખ્ય તફાવત શું છે ?
- 3.27 આવર્તકોષ્ટકનો ઉપયોગ કરીને નીચેના પ્રશ્નોના ઉત્તર આપો :
- (a) બાહ્યતમ પેટાકોશમાં પાંચ ઇલેક્ટ્રોન હોય તેવા તત્ત્વનું નામ જણાવો.
- (b) બે ઇલેક્ટ્રોન ગુમાવવાનું વલણ ધરાવતા તત્ત્વનું નામ જણાવો.
- (c) બે ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્ત કરવાનું વલણ ધરાવતા તત્ત્વનું નામ જણાવો.
- (d) ધાતુ, અધાતુ તથા ઓરડાના તાપમાને પ્રવાહી તેમજ વાયુ સ્વરૂપના તત્ત્વો ધરાવનાર સમૂહનું નામ જણાવો.
- 3.28 પ્રથમ સમૂહના તત્ત્વો માટે પ્રતિક્રિયાત્મકતાનો ચડતો ક્રમ  $\text{Li} < \text{Na} < \text{K} < \text{Rb} < \text{Cs}$  છે, જ્યારે સત્તરમાં સમૂહના તત્ત્વો માટે પ્રતિક્રિયાત્મકતાનો ચડતો ક્રમ  $\text{F} > \text{Cl} > \text{Br} > \text{I}$  છે સમજાવો.
- 3.29  $s$ -,  $p$ -,  $d$ -,  $f$ -વિભાગના તત્ત્વોની બાહ્યતમ કક્ષાની સામાન્ય ઇલેક્ટ્રોનીય રચના લખો.
- 3.30 નીચે જણાવેલ બાહ્યતમ ઇલેક્ટ્રોનીય રચના ધરાવતા તત્ત્વનું સ્થાન આવર્તકોષ્ટકમાં જણાવો :
- (i)  $ns^2np^4$  જ્યાં  $n = 3$  (ii)  $(n - 1)d^2ns^2$  જ્યાં  $n = 4$  અને
- (iii)  $(n - 2)f^7(n - 1)d^1ns^2$  જ્યાં  $n = 6$
- 3.31 કેટલાક તત્ત્વોની પ્રથમ ( $\Delta_f H_1$ ) અને દ્વિતીય ( $\Delta_f H_2$ ) આયનીકરણ એન્ટાલ્પીના મૂલ્યો ( $\text{kJ mol}^{-1}$ માં) અને ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્તિ એન્ટાલ્પી ( $\Delta_{eg} H$ )ના મૂલ્યો ( $\text{kJ mol}^{-1}$ માં) નીચે આપેલા છે :
- | તત્ત્વ | $\Delta_f H_1$ | $\Delta_f H_2$ | $\Delta_{eg} H$ |
|--------|----------------|----------------|-----------------|
| I      | 520            | 7300           | -60             |
| II     | 419            | 3051           | -48             |
| III    | 1681           | 3374           | -328            |
| IV     | 1008           | 1846           | -295            |
| V      | 2372           | 5251           | +48             |
| VI     | 738            | 1451           | -40             |
- ઉપર જણાવેલા તત્ત્વો પૈકી કયું તત્ત્વ...
- (a) સૌથી ઓછું પ્રતિક્રિયાત્મક તત્ત્વ છે ?
- (b) સૌથી વધુ પ્રતિક્રિયાત્મક ધાતુ છે ?
- (c) સૌથી વધુ પ્રતિક્રિયાત્મક અધાતુ છે ?
- (d) સ્થાયી દ્વિઅંગી (binary) હેલાઈડ સંયોજન કે જેનું સૂત્ર  $\text{MX}_2$  ( $X =$  હેલોજન) છે તેને બનાવનાર ધાતુ છે.
- (e) મુખ્યત્વે સ્થાયી સહસંયોજક હેલાઈડ સંયોજન કે જેનું સૂત્ર  $\text{MX}$  ( $X =$  હેલોજન) છે તેને બનાવનાર ધાતુ છે ?
- 3.32 નીચે જણાવેલા તત્ત્વોની જોડીઓના જોડાણથી બનતા દ્વિઅંગી સંયોજનોના સૂત્રનું અનુમાન કરો :
- (a) લિથિયમ અને ઓક્સિજન (b) મેગ્નેશિયમ અને નાઈટ્રોજન
- (c) એલ્યુમિનિયમ અને આયોડિન (d) સિલિકોન અને ઓક્સિજન
- (e) ફોસ્ફરસ અને ફ્લોરિન (f) 71મું તત્ત્વ અને ફ્લોરિન



- 3.33 આધુનિક આવર્તકોષ્ટકમાં આવર્ત કયા મૂલ્યનું સૂચન કરે છે ?  
 (a) પરમાણ્વીય-ક્રમાંક (b) પરમાણ્વીય દળ  
 (c) મુખ્ય ક્વોન્ટમ આંક (d) કોણીય વેગમાન ક્વોન્ટમ આંક
- 3.34 આધુનિક આવર્તકોષ્ટક માટે નીચેના પૈકી કયું વિધાન ખોટું છે ?  
 (a)  $p$ -વિભાગમાં છ સ્તંભો છે, કારણ કે  $p$ -કોશની બધી કક્ષકો ભરાવા માટે મહત્તમ છ ઇલેક્ટ્રોન જરૂરી બને છે.  
 (b)  $d$ -વિભાગમાં 8 સ્તંભો છે, કારણ કે  $d$ -પેટાકોશની બધી કક્ષકો ભરાવા માટે મહત્તમ 8 ઇલેક્ટ્રોન જરૂરી બને છે.  
 (c) પ્રત્યેક વિભાગમાં સ્તંભોની સંખ્યા, તે પેટાકોશમાં ભરાઈ શકે તેટલા ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા જેટલી હોય છે.  
 (d) વિભાગ, તત્વની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના બનતા સમયે, અંતમાં ભરાનાર ઇલેક્ટ્રોનની પેટાકોશના કોણીય વેગમાન ક્વોન્ટમ આંકનું મૂલ્ય દર્શાવે છે.
- 3.35 જે પરિબળ સંયોજકતા ઇલેક્ટ્રોનને અસર કરે છે તે તત્વના રસાયણવિજ્ઞાનને પણ અસર કરે છે. નીચેના પૈકી કયું પરિબળ સંયોજકતા કોશને અસર કરતું નથી ?  
 (a) સંયોજકતા મુખ્ય ક્વોન્ટમ આંક ( $n$ )  
 (b) કેન્દ્રિય વીજભાર ( $Z$ )  
 (c) કેન્દ્રિય દળ  
 (d) અંતર્ભાગના (core) ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા
- 3.36 સમઇલેક્ટ્રોનીય સ્પીસિઝ  $F^-$ ,  $Ne$  અને  $Na^+$ ના કદ શેનાથી અસર પામે છે ?  
 (a) કેન્દ્રિય વીજભાર ( $Z$ )  
 (b) સંયોજકતા મુખ્ય ક્વોન્ટમ આંક ( $n$ )  
 (c) બાહ્યતમ કક્ષકોમાં ઇલેક્ટ્રોન-ઇલેક્ટ્રોન પારસ્પરિક ક્રિયા  
 (d) ઉપર જણાવેલા પરિબળો પૈકી એકપણ નહિ કારણ કે તેઓના કદ સમાન છે.
- 3.37 આયનીકરણ એન્ટાલ્પી સંદર્ભે નીચેના પૈકી કયું વિધાન ખોટું છે ?  
 (a) ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યામાં ક્રમશઃ વધારો થતા આયનીકરણ એન્ટાલ્પી વધે છે.  
 (b) ઉમદા વાયુ તત્વની ઇલેક્ટ્રોનીય રચનામાંથી ઇલેક્ટ્રોન દૂર કરવામાં આવે છે ત્યારે આયનીકરણ એન્ટાલ્પીનું મૂલ્ય મહત્તમ હોય છે.  
 (c) આયનીકરણ એન્ટાલ્પીના મૂલ્યમાં એકદમ વધારો, સંયોજકતા ઇલેક્ટ્રોનનું દૂર થવાનું સૂચવે છે.  
 (d)  $n$ ના નીચાં મૂલ્યવાળી કક્ષકમાંથી  $n$ ના ઊંચા મૂલ્યવાળી કક્ષક કરતાં સરળતાથી ઇલેક્ટ્રોન દૂર કરી શકાય છે.
- 3.38 B, Al, Mg અને Kના ધાત્વીય ગુણધર્મ માટે નીચેના પૈકી કયો ક્રમ સાચો છે ?  
 (a)  $B > Al > Mg > K$  (b)  $Al > Mg > B > K$   
 (c)  $Mg > Al > K > B$  (d)  $K > Mg > Al > B$
- 3.39 B, C, N, F અને Siના અધાત્વીય ગુણધર્મ માટે નીચેના પૈકી કયો ક્રમ સાચો છે ?  
 (a)  $B > C > Si > N > F$  (b)  $Si > C > B > N > F$   
 (c)  $F > N > C > B > Si$  (d)  $F > N > C > Si > B$
- 3.40 F, Cl, O અને Nના ઓક્સિડેશન ગુણધર્મના સંદર્ભમાં રાસાયણિક પ્રતિક્રિયાત્મકતા માટે નીચેના પૈકી કયો ક્રમ સાચો છે ?  
 (a)  $F > Cl > O > N$  (b)  $F > O > Cl > N$   
 (c)  $Cl > F > O > N$  (d)  $O > F > N > Cl$

## રાસાયણિક બંધન અને આણ્વીય રચના (Chemical Bonding and Molecular Structure)

### હેતુઓ :

આ એકમના અભ્યાસ પછી તમે...

- રાસાયણિક બંધન માટે કોસેલ-લુઈસ અભિગમ સમજી શકશો.
- અષ્ટક નિયમ અને તેની મર્યાદાઓ સમજાવી શકશો. સાદા અણુઓની લુઈસ રચના દોરી શકશો.
- જુદા જુદા પ્રકારના બંધનોની રચના સમજાવી શકશો.
- VSEPR સિદ્ધાંત સમજાવી શકશો અને સાદા અણુઓની ભૂમિતિ વર્ણવી શકશો.
- સહસંયોજક બંધની રચના માટે સંયોજકતા બંધન અભિગમ સમજાવી શકશો.
- સહસંયોજક બંધના દિશામય ગુણધર્મોનું પ્રાકૃત્ય કરી શકશો.
- $s$ ,  $p$  અને  $d$  કક્ષકોને સમાવિષ્ટ કરતાં જુદા જુદા પ્રકારના સંકરણ સમજાવી શકશો અને સાદા સહસંયોજક અણુના આકાર દોરી શકશો.
- સમકેન્દ્રિય દ્વિપરમાણ્વીય અણુઓનો આણ્વીય કક્ષકવાદ વર્ણવી શકશો.
- હાઈડ્રોજન બંધનો ખ્યાલ સમજાવી શકશો.

“વૈજ્ઞાનિકો સતત નવા સંયોજનોની શોધમાં, તેમના વિશેની હકીકતો ક્રમિક રીતે ગોઠવવામાં, અસ્તિત્વ ધરાવતા (હાલમાં પ્રાપ્ત થતા) જ્ઞાન સાથે તેમને સમજાવવાનો પ્રયત્ન કરવામાં નવીન અવલોકિત થયેલી હકીકતોને સમજાવવા માટે અગાઉના મંતવ્યોને સુધારવામાં અથવા નવા સિદ્ધાંતોનો ઉદય કરવાના પ્રયત્નો કરી રહ્યા છે.”

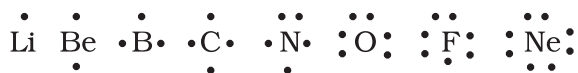
દ્રવ્ય એક અથવા જુદા જુદા પ્રકારના તત્ત્વોનું બનેલું છે. સામાન્ય પરિસ્થિતિમાં ઉમદા વાયુઓ સિવાયનું કોઈ તત્ત્વ કુદરતમાં સ્વતંત્ર રીતે અસ્તિત્વ ધરાવતું જાણવા મળ્યું નથી, છતાં પરમાણુઓનો સમૂહ જે અસ્તિત્વ ધરાવે છે તે લાક્ષણિક ગુણધર્મો ધરાવતી સ્પીસિઝને અથવા પરમાણુના સમૂહને અણુ કહે છે. એ સ્વાભાવિક છે કે આ ઘટક કણોને અણુમાં સાથે બાંધી રાખવા માટે કોઈ બળ હોવું જોઈએ. જુદી જુદી રાસાયણિક સ્પીસિઝમાં જુદા જુદા ઘટકોને (પરમાણુઓ, અણુઓ, આયનો વગેરે) એક સાથે જકડી રાખે છે. તે આકર્ષણ બળને રાસાયણિક બંધન કહે છે. રાસાયણિક સંયોજનોની રચના જુદા જુદા તત્ત્વોના જુદી જુદી રીતે સંયોગીકરણના પરિણામરૂપે હોય છે. આને લીધે ઘણા પ્રશ્નો ઉદ્ભવે છે. પરમાણુઓ શા માટે સંયોજાય છે ? શા માટે અમુક ચોક્કસ સંયોજનો શક્ય છે ? શા માટે અમુક પરમાણુઓ સંયોજાય છે અને બીજા કેટલાક સંયોજાતા નથી ? શા માટે અણુઓ ચોક્કસ આકાર ધરાવે છે. આવા પ્રશ્નોના ઉત્તર માટે સમય અનુસાર જુદા જુદા સિદ્ધાંતો અને ખ્યાલો રજૂ કરવામાં આવેલ છે. જેમાં કોસેલ-લુઈસ અભિગમ, સંયોજકતા કોશ ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ અપાકર્ષણ (VSEPR) સિદ્ધાંત, સંયોજકતા બંધન (VB) વાદ અને આણ્વીય કક્ષક (MO) વાદ વગેરે છે. સંયોજકતાના જુદા જુદા સિદ્ધાંતો અને રાસાયણિક બંધનમાં તેમનું અર્થઘટન વગેરે પરમાણુની રચના, તત્ત્વોની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના અને આવર્ત કોષ્ટકને સમજાવવાના વિકાસ સાથે સંબંધિત છે. દરેક પ્રણાલી વધુ સ્થાયી થવાની વૃત્તિ રાખે છે અને બંધન આ પ્રકારનું પ્રણાલીની શક્તિ ઘટાડવાનું કામ કરે છે અને સ્થાયીતા મેળવે છે.

#### 4.1 રાસાયણિક બંધન અંગેનો કોસેલ-લુઈસ અભિગમ (Kossel-Lewis Approach to Chemical Bonding)

ઇલેક્ટ્રોનના સંદર્ભમાં રાસાયણિક બંધનની રચના સમજાવવા માટે ઘણા પ્રયત્નો થયા હતા. પરંતુ માત્ર 1916માં કોસેલ અને લુઈસ સ્વતંત્ર રીતે સંતોષકારક સમજણ આપવામાં સફળ રહ્યા. તેઓ સૌપ્રથમ હતા જેમણે સંયોજકતા વિશે તર્કબદ્ધ સમજૂતી આપી જે ઉમદા વાયુઓની નિષ્ક્રિયતા પર આધારિત હતી.

લુઈસે પરમાણુને એક ધનભાર ધરાવતા 'કર્નેલ' (Kernel) (કેન્દ્ર વત્તા અંદરના ઇલેક્ટ્રોન) તરીકે ગણ્યું અને જણાવ્યું કે બાહ્ય કોશમાં વધુમાં વધુ આઠ ઇલેક્ટ્રોન સમાઈ શકે. વિશેષમાં એ પણ જણાવ્યું કે આ આઠ ઇલેક્ટ્રોન કર્નેલની આસપાસ સમઘનના આઠેય ખૂણાઓ પર ગોઠવાય છે. આમ, સોડિયમનો બાહ્ય કક્ષાનો ઇલેક્ટ્રોન સમઘનના એક ખૂણા પર ગોઠવાશે. જ્યારે ઉમદા વાયુની બાબતમાં આઠ ઇલેક્ટ્રોન ગોઠવાયેલા હશે. ઇલેક્ટ્રોનનું આ અષ્ટક વિશિષ્ટ રીતે સ્થાયી ઇલેક્ટ્રોનીય ગોઠવણી રજૂ કરે છે. લુઈસે પ્રતિપાદિત કર્યું કે પરમાણુ જ્યારે રાસાયણિક બંધનથી જોડાય છે, ત્યારે સ્થાયી અષ્ટક પ્રાપ્ત કરે છે. સોડિયમ અને ક્લોરિનની બાબતમાં સોડિયમમાંથી એક ઇલેક્ટ્રોન ક્લોરિન પરમાણુમાં બદલી પામે છે જેથી  $\text{Na}^+$  અને  $\text{Cl}^-$  આયન આપે છે.  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{F}_2$  વગેરે જેવા બીજા અણુઓમાં બંધ પરમાણુઓના ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મની ભાગીદારીથી બને છે. આ પ્રક્રિયામાં દરેક પરમાણુ ઇલેક્ટ્રોનનું સ્થાયી બાહ્ય અષ્ટક પ્રાપ્ત કરે છે.

**લુઈસ સંજ્ઞાઓ :** અણુની રચનામાં માત્ર બાહ્ય કોશના ઇલેક્ટ્રોન રાસાયણિક બંધનમાં ભાગ લે છે અને તે સંયોજકતા ઇલેક્ટ્રોન તરીકે ઓળખાય છે. અંદરના કોશના ઇલેક્ટ્રોન સારી રીતે સંરક્ષિત રહે છે અને સામાન્ય રીતે સંયોગીકરણ પ્રક્રિયામાં સમાવિષ્ટ થતાં નથી. અમેરિકન રસાયણશાસ્ત્રી જી. એન. લુઈસે (G. N. Lewis) પરમાણુમાં સંયોજકતા ઇલેક્ટ્રોન દર્શાવવા માટે સાદા સંકેતો દાખલ કર્યા. આ સંકેતો લુઈસ સંજ્ઞા કહેવાય છે. ઉદાહરણ તરીકે લઈએ તો બીજા આવર્તના તત્ત્વોની લુઈસ સંજ્ઞા નીચે પ્રમાણે છે :



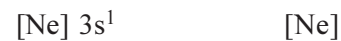
**લુઈસ સંજ્ઞાની સાર્થકતા (significance) :** તત્ત્વની ચોપાસના બિંદુ સંયોજકતા ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા દર્શાવે છે. આ

સંયોજકતા ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા તત્ત્વની સામાન્ય અથવા સમૂહ સંયોજકતા ગણવામાં મદદરૂપ થાય છે. સામાન્ય રીતે સમૂહ સંયોજકતા લુઈસ સંજ્ઞામાં ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા અને આઠમાંથી બિંદુની સંખ્યા (અથવા સંયોજકતા ઇલેક્ટ્રોન) બાદ કરતાં મળે છે.

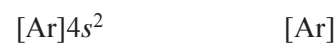
કોસેલે રાસાયણિક બંધનના સંબંધમાં નીચેની હકીકતો પ્રત્યે ધ્યાન દોર્યું.

- આવર્તકોષ્ટકમાં સૌથી ઊંચા વિદ્યુતઋણ હેલોજન અને ઊંચી વિદ્યુતધન આલ્કલી ધાતુઓ ઉમદા વાયુથી અલગ કરેલ છે.
- હેલોજન પરમાણુમાંથી ઋણ આયન અથવા આલ્કલી ધાતુના ધન આયન અનુક્રમે ઇલેક્ટ્રોન મેળવીને અથવા ગુમાવીને રચાય છે.
- આ રીતે બનેલા ઋણ અને ધન આયનો સ્થાયી ઉમદા વાયુ જેવી ઇલેક્ટ્રોનીય રચના પ્રાપ્ત કરે છે. ઉમદા વાયુઓ (હિલિયમને અપવાદ સાથે જે બે જ ઇલેક્ટ્રોન ધરાવે છે.) આઠ ઇલેક્ટ્રોનની (અષ્ટક) સ્થાયી બાહ્ય કોશ રચના ઇલેક્ટ્રોન  $ns^2np^6$  આપે છે.
- ઋણ અને ધન આયનો સ્થિરવિદ્યુતીય આકર્ષણથી સ્થાયી થાય છે.

ઉદાહરણ તરીકે લઈએ તો સોડિયમ અને ક્લોરિનમાંથી  $\text{NaCl}$ ની રચના ઉપરની પદ્ધતિ પ્રમાણે નીચે પ્રમાણે લખી શકાય :



એ જ પ્રમાણે  $\text{CaF}_2$  ની રચના નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય :



ધન આયન અને ઋણ આયન વચ્ચે સ્થિરવિદ્યુતીય આકર્ષણના પરિણામરૂપે રચાતા આ બંધને વિદ્યુતસંયોજક

બંધ (electrovalent bond) કહે છે. આમ, વિદ્યુતસંયોજકતા આયન પરના એકમ ભારની સંખ્યા છે. આમ ધન કેલ્શિયમની વિદ્યુતસંયોજકતાનો બે વડે નિર્દેશ થાય છે, જ્યારે ફ્લોરિનની ઋણ વિદ્યુતસંયોજકતા એક તરીકે નિર્દેશિત થાય છે.

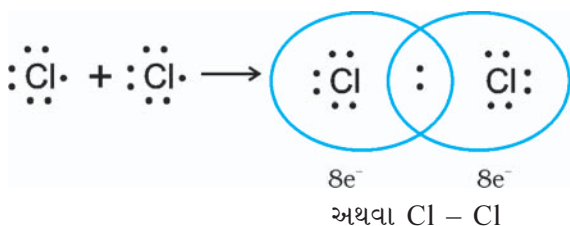
કોસેલે કરેલી અભિધારણાઓ ઇલેક્ટ્રોન હેરફેર વડે આયનની રચનાને અને આયનીય સ્ફટિકમય સંયોજનો અંગેનો આધુનિક ખ્યાલ પૂરો પાડે છે. આયનીય સંયોજનની સમજણમાં અને પદ્ધતિકરણ માટે કોસેલની અભિધારણાઓ ખૂબ જ મૂલ્યવાન બનેલ છે. તે સાથે સાથે તેમણે એ પણ હકીકતને પિછાણી કે મોટા ભાગના સંયોજનો આ ખ્યાલ સાથે મેળ ધરાવતા નથી.

#### 4.1.1 અષ્ટક નિયમ (Octet Rule)

કોસેલ અને લુઈસે 1916માં પરમાણુઓ વચ્ચે રાસાયણિક સંયોગીકરણનો અગત્યનો સિદ્ધાંત વિકસાવ્યો જે રાસાયણિક બંધનનો ઇલેક્ટ્રોનીય વાદ છે. આ નિયમ પ્રમાણે પરમાણુઓ સંયોજકતા ઇલેક્ટ્રોન એક પરમાણુમાંથી બીજા પરમાણુમાં સ્થાનાંતરણ (transfer) દ્વારા (ઇલેક્ટ્રોન મેળવીને કે ગુમાવીને) અથવા સંયોજકતા ઇલેક્ટ્રોનની ભાગીદારી કરી તેમની સંયોજકતા કોશોનું અષ્ટક બનાવે છે. આને અષ્ટક નિયમ કહે છે.

#### 4.1.2 સહસંયોજક બંધ (Covalent Bond)

લેંગ્મ્યુરે (Langmuir) 1919માં લુઈસ (Lewis)ની ધારણામાં સુધારો સૂચવ્યો અને અષ્ટકની સ્થાયી સમઘનીય રચનાને ફગાવી દીધી. તેને બદલે સહસંયોજક બંધ પર્યાય દાખલ કર્યો. લુઈસ-લેંગ્મ્યુર સિદ્ધાંત  $Cl_2$  અણુની રચનાથી સમજી શકાય.  $[Ne]3s^23p^5$  ઇલેક્ટ્રોનીય રચના ધરાવતો Cl પરમાણુ આર્ગોન રચના કરતાં એક ઇલેક્ટ્રોન ઓછો ધરાવે છે.  $Cl_2$  અણુની રચના એ રીતે સમજી શકાય કે દરેક ક્લોરિન પરમાણુ ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ(pair)ની ભાગીદારી કરે છે. દરેક Cl પરમાણુ એકએક ઇલેક્ટ્રોન આપીને સહિયારી જોડ બનાવે છે. આમ કરવામાં બન્ને ક્લોરિન પરમાણુ બાહ્ય કોશનું અષ્ટક નજીકના ઉમદા વાયુ (એટલે આર્ગોન) જેવું પ્રાપ્ત કરે છે.

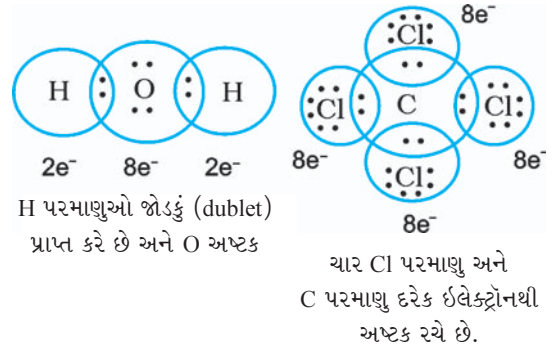


બે Cl પરમાણુઓ વચ્ચે સહસંયોજક બંધ

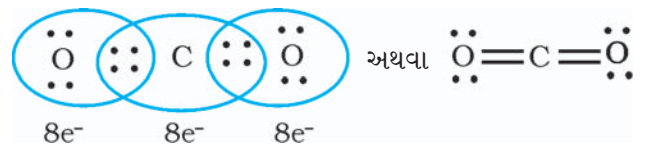
બિંદુઓ ઇલેક્ટ્રોનને દર્શાવે છે. આવી રચના લુઈસ રચના તરીકે ઓળખાય છે.

બીજા અણુઓ માટે પણ લુઈસ બિંદુ રચના લખી શકાય. જેમાં સંયોજતા પરમાણુઓ એકસરખા હોય અથવા અલગ અલગ હોય. જરૂરી શરતો આ પ્રમાણે છે :

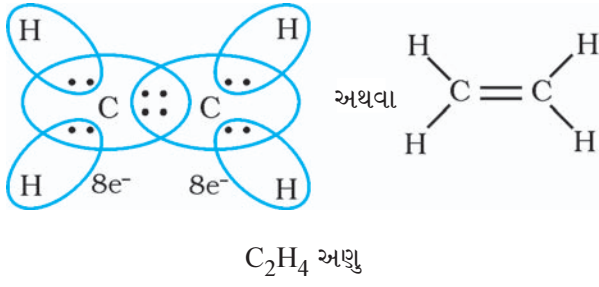
- દરેક બંધ પરમાણુઓ વચ્ચે ઇલેક્ટ્રોન ભાગીદારીનું પરિણામ છે.
- દરેક સંયોજતો પરમાણુ ભાગીદારી યુગ્મને ઓછામાં ઓછો એક ઇલેક્ટ્રોન આપે છે.
- ઇલેક્ટ્રોનની ભાગીદારીના પરિણામરૂપે સંયોજતા પરમાણુઓની બાહ્ય કોશ ઉમદા વાયુ જેવી રચના ધારણ કરે છે.
- આમ પણી અને કાર્બન ટેટ્રાક્લોરાઇડ અણુઓમાં સહસંયોજક બંધની રચના નીચે પ્રમાણે છે :



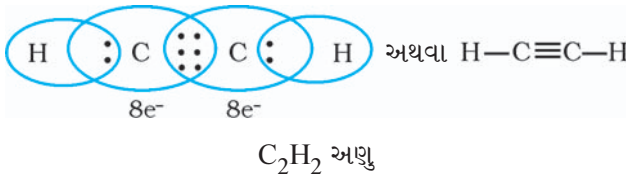
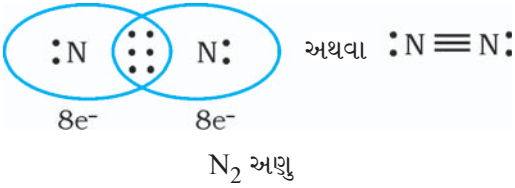
આમ જ્યારે બે પરમાણુ એક-એક ઇલેક્ટ્રોનની ભાગીદારી કરી યુગ્મ રચે છે તેને એક સહસંયોજક બંધથી જોડાયેલા કહેવાય છે. ઘણા અણુઓ પરમાણુઓ વચ્ચે આપણને બહુ(ગુણક) (multiple) બંધ મળે છે. બહુ બંધની રચના એમ દર્શાવે છે કે બે પરમાણુઓ વચ્ચે એક કરતાં વધારે ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ છે. જો પરમાણુઓ ઇલેક્ટ્રોનના બે યુગ્મોની ભાગીદારી કરે તો તેમની વચ્ચે રચાતા સહસંયોજક બંધને દ્વિબંધ કહે છે. ઉદાહરણ તરીકે લઈએ તો કાર્બન ડાયોક્સાઇડ અણુમાં કાર્બન અને ઓક્સિજન પરમાણુઓ વચ્ચે બે દ્વિબંધ આપણને મળશે. એ જ પ્રમાણે ઈથીન અણુમાં બે કાર્બન પરમાણુઓ દ્વિબંધથી જોડાયેલ છે.



$CO_2$  અણુમાં દ્વિબંધ



જ્યારે સંયોજતા પરમાણુઓ ત્રણ ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મની ભાગીદારી કરે છે જેમકે  $N_2$  અણુ બે નાઈટ્રોજન પરમાણુ અને બે કાર્બન પરમાણુઓ ઇથાઈન અણુમાં. તેથી ત્રિબંધ રચાય છે.



#### 4.1.3 સાદા અણુઓની લુઈસ રજૂઆત (લુઈસ રચનાઓ) (Lewis Representation of Simple Molecules - the Lewis Structures)

લુઈસ બિંદુ રચના અણુઓ અને આયનોમાં બંધન તેમની ભાગીદારી કરેલા ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ અને અષ્ટક નિયમના સંદર્ભમાં સમજાવે છે. આવું ચિત્ર અણુનું બંધન અને વર્તણૂક સંપૂર્ણ રીતે સમજાવી શકે નહિ, પરંતુ મહદ્ અંશે અણુની રચના અને ગુણધર્મોને સમજવામાં મદદરૂપ બને છે. આથી અણુઓની લુઈસ બિંદુ રચના લખવી ઘણી ઉપયોગી છે. લુઈસ બિંદુ રચના નીચેના સોપાનો સ્વીકારીને લખી શકાય.

- રચના લખવા માટે જરૂરી ઇલેક્ટ્રોનની કુલ સંખ્યા સંયોજતા પરમાણુઓના સંયોજકતા ઇલેક્ટ્રોનનો ઉમેરો કરીને મેળવાય છે. ઉદાહરણ તરીકે  $CH_4$  અણુમાં બંધન માટે આઠ સંયોજકતા ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્ય છે. (4 કાર્બનમાંથી અને ચાર હાઈડ્રોજનના ચાર પરમાણુમાંથી).
- ઋણાયન માટે દરેક ઋણભારનો અર્થ એમ થાય કે એક ઇલેક્ટ્રોનનો ઉમેરો. ધનાયન માટે ધનભાર કુલ સંયોજકતા

ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યામાંથી એકની બાદબાકી. ઉદાહરણ તરીકે લઈએ તો  $CO_3^{2-}$  આયનનો બે ઋણભાર સૂચવે છે કે તટસ્થ પરમાણુ માટે જરૂરી ઇલેક્ટ્રોન કરતાં બે વધારે છે.  $NH_4^+$  આયન માટે એક ધનભાર સૂચવે છે કે તટસ્થ પરમાણુઓમાંના સમૂહમાંથી એક ઇલેક્ટ્રોન ગુમાવે છે.

- જો સંયોજતા પરમાણુઓની રાસાયણિક સંજ્ઞાઓ જાણતા હોઈએ અને માળખાંકીય (skeletal) રચનાનું (જ્ઞાન હોય અથવા સમજણપૂર્વક અનુમાન કરેલું હોય) જ્ઞાન હોય તો ઇલેક્ટ્રોનની કુલ સંખ્યાને કુલ બંધના પ્રમાણમાં બંધન યુગ્મ ભાગીદારીની વહેંચણી પરમાણુઓ વચ્ચે કરી શકાય છે.
  - સામાન્ય રીતે અણુ/આયનમાં સૌથી ઓછો વિદ્યુતઋણ પરમાણુ કેન્દ્રમાં સ્થાન લે છે. ઉદાહરણ તરીકે  $NF_3$  અને  $CO_3^{2-}$  માં નાઈટ્રોજન અને કાર્બન કેન્દ્રીય પરમાણુઓ છે, જ્યારે ફ્લોરિન અને ઓક્સિજન છેડાના (terminal) સ્થાન પ્રાપ્ત કરે છે.
  - એકલ બંધની ઇલેક્ટ્રોન ભાગીદારીની જોડ માટે ગણતરી કર્યા પછી વધારાના ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ બહુ બંધનમાં ઉપયોગમાં લેવાય છે અથવા અબંધકારક યુગ્મ (lone pair) તરીકે રહે છે. મૂળ જરૂરિયાત એ છે કે બંધિત પરમાણુ ઇલેક્ટ્રોનનું અષ્ટક પ્રાપ્ત કરે.
- કોષ્ટક 4.1માં કેટલાક અણુઓ/આયનોની લુઈસ રજૂઆત આપવામાં આવી છે.

#### કોષ્ટક 4.1 કેટલાક અણુઓની લુઈસ રજૂઆત

અણુ/આયન	લુઈસ રજૂઆત
$H_2$	$H : H^*$ $H - H$
$O_2$	$:\ddot{O}::\ddot{O}:$ $:\ddot{O}=\ddot{O}:$
$O_3$	$:\ddot{O}::\ddot{O}::\ddot{O}^+$ $:\ddot{O}::\ddot{O}^+::\ddot{O}^-$
$NF_3$	$:\ddot{F}::\ddot{N}::\ddot{F}:$ $:\ddot{F}::\ddot{N}::\ddot{F}:$
$CO_3^{2-}$	$[\ddot{O}::\ddot{C}::\ddot{O}:]^{2-}$ $[\ddot{O}::\ddot{C}::\ddot{O}:]^{2-}$
$HNO_3$	$:\ddot{O}::\ddot{N}^+::\ddot{O}::H$ $:\ddot{O}::\ddot{N}^+::\ddot{O}::H$

\* દરેક H પરમાણુ હિલિયમની રચના પ્રાપ્ત કરે છે (ઇલેક્ટ્રોનનું જોડકું).

**કોયડો 4.1**

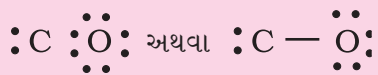
CO અણુની લુઈસ બિંદુ રચના લખો.

ઉકેલ :

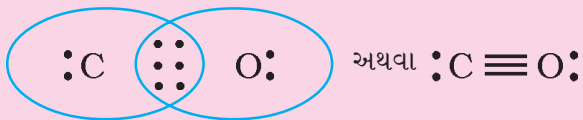
**સોપાન 1 :** કાર્બન અને ઓક્સિજન પરમાણુના કુલ સંયોજકતા ઇલેક્ટ્રોન ગણો. કાર્બન અને ઓક્સિજન પરમાણુઓની બાહ્ય (સંયોજકતા) કોશ રચના અનુક્રમે  $2s^2 2p^2$  અને  $2s^2 2p^4$  પ્રાપ્ય ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા  $4 + 6 = 10$  થશે.

**સોપાન 2 :** COની માળખાંકીય રચના C O તરીકે લખી શકાય.

**સોપાન 3 :** C અને O વચ્ચે એકલ બંધ (ભાગીદારી ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ) દોરો અને O ઉપર અષ્ટક પૂર્ણ કરો. બાકીના બે ઇલેક્ટ્રોન C પરનું અબંધકારક યુગ્મ છે.



આ કાર્બન પર અષ્ટક પૂરું થતું નથી અને તેથી C અને O પરમાણુ વચ્ચે બહુ બંધ(ત્રિબંધની બાબતમાં)નો સહારો લેવો પડે. આ પ્રમાણે કરવાથી બન્ને પરમાણુઓ માટેના અષ્ટક નિયમોની શરતોને સંતોષી શકાશે.

**કોયડો 4.2**

નાઈટ્રાઈટ આયન  $NO_2^-$ ની લુઈસ રચના લખો.

ઉકેલ :

**સોપાન 1 :** નાઈટ્રોજન પરમાણુ અને ઓક્સિજન પરમાણુના કુલ ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા અને એક વધારાનો ઇલેક્ટ્રોન ઋણ આયનનો ગણો.

$$N(2s^2 2p^3), O(2s^2 2p^4)$$

$$5 + 2(6) + 1 = 18 \text{ ઇલેક્ટ્રોન}$$

**સોપાન 2 :**  $NO_2^-$ ની માળખાંકીય રચના O N O.

**સોપાન 3 :** નાઈટ્રોજન અને દરેક ઓક્સિજન પરમાણુઓ વચ્ચે એકલ બંધ (એક ભાગીદારી ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ),

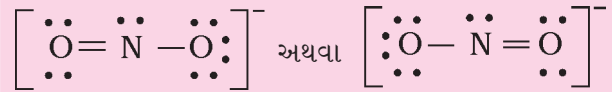
ઓક્સિજન પરમાણુઓના અષ્ટક પૂર્ણ કરો. આમ કરવા છતાં નાઈટ્રોજન પર અષ્ટક પૂર્ણ થતું નથી. બાકી રહેલા બે ઇલેક્ટ્રોન તેના પર અબંધકારક યુગ્મ તરીકે રહેશે.



આથી આપણે નાઈટ્રોજન અને ગમે તે એક ઓક્સિજન વચ્ચે બહુ બંધનનો સહારો લેવો પડશે (આ બાબતમાં દ્વિબંધ). આને પરિણામે લુઈસ બિંદુ રચના નીચે પ્રમાણે થશે :



અથવા

**4.1.4 નિયમનિષ્ઠ ભાર (Formal Charge)**

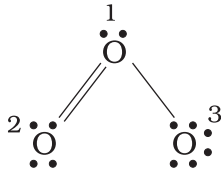
બહુપરમાણ્વીય આયનોની બાબતમાં અણુઓના ખરેખર આકાર સામાન્ય રીતે લુઈસ બિંદુ રચનાથી રજૂ કરી શકાતા નથી. કારણ કે આયનમાં દરેક પરમાણુથી નહિ, પરંતુ એકંદરે આયન પરનો કુલ ભાર ધરાવે છે, પરંતુ દરેક પરમાણુ પર નિયમનિષ્ઠ ભાર સૂચવવાનું શક્ય છે. બહુપરમાણ્વીય અણુ અથવા આયનના નિયમનિષ્ઠ ભારની વ્યાખ્યા આપી શકાય. અલગ અથવા મુક્ત અવસ્થામાં પરમાણુ હોય ત્યારે સંયોજકતા ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા અને લુઈસ રચના પ્રમાણે તે પરમાણુને સૂચિત ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યાના તફાવતને નિયમનિષ્ઠ ભાર કહે છે. તે નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય :

$$\text{લુઈસ રચનામાં પરમાણુ પરનો નિયમનિષ્ઠ ભાર (F.C.)} =$$

$$\left[ \begin{array}{c} \text{મુક્ત પરમાણુમાં} \\ \text{સંયોજકતા ઇલેક્ટ્રોનની} \\ \text{કુલ સંખ્યા} \end{array} \right] - \left[ \begin{array}{c} \text{અબંધકારક} \\ \text{ઇલેક્ટ્રોનની કુલ} \\ \text{સંખ્યા} \end{array} \right] - \frac{1}{2} \left[ \begin{array}{c} \text{બંધકારક ઇલેક્ટ્રોન} \\ \text{(ભાગીદારી કરેલા} \\ \text{ઇલેક્ટ્રોન)ની કુલ સંખ્યા} \end{array} \right]$$

આ ગણતરી એ ધારણાના આધારે કરવામાં આવી છે કે અણુમાં દરેક પરમાણુના દરેક ભાગીદાર યુગ્મનો એક ઇલેક્ટ્રોન અને અબંધકારક યુગ્મના બન્ને ઇલેક્ટ્રોન તેના પોતાના છે.

આપણે ઓઝોન અણુ (O<sub>3</sub>)નો વિચાર કરીએ. O<sub>3</sub>ની લુઈસ રચના નીચે પ્રમાણે દોરી શકાય :



પરમાણુઓને 1, 2, 3 ક્રમ આપેલ છે. નિયમનિષ્ઠ ભાર નીચે પ્રમાણે થશે :

- મધ્યસ્થ O પરમાણુ જેને 1થી દર્શાવેલ છે.

$$= 6 - 2 - \frac{1}{2}(6) = +1$$

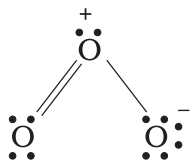
- છેડા પરનો O પરમાણુ જેને 2થી દર્શાવેલ છે.

$$= 6 - 4 - \frac{1}{2}(4) = 0$$

- છેડા પરનો O પરમાણુ જેને 3થી દર્શાવેલ છે.

$$= 6 - 6 - \frac{1}{2}(2) = -1$$

આથી O<sub>3</sub>ને નિયમનિષ્ઠ ભાર સાથે નીચે પ્રમાણે રજૂ કરી શકીએ :



આપણે સમજવું જોઈએ કે નિયમનિષ્ઠ ભાર અણુમાં સાચું ભાર અલગીકરણ દર્શાવતો નથી. ભારનો નિર્દેશ કરવાથી આપણને અણુમાં સંયોજકતા ઇલેક્ટ્રોનનો માર્ગ (track) જાણવામાં મદદ કરે છે. નિયમનિષ્ઠ ભાર શક્ય લુઈસ રચનાઓની સંખ્યામાંથી નિમ્નતમ ઊર્જા ધરાવતી રચનાની પસંદગી કરવામાં મદદરૂપ થાય છે. સામાન્ય રીતે નિમ્નતમ ઊર્જા રચના એ છે કે જેમાં સૌથી ઓછો નિયમનિષ્ઠ ભાર છે. નિયમનિષ્ઠ ભાર એવું પરિબળ (factor) છે જે બંધનના શુદ્ધ સહસંયોજક ખ્યાલ જેમાં પડોશી પરમાણુઓથી સમાન રીતે ભાગીદાર થયેલ ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ છે.

#### 4.1.5 અષ્ટક નિયમની મર્યાદાઓ (Limitations of the Octet Rule)

અષ્ટક નિયમ ઉપયોગી હોવા છતાં પણ સાર્વત્રિક નથી. મોટા ભાગના કાર્બનિક સંયોજનોની રચના સમજવા માટે ઉપયોગી છે અને તે મુખ્યત્વે આવર્તકોષ્ટકના બીજા આવર્તના તત્ત્વોને લાગુ પડે છે. આ અષ્ટકના નિયમને ત્રણ પ્રકારના અપવાદ છે.

**મધ્યસ્થ પરમાણુનું અપૂર્ણ અષ્ટક :** કેટલાક સંયોજનોનાં મધ્યસ્થ પરમાણુની આસપાસ ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા આઠ કરતાં ઓછી હોય છે. આ ખાસ કરીને જે તત્ત્વોના સંયોજકતા ઇલેક્ટ્રોન ચાર કરતાં ઓછા છે તેને માટે છે. ઉદાહરણ તરીકે LiCl, BeH<sub>2</sub> અને BCl<sub>3</sub>.



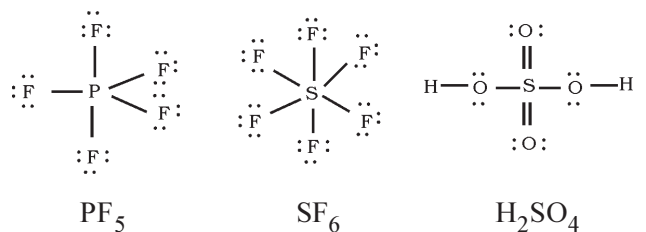
Li, Be અને B અનુક્રમે 1, 2 અને 3 સંયોજકતા ઇલેક્ટ્રોન ધરાવે છે, આવા બીજા સંયોજનો AlCl<sub>3</sub>, BF<sub>3</sub> છે.

**એકી ઇલેક્ટ્રોન અણુઓ :** એકી ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા ધરાવતા અણુઓ જેવાં કે નાઈટ્રિક ઓક્સાઈડ NO અને નાઈટ્રોજન ડાયોક્સાઈડ NO<sub>2</sub>માં દરેક પરમાણુ માટે અષ્ટક નિયમ સંતોષકારક નથી.



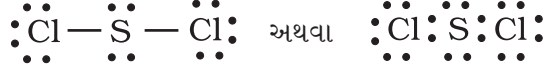
**વિસ્તરિત (Expanded) અષ્ટક :** આવર્તકોષ્ટકના ત્રીજા અને પછીના આવર્તોમાં 3s અને 3p કક્ષકો ઉપરાંત 3d-કક્ષકો બંધન માટે પ્રાપ્ય હોય છે. આ તત્ત્વોના ઘણા સંયોજનોમાં મધ્યસ્થ પરમાણુની આસપાસ આઠ કરતાં વધારે ઇલેક્ટ્રોન હોય છે. આને વિસ્તરિત અષ્ટક કહે છે. આવી બાબતોમાં અષ્ટક નિયમ લાગુ પડતો નથી.

આવા સંયોજનોના કેટલાક ઉદાહરણો જેવાં કે PF<sub>5</sub>, SF<sub>6</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> અને ઘણા બધા સવર્ગ સહસંયોજક સંયોજનો.



P પરમાણુની આસપાસ 10 ઇલેક્ટ્રોન      S પરમાણુની આસપાસ 12 ઇલેક્ટ્રોન      સલ્ફર પરમાણુની આસપાસ 12 ઇલેક્ટ્રોન

એ રસપ્રદ છે કે સલ્ફર પરમાણુ ઘણા સંયોજનો બનાવે છે, જેમાં અષ્ટકનો નિયમ પળાય છે. સલ્ફર ડાયક્લોરાઇડમાં S પરમાણુને તેની આસપાસ ઇલેક્ટ્રોનનું અષ્ટક હોય છે.



અષ્ટક નિયમની બીજી ખામીઓ :

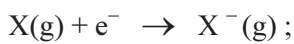
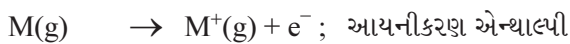
- એ સ્પષ્ટ છે કે અષ્ટક નિયમ ઉમદા વાયુઓની રાસાયણિક નિષ્ક્રિયતાના પાયા પર રચાયેલો છે. આમ છતાં કેટલાંક ઉમદા વાયુઓ (ઝેનોન અને ક્રિપ્ટોન) ઓક્સિજન અને ફ્લોરિન સાથે સંયોજાય છે અને  $\text{XeF}_2$ ,  $\text{KrF}_2$ ,  $\text{XeOF}_2$  વગેરે જેવા ઘણા સંયોજનો બનાવે છે.
- આ સિદ્ધાંત અણુઓના આકાર સમજાવી શકતો નથી.
- તે અણુઓની સાપેક્ષ સ્થાયીતા પણ સમજાવી શકતો નથી અને અણુની ઊર્જા બાબતમાં સંપૂર્ણ મૂક (silent) છે.

## 4.2 આયનીય અથવા વિદ્યુતસંયોજક બંધ (Ionic or Electrovalent Bond)

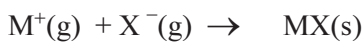
કોસેલ અને લુઇસના સિદ્ધાંતના ઉપયોગથી આયનીય બંધની રચના સમજતાં તે એમ દર્શાવે છે કે આયનીય સંયોજનો નીચેની બાબતો પર આધાર રાખશે :

- અનુવર્તી તટસ્થ પરમાણુઓમાંથી ધન અથવા ઋણ આયનોની બનવાની સરળતા.
- ધનમાં ધન અને ઋણ આયનોની ગોઠવણી એટલે કે સ્ફટિકમય સંયોજનની લેટિસ.

ધન આયનની રચનામાં આયનીકરણ સંકળાયેલ છે એટલે કે ઇલેક્ટ્રોનનું તટસ્થ પરમાણુમાંથી દૂર થવું અને ઋણ આયનની રચના એટલે ઇલેક્ટ્રોનનો તટસ્થ પરમાણુમાં ઉમેરો.



ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્તિ (gain) એન્થાલ્પી

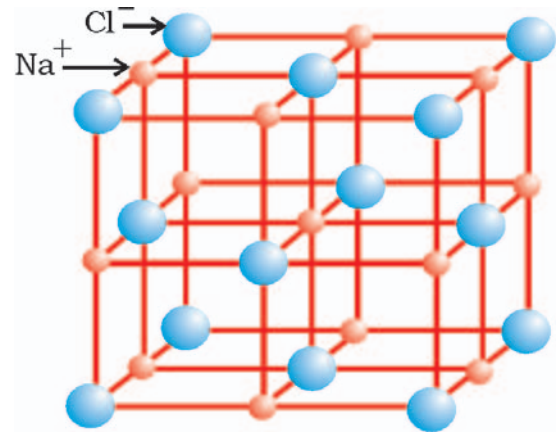


ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્તિ એન્થાલ્પી ( $\Delta_{eg}\text{H}$ ) એટલે વાયુમય કલામાં પરમાણુ તેની ધરા અવસ્થામાં ઇલેક્ટ્રોન મેળવે છે તે એન્થાલ્પી ફેરફાર છે. ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્તિ ઘટના ઉષ્માક્ષેપક અથવા ઉષ્માશોષક હોઈ શકે છે, જ્યારે બીજી તરફ આયનીકરણ એન્થાલ્પી હંમેશાં ઉષ્માક્ષેપક હોય છે. ઇલેક્ટ્રોન બંધુતા ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્તિ સાથે સંકળાયેલ ઊર્જા ફેરફારનું ઋણ મૂલ્ય છે.

આથી એ સહજ છે કે આયનીય બંધ પ્રમાણમાં નીચી આયનીકરણ એન્થાલ્પી ધરાવતા તત્ત્વો અને ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્તિ એન્થાલ્પીના ઊંચા ઋણ મૂલ્ય ધરાવતા તત્ત્વો વચ્ચે રચાશે.

મોટા ભાગના આયનીય સંયોજનોમાં ધનાયન ધાત્વીય તત્ત્વોમાંથી વ્યુત્પિત થાય છે અને ઋણાયન અધાત્વીય તત્ત્વોમાંથી. બે અધાત્વીય તત્ત્વોમાંથી બનેલો એમોનિયમ આયન ( $\text{NH}_4^+$ ) અપવાદ છે. તે ઘણા આયનીય સંયોજનોમાં ધનાયન રચે છે.

આયનીય સંયોજનો સ્ફટિકમય અવસ્થામાં હોય છે. જે ધનાયન અને ઋણાયનની કુલંબીય પારસ્પરિક ક્રિયા ઊર્જાથી સાથે સાથે જકડાઈને કમબદ્ધ ત્રિપરિમાણીય ગોઠવણી ધરાવે છે. આ સંયોજનો જુદી જુદી સ્ફટિક રચનામાં સ્ફટિકીકરણ પામે છે જે આયનના કદ, તેમની પેકિંગ ગોઠવણી અને અન્ય પરિબળો પર આધારિત હોય છે. સોડિયમ ક્લોરાઇડ  $\text{NaCl}$  (rock salt)ની સ્ફટિક રચના નીચે દર્શાવેલ છે.



NaCl (rock salt)ની રચના

આયનીય સંયોજનોમાં ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્તિ એન્થાલ્પી અને આયનીકરણ એન્થાલ્પીનો સરવાળો ધન હોય તેમ છતાં પણ સ્ફટિક રચનાની સ્થાયીતા સ્ફટિક લેટિસની રચનામાં મુક્ત થતી ઊર્જાને કારણે હોય છે. ઉદાહરણ તરીકે,  $\text{Na(g)}$ માંથી  $\text{Na}^+(\text{g})$ ની રચનાની આયનીકરણ એન્થાલ્પી  $495.8 \text{ kJ mol}^{-1}$  છે. જ્યારે  $\text{Cl(g)} + \text{e}^- \rightarrow \text{Cl}^-(\text{g})$  માટેની ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્તિ એન્થાલ્પી માત્ર  $-348.7 \text{ kJ mol}^{-1}$  છે. એ બન્નેનો સરવાળો  $147.1 \text{ kJ mol}^{-1}$   $\text{NaCl(s)}$ ની લેટિસ સર્જન એન્થાલ્પી



( $-788 \text{ kJ mol}^{-1}$ ) સાથે વળતરરૂપ થવા છતાં પણ વધુ છે. આથી આ પ્રક્રિયામાં શોષાયેલી ઊર્જા કરતાં છૂટી પડેલી ઊર્જા વધારે છે.

આમ, આયનીય સંયોજનની સ્થાયીતાનું ગુણાત્મક માપન તેની લેટિસની સર્જન એન્થાલ્પી દ્વારા પૂરું પાડવામાં આવે છે નહિ કે વાયુમય અવસ્થામાં આયનીય સ્પીસિઝની ફરતે માત્ર અષ્ટકની પ્રાપ્તિથી.

લેટિસ એન્થાલ્પી આયનીય બંધના સર્જનમાં ચાવીરૂપ ભૂમિકા ભજવે છે. તેના અંગે વિશેષ શીખવું અગત્યનું છે.

#### 4.2.1 લેટિસ એન્થાલ્પી (Lattice Enthalpy)

આયનીય ઘનની લેટિસ એન્થાલ્પી આ રીતે વ્યાખ્યાયિત કરી શકાય. એક મોલ ઘન સંયોજનને સંપૂર્ણપણે તેના વાયુમય ઘટકીય આયનોમાં ફેરવવા માટે જરૂરી ઊર્જા છે. ઉદાહરણ તરીકે NaClની લેટિસ એન્થાલ્પી  $788 \text{ kJ mol}^{-1}$  છે. આનો અર્થ એમ કે એક મોલ ઘન NaClને અનંત અંતરે એક મોલ  $\text{Na}^+(\text{g})$  અને એક મોલ  $\text{Cl}^-(\text{g})$  માં ફેરવવા માટે  $788 \text{ kJ}$  ઊર્જાની જરૂર પડશે.

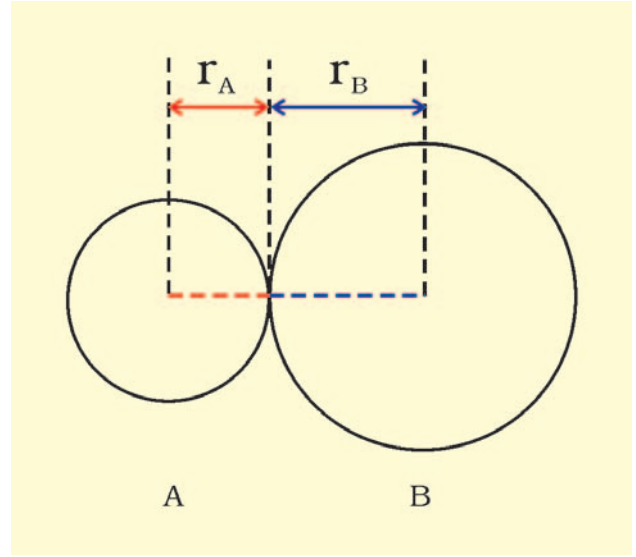
આ ઘટનામાં અસમાન ભાર ધરાવતા આયનો વચ્ચે આકર્ષણ અને સમાન ભાર ધરાવતા આયનો વચ્ચેના અપાકર્ષણ બળનો સમાવેશ થાય છે. ઘન સ્ફટિક ત્રિપરિમાણીય હોવાથી માત્ર આકર્ષણ અને અપાકર્ષણ બળો વચ્ચેની પારસ્પરિક ક્રિયા પરથી લેટિસ એન્થાલ્પી સીધા જ ગણી શકાય નહિ. સ્ફટિક ભૂમિતિ સાથે સંકળાયેલ પરિબળોનો સમાવેશ કરવો પડે.

### 4.3 બંધ પ્રાયલો (Bond Parameters)

#### 4.3.1 બંધ લંબાઈ (Bond Length)

બંધ લંબાઈને આ પ્રમાણે વ્યાખ્યાયિત કરી શકાય. અણુમાં જોડાયેલા બે પરમાણુના કેન્દ્રો વચ્ચેના સંતુલિત અંતરને બંધ લંબાઈ કહે છે. બંધ લંબાઈ વર્ણપટદર્શકીય પદ્ધતિઓ, ક્ષ-કિરણ વિવર્તન અને ઈલેક્ટ્રોન વિવર્તન તકનીકોથી નક્કી કરી શકાય છે. જેનો અભ્યાસ તમે ઉચ્ચતર ધોરણોમાં કરશો. બંધિત થયેલા પરમાણુઓની જોડ બંધલંબાઈમાં ફાળો આપે છે (આકૃતિ 4.1). સહસંયોજક બંધમાં દરેક પરમાણુનો ફાળો તે પરમાણુની સહસંયોજક ત્રિજ્યા કહેવાય છે.

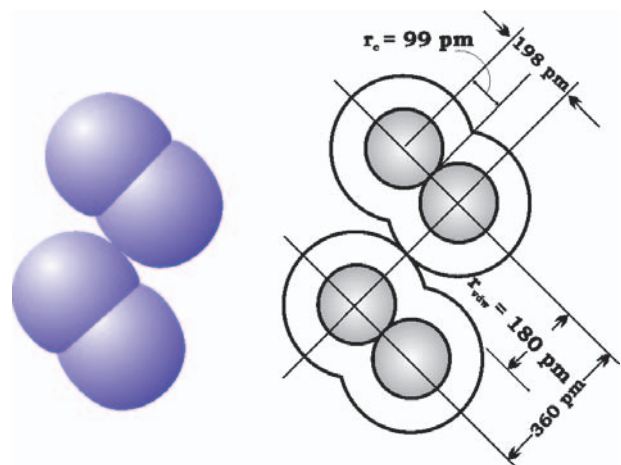
બંધિત અવસ્થામાં કોઈ પરમાણુના કોર જે સંલગ્ન પરમાણુના કોર સાથે સંપર્કમાં હોય છે તેમની ત્રિજ્યા પરથી સહસંયોજક ત્રિજ્યા માપવામાં આવે છે. સમાન અણુમાં



આકૃતિ 4.1 સહસંયોજક અણુ ABની બંધલંબાઈ

$R = r_A + r_B$  (R બંધ ત્રિજ્યા છે અને  $r_A$  અને  $r_B$  અનુક્રમે પરમાણુઓ A અને Bની સહસંયોજક ત્રિજ્યાઓ છે.)

સહસંયોજક બંધથી જોડાયેલા બે સમાન પરમાણુઓ વચ્ચેના અંતરનું અડધું મૂલ્ય છે. વાનુ ડર વાલ્સ ત્રિજ્યા પરમાણુની એકંદરે ત્રિજ્યા દર્શાવે છે. જેમાં અબંધકારક પરિસ્થિતિમાંના સંયોજકતા કોશનો સમાવેશ કરે છે. ઉપરાંત, વાનુ ડર વાલ્સ ત્રિજ્યા ઘનમાંના અલગ અલગ અણુઓમાંના બે સમાન પરમાણુઓ વચ્ચેના અંતરનું અડધું છે. ક્લોરિનની સહસંયોજક અને વાનુ ડર વાલ્સ ત્રિજ્યાઓ આકૃતિ 4.2માં દર્શાવેલ છે.



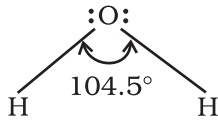
આકૃતિ 4.2 ક્લોરિન અણુમાં સહસંયોજક અને વાનુ ડર વાલ્સ ત્રિજ્યાઓ અંદરના વર્તુળ ક્લોરિન પરમાણુના કદને અનુરૂપ છે. ( $r_{vdw}$  અને  $r_c$  અનુક્રમે વાનુ ડર વાલ્સ અને સહસંયોજક ત્રિજ્યાઓ છે.)

એકલ બંધ, દ્વિબંધ અને ત્રિબંધની કેટલીક ખાસ ત્રિજ્યાઓ કોષ્ટક 4.2માં દર્શાવેલ છે. કેટલાક સામાન્ય અણુઓની બંધલંબાઈ કોષ્ટક 4.3માં આપેલી છે.

કેટલાક સામાન્ય તત્ત્વોની સહસંયોજક ત્રિજ્યાઓની યાદી કોષ્ટક 4.4માં કરેલ છે.

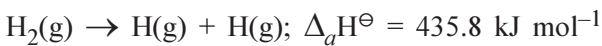
### 4.3.2 બંધકોણ (Bond Angle)

અણુ/સંકીર્ણ આયનમાં મધ્યસ્થ પરમાણુની આસપાસ બંધન ઇલેક્ટ્રોન ધરાવતી કક્ષકોની વચ્ચે રચાતા ખૂણાને બંધકોણ તરીકે વ્યાખ્યાયિત કરી શકાય છે. બંધકોણ અંશમાં રજૂ કરવામાં આવે છે. જે વર્ણપટદર્શકીય પદ્ધતિઓ વડે પ્રાયોગિક રીતે નક્કી કરી શકાય છે. તે અણુ/સંકીર્ણ આયનમાંના મધ્યસ્થ પરમાણુની આસપાસ વહેંચાયેલી કક્ષકો વિશે કંઈક ખ્યાલ આપે છે અને તેથી તેનો આકાર નક્કી કરવામાં મદદરૂપ થાય છે. ઉદાહરણ તરીકે પાણીમાં H-O-H બંધકોણ નીચે પ્રમાણે રજૂ કરી શકાય :

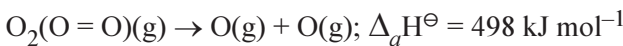


### 4.3.3 બંધ એન્થાલ્પી (Bond Enthalpy)

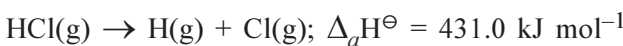
વાયુમય અવસ્થામાંના બે પરમાણુઓ વચ્ચે ખાસ પ્રકારના એક મોલ બંધને તોડવા માટે જરૂરી ઊર્જા તરીકે તેને વ્યાખ્યાયિત કરી શકાય છે. બંધ એન્થાલ્પીનો એકમ  $\text{kJ mol}^{-1}$  છે. ઉદાહરણ તરીકે હાઈડ્રોજન અણુમાં H-H બંધ એન્થાલ્પી  $435.8 \text{ kJ mol}^{-1}$  છે.



આ જ પ્રમાણે બહુ બંધ ધરાવતા અણુઓની બંધ એન્થાલ્પી ઉદાહરણ તરીકે  $\text{O}_2$  અને  $\text{N}_2$  અણુની નીચે પ્રમાણે થશે :



એ અગત્યનું છે કે બંધ વિયોજન એન્થાલ્પી જેટલી વધારે તેટલું જ વધારે અણુમાં પ્રબળ બંધન. HCl જેવા વિષમકેન્દ્રીય દ્વિઅણુ માટે આપણને મળશે.



બહુપરમાણ્વીય અણુઓમાં બંધ લંબાઈનું માપન ખૂબ જ જટિલ છે. ઉદાહરણ તરીકે લઈએ તો  $\text{H}_2\text{O}$ ની બાબતમાં O-H બંધને તોડવા માટે જરૂરી એન્થાલ્પી સરખી નથી હોતી.

### કોષ્ટક 4.2 કેટલાક એકલ, દ્વિબંધ અને ત્રિબંધની સરેરાશ બંધલંબાઈ

બંધપ્રકાર	સહસંયોજક બંધલંબાઈ (pm)
O-H	96
C-H	107
N-O	136
C-O	143
C-N	143
C-C	154
C=O	121
N=O	122
C=C	133
C=N	138
C≡N	116
C≡C	120

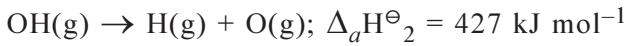
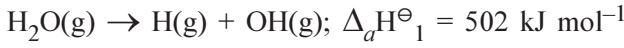
### કોષ્ટક 4.3 કેટલાક સામાન્ય અણુમાં બંધલંબાઈ

અણુ	બંધલંબાઈ (pm)
$\text{H}_2$ (H - H)	74
$\text{F}_2$ (F - F)	144
$\text{Cl}_2$ (Cl - Cl)	199
$\text{Br}_2$ (Br - Br)	228
$\text{I}_2$ (I - I)	267
$\text{N}_2$ (N ≡ N)	109
$\text{O}_2$ (O = O)	121
HF (H - F)	92
HCl (H - Cl)	127
HBr (H - Br)	141
HI (H - I)	160

### કોષ્ટક 4.4 સહસંયોજક ત્રિજ્યાઓ \* $r_{\text{cov}}/(\text{pm})$

H	37				
C	77(1)	N 74(1)	O 66(1)	F 64	
	67(2)	65(2)	57(2)	Cl 99	
	60(3)	55(3)			
		P 110	S 104(1)	Br 114	
			95(2)		
		As 121	Se 101	1 133	
		Sb 141	Te 137		

\* ઉપર દર્શાવેલા મૂલ્યો એકલ બંધના છે. સિવાય કે (કૌંસ દર્શાવેલ). (એકમ 3 આવર્ત વલણ માટે જુઓ.)



$\Delta_a\text{H}^\ominus$ ના મૂલ્યોમાં તફાવત દર્શાવે છે કે બીજો OH બંધ કંઈક ફેરફાર પામે છે, કારણ કે રાસાયણિક પર્યાવરણ બદલાઈ જાય છે.  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  (ઇથેનોલ) અને પાણી જેવા અલગ અલગ અણુઓમાં સમાન O-H બંધને લીધે મળતા ઊર્જા ફેરફાર કારણરૂપ છે. આથી જ બહુપરમાણ્વીય અણુઓમાં સરેરાશ બંધ એન્થાલ્પી પર્યાય વપરાય છે. કુલ બંધ વિયોજન એન્થાલ્પીના મૂલ્યને તૂટેલા બંધની સંખ્યા વડે ભાગતાં તે મેળવાય છે. જે પાણીના અણુ માટે નીચે પ્રમાણે દર્શાવેલ છે.

$$\begin{aligned} \text{સરેરાશ બંધ એન્થાલ્પી} &= \frac{502 + 427}{2} \\ &= 464.5 \text{ kJ mol}^{-1} \end{aligned}$$

#### 4.3.4 બંધક્રમાંક (Bond Order)

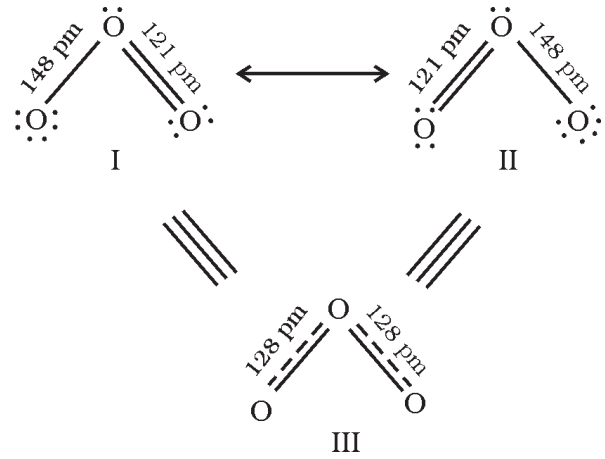
સહસંયોજક બંધના લુઈસ વર્ણનમાં બંધક્રમાંક અણુમાંના બે પરમાણુઓ વચ્ચેના બંધની સંખ્યા છે. બંધક્રમાંક ઉદાહરણ તરીકે લઈએ તો  $\text{H}_2$ માં (એક ભાગીદારી ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ),  $\text{O}_2$ માં (બે ભાગીદારી ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ) અને  $\text{N}_2$ માં (ત્રણ ભાગીદારી ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ) અનુક્રમે 1, 2 અને 3 છે. એ જ પ્રમાણે COમાં C અને O વચ્ચે ત્રણ ભાગીદાર ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ છે. તેથી બંધક્રમાંક 3 છે અને તેની  $\Delta_a\text{H}^\ominus$  946 kJ mol<sup>-1</sup> છે જે દ્વિપરમાણ્વીય અણુઓ માટેના મૂલ્યોમાં સૌથી ઊંચી છે.

સમઇલેક્ટ્રોનીય અણુઓ અને આયનોને સમાન બંધક્રમાંક હોય છે. ઉદાહરણ તરીકે  $\text{F}_2$  અને  $\text{O}_2^{2-}$ ને બંધક્રમાંક 1 છે.  $\text{N}_2$ , CO અને  $\text{NO}^+$ ને બંધક્રમાંક 3 છે.

અણુઓની સ્થાયિતાને સમજવા માટે ઉપયોગી સામાન્ય સહસંબંધ એ છે કે બંધક્રમાંકમાં વધારો બંધ એન્થાલ્પીમાં વધારો કરે છે અને બંધ લંબાઈમાં ઘટાડો કરે છે.

#### 4.3.5 સસ્પંદન રચનાઓ (Resonance Structures)

એવું અનેકવાર જણાયું છે કે એકલી લુઈસ રચના અણુમાં પ્રાયોગિક રીતે નક્કી કરેલા પ્રાયલ (parameters) સાથે સુસંગતતા સમજાવવામાં અપૂરતા છે. ઉદાહરણ તરીકે  $\text{O}_3$  અણુ નીચે દર્શાવ્યા પ્રમાણે રચના I અને II વડે સમાન રીતે રજૂ કરી શકાય.



આકૃતિ 4.3  $\text{O}_3$  અણુમાં સસ્પંદન

રચના I અને II બે વિહિત (canonical) રચના છે. જ્યારે III સસ્પંદન સંકર (hybrid) છે.

બન્ને રચનાઓમાં O - O એકલ બંધ છે અને O = O દ્વિબંધ પણ છે. સામાન્ય O - O બંધ અને O = O બંધ લંબાઈ અનુક્રમે 148 pm અને 121 pm છે. પ્રાયોગિક રીતે નક્કી કરવામાં આવેલ  $\text{O}_3$  અણુની બંધ લંબાઈ સરખી જ (128 pm) છે. આમ  $\text{O}_3$  અણુના ઓક્સિજન-ઓક્સિજન બંધની લંબાઈ એકલ બંધ અને દ્વિબંધની વચ્ચે છે. જે લુઈસની ઉપર દર્શાવેલી બન્ને રચનાઓથી રજૂ કરી શકાય નહિ.

$\text{O}_3$  જેવા અણુ માટે ચોક્કસ રચના દર્શાવવામાં મુશ્કેલી પડતી હોવાને કારણે સસ્પંદનનો ખ્યાલ દાખલ કરવામાં આવ્યો હતો. આ સસ્પંદનના ખ્યાલ પ્રમાણે, જ્યારે એક જ લુઈસ રચના અણુને ચોક્કસાઈથી વર્ણવી શકે નહિ ત્યારે સમાન ઊર્જા, કેન્દ્રના સ્થાન અને બંધકારક અને અબંધકારક ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મો દર્શાવતા ઘણા પ્રમાણિત સ્વરૂપો ગણતરીમાં લેવાય છે અને તેની સંકર રચના અણુનું ચોક્કસાઈપૂર્વક વર્ણન કરે છે. આમ  $\text{O}_3$  અણુ માટે ઉપર પ્રમાણે બે રચનાઓ દર્શાવી છે અને તેમની સંકર એટલે કે રચના III,  $\text{O}_3$  અણુની સાચી રચના રજૂ કરે છે. આને સસ્પંદન સંકર પણ કહે છે. સસ્પંદન બે શીર્ષવાળા (double headed) તીર વડે રજૂ કરવામાં આવે છે.

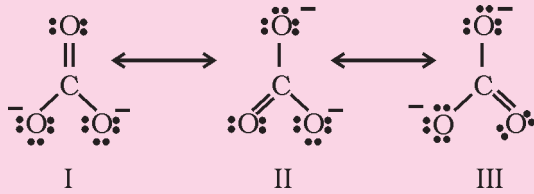
સસ્પંદન રચનાના કેટલાક અન્ય ઉદાહરણોમાં કાર્બોનેટ આયન અને કાર્બન ડાયોક્સાઈડ અણુ લઈ શકાય.

#### કોયડો 4.3

$\text{CO}_3^{2-}$  આયનની રચના સસ્પંદનના (સંદર્ભમાં) પર્યાયમાં સમજાવો.

ઉકેલ :

કાર્બન અને ઓક્સિજન વચ્ચે બે એકલ બંધ અને એક દ્વિબંધની હાજરી પર આધારિત લુઈસ રચના સાચી રચના દર્શાવવા માટે અપૂરતી છે. કારણ કે તે અસમાન બંધ દર્શાવે છે. પ્રાયોગિક માહિતીના આધારે  $\text{CO}_3^{2-}$  આયનમાં બધા જ કાર્બન અને ઓક્સિજન બંધ સમતુલ્ય (equivalent) છે. આથી કાર્બોનેટ આયન વિહિત (canonical) સ્વરૂપો I, II અને IIIના સસ્પંદન સંકર તરીકે ઉત્તમ રીતે વર્ણવી શકાય. જે નીચે દર્શાવ્યા છે.



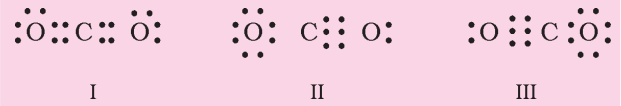
આકૃતિ 4.4  $\text{CO}_3^{2-}$  માં સસ્પંદન I, II અને III ત્રણ વિહિત સ્વરૂપો દર્શાવેલ છે.

#### કોયડો 4.4

$\text{CO}_2$  અણુની રચના સમજાવો.

ઉકેલ :

$\text{CO}_2$ માં કાર્બન અને ઓક્સિજન વચ્ચેની બંધલંબાઈ પ્રાયોગિક રીતે 115 pm નક્કી કરાઈ છે. કાર્બન અને ઓક્સિજન વચ્ચે દ્વિબંધ તથા કાર્બન અને ઓક્સિજન વચ્ચેની ત્રિબંધ લંબાઈ સામાન્ય રીતે અનુક્રમે 121 pm અને 110 pm છે.  $\text{CO}_2$ માં કાર્બન અને ઓક્સિજન  $\text{C}=\text{O}$  અને  $\text{C}\equiv\text{O}$ ના મૂલ્યોની વચ્ચે (115 pm) છે. આથી સ્પષ્ટ છે કે એક જ લુઈસ રચના આનું સ્થાન દર્શાવી શકશે નહિ અને તેથી એક કરતાં વધારે લુઈસ રચનાઓ લખવી જરૂરી બને છે અને ગણતરીમાં લેવું પડશે કે  $\text{CO}_2$ ની ઉત્તમ રચના I, II અને III વિહિત સ્વરૂપોની સંકર અથવા સસ્પંદનથી દર્શાવી શકાશે.



આકૃતિ 4.5  $\text{CO}_2$ માં સસ્પંદન I, II અને III ત્રણ વિહિત સ્વરૂપો દર્શાવેલ છે.

સામાન્ય રીતે કહી શકાય કે,

- સસ્પંદન અણુને સ્થાયી બનાવે છે કારણ કે સસ્પંદન સંકરની ઊર્જા કોઈ પણ વિહિત સ્વરૂપ રચના કરતાં ઓછી હોય છે અને
- સસ્પંદન એકંદરે બંધ ખાસિયતની સરાસરી કરે છે. આમ  $\text{O}_3$  સસ્પંદનની ઊર્જા I અથવા II વિહિત સ્વરૂપોની ઊર્જા કરતાં નીચી છે. (આકૃતિ 4.3)

સસ્પંદન સાથે ઘણા ગેરખ્યાલો (misconcepts) સંકળાયેલા છે અને તેમને ફરી બદલવાની જરૂરિયાત છે. તમારે યાદ રાખવું જોઈશે કે,

- વિહિત સ્વરૂપોનું કોઈ સાચું અસ્તિત્વ હોતું નથી.
- અણુ અમુક સમય માટે એક વિહિત સ્વરૂપમાં હશે અને અમુક સમય માટે બીજા વિહિત સ્વરૂપમાં હશે તેવું અસ્તિત્વ ધરાવતા નથી.
- ચલરૂપકતા (ચલાવયવતા)(tautomerism)માં બે ચલરૂપકો (ચલાવયવ સ્વરૂપો)(કિટો અને ઈનોલ)માં જે પ્રકારનું સંતુલન હોય છે તેવું સંતુલન આમાં હોતું નથી.
- અણુને માત્ર એક જ રચના હોય છે જે વિહિત સ્વરૂપોની સસ્પંદન સંકર છે અને તેને એક જ લુઈસ રચના વડે દર્શાવી શકાય નહિ.

#### 4.3.6 બંધની ધ્રુવીયતા (Polarity of Bonds)

સો ટકા આયનીય અથવા સહસંયોજક બંધના અસ્તિત્વનો નિર્દેશ એક આદર્શ પરિસ્થિતિ છે. હકીકતમાં કોઈપણ બંધ અથવા સંયોજન સંપૂર્ણપણે સહસંયોજક અથવા આયનીય હોતો નથી. બે હાઈડ્રોજન પરમાણુઓ વચ્ચેના સહસંયોજક બંધની બાબતમાં પણ કંઈક આયનીય લાક્ષણિકતા હોય છે.

જ્યારે બે સમાન પરમાણુઓ વચ્ચે સહસંયોજક બંધ રચાય છે, ઉદાહરણ તરીકે,  $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{N}_2$  અથવા  $\text{F}_2$ માં ભાગીદાર ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ બન્ને પરમાણુ વડે સરખી રીતે આકર્ષિત થાય છે અને પરિણામે ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ બન્ને સમાન કેન્દ્રની બરાબર મધ્યમાં જ ગોઠવાય છે. આ રીતે જે બંધ રચાય છે તેને અધ્રુવીય

બંધ કહે છે. આથી વિરુદ્ધ HF જેવા વિષમકેન્દ્રીય અણુની બાબતમાં બન્ને પરમાણુ વચ્ચેનું ભાગીદાર ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ ફ્લોરિન તરફ ખેંચાય છે, કારણ કે ફ્લોરિનની વિદ્યુતઋણતા (એકમ 3) હાઇડ્રોજનની વિદ્યુતઋણતા કરતાં ઘણી જ વધારે છે. પરિણામતો સહસંયોજક બંધ ધ્રુવીય સહસંયોજક બંધ હોય છે.

ધ્રુવીભવનને પરિણામે અણુ દ્વિધ્રુવ ચાકમાત્રા (નીચે દર્શાવેલ છે) ધારણ કરે છે અને તેને એ રીતે વ્યાખ્યાયિત કરી શકાય કે તે ભારની માત્રા અને ધન અને ઋણ ભારના કેન્દ્રો વચ્ચેના અંતરનો ગુણાકાર છે અને તે સામાન્ય રીતે ગ્રીક અક્ષર  $\mu$  વડે નિર્દેશિત કરાય છે. ગાણિતીય રીતે તેને નીચે પ્રમાણે રજૂ કરી શકાય :

$$\text{દ્વિધ્રુવ ચાકમાત્રા } (\mu) = \text{ભાર } (Q) \times \text{અલગીકરણનું અંતર } (r)$$

દ્વિધ્રુવ ચાકમાત્રા સામાન્ય રીતે ડીબાય એકમ (D)માં દર્શાવાય છે. તેનો પરિવર્તન ગુણક

$$1 \text{ D} = 3.33564 \times 10^{-30} \text{ C m છે.}$$

જ્યાં, C કુલોમ્બ છે અને m મીટરમાં છે.

આ ઉપરાંત દ્વિધ્રુવ ચાકમાત્રા સદિશ રાશિ છે અને પ્રણાલિકા પ્રમાણે તેને નાના તીર વડે દર્શાવાય છે. જેમાં પૂંછડીને ઋણ કેન્દ્ર અને શીર્ષને ધન કેન્દ્ર તરફ દર્શાવાય છે, પરંતુ રસાયણવિજ્ઞાનમાં દ્વિધ્રુવ ચાકમાત્રાને કોસ (crossed) કરેલ તીર ( $\rightarrow$ )ને અણુની લુઇસ રચના પર મૂકવામાં આવે છે. કોસ ધન છેડા પર અને તીરનું શીર્ષ ઋણ છેડા પર હોય છે. ઉદાહરણ તરીકે HFને નીચે પ્રમાણે રજૂ કરી શકાય :

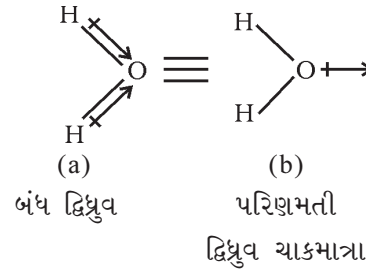


તીર અણુમાંની ઇલેક્ટ્રોન ધનતા સ્થાનાંતર(shift)ની દિશામાં હોવાની સંજ્ઞા દર્શાવે છે. એ નોંધવું જરૂરી છે કે કોસ તીરની દિશા પ્રણાલિકાગત દ્વિધ્રુવ ચાકમાત્રા સદિશની ઉલટી દિશામાં હોય છે.



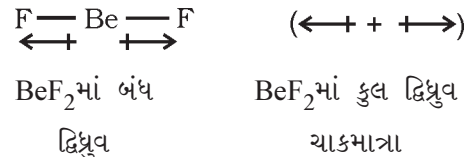
ડચ વૈજ્ઞાનિક પીટર ડીબાયે (Peter Debye) 1936માં ક્ષ-કિરણ વિવર્તન અને દ્વિધ્રુવ ચાકમાત્રા પરના કાર્ય માટે નોબેલ પારિતોષિક મેળવ્યું હતું. દ્વિધ્રુવ ચાકમાત્રાની માત્રા ડીબાય એકમમાં દર્શાવાય છે, જે ડીબાય પ્રત્યેનું માન છે.

બહુપરમાણ્વીય અણુઓના કિસ્સામાં અણુની દ્વિધ્રુવ ચાકમાત્રા જુદા જુદા બંધની દ્વિધ્રુવ ચાકમાત્રાનો સદિશ સરવાળો છે. ઉદાહરણ તરીકે H<sub>2</sub>O અણુ કે જેને વળાંકવાળી (bent) રચના છે તેમાં બે O - H બંધ 104.5°ના ખૂણે દિક્ વિન્યાસ (orientation) પર હોય છે. ચોખ્ખી (net) દ્વિધ્રુવ ચાકમાત્રા  $6.17 \times 10^{-30} \text{ C m}$  ( $1 \text{ D} = 3.33564 \times 10^{-30} \text{ C m}$ ) બે O - H બંધની દ્વિધ્રુવ ચાકમાત્રાના પરિણામની દ્વિધ્રુવ ચાકમાત્રા છે.

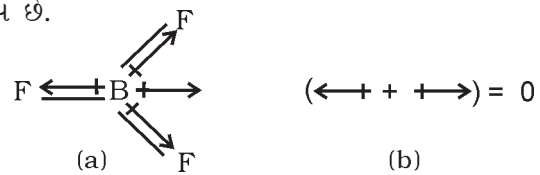


$$\begin{aligned} \text{ચોખ્ખી (net) દ્વિધ્રુવ ચાકમાત્રા} &= 1.85 \text{ D} \\ &= 1.85 \times 3.33564 \times 10^{-30} \text{ C m} \\ &= 6.17 \times 10^{-30} \text{ C m} \end{aligned}$$

BeF<sub>2</sub>ની બાબતમાં દ્વિધ્રુવ ચાકમાત્રા શૂન્ય છે. આનું કારણ એ છે કે બન્ને સરખા બંધ દ્વિધ્રુવ બિંદુ એકબીજાની વિરુદ્ધ દિશામાં હોય છે અને એકબીજાને રદ કરે છે.



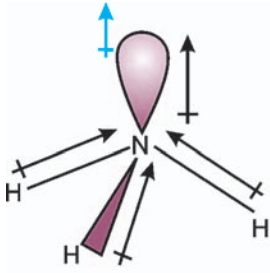
ત્રિપરિમાણીય અણુમાં ઉદાહરણ તરીકે BF<sub>3</sub>માં દ્વિધ્રુવ ચાકમાત્રા શૂન્ય છે. જો કે B → F બંધ એકબીજાને 120° ખૂણે દિક્વિન્યાસ ધરાવે છે અને ત્રણેય દ્વિધ્રુવ ચાકમાત્રાનો સરવાળો કોઈ બે સરખી દ્વિધ્રુવ ચાકમાત્રાનો સરવાળો ત્રીજાની વિરુદ્ધમાં હોય છે.



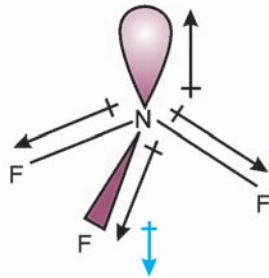
BF<sub>3</sub> અણુ; (a) બંધ દ્વિધ્રુવ અને (b) કુલ દ્વિધ્રુવ ચાકમાત્રાની રજૂઆત

આપણે NH<sub>3</sub> અને NF<sub>3</sub>ની રસપ્રદ બાબતનો અભ્યાસ કરીએ. બન્ને અણુઓને પિરામીડલ આકાર હોય છે અને નાઇટ્રોજન પરમાણુ પર ઇલેક્ટ્રોનનું અબંધકારક યુગ્મ હોય છે. ફ્લોરિન નાઇટ્રોજન કરતાં વધુ વિદ્યુતઋણમય છે છતાં NH<sub>3</sub>ની પરિણમતી દ્વિધ્રુવ ચાકમાત્રા ( $4.90 \times 10^{-30} \text{ C m}$ ) NF<sub>3</sub>ની પરિણમતી દ્વિધ્રુવ ચાકમાત્રા ( $0.8 \times 10^{-30} \text{ C m}$ ) કરતાં વધારે છે. આમ થવાનું કારણ એ છે કે NH<sub>3</sub>ની

બાબતમાં અબંધકારક યુગ્મને કારણે ક્ષકીય દ્વિધ્રુવ એક જ દિશામાં હોય છે. જે N-H બંધની પરિણમતી દ્વિધ્રુવ ચાકમાત્રાની દિશામાં હોય છે, જ્યારે NF<sub>3</sub>માં ત્રણ N-F બંધની પરિણમતી દ્વિધ્રુવ ચાકમાત્રાની વિરુદ્ધ દિશામાં હોય છે. અબંધકારક યુગ્મને લીધે ક્ષકીય દ્વિધ્રુવ N-F બંધનીય પરિણમતી દ્વિધ્રુવ ચાકમાત્રા પરની અસરમાં ઘટાડો કરે છે. આને પરિણામે NF<sub>3</sub>ની દ્વિધ્રુવ ચાકમાત્રા નીચું મૂલ્ય ધરાવે છે. જે નીચે દર્શાવેલ છે :



NH<sub>3</sub>માં પરિણમતી  
દ્વિધ્રુવ ચાકમાત્રા  
=  $4.90 \times 10^{-30}$  C m



NF<sub>3</sub>માં પરિણમતી  
દ્વિધ્રુવ ચાકમાત્રા  
=  $0.80 \times 10^{-30}$  C m

કોષ્ટક 4.5માં કેટલાક અણુઓની દ્વિધ્રુવ ચાકમાત્રા દર્શાવેલ છે.

જેમાં બધા જ સહસંયોજક બંધને કંઈક આંશિક આયનીય લાક્ષણિકતા હોય છે તેમ દરેક આયનીય બંધને પણ કંઈક આંશિક સહસંયોજક લાક્ષણિકતા હોય છે. આયનીય બંધની આંશિક સહસંયોજક લાક્ષણિકતા ફજાન વડે નીચેના સ્વરૂપમાં ચર્ચવામાં આવી હતી :

- ધનાયનનું નાનું કદ અને ઋણાયનનું મોટું કદ હોય તો આયનીય બંધમાં વધુ સહસંયોજક લાક્ષણિકતા.
- જેમ ધનાયન પર વધારે ભાર તો આયનીય બંધની સહસંયોજક લાક્ષણિકતા વધારે.
- સમાન કદ અને ભાર ધરાવતાં સંક્રાંતિ ધાતુ ધનાયનમાં જેની ઈલેક્ટ્રોનીય રચના  $(n-1)d^n s^0$  છે તે આલ્કલી અને આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુ ધનાયન જેની ઈલેક્ટ્રોનીય રચના ઉમદા વાયુ જેવી  $ns^2 np^6$  છે તેના કરતાં વધુ ધ્રુવીકરણ પામે છે.

ધનાયન પોતાની તરફ ઈલેક્ટ્રોનીય ભારને ખેંચીને ઋણાયનને ધ્રુવીભૂત કરે છે. અને તેને લીધે બન્ને વચ્ચે ઈલેક્ટ્રોનીય ભાર વધારે છે. સહસંયોજક બંધમાં ચોક્કસાઈપૂર્વક આ પ્રમાણે બને છે એટલે કે બે કેન્દ્રો વચ્ચે ભારઘનતા રચાય છે. ધનાયનની ધ્રુવીભવન શક્તિ, ઋણાયનની ધ્રુવીભવનીયતા અને વિકૃતિ માત્રા (ધ્રુવીભવન) પરિબળો છે જે આયનીય બંધની સહસંયોજક લાક્ષણિકતાના ટકા નક્કી કરે છે.

#### 4.4 સંયોજકતા કોશ ઈલેક્ટ્રોન યુગ્મ અપાકર્ષણ (VSEPR) સિદ્ધાંત (The Valence Shell Electron Pair Repulsion Theory)

અગાઉ સમજાવ્યા પ્રમાણે લુઈસ પ્યાલ અણુના આકાર સમજાવી શકતો નથી. આ સિદ્ધાંત સહસંયોજક અણુના આકારનું

##### કોષ્ટક 4.5 પસંદ કરેલા અણુઓની દ્વિધ્રુવ ચાકમાત્રા

અણુનો પ્રકાર	ઉદાહરણ	દ્વિધ્રુવ ચાકમાત્રા $\mu(D)$	ભૂમિતિ
અણુ (AB)	HF	1.78	રેખીય
	HCl	1.07	રેખીય
	HBr	0.79	રેખીય
	HI	0.38	રેખીય
	H <sub>2</sub>	0	રેખીય
અણુ (AB <sub>2</sub> )	H <sub>2</sub> O	1.85	વળેલો
	H <sub>2</sub> S	0.95	વળેલો
	CO <sub>2</sub>	0	રેખીય
અણુ (AB <sub>3</sub> )	NH <sub>3</sub>	1.47	ત્રિકોણીય પિરામિડલ
	NF <sub>3</sub>	0.23	ત્રિકોણીય પિરામિડલ
	BF <sub>3</sub>	0	ત્રિકોણીય સમતલ
અણુ (AB <sub>4</sub> )	CH <sub>4</sub>	0	સમચતુષ્ફલકીય
	CHCl <sub>3</sub>	1.04	સમચતુષ્ફલકીય
	CCl <sub>4</sub>	0	સમચતુષ્ફલકીય

પ્રાકૃકથન કરવા માટે સરળ પદ્ધતિ પૂરી પાડે છે. સિજવિક (Sidgwick) અને પોવેલે (Powell) 1940માં પરમાણુની સંયોજકતા કોશમાંના ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મની પારસ્પરિક ક્રિયાઓ વિશે એક સરળ સિદ્ધાંત પ્રતિપાદિત કર્યો. નાયહોલ્મ (Nyholm) અને ગિલેસ્પીએ (Gillespie) (1957) તેને વિકસાવ્યો અને પુનઃવ્યાખ્યાયિત કર્યો.

**VSEPR સિદ્ધાંતની મુખ્ય અભિધારણાઓ (postulates) નીચે પ્રમાણે છે :**

- અણુનો આકાર મધ્યસ્થ પરમાણુની આસપાસની સંયોજકતા કોશ ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ (બંધકારક અને અબંધકારક)ની સંખ્યા પર આધાર રાખે છે.
- સંયોજકતા કોશમાં ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મો અપાકર્ષણ કરશે કારણ કે તેમના ઇલેક્ટ્રોન વાદળ ઋણભારિત છે.
- આ ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ અવકાશમાં એવી રીતે ગોઠવાય છે જેથી અપાકર્ષણ ઓછું થાય અને આમ તેમની વચ્ચેનું અંતર વધે છે.
- સંયોજકતા કોશને વર્તુળાકાર લેવામાં આવે છે. જેમાં ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ એકબીજાથી મહત્તમ અંતરે વર્તુળાકાર સપાટી પર સ્થાનીકૃત થાય છે.
- બહુ બંધને એકલ ઇલેક્ટ્રોન-યુગ્મ જેવા ગણવામાં આવે છે અને બહુ બંધના બે કે ત્રણ ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ એકલ અતિ (super) યુગ્મ તરીકે ગણવામાં આવે છે.
- અણુ જ્યાં બે કે વધારે સરખંદન રચના રજૂ કરી શકે છે ત્યાં VSEPR નમૂનો આવી કોઈ રચનાને લાગુ પાડી શકાય છે.

ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મની અપાકર્ષણીય પારસ્પરિક ક્રિયા નીચેના ક્રમમાં ઘટે છે.

અબંધકારક યુગ્મ (lp) – અબંધકારક યુગ્મ (lp) > અબંધકારક યુગ્મ (lp) – બંધકારક યુગ્મ (bp) > બંધકારક યુગ્મ (bp) – બંધકારક યુગ્મ (bp)

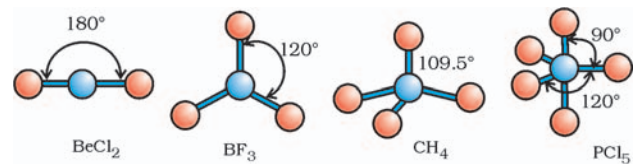
નાયહોલ્મ અને ગિલેસ્પીએ (1957) VSEPR નમૂનાને પુનઃવ્યાખ્યાયિત કર્યો અને ઇલેક્ટ્રોનના અબંધકારક યુગ્મ અને બંધકારક યુગ્મ વચ્ચેનો અગત્યનો ભેદ સમજાવ્યો. જ્યારે અબંધકારક યુગ્મ મધ્યસ્થ પરમાણુ પર સ્થાનીકૃત હોય ત્યારે દરેક બંધકારક યુગ્મ બન્ને પરમાણુઓ વચ્ચે ભાગીદાર બને છે. આને પરિણામે અણુમાં અબંધકારક ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ બંધકારકયુક્ત ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ કરતાં વધારે જગ્યા રોકે છે. આને પરિણામે અબંધકારક ઇલેક્ટ્રોનના યુગ્મો વચ્ચે અબંધકારક યુગ્મ – બંધકારક યુગ્મ અને બંધકારક યુગ્મ – બંધકારક યુગ્મની

સરખામણીમાં વધારે અપાકર્ષણ પરિણમે છે. આ અપાકર્ષણ અસરથી આદર્શ આકાર અને અણુમાં બંધકોણના ફેરફારો (alteration) વિચલનમાં પરિણમે છે.

VSEPR સિદ્ધાંતની મદદથી ભૌમિતિક આકારનું પ્રાકૃકથન કરવા માટે અણુઓને બે વિભાગમાં વહેંચી દેવાનું અનુકૂળ બને છે. (i) અણુઓ કે જેમાં મધ્યસ્થ પરમાણુને અબંધકારક ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ હોતું નથી. (ii) અણુઓ કે જેમાં મધ્યસ્થ પરમાણુના એક અથવા વધારે અબંધકારક યુગ્મ હોય છે.

કોષ્ટક 4.6 મધ્યસ્થ પરમાણુ Aના આસપાસ ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ (અબંધકારક યુગ્મ સિવાય) ગોઠવણી અને AB પ્રકારના કેટલાક અણુઓ/આયનોની ભૂમિતિ દર્શાવે છે. કોષ્ટક 4.7 કેટલાક અણુઓ અને આયનોના આકાર દર્શાવે છે, જેમાં મધ્યસ્થ પરમાણુને એક અથવા વધારે અબંધકારક યુગ્મ છે. કોષ્ટક 4.8 અણુઓની ભૂમિતિમાં વિકૃતિ (distortion) માટેના કારણો દર્શાવે છે.

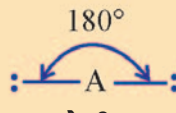

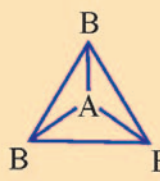
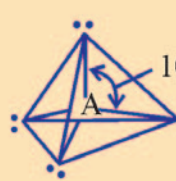
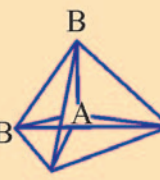

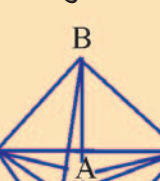
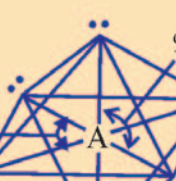
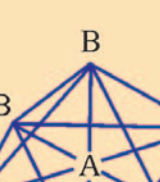
કોષ્ટક 4.6માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે AB<sub>2</sub>, AB<sub>3</sub>, AB<sub>4</sub>, AB<sub>5</sub> અને AB<sub>6</sub> સંયોજનોમાં ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મની ગોઠવણીમાં અને મધ્યસ્થ પરમાણુની આસપાસ B પરમાણુઓ અનુક્રમે રેખીય, સમતલીય સમત્રિકોણીય, ચતુષ્ફલકીય, ત્રિકોણીય દ્વિપિરામિડલ અને અષ્ટફલકીય રીતે હોય છે. આવી ગોઠવણી BF<sub>3</sub> (AB<sub>3</sub>), CH<sub>4</sub> (AB<sub>4</sub>), PCl<sub>5</sub> (AB<sub>5</sub>) જેવા અણુઓમાં નીચે દર્શાવ્યા પ્રમાણે તેમના દડા અને સળી (stick) નમૂનામાં દર્શાવેલ છે.



**આકૃતિ 4.6** મધ્યસ્થ પરમાણુને અબંધકારક યુગ્મ નથી તેવા અણુઓના પ્રકાર

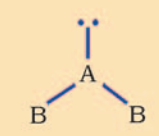
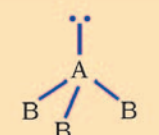
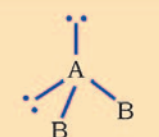


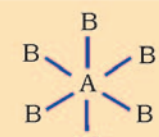
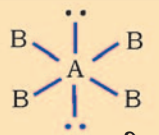
VSEPR સિદ્ધાંત ખાસ કરીને *p*-વિભાગ તત્ત્વોના સંયોજનોના મોટા ભાગના અણુઓની ભૂમિતિનું પ્રાકૃકથન કરી શકે છે. બે શક્ય રચનાઓ વચ્ચે ઊર્જા ફેરફાર ઓછો હોય ત્યારે પણ ખૂબ જ ચોકસાઈથી ભૂમિતિ નક્કી કરવામાં ઘણો સફળ રહ્યો છે. VSEPR સિદ્ધાંતનો સૈદ્ધાંતિક પાયો ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ અપાકર્ષણની આણ્વીય આકાર પર અસરને સમજાવવામાં સ્પષ્ટ નથી અને તે શંકા અને ચર્ચાના વિષય તરીકે ચાલુ રહે છે.

કોષ્ટક 4.6 અણુઓની ભૂમિતિ જેમાં મધ્યસ્થ પરમાણુને અબંધકારક ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ હોતું નથી

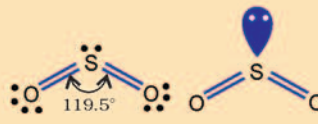
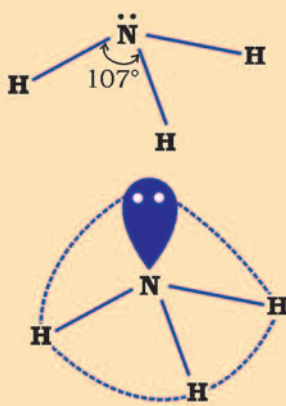
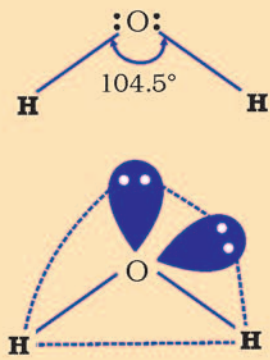

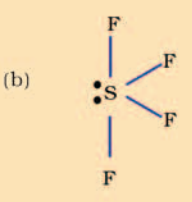
ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મની સંખ્યા	ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મની ગોઠવણી	આણ્વીય ભૂમિતિ	ઉદાહરણો
2	 <p>180° રેખીય</p>	B—A—B રેખીય	BeCl <sub>2</sub> , HgCl <sub>2</sub>
3	 <p>120° સમતલીય સમત્રિકોણીય</p>	 <p>સમતલીય સમત્રિકોણીય</p>	BF <sub>3</sub>
4	 <p>109.5° સમચતુષ્ફલકીય</p>	 <p>સમચતુષ્ફલકીય</p>	CH <sub>4</sub> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
5	 <p>90° 120° ત્રિકોણીય દ્વિપિરામિડલ</p>	 <p>ત્રિકોણીય દ્વિપિરામિડલ</p>	PCl <sub>5</sub>
6	 <p>90° 90° અષ્ટફલકીય</p>	 <p>અષ્ટફલકીય</p>	SF <sub>6</sub>

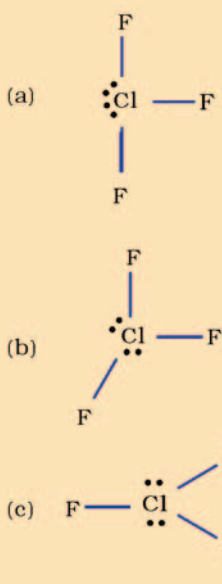
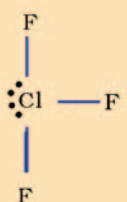
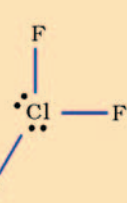
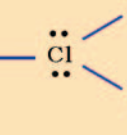
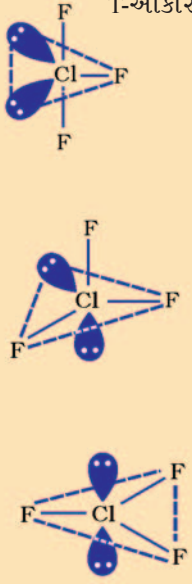


કોષ્ટક 4.7 સાદા અણુ/આયનો જેમાં મધ્યસ્થ આયનને એક અથવા વધારે અબંધકારક ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ હોય તેમના આકાર (ભૂમિતિ)

અણુ પ્રકાર	બંધકારક યુગ્મની સંખ્યા	અબંધકારક યુગ્મની સંખ્યા	ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મની ગોઠવણી	આકાર	ઉદાહરણ
$AB_2E$	2	1	 ત્રિકોણીય સમતલ	વળેલો (bent)	$SO_2, O_3$
$AB_3E$	3	1	 સમચતુષ્કલકીય	ત્રિકોણીય પિરામિડલ	$NH_3$
$AB_2E_2$	2	2	 સમચતુષ્કલકીય	વળેલો	$H_2O$
$AB_4E$	4	1	 ત્રિકોણીય દ્વિપિરામિડલ	ચીચવો (see saw)	$SF_4$
$AB_3E_2$	3	2	 ત્રિકોણીય દ્વિપિરામિડલ	T-આકાર	$ClF_3$
$AB_5E$	5	1	 અષ્ટફલકીય	સમચોરસ પિરામિડ	$BrF_5$
$AB_4E_2$	4	2	 અષ્ટફલકીય	સમતલીય ચોરસ	$XeF_4$

કોષ્ટક 4.8 બંધકારક યુગ્મ અને અબંધકારક યુગ્મ ધરાવતા અણુઓના આકાર

અણુ પ્રકાર	બંધકારક યુગ્મની સંખ્યા	અબંધકારક યુગ્મની સંખ્યા	ઇલેક્ટ્રોનની ગોઠવણી	આકાર	મેળવેલા આકાર માટે કારણ
AB <sub>2</sub> E	4	1		વળેલો	સૈદ્ધાંતિક રીતે આકાર ત્રિકોણીય સમતલ હોવો જોઈએ, પરંતુ તે વળેલો અથવા V-આકારનો હોય છે. આનું કારણ એ છે કે અબંધકારક યુગ્મ અને બંધકારક યુગ્મ વચ્ચે અપાકર્ષણ. બંધકારક યુગ્મની સરખામણીમાં અપાકર્ષણ વધારે હોય છે. તેથી ખૂણો 120°થી ઘટીને 119.5° થાય છે.
AB <sub>3</sub> E	3	1		ત્રિકોણીય પિરામિડલ	lp ના સ્થાને bp હોત તો આકાર સમચતુષ્ફલકીય હોત પણ એક અબંધકારક યુગ્મ હાજર છે. તેથી lp-bp વચ્ચેનું અપાકર્ષણ bp-bp વચ્ચેના અપાકર્ષણ કરતાં વધારે છે તેથી બંધકારક યુગ્મ વચ્ચેનો ખૂણો 109.5°થી ઘટીને 107° થાય છે.
AB <sub>2</sub> E <sub>2</sub>	2	2		વળેલો	જો બધા જ bp હોત તો આકાર સમચતુષ્ફલકીય હોત પણ બે lp હાજર છે. તેથી આકાર વિકૃત સમચતુષ્ફલક અથવા કોણીય બને છે. કારણ એ છે કે lp-lp અપાકર્ષણ bp-bp અપાકર્ષણ કરતાં વધારે છે તેથી ખૂણો 109.5°થી ઘટીને 104.5° થાય છે.
AB <sub>4</sub> E	4	1	(a)  (b) 	ચીચવો	(a)માં lp અક્ષીય છે તેથી 90°ને ખૂણે ત્રણ lp-bp અપાકર્ષણ (b)માં lp વિષુવવૃત્તીય સ્થિતિમાં બે lp-bp અપાકર્ષણ છે. આથી (b) ગોઠવણી વધુ સ્થાયી છે. ગોઠવણી (b)માં દર્શાવેલ આકાર વિકૃત સમચતુષ્ફલક એક ગડી (fold) વાળેલા ચોરસ અથવા ચીચવો તરીકે રજૂ કરી શકાય.

અણુ પ્રકાર	બંધકારક યુગ્મની સંખ્યા	અબંધકારક યુગ્મની સંખ્યા	ઇલેક્ટ્રોનની ગોઠવણી	આકાર	મેળવેલા આકાર માટે કારણ
$AB_3E_2$	3	2	 <p>(a) </p> <p>(b) </p> <p>(c) </p>	 <p>T-આકાર</p>	T આકાર (a)માં $l_p$ વિષુવૃત્તીય સ્થાનમાં છે. તેથી $l_p$ - $b_p$ અપાકર્ષણ બીજામાં જેમાં $l_p$ અક્ષીય સ્થાનમાં હોય છે તેના કરતાં ઓછા હોય છે તેથી રચના (a) સૌથી વધુ સ્થાયી છે. (T-આકાર)

#### 4.5 સંયોજકતા બંધનવાદ (Valence Bond Theory)

આપણે જાણીએ છીએ કે લુઈસ અભિગમ અણુના આકાર લખવામાં મદદરૂપ થાય છે, પરંતુ રાસાયણિક બંધની રચનાને સમજાવવામાં નિષ્ફળ નીવડે છે. અને આ ઉપરાંત તે બંધ વિયોજન એન્થાલ્પી, બંધ લંબાઈમાં તફાવત વિશે નીચેના કેટલાક અણુઓ માટે કારણ દર્શાવી શકતો નથી. વળી તે કેટલાક અણુઓ જેવાં કે  $H_2$  ( $435.8 \text{ kJ mol}^{-1}$ ;  $74 \text{ pm}$ ) અને  $F_2$  ( $155 \text{ kJ mol}^{-1}$ ;  $144 \text{ pm}$ ) માટે બંધ વિયોજન ઊર્જામાં અને બંધ લંબાઈમાં તફાવત માટે કોઈ કારણ દર્શાવતો નથી. જો કે આ બંને કિસ્સામાં સહસંયોજક બંધ અનુરૂપ પરમાણુ વચ્ચે ઇલેક્ટ્રોન ભાગીદારીથી રચાયેલો છે. તે બહુપરમાણ્વીય અણુના આકાર માટે કોઈ માહિતી આપતો નથી.

એ જ પ્રમાણે VSEPR સિદ્ધાંત સાદા અણુઓની ભૂમિતિ આપે છે, પરંતુ સૈદ્ધાંતિક રીતે તેમને સમજાવી શકતો નથી અને તેના મર્યાદિત અનુપ્રયોગો (applications) છે. આ મર્યાદાને પાર કરવા માટે બે અગત્યના સિદ્ધાંત જે ક્વોન્ટમ યાંત્રિકીય સિદ્ધાંતના પાયા પર રચાયેલ છે તે દાખલ થયાં. આ છે - સંયોજકતા બંધન (VB) વાદ અને આણ્વીય કક્ષક (MO) વાદ.

સંયોજકતા બંધનવાદ 1927માં હિટલર (Heitler) અને લંડને (London) દાખલ કરેલો જેનો પાઉલિંગ અને અન્યોએ

બહુ વિકસાવ્યો. સંયોજકતા બંધન વાદ પરની ચર્ચાનો આધાર પરમાણ્વીય કક્ષકો, તત્વોની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના (એકમ 2), પરમાણ્વીય કક્ષકોનું અતિવ્યાપન (overlapping) અથવા સંમિશ્રણ, પરમાણ્વીય કક્ષકોના સંકરણ અને વિચરણ (variation) તથા અધ્યારોપણ (superposition) ઉપર આધારિત છે. આ બાબતોના આધાર પર VB વાદનું ખરેખર વિવેચન આ પુસ્તકની તાકાત બહારનું છે. આ માટે અનુકૂળતા ખાતર સંયોજકતા બંધન વાદ માત્ર ગુણાત્મક અને બિનગાણિતીય રીતે જ ચર્ચવામાં આવેલ છે. આની શરૂઆત આપણે હાઈડ્રોજન અણુની રચનાથી કરીએ જે બધા અણુઓમાં સૌથી સરળ છે.

બે હાઈડ્રોજન પરમાણુઓ A અને B તેમના કેન્દ્ર  $N_A$  અને  $N_B$  તરફ એકબીજાની નજીક હોય છે અને તેમના ઇલેક્ટ્રોન અનુક્રમે  $e_A$  અને  $e_B$  છે, જ્યારે આ બે પરમાણુઓ એકબીજાથી ઘણું જ દૂર હોય તો તેમની વચ્ચે પારસ્પરિક ક્રિયા નહિ થાય. આ બંને પરમાણુઓ જેમ જેમ એકબીજાની નજીક આવે છે તેમ તેમ નવા આકર્ષણ અપાકર્ષણ બળો ક્રિયામાં આવે છે. આકર્ષણ બળો નીચેની બાબતો વચ્ચે ઉદ્ભવે છે :

(i) એક પરમાણુનું કેન્દ્ર અને પોતાનો ઇલેક્ટ્રોન એટલે કે  $N_A - e_A$  અને  $N_B - e_B$ .

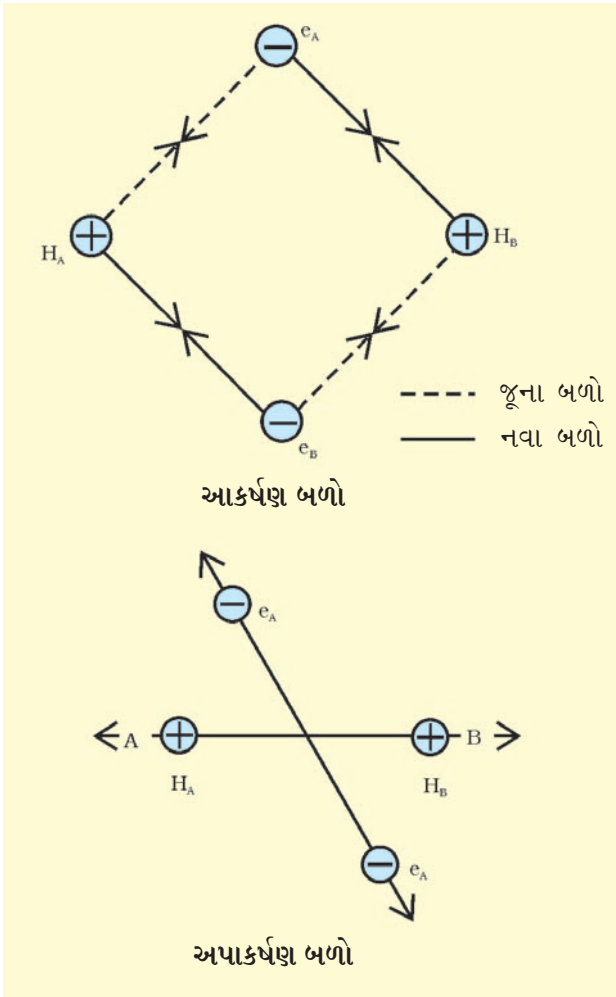
(ii) એક પરમાણુનું કેન્દ્ર અને બીજા પરમાણુનો ઇલેક્ટ્રોન એટલે કે  $N_A - e_B$  અને  $N_B - e_A$ .

આ જ પ્રમાણે અપાકર્ષણ બળો નીચેની બાબતો વચ્ચે ઉદ્ભવે છે :

(i) બન્ને પરમાણુઓના ઇલેક્ટ્રોન  $e_A - e_B$ .

(ii) બન્ને પરમાણુના કેન્દ્ર  $N_A - N_B$ .

આકર્ષણ બળો બન્ને પરમાણુઓને નજીક લાવવા પ્રયત્ન કરે છે, જ્યારે અપાકર્ષણ બળો એકબીજાને દૂર ધકેલે છે. (આકૃતિ 4.7)

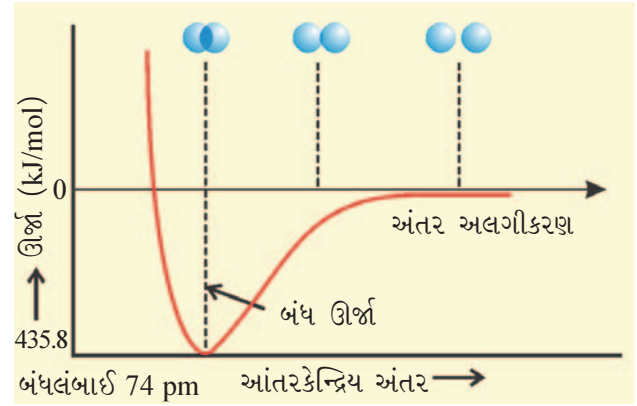


**આકૃતિ 4.7** H<sub>2</sub> અણુની રચના દરમિયાનના આકર્ષણ અને અપાકર્ષણ બળો

પ્રાયોગિક રીતે એ જણાયું છે કે નવા આકર્ષણ બળોની માત્રા નવા અપાકર્ષણ બળોની માત્રા કરતાં વધારે છે. આને પરિણામે બન્ને પરમાણુઓ એકબીજાની નજીક આવે છે અને સ્થિતિજ ઊર્જા ઘટે છે. છેવટે એક એવા તબક્કે પહોંચે છે કે જ્યાં ચોખ્ખું (net) આકર્ષણ બળ અપાકર્ષણ બળ એકબીજાને

સમતુલિત કરે છે અને પ્રણાલી નિમ્નતમ ઊર્જા પ્રાપ્ત કરે છે. આ તબક્કે હાઇડ્રોજન પરમાણુઓ એકબીજા સાથે બંધન પામે છે અને સ્થાયી અણુની રચના કરે છે. જેની બંધલંબાઈ 74 pm છે.

જ્યારે બન્ને હાઇડ્રોજન પરમાણુઓ વચ્ચે બંધ રચાય છે ત્યારે ઊર્જા છૂટી પડે છે અને તેથી હાઇડ્રોજન અણુ અલગ હાઇડ્રોજન પરમાણુ કરતાં વધુ સ્થાયી હોય છે. છૂટી પડેલી ઊર્જાને **બંધ એન્ટાલ્પી** કહે છે. આકૃતિ 4.8માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે નિમ્નતમ સ્થિતિને અનુરૂપ હોય છે. વિપરીત રીતે કહીએ તો 435.8 kJ ઊર્જાની એક મોલ અણુને વિયોજિત કરવા માટે જરૂર પડશે.



**આકૃતિ 4.8** H પરમાણુઓના આંતરકેન્દ્રિય અંતર અને H<sub>2</sub> અણુ બનવા માટેનો સ્થિતિજ ઊર્જાનો વક્ર. વક્રમાં નિમ્નતમ અવસ્થા H<sub>2</sub>ની વધુ સ્થાયી અવસ્થાને અનુરૂપ છે.

#### 4.5.1 કક્ષકીય સંમિશ્રણ ખ્યાલ (Orbital Overlap Concept)

હાઇડ્રોજન અણુની રચનામાં જ્યારે બન્ને હાઇડ્રોજન પરમાણુ એટલા નજીક હોય છે એટલે કે નિમ્નતમ ઊર્જા હોય છે. આથી તેમની કક્ષકો કંઈક અંશે આંતરભેદન (interpenetration) દર્શાવે છે. આ આંશિક આંતરભેદનને પરમાણ્વીય કક્ષકોનું સંમિશ્રણ કહે છે. જે ઇલેક્ટ્રોનનું યુગ્મ છે. સંમિશ્રણની માત્રા સહસંયોજક બળનું સામર્થ્ય નક્કી કરે છે. સામાન્ય રીતે જેમ વધારે સંમિશ્રણ તેમ બન્ને પરમાણુઓ વચ્ચે રહેલા બંધનું સામર્થ્ય વધારે. આથી કક્ષકીય સંમિશ્રણ ખ્યાલથી બે પરમાણુઓ વચ્ચે સહસંયોજક બંધની રચના વિરુદ્ધ ભ્રમણ ધરાવતા સંયોજકતા ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મને કારણે પરિણમે છે.

### 4.5.2 બંધના દિશાત્મક ગુણધર્મો (Directional Properties of Bonds)

આપણે જોયું તેમ સહસંયોજક બંધ પરમાણ્વીય કક્ષકોના સંમિશ્રણથી રચાય છે. બે H પરમાણુની 1s-કક્ષકોના સંમિશ્રણથી H<sub>2</sub>નો અણુ બને છે.

CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub> અને H<sub>2</sub>O જેવા બહુપરમાણ્વીય અણુઓની ભૂમિતિ, બંધ રચના ઉપરાંત પણ અગત્યની છે. ઉદાહરણ તરીકે CH<sub>4</sub> અણુ શા માટે ચતુષ્ફલકીય અણુ છે અને HCH ખૂણો 109.5° છે ? NH<sub>3</sub> અણુનો આકાર શા માટે પિરામિડલ છે ?

સંયોજકતા બંધન વાદ CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub> અને H<sub>2</sub>O વગેરે જેવા અણુઓમાં બંધની રચના અને દિશાત્મક ગુણધર્મો પરમાણ્વીય કક્ષકોના સંમિશ્રણ અને સંકરણના પર્યાય(સંદર્ભ)માં સમજાવી શકે છે.

### 4.5.3 પરમાણ્વીય કક્ષકોનું સંમિશ્રણ (Overlapping of Atomic Orbitals)

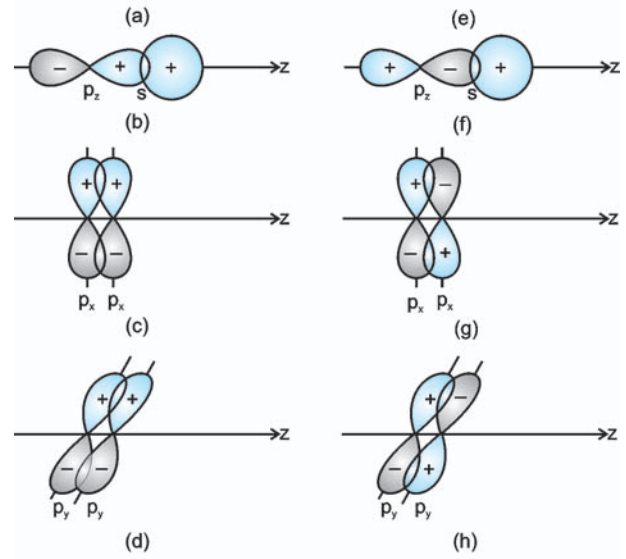
જ્યારે બે પરમાણુઓની કક્ષકો નજીક આવીને બંધ બનાવે છે ત્યારે તેમનું સંમિશ્રણ ધન, ઋણ અથવા શૂન્ય હોઈ શકે છે જેનો આધાર અવકાશમાં કક્ષકીય તરંગ વિધેય સંજ્ઞા (કલા-phase) અને દિક્વિન્યાસની દિશા પર હોય છે (આકૃતિ 4.9). સીમા સપાટી આકૃતિઓમાં કક્ષકીય તરંગ વિધેયની ધન કે ઋણ સંજ્ઞા ભાર સાથે સંબંધિત નથી. બંધ રચતી કક્ષકોની સંજ્ઞા (કલા) અને દિક્વિન્યાસ સમાન હોવા જોઈએ. આને ધન સંમિશ્રણ કહે છે. s અને p કક્ષકોનાં જુદા જુદા મિશ્રણ આકૃતિ 4.9માં દર્શાવેલ છે.

સહસંયોજક બંધની રચનામાં અગત્યના અવયવ તરીકે સંમિશ્રણનો ખ્યાલ એકસરખી રીતે સમકેન્દ્રીય અને વિષમકેન્દ્રીય દ્વિપરમાણ્વીય અણુને અને બહુપરમાણ્વીય અણુઓને લાગુ પડે છે. આપણે જાણીએ છીએ કે CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub> અને H<sub>2</sub>O અણુ અનુક્રમે સમચતુષ્ફલક, પિરામિડલ અને વળેલા છે. આથી એ રસપ્રદ થશે કે સંયોજકતા બંધન વાદના ઉપયોગથી આ ભૂમિતિઓ કક્ષકીય સંમિશ્રણના અર્થમાં સમજાવી શકાશે.

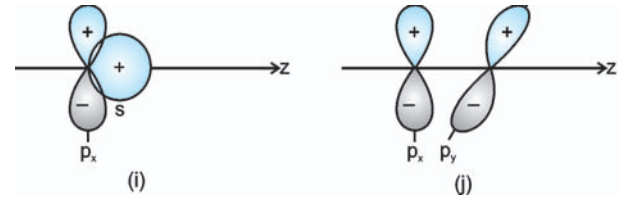
આપણે પ્રથમ CH<sub>4</sub> (મિથેન) અણુ લઈએ. કાર્બનની ધરા અવસ્થામાં ઇલેક્ટ્રોનીય રચના [He]2s<sup>2</sup>2p<sup>2</sup> છે. જે ઉત્તેજિત અવસ્થામાં [He]2s<sup>1</sup>2p<sub>x</sub><sup>1</sup>2p<sub>y</sub><sup>1</sup>2p<sub>z</sub><sup>1</sup> બને છે. આ ઉત્તેજન માટે જરૂરી ઊર્જા કાર્બન અને હાઈડ્રોજનની કક્ષકો વચ્ચેના

ધન અથવા કલામાં સંમિશ્રણ

ઋણ અથવા કલાની બહાર સંમિશ્રણ



શૂન્ય સંમિશ્રણ (કલાની બહાર કારણ કે દિશાઓને નજીક જવું.)



**આકૃતિ 4.9** s અને p પરમાણ્વીય કક્ષકોનું ધન, ઋણ અને શૂન્ય સંમિશ્રણ

સંમિશ્રણને લીધે મુક્ત થતી ઊર્જા સાથે સરભર (compensate) થાય છે.

કાર્બનની ચાર પરમાણ્વીય કક્ષકોમાંની દરેક જેની પાસે એક અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોન છે તે ચાર હાઈડ્રોજન પરમાણુની 1s કક્ષકો જે એક જ ઇલેક્ટ્રોનથી ભરાયેલી છે. તેની સાથે સંમિશ્રણ કરશે. આને પરિણામે ચાર C-H બંધ રચાશે. એ નોંધવામાં આવશે કે કાર્બનની ત્રણ p-કક્ષકો એકબીજાને 90°ના ખૂણે છે તેથી HCH ખૂણો 90° થશે. એટલે કે ત્રણ C-H બંધ એકબીજાને 90°ના ખૂણે દિક્વિન્યાસ દર્શાવશે. કાર્બનની 2s-કક્ષક અને Hની 1s-કક્ષક વર્તુળાકાર રીતે સંમિશ્રિત છે અને તેઓ ગમે તે દિશામાં સંમિશ્રણ થઈ શકે છે તેથી ચોથા C-H બંધની ખાત્રી થઈ શકશે નહિ. આ વર્ણન સમચતુષ્ફલક HCHના 109.5° ખૂણા સાથે બંધબેસશે નહિ. એમ થાય છે કે સરળ પરમાણ્વીય કક્ષકોનું સંમિશ્રણ CH<sub>4</sub>ના બંધની દિશાત્મક લાક્ષણિકતાનો હિસાબ આપતી નથી. સમાન પદ્ધતિ અને દલીલોનો ઉપયોગ કરીને એ જોઈ

શકાશે કે  $\text{NH}_3$  અને  $\text{H}_2\text{O}$  અણુઓમાં HNH અને HOH ખૂણા  $90^\circ$ ના હોવા જોઈએ. આ ખરેખર બંધકોણ  $107^\circ$   $\text{NH}_3$ માં અને  $104.5^\circ$  પાણીમાં સાથે સુસંગત નથી.

#### 4.5.4 સંમિશ્રણના પ્રકાર અને સહસંયોજક બંધનો સ્વભાવ (પ્રકૃતિ) (Types of Overlapping and Nature of Covalent Bonds)

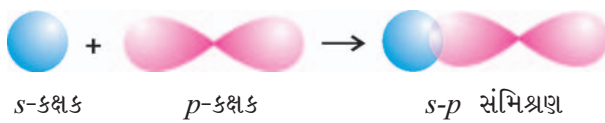
સહસંયોજક બંધ સંમિશ્રણના પ્રકાર પ્રમાણે બે પ્રકારમાં વર્ગીકૃત કરી શકાય : (i) સિગ્મા ( $\sigma$ ) બંધ (ii) પાઈ ( $\pi$ ) બંધ.

(i) સિગ્મા ( $\sigma$ ) બંધ : આ પ્રકારનો સહસંયોજક બંધ આંતરકેન્દ્રિય અક્ષ પર બંધન પામતી કક્ષકોના છેડાથી છેડા (શીર્ષ ઉપર)ના સંમિશ્રણથી રચાય છે. આને શીર્ષ ઉપર અથવા અક્ષીય સંમિશ્રણ કહે છે. આની રચના પરમાણ્વીય કક્ષકોના નીચે દર્શાવ્યા પ્રમાણેના જોડાણના કોઈ એક પ્રકારથી રચાય છે.

- **s-s સંમિશ્રણ** : આમાં બે અર્ધપૂર્ણ s-કક્ષકોનું આંતરકેન્દ્રિય અક્ષ પરનું સંમિશ્રણ હોય છે જે નીચે પ્રમાણે દર્શાવેલ છે :



- **s-p સંમિશ્રણ** : આ પ્રકારનું સંમિશ્રણ એક પરમાણુની અર્ધપૂર્ણ s-કક્ષકો અને બીજા પરમાણુની અર્ધપૂર્ણ p-કક્ષકો વચ્ચે હોય છે.

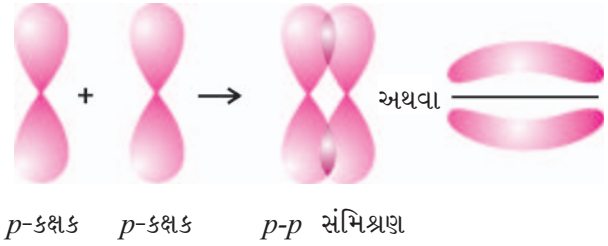


- **p-p સંમિશ્રણ** : આ પ્રકારનું સંમિશ્રણ એકબીજાની નજીક જતાં પરમાણુઓની અર્ધપૂર્ણ p-કક્ષકો વચ્ચે રચાય છે.



(ii) પાઈ ( $\pi$ ) બંધ :  $\pi$  બંધની રચનામાં પરમાણ્વીય કક્ષકો એવી રીતે સંમિશ્રિ થાય છે કે તેમની અક્ષ એકબીજાને સમાંતર રહે છે અને આંતરકેન્દ્રિય અક્ષ લંબ હોય છે. આમ બાજુમાંના મિશ્રણને લીધે રચાતી કક્ષકો, રચનામાં

ભાગ લેતા પરમાણુઓના તલની ઉપર અને નીચે રકાબી જેવા આકારના બે ભારિત વાદળ રચે છે.



#### 4.5.5 $\sigma$ અને $\pi$ બંધની પ્રબળતા (Strength of $\sigma$ and $\pi$ Bonds)

મૂળ રીતે ગણીએ તો બંધની પ્રબળતા સંમિશ્રણની માત્રા પર આધાર રાખે છે. સિગ્મા બંધની બાબતમાં, કક્ષકોનું સંમિશ્રણ વધારે પ્રમાણમાં થાય છે. તેથી તેની પ્રબળતા  $\pi$  બંધ કરતાં વધારે હોય છે.  $\pi$  બંધમાં સંમિશ્રણ ઓછું હોય છે. આ ઉપરાંત એ નોંધવું અગત્યનું છે કે અણુના બે પરમાણુ વચ્ચે રચાતા બહુ બંધમાં સિગ્મા ( $\sigma$ ) બંધ ઉપરાંત  $\pi$  બંધ રચાય છે.

#### 4.6 સંકરણ (Hybridisation)

$\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$  અને  $\text{H}_2\text{O}$  જેવા બહુપરમાણ્વીય અણુના લાક્ષણિક ભૌમિતિક આકાર સમજાવવા માટે પાઉલિંગે સંકરણનો ખ્યાલ દાખલ કર્યો. તેમના મત પ્રમાણે પરમાણ્વીય કક્ષકો જોડાય છે અને સમતુલ્ય કક્ષકોનો એક સેટ બનાવે છે. જે સંકર કક્ષકો તરીકે ઓળખાય છે. શુદ્ધ કક્ષકોને બદલે આવી સંકર કક્ષકોનો ઉપયોગ બંધ રચનામાં થાય છે. આ ઘટનાને સંકરણ કહે છે. જેની વ્યાખ્યા આપી શકાય કે તેમાં થોડી જુદી જુદી ઊર્જાવાળી કક્ષકોનું આંતરમિશ્રણ થાય છે, જેથી તેમની ઊર્જાનું પુનઃવિતરણ કરે છે જેને પરિણામે સમાન ઊર્જા અને આકારવાળી નવી કક્ષકોનો સેટ રચાય છે. ઉદાહરણ તરીકે જ્યારે કાર્બનની એક 2s અને ત્રણ 2p કક્ષકો સંકરણ પામે છે ત્યારે ચાર નવી  $sp^3$  સંકર કક્ષકોની રચના થાય છે.

**સંકરણની વિશિષ્ટ ખાસિયતો** : સંકરણની મુખ્ય ખાસિયતો નીચે પ્રમાણે છે :

(1) સંકૃત કક્ષકોની સંખ્યા સંકરણ પામતી પરમાણ્વીય કક્ષકોની સંખ્યા બરાબર હોય છે.

- (2) સંકૃત કક્ષકો હંમેશાં સમતુલ્ય ઊર્જાવાળી અને આકારની હોય છે.
- (3) શુદ્ધ પરમાણ્વીય કક્ષકો કરતાં સંકર કક્ષકો સ્થાયી બંધની રચનામાં વધુ અસરકારક હોય છે.
- (4) સંકૃત કક્ષકો અવકાશમાં એવી રીતે અમુક પસંદ કરેલ દિશામાં દિશાત્મક હોય છે જેથી સ્થાયી ગોઠવણી અને ઈલેક્ટ્રોન યુગ્મ વચ્ચે નિમ્નતમ અપાકર્ષણ હોય. આથી સંકરણનો પ્રકાર અણુની ભૂમિતિ સૂચવે છે.

**સંકરણ માટે અગત્યની શરતો :**

- (i) પરમાણુની સંયોજકતા કોશમાં રહેલી કક્ષકો જ સંકરણ પામે છે.
- (ii) સંકરણ અનુભવતી કક્ષકોને લગભગ સમાન ઊર્જા હોવી જોઈએ.
- (iii) સંકરણ અગાઉ ઈલેક્ટ્રોનની બઢતી (promotion) અનિવાર્ય શરત નથી.
- (iv) એવું જરૂરી નથી કે અર્ધપૂર્ણ કક્ષકો જ સંકરણમાં ભાગ લે. કેટલીક બાબતોમાં સંયોજકતા કોશની પૂર્ણ ભરાયેલી કક્ષકો પણ સંકરણમાં ભાગ લે છે.

#### 4.6.1 સંકરણના પ્રકાર (Types of Hybridisation)

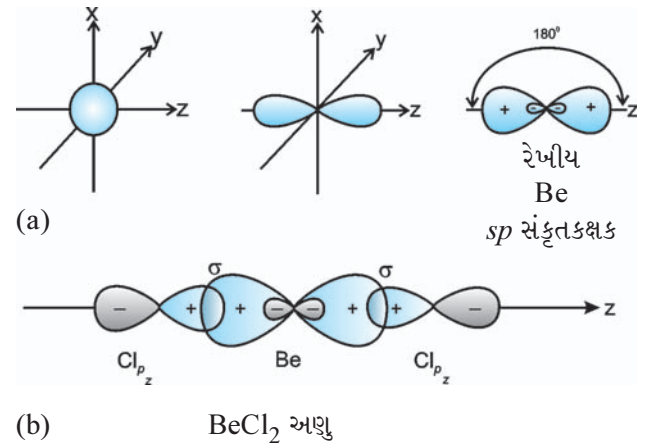
$s$ ,  $p$  અને  $d$  કક્ષકોને સમાવી લેતા ઘણા પ્રકારના સંકરણ છે. જુદા જુદા પ્રકારના સંકરણ નીચે પ્રમાણે છે :

**(I)  $sp$  સંકરણ :** આ પ્રકારના સંકરણમાં એક  $s$  અને એક  $p$  કક્ષકો મિશ્ર થાય છે અને બે સમાન  $sp$  કક્ષકો રચે છે.  $sp$  સંકરણ માટે યોગ્ય કક્ષકોમાં  $s$  અને  $p_z$  કક્ષકો પણ છે. જો સંકર કક્ષકો  $z$ -ધરી પર હોય તો દરેક  $sp$  સંકર કક્ષકને 50 %  $s$ -લાક્ષણિકતા અને 50 %  $p$ -લાક્ષણિકતા હોય છે. આવો અણુ જેમાં મધ્યસ્થ પરમાણુ  $sp$  સંકૃત કક્ષકો ધરાવે છે અને તે સીધી જ બીજા બે મધ્યસ્થ પરમાણુ સાથે સંયોજાય છે અને રેખીય ભૂમિતિ ધરાવે છે. આ પ્રકારનું સંકરણ વિકર્ણીય સંકરણ તરીકે પણ ઓળખાય છે.

બન્ને  $sp$ -સંકૃત કક્ષકો  $z$ -ધરી પર એકબીજાની વિરુદ્ધ પ્રક્ષેપી ધન અને ઘણો નાના ઋણ પિંડક (lobe) તરીકે ગોઠવાય છે. આને પરિણામે વધુ મજબૂત બંધ રચાય છે.

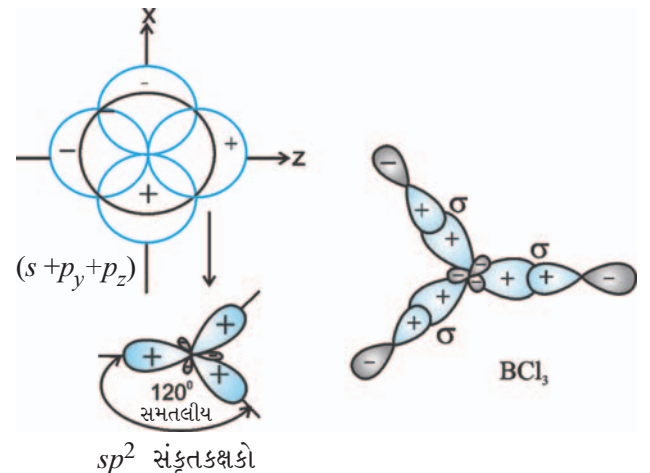
**$sp$ -સંકરણ ધરાવતા અણુનું ઉદાહરણ :  $BeCl_2$  :**  
Beની ધરાઅવસ્થામાં ઈલેક્ટ્રોનીય રચના  $1s^2 2s^2$  છે.

ઉત્તેજિત અવસ્થામાં તેની દ્વિસંયોજકતાને લીધે એક  $2s$  ઈલેક્ટ્રોન બઢતી પામી ખાલી  $2p$ -કક્ષકમાં ગોઠવાય છે. એક  $2s$  અને એક  $2p$  કક્ષકો સંકરણ પામે છે. તેથી  $sp$  સંકૃત કક્ષકો મળે છે. આ બંને સંકૃત કક્ષકો એકબીજાની વિરુદ્ધ દિશામાં દિક્વિન્યાસ દર્શાવે છે અને  $180^\circ$ નો ખૂણો રચે છે. દરેક  $sp$  સંકૃત કક્ષક ક્લોરિનની  $2p$ -કક્ષક કક્ષકો સાથે અક્ષીય રીતે જોડાય છે અને બે Be-Cl  $\sigma$  બંધ રચે છે. આ આકૃતિ 4.10માં દર્શાવેલ છે.



**આકૃતિ 4.10** (a)  $s$  અને  $p$  કક્ષકોમાંથી  $sp$  સંકૃતકક્ષકની રચના (b) રેખીય અણુ  $BeCl_2$ ની રચના

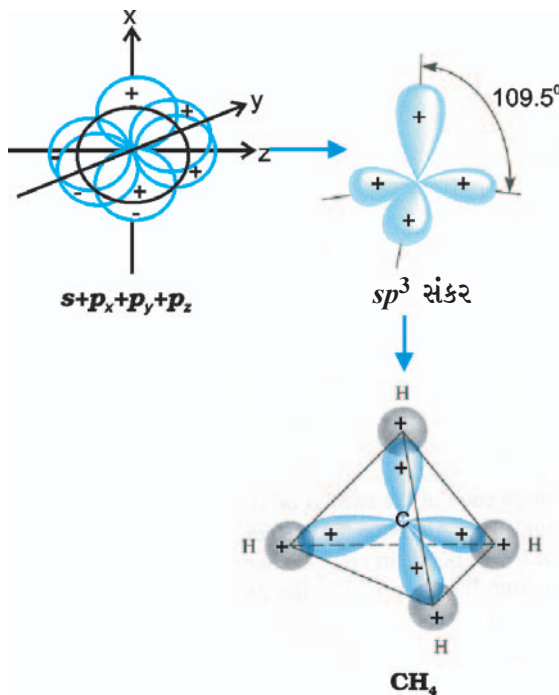
**(II)  $sp^2$  સંકરણ :** આ સંકરણમાં એક  $s$  અને બે  $p$ -કક્ષકોનો સમાવેશ થાય છે અને ત્રણ સમાન  $sp^2$  સંકૃત કક્ષકો રચે છે. ઉદાહરણ તરીકે  $BCl_3$  અણુમાં મધ્યસ્થ પરમાણુ બોરોનની ધરા અવસ્થામાં ઈલેક્ટ્રોનીય રચના  $1s^2 2s^2 2p^1$  છે. ઉત્તેજિત અવસ્થામાં  $2s$  માંનો એક ઈલેક્ટ્રોન બઢતી પામીને ખાલી  $2p$ -કક્ષકમાં ગોઠવાય છે, જેને પરિણામે બોરોન પાસે



**આકૃતિ 4.11**  $sp^2$  સંકૃતકક્ષકોની રચના અને  $BCl_3$  અણુ

ત્રણ અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોન થાય છે. આ ત્રણેય કક્ષકો (એક  $2s$  અને બે  $2p$ ) સંકરણ પામી ત્રણ  $sp^2$  સંકૃત કક્ષકો રચે છે. આ પ્રમાણે રચાયેલી ત્રણેય સંકૃત કક્ષકો સમતલીય ત્રિકોણીય દિક્વિન્યાસમાં ગોઠવાય છે અને ક્લોરિનની  $2p$ -કક્ષક સાથે મિશ્રણ કરે છે અને ત્રણ B-Cl બંધ રચે છે. આથી  $BCl_3$ ની (આકૃતિ 4.11) ભૂમિતિ સમતલીય ત્રિકોણ છે અને C-Cl બંધકોણ  $120^\circ$ નો હોય છે.

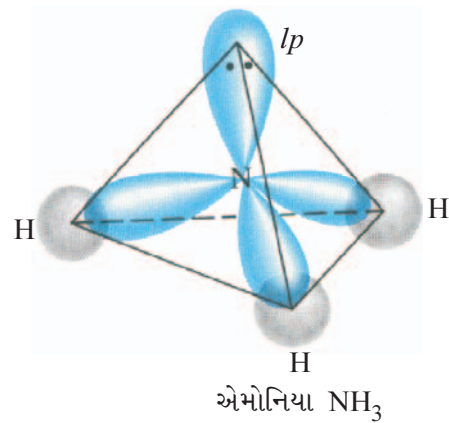
(III)  $sp^3$  સંકરણ : આ પ્રકારના સંકરણને  $CH_4$ નું ઉદાહરણ લઈ સમજાવી શકીએ. જેમાં સંયોજકતા કોશની એક  $s$  અને ત્રણ  $p$ -કક્ષકોનું મિશ્રણ થાય છે અને ચાર  $sp^3$  સંકૃત કક્ષકો જે સમાન ઊર્જા અને આકાર ધરાવે છે. તે દરેકમાં  $sp^3$  કક્ષકના 25 %  $s$ -લાક્ષણિકતા અને 75 %  $p$ -લાક્ષણિકતા હોય છે. ચારેય  $sp^3$  સંકૃત કક્ષકો સમચતુષ્ફલકના ચાર ખૂણા તરફ દિશાત્મક બને છે (દિક્વિન્યાસ રચે છે.).  $sp^3$  સંકૃત કક્ષકો વચ્ચે  $109.5^\circ$ નો ખૂણો હોય છે. જે આકૃતિ 4.12માં દર્શાવેલ છે.



**આકૃતિ 4.12** કાર્બનની  $s$ ,  $p_x$ ,  $p_y$ ,  $p_z$  પરમાણ્વીય કક્ષકોના સંમિશ્રણથી  $sp^3$  સંકૃત કક્ષકોની રચના અને  $CH_4$  અણુની રચના

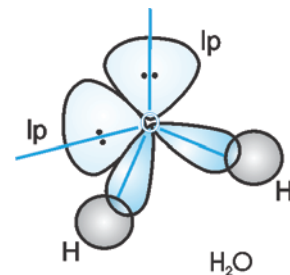
$NH_3$  અને  $H_2O$  અણુઓની રચનાને  $sp^3$  સંકરણની મદદ વડે પણ સમજાવી શકાય છે.  $NH_3$ માં સંયોજકતા કોશ(બાહ્ય)માં નાઈટ્રોજનની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના ધરાવવામાં  $2s^2 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1$  છે. જેમાં ત્રણ અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોન  $sp^3$

સંકૃત કક્ષકમાં છે અને ચોથામાં અબંધકારક ઇલેક્ટ્રોનની જોડ છે. આ ત્રણ સંકૃત કક્ષકો હાઈડ્રોજન પરમાણુની  $1s$  કક્ષકો સાથે સંમિશ્ર થાય છે અને ત્રણ N-H સિગ્મા બંધ રચે છે. આપણે જાણીએ છીએ કે અબંધકારક યુગ્મ અને બંધકારક યુગ્મ વચ્ચેનું અપાકર્ષણ બળ ઇલેક્ટ્રોનના બે બંધકારક યુગ્મો કરતાં વધારે છે. આને લીધે અણુમાં વિકૃતિ ઉદ્ભવે છે અને ખૂણો  $109.5^\circ$ થી ઘટીને  $107^\circ$  થાય છે. આવા અણુની ભૂમિતિ આકૃતિ 4.13માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે પિરામિડલ હોય છે.



**આકૃતિ 4.13**  $NH_3$  અણુની રચના

$H_2O$  અણુમાં ચાર ઓક્સિજનની કક્ષકો (એક  $2s$  અને ત્રણ  $2p$ )  $sp^3$  સંકરણ પામે છે અને ચાર સંકૃત  $sp^3$  કક્ષકો પ્રાપ્ત થાય છે. જેમાંથી બે એક-એક ઇલેક્ટ્રોન ધરાવે છે અને બે ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ ધરાવે છે. આ ચાર  $sp^3$  સંકૃત કક્ષકો સમચતુષ્ફલકીય રચના પ્રાપ્ત કરે છે. જેમાંની બે ખૂણાના હાઈડ્રોજન વડે પ્રાપ્ત કરાય છે. જ્યારે બાકીની બે અબંધકારક ઇલેક્ટ્રોન ધરાવે છે. આ ઉદાહરણમાં બંધ કોણ  $109.5^\circ$ થી ઘટીને  $104.5^\circ$  બને છે અને અણુ V-આકારમાં અથવા કોણીય ભૂમિતિ પ્રાપ્ત કરે છે.



**આકૃતિ 4.14**  $H_2O$  અણુની રચના



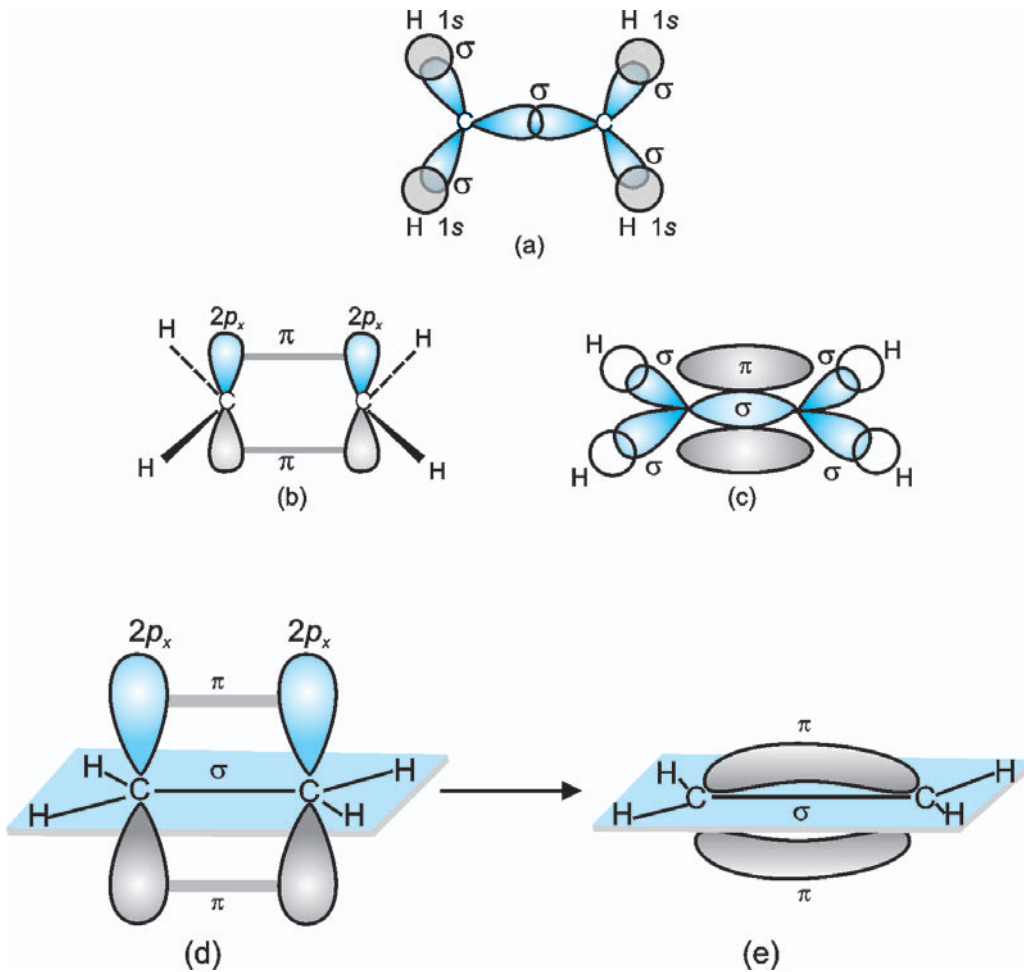
#### 4.6.2 $sp^3$ , $sp^2$ અને $sp$ સંકરણના અન્ય ઉદાહરણો (Other Examples of $sp^3$ , $sp^2$ and $sp$ Hybridisation)

**$C_2H_6$  અણુમાં  $sp^3$  સંકરણ :** ઇથેન અણુમાં બન્ને કાર્બન પરમાણુઓ  $sp^3$  સંકૃત અવસ્થા ધરાવે છે. ચાર  $sp^3$  સંકૃત કક્ષકોમાંની એક બીજા કાર્બન પરમાણુની એક  $sp^3$  સંકૃત કક્ષક સાથે અક્ષીય સંમિશ્રણ પામે છે અને  $sp^3-sp^3$  સિગ્મા બંધ રચે છે. અને દરેકની બાકીની સંકૃત કક્ષકો આગળ મુદ્દા નં. 4.6.1 (iii)માં ચર્ચા કર્યા પ્રમાણે  $sp^3-s$  સિગ્મા બંધ રચે છે. આથી ઇથેનમાં C-C બંધ લંબાઈ 154 pm અને દરેક C-H બંધની લંબાઈ 109 pm છે.

**$C_2H_4$  અણુમાં  $sp^2$  સંકરણ :** ઇથીન અણુની રચનામાં કાર્બનની  $sp^2$  સંકૃત કક્ષકોમાંની એક અક્ષીય રીતે બીજા કાર્બનની  $sp^2$  સંકૃત કક્ષક સાથે સંમિશ્ર થાય છે અને C-C

$\sigma$  બંધ રચે છે; જ્યારે દરેક કાર્બનની બીજી બે સંકૃત કક્ષકો બે હાઇડ્રોજન પરમાણુ સાથે  $sp^2-s$  સિગ્મા બંધ રચે છે. એક કાર્બનની સંકૃત ન થયેલી ( $2p_y$  અને  $2p_z$ ) કક્ષકો બાજુએથી બીજા કાર્બનની સંકૃત ન થયેલી કક્ષક સાથે સંમિશ્ર થઈને નિર્બળ  $\pi$ -બંધ રચે છે. આ કાર્બન અને હાઇડ્રોજનની સમતલને ઉપર અને નીચે બે સમાન ઈલેક્ટ્રોન વાદળ ધરાવે છે.

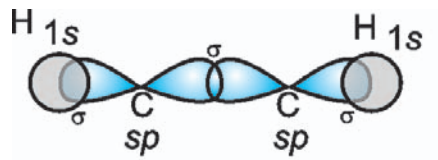
આમ ઇથીન અણુમાં કાર્બન-કાર્બન બંધ એક  $sp^2-sp^2$  સિગ્મા બંધ અને એક પાઈ ( $\pi$ ) બંધ સંકૃત ન થયેલી  $p$ -કક્ષકો વચ્ચે રચાય છે. સંકરણમાં ન વપરાયેલી  $p$ -કક્ષકો અણુના સમતલને લંબ હોય છે. બંધ લંબાઈ 134 pm હોય છે. C-H બંધ  $sp^2-s$  સિગ્મા બંધની લંબાઈ 108 pm છે. H-C-H બંધ કોણ  $117.6^\circ$  હોય છે, જ્યારે H-C-C ખૂણો  $121^\circ$  છે. ઇથીનમાં સિગ્મા અને પાઈ બંધની રચના આકૃતિ 4.15માં દર્શાવેલ છે.



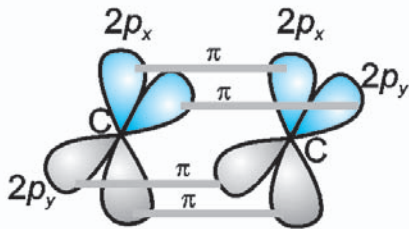
આકૃતિ 4.15 ઇથીનમાં સિગ્મા અને પાઈ બંધની રચના

$C_2H_2$  અણુમાં  $sp$  સંકરણ : ઈથાઇન અણુની રચનામાં બન્ને કાર્બન પરમાણુઓના  $sp$ -સંકરણનો સમાવેશ થાય છે અને બે સંકૃત ન થયેલી કક્ષકો એટલે કે  $2p_y$  અને  $2p_x$  હોય છે.

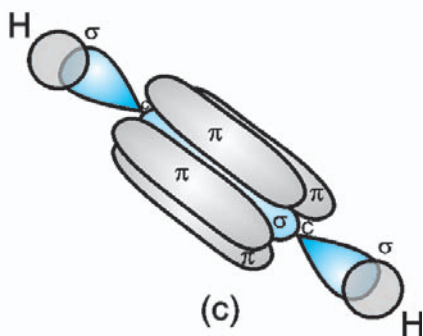
એક કાર્બન પરમાણુની એક  $sp$ -સંકૃત કક્ષક બીજા કાર્બન પરમાણુની એક સંકૃત કક્ષક સાથે સંમિશ્ર થાય છે અને C-C સિગ્મા બંધ રચે છે, જ્યારે દરેક કાર્બનની બીજી સંકૃત કક્ષક હાઇડ્રોજન પરમાણુની અર્ધપૂર્ણ  $s$ -કક્ષકો સાથે  $\sigma$  બંધ રચે છે. બન્ને કાર્બન પરમાણુઓની સંકૃત ન થયેલી બે  $p$ -કક્ષકો બાજુએથી સંમિશ્ર થાય છે અને બે  $\pi$ -બંધ બે કાર્બન વચ્ચે રચે છે. આથી બે કાર્બન વચ્ચેનો ત્રિબંધ એક સિગ્મા બંધ અને બે પાઈ બંધનો બનેલો હોય છે. આ આકૃતિ 4.16માં દર્શાવેલ છે.



(a)



(b)



(c)

આકૃતિ 4.16 ઈથાઇનમાં સિગ્મા અને પાઈ બંધની રચના

#### 4.6.3 $d$ -કક્ષકોનો સમાવેશ કરતા તત્વોનું સંકરણ (Hybridisation of Elements Involving $d$ -Orbitals)

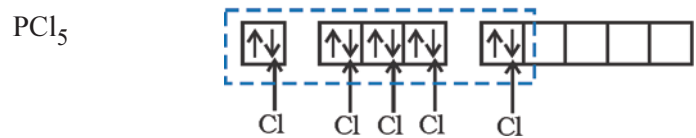
ત્રીજા આવર્તમાં આવેલ તત્વો  $s$  અને  $p$ -કક્ષકો ઉપરાંત  $d$ -કક્ષકો ધરાવે છે.  $3d$ -કક્ષકોની ઊર્જા  $3s$  અને  $3p$  કક્ષકોની સાથે સરખાવી શકાય તેવી છે.  $3d$ -કક્ષકોની ઊર્જા  $4s$  અને  $4p$  કક્ષકો સાથે સરખાવી શકાય તેવી છે. આને પરિણામે  $3s$ ,  $3p$  અને  $3d$  અથવા  $3d$ ,  $4s$  અને  $4p$  કક્ષકોને સમાવતું સંકરણ શક્ય છે.  $3p$  અને  $4s$  કક્ષકો વચ્ચેનો તફાવત અર્થસૂચક (સાર્થક) છે. તેથી  $3p$ ,  $3d$  અને  $4s$  કક્ષકો સમાવતું સંકરણ શક્ય નથી.

$s$ ,  $p$  અને  $d$  કક્ષકોને સમાવી લેતા સંકરણોનો નીચે પ્રમાણે ઉપસંહાર કરી શકાય :

અણુ/આયનનો આકાર	સંકરણનો પ્રકાર	પરમાણ્વીય કક્ષકો	ઉદાહરણ
સમતલીય ચોરસ	$dsp^2$	$d+s+p(2)$	$[Ni(CN)_4]^{2-}$ , $[Pt(Cl)_4]^{2-}$
ત્રિકોણીય પિરામિડલ	$sp^3d$	$s+p(3)+d$	$PF_5$ , $PCl_5$
ચોરસ પિરામિડલ	$sp^3d^2$	$s+p(3)+d(2)$	$BrF_5$
અષ્ટફલકીય	$sp^3d^2$ $d^2sp^3$	$s+p(3)+d(2)$ $d(2)+s+p(3)$	$SF_6$ , $[CrF_6]^{3-}$ $[Co(NH_3)_6]^{3+}$

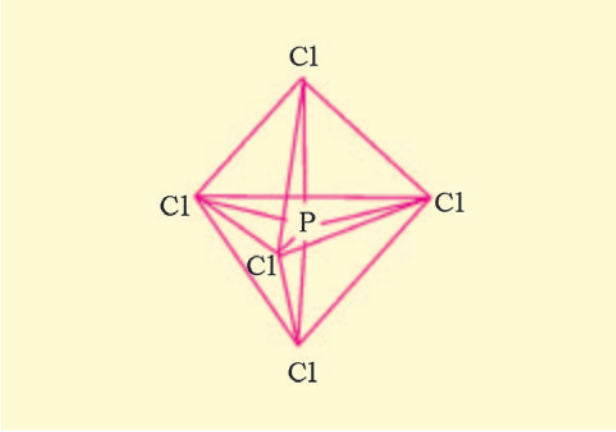
(i)  $PCl_5$ ની રચના ( $sp^3d$  સંકરણ) :

ફોસ્ફરસ ( $Z = 15$ )ની ધરા અવસ્થા અને ઉત્તેજિત અવસ્થામાં બાહ્ય ઇલેક્ટ્રોનીય રચના નીચે દર્શાવી છે :



પાંચ ક્લોરિન પરમાણુ વડે દાન કરાયેલ ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મથી ભરાયેલી  $sp^3d$  સંકર કક્ષકો

હવે પાંચેય કક્ષકો (એટલે કે એક  $s$ , ત્રણ  $p$  અને એક  $d$  કક્ષકો) સંકરણ માટે ઉપલબ્ધ છે. જેથી આપણને પાંચ  $sp^3d$  સંકર કક્ષકોનો સેટ મળશે. જે ત્રિકોણીય દ્વિપિરામીડના પાંચ ખૂણાઓ તરફ દિશાત્મક હશે. જે આકૃતિ 4.17માં દર્શાવેલ છે.



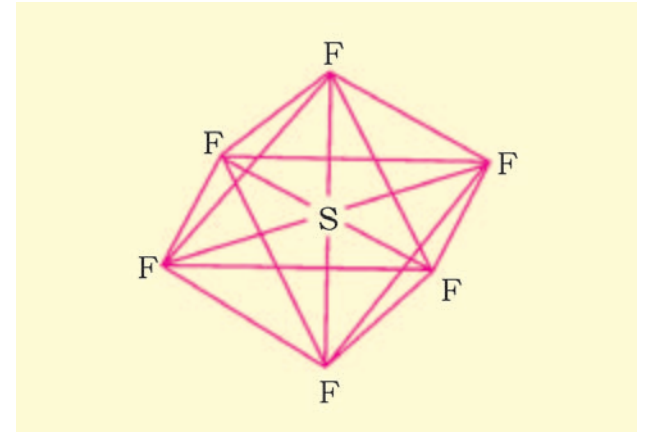
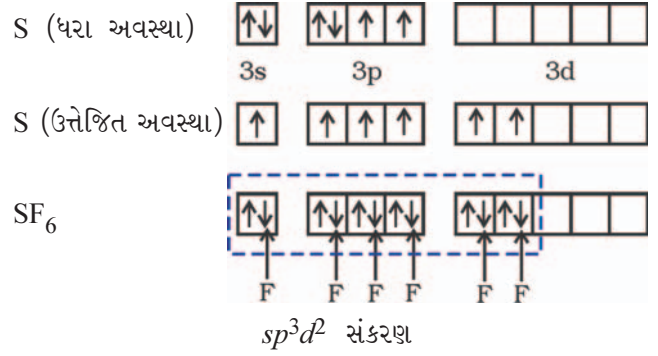
આકૃતિ 4.17  $PCl_5$  અણુની ત્રિકોણીય દ્વિપિરામિડલ ભૂમિતિ

એ નોંધવું જોઈશે કે ત્રિકોણીય દ્વિપિરામિડલ ભૂમિતિના બધા ખૂણા સરખા નહિ હોય.  $PCl_5$ માં ફોસ્ફરસની પાંચ  $sp^3d$  કક્ષકો ક્લોરિનની એકાકી ઇલેક્ટ્રોન ધરાવતી  $p$ -કક્ષકો સાથે સંમિશ્ર થશે અને પાંચ P-Cl સિગ્મા બંધ રચશે. ત્રણ P-Cl બંધ એક સમતલમાં હશે. અને એકબીજા વચ્ચે  $120^\circ$ નો ખૂણો બનાવશે. આ બંધોને વિષુવવૃત્તીય (equatorial) બંધ કહે છે. બાકી રહેલા બે P-Cl બંધમાંનો એક મધ્યવર્તી સમતલની ઉપર અને બીજો મધ્યવર્તી સમતલની નીચે ગોઠવાય છે. જે સમતલ સાથે  $90^\circ$  ખૂણો રચે છે. આ બંધને અક્ષીય (axial) બંધ કહે છે. અક્ષીય બંધ યુગ્મો વિષુવવૃત્તીય બંધ યુગ્મો કરતાં વધારે અપાકર્ષણ પારસ્પરિક ક્રિયા અનુભવે છે માટે અક્ષીય બંધ પ્રમાણમાં થોડા વધારે લાંબા જણાય છે. તેથી વિષુવવૃત્તીય બંધો કરતાં વધુ નબળા હોય છે. જે  $PCl_5$  અણુને વધુ સક્રિય બનાવે છે.

#### (ii) $SF_6$ ( $sp^3d^2$ સંકરણ)ની રચના :

$SF_6$  માં મધ્યસ્થ સલ્ફર પરમાણુને ધરા અવસ્થામાં બાહ્ય ઇલેક્ટ્રોનીય રચના  $3s^23p^4$  હોય છે. ઉત્તેજિત અવસ્થામાં પ્રાપ્ય છ કક્ષકો એટલે કે એક  $s$ , ત્રણ  $p$  અને બે  $d$  કક્ષકો એક જ ઇલેક્ટ્રોનથી ભરાયેલી હોય છે. આ કક્ષકો સંકરણ પામે છે અને છ નવી  $sp^3d^2$  સંકૃત કક્ષકો રચે છે. જે નિયમિત

અષ્ટફલકના છ ખૂણાઓ તરફ પ્રક્ષેપિત હોય છે. આ છ  $sp^3d^2$  સંકૃત કક્ષકો ફ્લોરિન પરમાણુની એક ઇલેક્ટ્રોન ધરાવતી કક્ષક સાથે સંમિશ્રણ કરે છે અને છ S-F સિગ્મા બંધ રચે છે. આથી  $SF_6$  અણુને નિયમિત અષ્ટફલકીય ભૂમિતિ આકૃતિ 4.18માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે હોય છે.



આકૃતિ 4.18  $SF_6$  અણુની અષ્ટફલકીય ભૂમિતિ

## 4.7 આણ્વીયકક્ષકવાદ (Molecular Orbital Theory)

આણ્વીય કક્ષક (MO) વાદ 1932માં એફ. હુન્ડ (F. Hund) અને આર. એસ. મુલિકેને (R. S. Mulliken) વિકસાવેલો. આ વાદની વિશિષ્ટ બાબતો આ પ્રમાણે છે :

- પરમાણુઓના ઇલેક્ટ્રોન જેમ જુદી જુદી પરમાણ્વીય કક્ષકોમાં રહેલા હોય છે તેમ અણુમાં રહેલા ઇલેક્ટ્રોન જુદી જુદી આણ્વીય કક્ષકોમાં રહેલા હોય છે.
- તુલનાત્મક (લગભગ સરખી) ઊર્જા અને યોગ્ય સમમિતિ ધરાવતી પરમાણ્વીય કક્ષકો સંયોજાય છે અને આણ્વીય કક્ષકો રચે છે.
- જ્યારે પરમાણ્વીય કક્ષકમાંનો ઇલેક્ટ્રોન એક કેન્દ્રથી અસર પામે છે તેમ આણ્વીય કક્ષક બે કે વધારે કેન્દ્રો જે અણુમાંના પરમાણુઓની સંખ્યા પર આધાર

રાખે છે તેનાથી અસર પામે છે. આમ પરમાણ્વીય કક્ષક એકકેન્દ્રી હોય છે, જ્યારે આણ્વીય કક્ષક બહુકેન્દ્રી હોય છે.

- (iv) રચાયેલી આણ્વીય કક્ષકોની સંખ્યા અને સંયોજાતી પરમાણ્વીય કક્ષકોની સંખ્યા સરખી હોય છે. જ્યારે બે પરમાણ્વીય કક્ષકો સંયોજાય છે ત્યારે બે આણ્વીય કક્ષકો રચાય છે. એકને **બંધકારક આણ્વીય કક્ષક** અને બીજાને **બંધપ્રતિકારક આણ્વીય કક્ષક** કહે છે.
- (v) બંધકારક આણ્વીય કક્ષકની ઊર્જા હંમેશાં બંધપ્રતિકારક આણ્વીય કક્ષક કરતાં ઓછી હોય છે. તેથી તેની સ્થાયીતા વધારે હોય છે.
- (vi) જેમ પરમાણુમાં કેન્દ્રની આસપાસ ઇલેક્ટ્રોન સંભાવ્યતા વહેંચણી પરમાણ્વીય કક્ષક વડે દર્શાવાય છે. તેમ આણ્વીય કક્ષક પાસે અણુમાંના કેન્દ્રના સમૂહની આસપાસ ઇલેક્ટ્રોન સંભાવ્યતા વહેંચણી આણ્વીય કક્ષક વડે દર્શાવાય છે.
- (vii) પરમાણ્વીય કક્ષકોની જેમ આણ્વીય કક્ષકો પણ આઉફબાઉ સિદ્ધાંત અને પૌલીનો નિષેધ સિદ્ધાંત તથા હુન્ડના નિયમને પાળે છે.

#### 4.7.1 આણ્વીય કક્ષકોની રચના : પરમાણ્વીય કક્ષકોનું રૈખિક સંગઠન (Formation of Molecular Orbitals : Linear Combination of Atomic Orbitals : LCAO)

તરંગ યંત્રશાસ્ત્ર પ્રમાણે પરમાણ્વીય કક્ષકોને તરંગ વિધેય ( $\psi$ ) તરીકે દર્શાવી શકાય. જે ઇલેક્ટ્રોન તરંગનો કંપવિસ્તાર (amplitude) રજૂ કરે છે. શ્રોડિંજરના તરંગ સમીકરણના ઉકેલ પરથી આ મેળવી શકાય છે. શ્રોડિંજર સમીકરણ એક કરતાં વધારે ઇલેક્ટ્રોન ધરાવતી પ્રણાલી માટે ઉકેલી શકાતું નથી. આણ્વીય કક્ષકો જેઓ અણુઓ માટે એક ઇલેક્ટ્રોન આણ્વીય કક્ષકો છે તેમને શ્રોડિંજરના સમીકરણના સીધા ઉકેલથી મેળવવું મુશ્કેલ છે. આ સમસ્યાને ઉપરવટ થવા માટે લગભગ (આશરો પડતી) (approximate) પદ્ધતિ હોય છે. જે **પરમાણ્વીય કક્ષકોનું રૈખિક સંગઠન (LCAO)** તરીકે ઓળખાય છે.

આપણે સમકેન્દ્રીય દ્વિપરમાણ્વીય હાઇડ્રોજન અણુને આ પદ્ધતિ લાગુ પાડીએ. હાઇડ્રોજન અણુને બે A અને B પરમાણુઓ ધરાવતો અણુ ગણીએ. દરેક હાઇડ્રોજન પરમાણુને

તેની ધરા અવસ્થામાં એક ઇલેક્ટ્રોન હોય છે. આ પરમાણુઓની પરમાણ્વીય કક્ષકોને તરંગ વિધેય  $\psi_A$  અને  $\psi_B$  તરીકે દર્શાવીએ. ગાણિતીય રીતે આણ્વીય કક્ષકોની રચના પરમાણ્વીય કક્ષકોના રૈખિક સંગઠનથી રચાતી વર્ણવી શકાય, જે વ્યક્તિગત પરમાણ્વીય કક્ષકોના તરંગ વિધેયના સરવાળા કે બાદબાકી દ્વારા વર્ણવી શકાય. આ નીચે દર્શાવેલ છે :

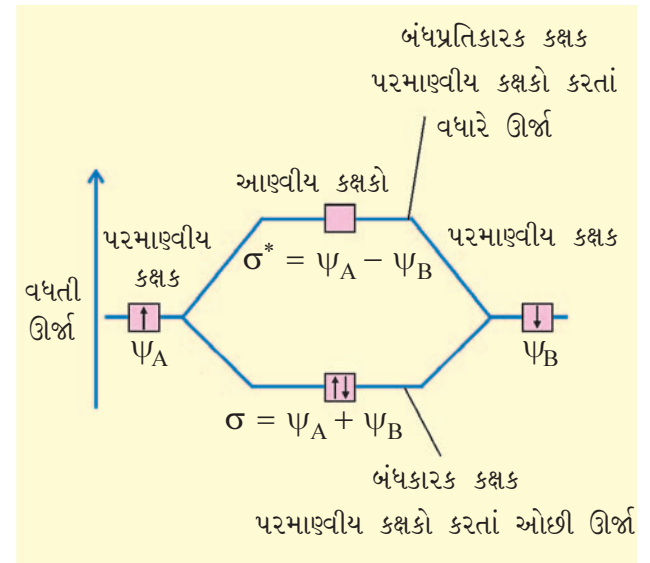
$$\psi_{MO} = \psi_A \pm \psi_B$$

આથી બે આણ્વીય કક્ષકો  $\sigma$  અને  $\sigma^*$  રચાશે.

$$\sigma = \psi_A + \psi_B$$

$$\sigma^* = \psi_A - \psi_B$$

પરમાણ્વીય કક્ષકોના સરવાળાથી મળેલી આણ્વીય કક્ષકો  $\sigma$ ને **બંધકારક આણ્વીય કક્ષકો** કહે છે, જ્યારે પરમાણ્વીય કક્ષકોની બાદબાકીથી મળેલી આણ્વીય કક્ષકો  $\sigma^*$ ને **બંધપ્રતિકારક આણ્વીય કક્ષકો** કહે છે. આકૃતિ 4.19માં દર્શાવેલ છે.



**આકૃતિ 4.19** બે પરમાણુ A અને B પર અનુક્રમે કેન્દ્રિત થયેલી પરમાણ્વીય કક્ષકો  $\psi_A$  અને  $\psi_B$ ના રૈખિક સંગઠનથી રચાતી બંધકારક ( $\sigma$ ) અને બંધપ્રતિકારક ( $\sigma^*$ ) આણ્વીય કક્ષકોની રચના

ગુણાત્મક રીતે, આણ્વીય કક્ષકોની રચના સંયોજાતા પરમાણુઓના ઇલેક્ટ્રોનના રચનાત્મક (constructive) અને વિબંજક (destructive) વ્યતિકરણના પર્યાયમાં સમજી શકાય છે. બંધકારક આણ્વીય કક્ષકોની રચનામાં સંયોજાતા પરમાણુના બન્ને ઇલેક્ટ્રોનના તરંગ એકબીજાને પ્રબલક (reinforce) બને છે.

વ્યતિકરણને લીધે રચાયેલ બંધપ્રતિકારક આણ્વીય કક્ષકોની રચનામાં ઇલેક્ટ્રોન તરંગ એકબીજાને વિભંજક વ્યતિકરણને લીધે રદ કરે છે. આને પરિણામે બંધકારક આણ્વીય કક્ષકમાં ઇલેક્ટ્રોન ઘનતા બંધન પામેલા પરમાણુઓના કેન્દ્રની વચ્ચે સ્થાન પામે છે. કારણ કે કેન્દ્રો વચ્ચે અપાકર્ષણ ઘણું ઓછું હોય છે. બંધપ્રતિકારક આણ્વીય કક્ષકોમાં બન્ને કેન્દ્રોની વચ્ચેની જગ્યાએથી મુખ્યત્વે ઇલેક્ટ્રોન ઘનતા દૂર સ્થાન પામે છે. હકીકતમાં નોડલ સમતલ જેના પર ઇલેક્ટ્રોન ઘનતા શૂન્ય છે, બન્ને કેન્દ્રોની વચ્ચે હોય છે. આથી કેન્દ્રો વચ્ચે અપાકર્ષણ વધારે હોય છે. બંધકારક આણ્વીય કક્ષકમાં ગોઠવાયેલા ઇલેક્ટ્રોન કેન્દ્રમાં એકબીજાની સાથે ગોઠવાયેલા રહે છે અને અણુને સ્થાયી બનાવે છે. આથી જ બંધકારક આણ્વીય કક્ષક હંમેશાં તેમની રચનામાં જોડાયેલી પરમાણ્વીય કક્ષકો કરતાં ઓછી ઊર્જા ધરાવે છે. આના વિરુદ્ધમાં બંધ પ્રતિકારક આણ્વીય કક્ષકો અણુને અસ્થાયી બનાવે છે. આનું કારણ આ કક્ષકોમાં ઇલેક્ટ્રોનનું પરસ્પર અપાકર્ષણ કેન્દ્ર અને ઇલેક્ટ્રોન વચ્ચેના આકર્ષણ કરતાં વધારે હોય છે જે ઊર્જામાં વધારો કરે છે.

એ નોંધવું જોઈએ કે બંધપ્રતિકારક કક્ષકોની ઊર્જા મૂળ પરમાણ્વીય કક્ષકો કરતાં વધુ હોય છે, જ્યારે બંધકારક આણ્વીય કક્ષકોમાં મૂળ પરમાણ્વીય કક્ષકો કરતાં ઓછી હોય છે. બન્ને આણ્વીય કક્ષકોની કુલ ઊર્જા બે મૂળ પરમાણ્વીય કક્ષકોની કુલ ઊર્જા જેટલી સરખી રહે છે.

#### 4.7.2 પરમાણ્વીય કક્ષકોના સંગઠન માટેની શરતો (Conditions for the Combination of Atomic Orbitals)

પરમાણ્વીય કક્ષકોનું આણ્વીય કક્ષકોની રચનામાં રૈખિક સંગઠન નીચેની શરતો સંતોષાય તો જ શક્ય બને છે.

(1) સંયોજાતી પરમાણ્વીય કક્ષકોની સરખી અથવા લગભગ સરખી ઊર્જા હોવી જોઈએ. આનો અર્થ એમ છે કે  $1s$  કક્ષક બીજી  $1s$  કક્ષક સાથે સંયાજાશે અને  $2s$  કક્ષક સાથે નહિ કારણ કે  $2s$  કક્ષકની ઊર્જા  $1s$  કક્ષકની ઊર્જા કરતાં નોંધપાત્ર રીતે વધારે છે. જો પરમાણુઓ જુદા-જુદા હોય તો આ સાચું નથી.

(2) સંયોજાતી પરમાણ્વીય કક્ષકો આણ્વીય અક્ષ પર સરખી રીતે સમમિત હોવી જોઈએ. પ્રણાલિકા પ્રમાણે Z-અક્ષને

આણ્વીય અક્ષ તરીકે લેવાય છે. એ નોંધવું જરૂરી છે કે પરમાણ્વીય કક્ષકો જેમની ઊર્જા તથા તેમની સમમિતિ સરખી નહિ હોય તો તેઓ સંયોજાઈ શકશે નહિ. ઉદાહરણ તરીકે, એક પરમાણુની  $2p_z$  કક્ષક બીજા પરમાણુની  $2p_x$  કક્ષક સાથે સંયોજાશે. પણ  $2p_x$  અથવા  $2p_y$  કક્ષક સાથે નહિ કારણ કે વધુમાં વધુ સંમિશ્રણ થવું જોઈએ.

(3) સંયોજાતી પરમાણ્વીય કક્ષકોનું મહત્તમ માત્રામાં સંમિશ્રણ થવું જોઈએ : સંમિશ્રણની માત્રા વધારે તો આણ્વીય કક્ષકોના કેન્દ્રો વચ્ચે ઇલેક્ટ્રોન ઘનતા વધારે થશે.

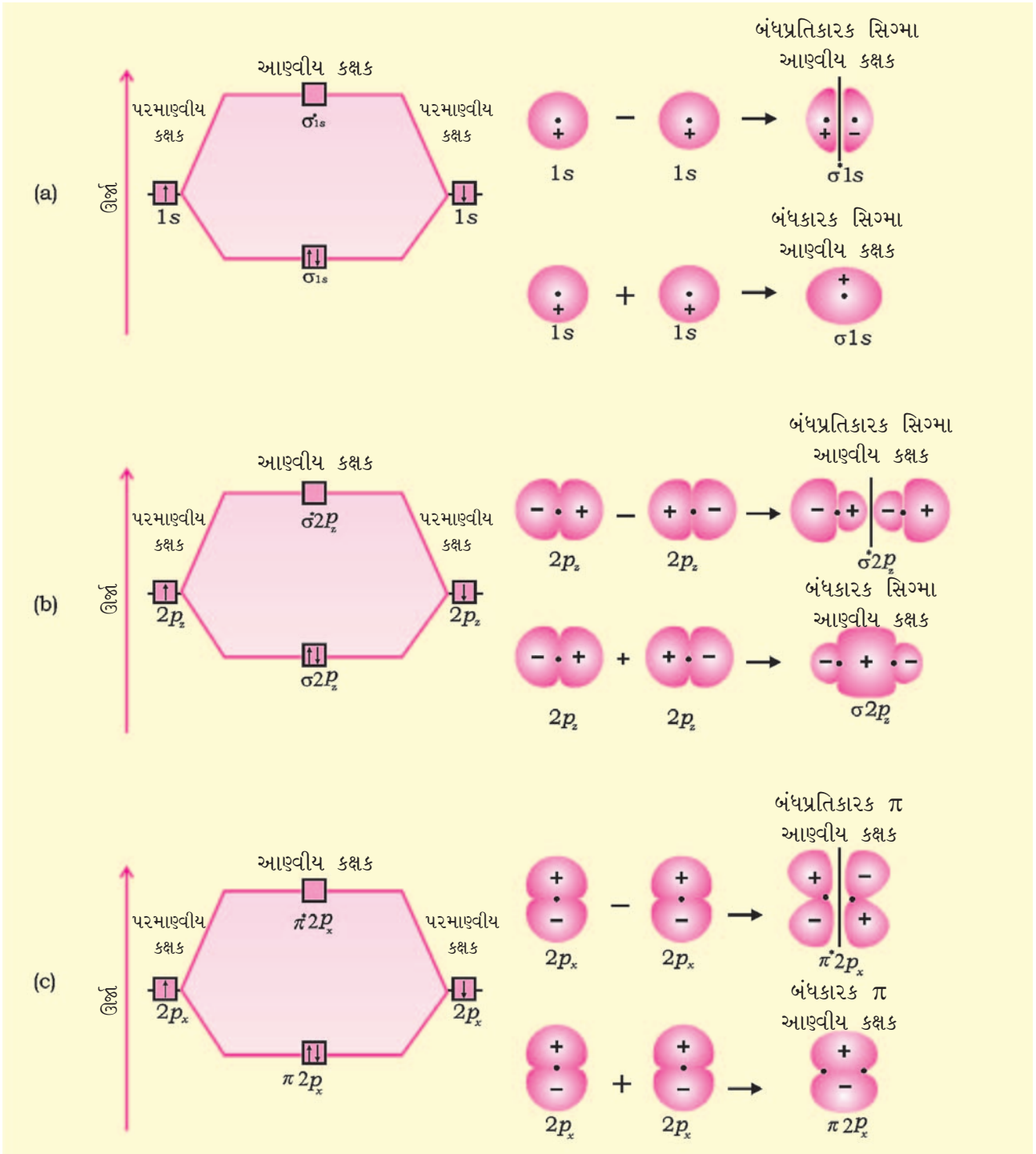
#### 4.7.3 આણ્વીય કક્ષકોના પ્રકાર (Types of Molecular Orbitals)

દ્વિપરમાણ્વીય અણુની આણ્વીય કક્ષકો  $\sigma$  (સિગ્મા),  $\pi$  (પાઈ),  $\delta$  (ડેલ્ટા) તરીકે ચિહ્નિત કરવામાં આવે છે. આ નામકરણમાં સિગ્મા ( $\sigma$ ) આણ્વીય કક્ષકો બંધ અક્ષની આસપાસ સમમિત હોય છે. જ્યારે પાઈ ( $\pi$ ) કક્ષકો સમમિત હોતી નથી. ઉદાહરણ તરીકે,  $1s$  કક્ષકો બે કેન્દ્રો પર કેન્દ્રિત થયેલી હોય તેમનું રૈખિક સંગઠન બે આણ્વીય કક્ષકો રચે છે, જે બંધ અક્ષની આસપાસ સમમિત હોય છે. આવી આણ્વીય કક્ષકો  $\sigma$  પ્રકારની છે અને તેમને  $\sigma 1s$  અને  $\sigma^* 1s$  તરીકે ચિહ્નિત કરવામાં આવે છે (આકૃતિ 4.20(a)). જો આંતરકેન્દ્રિય ધરી Z-દિશામાં લેવામાં આવે તો તે બે પરમાણુની  $2p_z$  કક્ષકો સાથે રૈખિક સંગઠનથી બે સિગ્મા આણ્વીય કક્ષકો ઉદ્ભવશે જેમને  $\sigma 2p_z$  અને  $\sigma^* 2p_z$  તરીકે ચિહ્નિત કરવામાં આવે છે.

$2p_x$  અને  $2p_y$  કક્ષકોમાંથી મળેલ આણ્વીય કક્ષકો બંધ અક્ષને સમમિત હોતી નથી. કારણ કે આણ્વીય સમતલને ઉપર ધન પિંડક અને નીચે ઋણ પિંડક હોય છે. આવી આણ્વીય કક્ષકોને  $\pi$  અને  $\pi^*$  તરીકે ચિહ્નિત કરવામાં આવે છે. બંધકારક  $\pi$  આણ્વીય કક્ષકો આંતરકેન્દ્રિય અક્ષને ઉપર અને નીચે વધારે ઇલેક્ટ્રોન ઘનતા હોય છે.  $\pi^*$  બંધપ્રતિકારક આણ્વીય કક્ષકને કેન્દ્રો વચ્ચે નોડ હોય છે.

#### 4.7.4 આણ્વીય કક્ષકોના શક્તિસ્તર આલેખ (Energy Level Diagram for Molecular Orbitals)

આપણે જોયું કે બે પરમાણુઓની  $1s$  પરમાણ્વીય કક્ષકો બે આણ્વીય કક્ષકો રચે છે. જેમને  $\sigma 1s$  અને  $\sigma^* 1s$  તરીકે ચિહ્નિત કરાય છે. આ જ પ્રમાણે  $2s$  અને  $2p$  પરમાણ્વીય



**આકૃતિ 4.20** (a) પરમાણ્વીય કક્ષકો (b) 2p<sub>z</sub> પરમાણ્વીય કક્ષકો અને (c) 2p<sub>x</sub> પરમાણ્વીય કક્ષકોના સંગઠનથી રચાયેલી બંધકારક અને બંધપ્રતિકારક આણ્વીય કક્ષકોની રૂપરેખા (contour) અને ઊર્જા

કક્ષકો (બન્ને પરમાણુ પરની આઠ પરમાણ્વીય કક્ષકો) નીચેની આઠ આણ્વીય કક્ષકો રચે છે :

- બંધપ્રતિકારક : σ\*2s σ\*2p<sub>z</sub> π\*2p<sub>x</sub> π\*2p<sub>y</sub>  
 આણ્વીય કક્ષકો : σ2s σ2p<sub>z</sub> π2p<sub>x</sub> π2p<sub>y</sub>  
 બંધકારક આણ્વીય કક્ષકો : σ2s σ2p<sub>z</sub> π2p<sub>x</sub> π2p<sub>y</sub>

આવર્ત કોષ્ટકના બીજા આવર્તના તત્ત્વોના સમકેન્દ્રીય દ્વિઆણુઓ માટે વર્ણપટલદર્શકીય માહિતીની મદદથી પ્રાયોગિક રીતે આણ્વીય કક્ષકોના ઊર્જાસ્તર નક્કી થયેલા છે. O<sub>2</sub> અને F<sub>2</sub> માટે જુદી જુદી આણ્વીય કક્ષકોની શક્તિનો વધતો ક્રમ નીચે આપેલ છે.

$$\sigma 1s < \sigma^* 1s < \sigma 2s < \sigma^* 2s < \sigma 2p_z < (\pi 2p_x = \pi 2p_y) < (\pi^* 2p_x = \pi^* 2p_y) < \sigma^* 2p_z$$

આમ છતાં, આણ્વીય કક્ષકોમાં ઊર્જા-સ્તરોનો આ ક્રમ બાકીના અણુઓ  $\text{Li}_2$ ,  $\text{Be}_2$ ,  $\text{B}_2$ ,  $\text{C}_2$ ,  $\text{N}_2$  વગેરે માટે સાચો નથી. ઉદાહરણ તરીકે એ પ્રાયોગિક રીતે નક્કી કરવામાં આવ્યું છે કે  $\text{B}_2$ ,  $\text{C}_2$ ,  $\text{N}_2$  વગેરે જેવા અણુઓ માટે જુદી જુદી આણ્વીય કક્ષકોની શક્તિનો ક્રમ નીચે પ્રમાણે છે :

$$\sigma 1s < \sigma^* 1s < \sigma 2s < \sigma^* 2s < (\pi 2p_x = \pi 2p_y) < \sigma 2p_z < (\pi^* 2p_x = \pi^* 2p_y) < \sigma^* 2p_z$$

આ ક્રમની અગત્યની લાક્ષણિકતા એ છે કે  $\sigma 2p_z$  આણ્વીય કક્ષકની ઊર્જા  $\pi 2p_x$  અને  $\pi 2p_y$  આણ્વીય કક્ષકો કરતાં વધારે છે.

#### 4.7.5 ઇલેક્ટ્રોનીય રચના અને આણ્વીય વર્તણૂક (Electronic Configuration and Molecular Behaviour)

જુદી જુદી આણ્વીય કક્ષકોમાં ઇલેક્ટ્રોનની વહેંચણીને અણુની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના કહે છે. અણુની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના પરથી અણુ વિશેની અગત્યની માહિતી મેળવી શકાય છે. જેની ચર્ચા નીચે કરી છે.

**અણુની સ્થાયીતા :** જો  $N_b$  બંધકારક કક્ષકોમાં રહેલા ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા હોય અને  $N_a$  બંધપ્રતિકારક કક્ષકોમાં રહેલા ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા હોય તો

- જો  $N_b$  સંખ્યા  $N_a$  સંખ્યા કરતાં વધારે હોય તો અણુ સ્થાયી હોય છે.
- જો  $N_b$  સંખ્યા  $N_a$  સંખ્યા કરતાં ઓછી હોય તો અણુ અસ્થાયી હોય છે.

જો (i) વધારે બંધકારક કક્ષકો ભરાયેલી હોય અને તેથી બંધન અસર વધારે પ્રબળ હોય છે અને સ્થાયી અણુ પરિણમે છે. (ii)માં બંધપ્રતિકારક કક્ષકોની અસર વધારે પ્રબળ હોય છે અને તેથી અણુ અસ્થાયી હોય છે.

**બંધક્રમાંક :**

બંધકારક અને બંધપ્રતિકારક કક્ષકોમાં હાજર ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યાના તફાવતના અડધાને બંધક્રમાંક (b.o.) તરીકે વ્યાખ્યાયિત કરેલ છે.

$$\text{બંધક્રમાંક (b.o.)} = \frac{1}{2}(N_b - N_a)$$

અણુની સ્થાયીતા માટે ઉપર ચર્ચા કરી તે નિયમોને બંધક્રમાંકના પર્યાયમાં ફરીથી નિવેદિત કરી શકાય.

બંધક્રમાંક (એટલે કે  $N_b > N_a$ )નો અર્થ કે અણુ સ્થાયી છે અને ઋણ બંધક્રમાંક ( $N_b < N_a$ )નો અર્થ કે અણુ અસ્થાયી છે. આ ઉપરાંત તફાવત શૂન્ય ( $N_b = N_a$ ) થાય તો બંધક્રમાંક શૂન્ય થશે. જેનો અર્થ છે કે અણુ અસ્થાયી છે.

**બંધનો સ્વભાવ (પ્રકૃતિ) :**

સંકલિત બંધક્રમાંકના મૂલ્યો 1, 2 અથવા 3 ચિરસંમત ખ્યાલમાં શીખ્યા તે પ્રમાણે એકલ બંધ, દ્વિબંધ અથવા ત્રિબંધને અનુરૂપ હોય છે.

**બંધલંબાઈ :**

બે પરમાણુઓ વચ્ચેનો અણુમાંનો બંધક્રમાંક, બંધલંબાઈનું આશરે માપ લઈ શકાય. બંધક્રમાંક જેમ વધે તેમ બંધલંબાઈ ઘટે.

**ચુંબકીય સ્વભાવ (પ્રકૃતિ) :**

જો અણુમાંની બધી જ આણ્વીય કક્ષકો દ્વિભરાયેલ (doubly occupied) (એટલે કે બધી જ કક્ષકોમાં બે ઇલેક્ટ્રોન) હોય તો પદાર્થ પ્રતિચુંબકીય હશે (ચુંબકીય ક્ષેત્ર વડે અપાકર્ષિત થશે). જો એક અથવા વધારે આણ્વીય કક્ષક એકાકી-ભરાયેલ (singly occupied) (એટલે કે એક એક ઇલેક્ટ્રોન હોય) તે અનુચુંબકીય (ચુંબકીય ક્ષેત્રથી આકર્ષિત હોય છે). દા.ત.,  $\text{O}_2$  અણુ.

#### 4.8 કેટલાક સમકેન્દ્રીય દ્વિપરમાણ્વીય અણુઓમાં બંધન (Bonding in Some Homonuclear Diatomic Molecules)

(1) હાઈડ્રોજન અણુ ( $\text{H}_2$ ) : તે હાઈડ્રોજનના બે પરમાણુના સંગઠનથી રચાય છે. દરેક હાઈડ્રોજન પરમાણુને  $1s$  કક્ષકમાં એક ઇલેક્ટ્રોન હોય છે. આથી હાઈડ્રોજન અણુમાં બે ઇલેક્ટ્રોન હોય છે. જે  $\sigma 1s$  આણ્વીય કક્ષકમાં હાજર હોય છે. આથી હાઈડ્રોજન અણુની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના

$$\text{H}_2 : (\sigma 1s)^2$$

$\text{H}_2$  અણુનો બંધક્રમાંક નીચે આપ્યા પ્રમાણે ગણી શકાય.

$$\text{બંધક્રમાંક} = \frac{N_b - N_a}{2} = \frac{2 - 0}{2} = 1$$

આનો અર્થ એમ થાય કે બે હાઈડ્રોજન પરમાણુ એકબીજા સાથે એકલબંધથી જોડાયેલ છે. હાઈડ્રોજન અણુની બંધ વિયોજન ઊર્જા  $438 \text{ kJ mol}^{-1}$  પ્રાપ્ત થઈ છે અને બંધલંબાઈ  $74 \text{ pm}$  છે. હાઈડ્રોજન અણુમાં એક પણ ઇલેક્ટ્રોન અયુગ્મિત નથી માટે તે પ્રતિચુંબકીય છે.

(2) હિલિયમ અણુ ( $\text{He}_2$ ) : હિલિયમ પરમાણુની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના  $1s^2$  છે. દરેક હિલિયમ પરમાણુ બે ઇલેક્ટ્રોન ધરાવે છે. આથી  $\text{He}_2$  માં કુલ ચાર ઇલેક્ટ્રોન હશે. આ ઇલેક્ટ્રોન  $\sigma 1s$  અને  $\sigma^* 1s$  આણ્વીય કક્ષકોમાં ગોઠવાશે. જેને લીધે ઇલેક્ટ્રોનીય રચના થશે.

$$\text{He}_2 : (\sigma 1s)^2(\sigma^* 1s)^2$$

$$\text{He}_2\text{નો બંધક્રમાંક છે } \frac{2-2}{2} = 0$$

આથી  $\text{He}_2$  અણુ અસ્થાયી છે અને તે અસ્તિત્વ ધરાવી શકશે નહિ.

આ જ પ્રમાણે દર્શાવી શકાય કે  $\text{Be}_2$  અણુ  $(\sigma 1s)^2(\sigma^* 1s)^2(\sigma 2s)^2(\sigma^* 2s)^2$  પણ અસ્તિત્વ ધરાવશે નહિ.

(3) લિથિયમ અણુ ( $\text{Li}_2$ ) : લિથિયમની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના છે  $1s^2 2s^1$ . આથી  $\text{Li}_2$  માં છ ઇલેક્ટ્રોન છે.  $\text{Li}_2$ ની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના આથી લખી શકાય કે,

$$\text{Li}_2 : (\sigma 1s)^2(\sigma^* 1s)^2(\sigma 2s)^2$$

ઉપરની રચના  $\text{KK}(\sigma 2s)^2$  તરીકે લખી શકાય. જ્યાં  $\text{KK}$  બંધ (closed) કોશ દર્શાવે છે, જેની રચના છે  $(\sigma 1s)^2(\sigma^* 1s)^2$ .

$\text{Li}_2$ ની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના પરથી સ્પષ્ટ થાય છે કે ચાર ઇલેક્ટ્રોન બંધકારક કક્ષકોમાં ગોઠવાયેલ છે અને બે ઇલેક્ટ્રોન બંધ પ્રતિકારક કક્ષકમાં ગોઠવાયેલા છે.

$$\text{તેનો બંધક્રમાંક } \frac{4-2}{2} = 1 \text{ છે.}$$

આનો અર્થ એમ થાય છે કે  $\text{Li}_2$  અણુ સ્થાયી છે. તેની પાસે અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોન નથી માટે તે પ્રતિયુંબકીય છે.  $\text{Li}_2$  અણુઓ બાષ્પ અવસ્થામાં અસ્તિત્વ ધરાવે છે તેવી જાણકારી છે.

(4) કાર્બન અણુ ( $\text{C}_2$ ) : કાર્બન પરમાણુની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના છે  $1s^2 2s^2 2p^2$ . તેથી  $\text{C}_2$  અણુમાં બાર ઇલેક્ટ્રોન છે.  $\text{C}_2$  અણુની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના થશે :

$$\text{C}_2 : (\sigma 1s)^2(\sigma^* 1s)^2(\sigma 2s)^2(\sigma^* 2s)^2(\pi 2p_x)^2 = \pi 2p_y^2$$

અથવા  $\text{KK}(\sigma 2s)^2(\sigma^* 2s)^2(\pi 2p_x)^2 = \pi 2p_y^2$

$$\text{C}_2 \text{ અણુનો બંધક્રમાંક } \frac{8-4}{2} = 2 \text{ થશે અને}$$

$\text{C}_2$  પ્રતિયુંબકીય હોવો જોઈએ. પ્રતિયુંબકીય  $\text{C}_2$  અણુની ખરેખર બાષ્પ અવસ્થામાં પરખ થયેલ છે. એ નોંધવું

અગત્યનું છે કે  $\text{C}_2$ માં બંને દ્વિબંધ  $\pi$  બંધ છે કારણ કે ચાર ઇલેક્ટ્રોન બે  $\pi$  આણ્વીય કક્ષકોમાં રહેલા છે. બીજા ઘણા અણુઓના દ્વિબંધ સિગ્મા બંધ અને પાઈ બંધનો બનેલો હોય છે. આ જ રીતે  $\text{N}_2$  અણુની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના ચર્ચા શકાય.

(5) ઓક્સિજન અણુ ( $\text{O}_2$ ) : ઓક્સિજન પરમાણુની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના  $1s^2 2s^2 2p^4$  છે. દરેક ઓક્સિજન પરમાણુ પાસે આઠ ઇલેક્ટ્રોન છે. માટે  $\text{O}_2$  અણુમાં સોળ (16) ઇલેક્ટ્રોન હાજર હશે. આથી  $\text{O}_2$  અણુની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના લખી શકાય :

$$\text{O}_2 : (\sigma 1s)^2(\sigma^* 1s)^2(\sigma 2s)^2(\sigma^* 2s)^2(\sigma^* 2p_z)^2$$

$$(\pi 2p_x^2 \equiv \pi 2p_y^2)(\pi^* 2p_x^1 \equiv \pi^* 2p_y^1) \text{ અથવા}$$

$$\text{O}_2 : \left[ \text{KK}(\sigma 2s)^2(\sigma^* 2s)^2(\sigma^* 2p_z)^2 \right. \\ \left. (\pi 2p_x^2 \equiv \pi 2p_y^2), (\pi^* 2p_x^1 \equiv \pi^* 2p_y^1) \right]$$

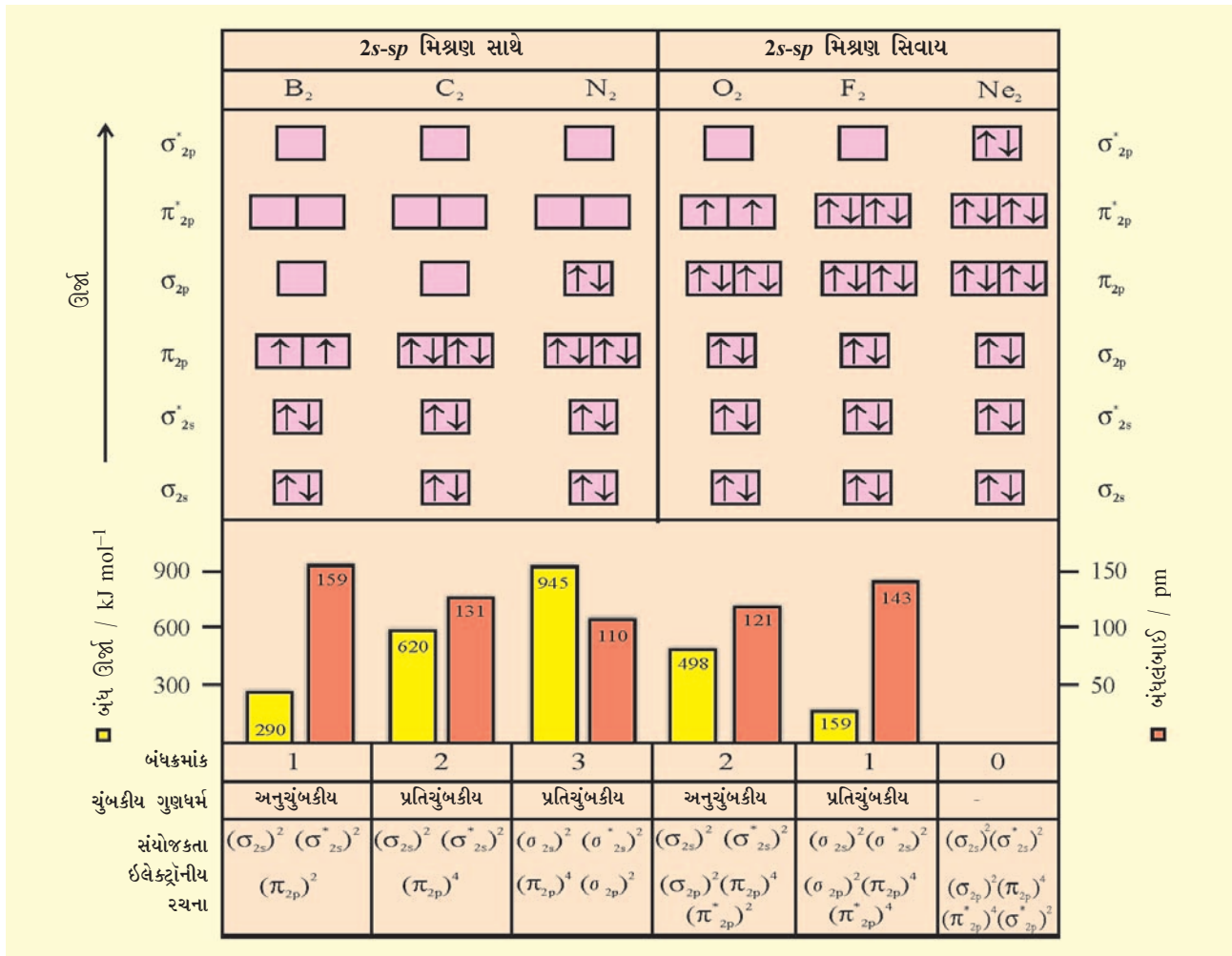
$\text{O}_2$ ની ઇલેક્ટ્રોનીય રચનામાંથી એ સ્પષ્ટ થાય છે કે દસ ઇલેક્ટ્રોન બંધકારક આણ્વીય કક્ષકોમાં અને છ ઇલેક્ટ્રોન બંધપ્રતિકારક આણ્વીય કક્ષકોમાં છે માટે તેનો બંધક્રમાંક થશે :

$$\text{બંધક્રમાંક} = \frac{1}{2} [N_b - N_a] = \frac{1}{2} [10 - 6] = 2$$

તેથી ઓક્સિજન અણુમાં બે ઓક્સિજન પરમાણુઓ દ્વિબંધથી સંયોજાયેલા છે. તે ઉપરાંત એ પણ નોંધી શકાય કે બે અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોન  $\pi^* 2p_x$  અને  $\pi^* 2p_y$  આણ્વીય કક્ષકોમાં છે. આથી  $\text{O}_2$  અણુ અનુયુંબકીય હોવો જોઈએ. આ પ્રાકૃતિક અવલોકનોને અનુરૂપ છે. આ પ્રમાણે આણ્વીય કક્ષક વાદ ઓક્સિજન અણુનો અનુયુંબકીય સ્વભાવ સફળતાપૂર્વક સમજાવે છે.

આ જ પ્રમાણે આવર્તકોષ્ટકના બીજા આવર્તના બાકીના તત્ત્વોના સમકેન્દ્રીય દ્વિપરમાણ્વીય અણુઓની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના દર્શાવી શકાય. આકૃતિ 4.21માં  $\text{B}_2$ થી  $\text{Ne}_2$  સુધીના અણુઓની આણ્વીય કક્ષકોમાં ઇલેક્ટ્રોનની ગોઠવણી અને આણ્વીય ગુણધર્મો આપવામાં આવ્યા છે. આણ્વીય કક્ષકોનો ક્રમ અને તેમની ઇલેક્ટ્રોન સમષ્ટિ (population) દર્શાવેલ છે. આણ્વીય કક્ષક આરંભની નીચે બંધ ઊર્જા, બંધલંબાઈ, યુંબકીય ગુણધર્મ અને સંયોજકતા ઇલેક્ટ્રોનીય રચના દર્શાવેલ છે.

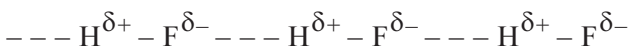




આકૃતિ 4.21 B<sub>2</sub>થી Ne<sub>2</sub> સુધીના અણુઓની આણ્વીય કક્ષકો (MO) ગોઠવણી અને આણ્વીય ગુણધર્મો

### 4.9 હાઈડ્રોજન બંધન (Hydrogen Bonding)

નાઈટ્રોજન, ઓક્સિજન અને ફ્લોરિન ઊંચા વિદ્યુતઋણમય તત્ત્વો છે. જ્યારે તેઓ હાઈડ્રોજન પરમાણુ સાથે સહસંયોજક બંધ રચે છે ત્યારે સહસંયોજક બંધના ઇલેક્ટ્રોન વધુ વિદ્યુતઋણમય પરમાણુ તરફ ખસે છે. અંશતઃ ધનભારિત હાઈડ્રોજન પરમાણુ બીજા વધુ વિદ્યુતઋણમય તત્ત્વ સાથે બંધ રચે છે. આ બંધને હાઈડ્રોજન બંધ કહે છે અને તે સહસંયોજક બંધ કરતાં વધુ નિર્બળ હોય છે. ઉદાહરણ તરીકે HF અણુમાં હાઈડ્રોજન બંધ એક અણુના હાઈડ્રોજન પરમાણુ અને બીજા અણુનો ફ્લોરિન પરમાણુ વચ્ચે અસ્તિત્વ ધરાવે છે, જે નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય :



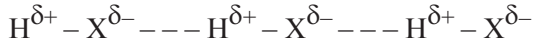
અહીંયા હાઈડ્રોજન બંધ બે પરમાણુ વચ્ચે એક સેતુ તરીકે વર્તે છે જે સહસંયોજક બંધનો એક પરમાણુ અને બીજો પરમાણુ હાઈડ્રોજન બંધ ધરાવે છે. હાઈડ્રોજન બંધ ટપકાં ટપકાંવાળી

(---) ત્રૂટક રેખા વડે દર્શાવાય છે, જ્યારે સળંગ રેખા સહસંયોજક બંધ દર્શાવે છે. હાઈડ્રોજન બંધની વ્યાખ્યા આપી શકાય કે તે એ આકર્ષણ બળો છે જે એક અણુના હાઈડ્રોજન પરમાણુને વિદ્યુતઋણમય પરમાણુ (F, O અથવા N)ની સાથે બાંધી રાખે છે.

#### 4.9.1 હાઈડ્રોજન બંધની રચનાનું કારણ (Cause of Formation of Hydrogen Bond)

જ્યારે હાઈડ્રોજન પ્રબળ વિદ્યુતઋણમય તત્ત્વ 'X' સાથે બંધન પામે છે ત્યારે બે પરમાણુઓ વચ્ચે ભાગીદાર થયેલ ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ હાઈડ્રોજનથી દૂર ખસે છે. આને પરિણામે હાઈડ્રોજન પરમાણુ બીજા 'X'ની સરખામણીમાં વધુ વિદ્યુતઋણમય બને છે. ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મનું X તરફનું વિસ્થાપન (displacement) થતું હોવાથી તે આંશિક ધન ભાર ( $\delta^+$ ) પ્રાપ્ત કરે છે, જ્યારે X આંશિક ઋણભાર પ્રાપ્ત કરે છે ( $\delta^-$ ). આને

પરિણામે સ્થિર વિદ્યુતીય આકર્ષણ બળ ધરાવતા ધ્રુવીય અણુ રચાય છે જેને આ રીતે રજૂ કરી શકાય.



હાઈડ્રોજન બંધની માત્રા સંયોજનની ભૌતિક અવસ્થા પર આધાર રાખે છે. ઘન અવસ્થામાં તે મહત્તમ હોય છે અને વાયુમય અવસ્થામાં નિમ્નતમ હોય છે. આમ હાઈડ્રોજન બંધની સંયોજનની રચના અને ગુણધર્મો પર પ્રબળ અસર હોય છે.

#### 4.9.2 H-બંધના પ્રકારો (Types of H-bonds)

બે પ્રકારના H-બંધ હોય છે :

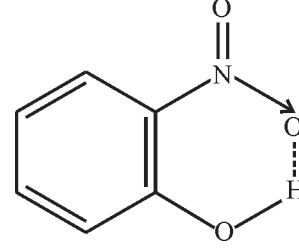
(i) આંતરઆણ્વીય હાઈડ્રોજન બંધ

(ii) આંત:આણ્વીય હાઈડ્રોજન બંધ

(i) આંતરઆણ્વીય હાઈડ્રોજન બંધ : એક જ અથવા અલગ અલગ સંયોજનોના બે જુદા જુદા અણુઓ વચ્ચે આ બંધ

રચાય છે. ઉદાહરણ તરીકે HF, આલ્કોહોલ કે પાણીના અણુના કિસ્સામાંનો બંધ.

(ii) આંત:આણ્વીય હાઈડ્રોજન બંધ : તે એક જ અણુમાં રહેલા બે વધુ વિદ્યુતઋણમય (F, O, N) પરમાણુઓ વચ્ચે રચાયેલો હાઈડ્રોજન બંધ છે. ઉદાહરણ તરીકે o-નાઈટ્રોફિનોલમાં હાઈડ્રોજન બંધ બે ઓક્સિજન પરમાણુઓ વચ્ચે હોય છે.



આકૃતિ 4.22 o-નાઈટ્રોફિનોલ અણુમાં આંત:આણ્વીય હાઈડ્રોજન બંધ

#### સારાંશ

કોસેલે સૌપ્રથમ વિદ્યુતધનમય અને વિદ્યુતઋણમય આયનો જે અનુક્રમે પાછળ આવતા ઉમદા વાયુની રચના પ્રાપ્ત કરવા માટે રચાય છે તેની સમજણ આપી. આયનો વચ્ચે સ્થિર વિદ્યુતીય આકર્ષણ તેમની સ્થાયીતાનું કારણ છે તેમ જણાવ્યું. આ વિદ્યુતસંયોજકતાનો ખ્યાલ આપે છે.

સહસંયોજક બંધનું પ્રથમ વર્ણન લુઈસે કરેલું, જેમાં તેમણે પરમાણુઓ વચ્ચે ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મની ભાગીદારીના અર્થમાં સમજાવી. ઉમદા વાયુની ઇલેક્ટ્રોનીય રચનાની પ્રાપ્તિ વિશે પણ જણાવ્યું. લુઈસની બિંદુ સંજ્ઞા આપેલ તત્ત્વમાંના પરમાણુઓના સંયોજકતા ઇલેક્ટ્રોન દર્શાવે છે અને લુઈસ બિંદુ રચના અણુઓના બંધનની ચિત્રાત્મક રજૂઆત છે.

આયનીય સંયોજનને ધન અને ઋણ આયનોના ત્રિપરિમાણીય સમૂહો તરીકે ચિત્રિત કર્યા, જેને સ્ફટિક લેટિસ કહેવામાં આવી. સ્ફટિકમય ધનમાં ધન અને ઋણ આયનો વચ્ચે ભારનું સમતોલન હોય છે. સ્ફટિક લેટિસ, લેટિસ રચનાની એન્થાલ્પી વડે સ્થાયી થાય છે.

બે પરમાણુઓ વચ્ચે એક ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મની ભાગીદારીથી એકલ બંધ રચે છે. બહુ બંધ બે કે વધારે ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મની ભાગીદારીથી પરિણમે છે. કેટલાક બંધન પામેલા પરમાણુઓ પાસે બંધનમાં ભાગ ન લીધો હોય તેવા વધારાના ઇલેક્ટ્રોન પણ હોય છે. આને ઇલેક્ટ્રોનના અબંધકારક યુગ્મ (lone pair) કહે છે. લુઈસ બિંદુ રચના અણુમાં બંધકારક યુગ્મો અને અબંધકારક યુગ્મોના દરેક પરમાણુની આસપાસ રચના દર્શાવે છે. રાસાયણિક બંધ સાથે સંકળાયેલા અગત્યના પ્રાયલ (parameters) જેવાં કે બંધ લંબાઈ, બંધ કોણ, બંધ એન્થાલ્પી, બંધક્રમિક અને બંધ ધ્રુવીયતાની સંયોજનોના ગુણધર્મો પર નોંધપાત્ર અસર હોય છે.

ઘણા બધા અણુઓ અને બહુપરમાણ્વીય અણુઓને એક જ લુઈસ રચનાથી ચોકસાઈપૂર્વક વર્ણવી શકાય નહિ અને તેથી સમાન માળખાંકીય (skeleton) રચના પર આધારિત ઘણા વર્ણનો (રજૂઆતો) લખવામાં આવે છે અને આ બધાને સાથે લેતાં અણુ કે આયનોને રજૂ કરી શકાય છે. એક ઘણો અગત્યનો અને ખૂબ જ ઉપયોગી ખ્યાલ છે જેને સસ્પંદન કહે છે. ફાળો આપતી રચનાઓ અથવા વિહિત (canonical) સ્વરૂપો એક સાથે લેતાં સસ્પંદન સંકર રચના બને છે. જે અણુ અથવા આયનની રજૂઆત કરે છે.

અણુઓના ભૌમિતિક આકારોના પ્રાકૃતિક માટે વપરાતો **VSEPR નમૂનો** એ ધારણા પર રચાયેલો છે કે ઈલેક્ટ્રોન યુગ્મ એકબીજાને અપાર્કર્ષે છે અને તેને પરિણામે એકબીજાથી શક્ય તેટલો દૂર રહેવા પ્રયત્ન કરે છે. આ નમૂના પ્રમાણે આણ્વીય ભૂમિતિ, આયન યુગ્મ અને અબંધકારક યુગ્મ, અબંધકારક યુગ્મ અને બંધકારક યુગ્મો, બંધકારક યુગ્મો અને બંધકારક યુગ્મોના અપાર્કર્ષણ બળો પરથી નક્કી કરાય છે. આ અપાર્કર્ષણનો ક્રમ છે  $lp-lp > lp-bp > bp-bp$ .

સહસંયોજક બંધન અંગેનો **સંયોજકતા બંધન (VB) અભિગમ** સહસંયોજક બંધની રચનામાં સંકળાયેલ ઊર્જાને પાયારૂપ ગણવામાં આવી છે. આ બાબતમાં લુઈસ અને VSEPR નમૂનાઓ મૂક (silent) છે. VB વાદના પાયામાં કક્ષકોનાં સંમિશ્રણને બંધ રચનામાં સાંકળે છે. ઉદાહરણ તરીકે બે હાઈડ્રોજન પરમાણુમાંથી એક હાઈડ્રોજન અણુની રચના બંને H પરમાણુઓની  $1s$  કક્ષકો(જે માત્ર એક જ ઈલેક્ટ્રોન ધરાવે છે)નું સંમિશ્રણ થાય છે.

એ જણાયું છે કે જ્યારે બંને હાઈડ્રોજન પરમાણુ એકબીજાની નજીક આવતા જાય છે ત્યારે પ્રણાલીની સ્થિતિજ ઊર્જા ઘટતી જાય છે. સમતોલન આંતરકેન્દ્રીય અંતરના બિંદુએ (બંધ અંતર) ઊર્જા ન્યૂનતમને પહોંચે છે. હજુ પણ બંને કેન્દ્રોને વધારે નજીક લાવવાનો પ્રયત્ન કરવામાં આવે તો ઊર્જામાં એકદમ વધારો થાય છે અને પરિણામે કેન્દ્રની અસ્થાયીતા વધે છે. કક્ષકીય મિશ્રણને લીધે કેન્દ્રો વચ્ચેની ઈલેક્ટ્રોન ઘનતા વધે છે જે તેમને નજીક લાવવામાં મદદ કરે છે. એમ પણ જણાયું છે કે ખરેખર બંધ એન્ટાલ્પી અને બંધ લંબાઈના મૂલ્યો સંમિશ્રણ એકલાથી મેળવી શકાતા નથી. બીજા ચલો(variables)ને ધ્યાનમાં લેવા પડે છે.

બહુપરમાણ્વીય અણુઓના લાક્ષણિક આકાર સમજાવવા માટે પાઉલિંગે **પરમાણ્વીય કક્ષકોના સંકરણ**નો ખ્યાલ રજૂ કર્યો.  $BeCl_2$ ,  $BCl_3$ ,  $CH_4$ ,  $NH_3$  અને  $H_2O$  જેવા અણુઓના ભૌમિતિક આકારો અને તેમની રચનાઓને સમજાવવા માટે Be, B, C, N અને Oની પરમાણ્વીય કક્ષકોની  $sp$ ,  $sp^2$ ,  $sp^3$  સંકરણનો ઉપયોગ કર્યો.  $C_2H_2$  અને  $C_2H_4$  જેવા અણુમાં બહુ બંધની રચના સમજાવે છે.

**આણ્વીય કક્ષક (MO) વાદ પરમાણ્વીય કક્ષકોનું** સંગઠન અને ગોઠવણીના લીધે આણ્વીય કક્ષકોની રચના જે એકંદરે અણુમાંનું બંધન વર્ણવે છે. આણ્વીય કક્ષકોની સંખ્યા હંમેશાં પરમાણ્વીય કક્ષકોની સંખ્યા બરાબર હોય છે. બંધકારક કક્ષકોમાં કેન્દ્રો વચ્ચે ઈલેક્ટ્રોન ઘનતા વધારે છે. વ્યક્તિગત પરમાણ્વીય કક્ષકોની ઊર્જાના સંદર્ભમાં ઘટાડો કરે છે. બંધપ્રતિકારક કક્ષકોમાં કેન્દ્રો વચ્ચે શૂન્ય ઈલેક્ટ્રોન ઘનતાનો વિસ્તાર (region) હોય છે અને તેથી વ્યક્તિગત પરમાણ્વીય કક્ષકો કરતાં ઊર્જા વધારે ધરાવે છે.

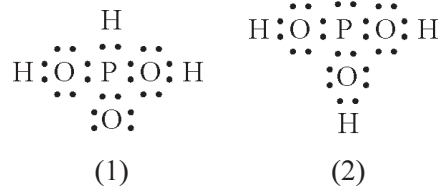
અણુઓની ઈલેક્ટ્રોનીય રચના વધતી જતી ઊર્જાના ક્રમમાં આવતી આણ્વીય કક્ષકોમાં ઈલેક્ટ્રોનની ગોઠવણીથી દર્શાવાય છે. પરમાણુઓની બાબતમાં છે તે પ્રમાણે પૌલીનો નિષેધ નિયમ, હુન્ડનો નિયમ આણ્વીય કક્ષકોમાં ઈલેક્ટ્રોન ભરાય ત્યારે લાગુ પડે છે. જો બંધકારક આણ્વીય કક્ષકોમાંના ઈલેક્ટ્રોનની સંખ્યા બંધપ્રતિકારક આણ્વીય કક્ષકોમાંની સંખ્યા કરતાં વધારે હોય તો અણુ સ્થાયી બને છે.

જ્યારે હાઈડ્રોજન પરમાણુઓ પોતે બે ઊંચા વિદ્યુતઋણમય પરમાણુઓ જેવાં કે F, O અને Nની વચ્ચે હોય છે ત્યારે **હાઈડ્રોજન બંધ** રચાય છે. આંતરઆણ્વીય હાઈડ્રોજન બંધ એક જ અથવા જુદા જુદા પદાર્થોના એક કે વધુ અણુઓ વચ્ચે રચાય છે, જ્યારે એક જ અણુમાં જ હાઈડ્રોજન બંધ રચાય ત્યારે તેને આંતરઆણ્વીય હાઈડ્રોજન બંધ કહે છે. ઘણા સંયોજનોના ગુણધર્મો અને રચનાઓ પર હાઈડ્રોજન બંધની શક્તિશાળી અસર હોય છે.

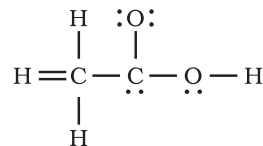
### સ્વાધ્યાય

- 4.1 રાસાયણિક બંધની રચના સમજાવો.
- 4.2 નીચેના તત્ત્વોના પરમાણુઓ માટે લુઈસ બિંદુ સંજ્ઞા લખો :  
Mg, Na, B, O, N, Br
- 4.3 નીચેના પરમાણુઓ અને આયનો માટે લુઈસ સંજ્ઞા લખો :  
S અને  $S^{2-}$ , Al અને  $Al^{3+}$ , H અને  $H^{-}$
- 4.4 નીચેના અણુઓ અને આયનોની લુઈસ રચના દોરો :  
 $H_2S$ ,  $SiCl_4$ ,  $BeF_2$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $HCOOH$

- 4.5 અષ્ટક નિયમને વ્યાખ્યાયિત કરો. તેની અગત્ય અને મર્યાદાઓ લખો.
- 4.6 આયનીય બંધની રચના માટે સાનુકૂળ પરિભળો લખો.
- 4.7 VSEPR નમૂનાનો ઉપયોગ કરીને નીચેના અણુઓના આકારની ચર્ચા કરો.  
BeCl<sub>2</sub>, BCl<sub>3</sub>, SiCl<sub>4</sub>, AsF<sub>5</sub>, H<sub>2</sub>S, PH<sub>3</sub>
- 4.8 NH<sub>3</sub> અને H<sub>2</sub>O અણુઓની ભૂમિતિ વિકૃત (distorted) સમચતુષ્ફલક છે. તેમ છતાં પાણીમાંનો બંધકોણ એમોનિયાના બંધકોણ કરતાં ઓછો છે. ચર્ચો.
- 4.9 બંધક્રમાંકના પર્યાયમાં તમે બંધ પ્રબળતા કેવી રીતે રજૂ કરો છો ?
- 4.10 બંધલંબાઈને વ્યાખ્યાયિત કરો.
- 4.11 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> આયનના સંદર્ભમાં સસ્પંદનની અગત્યની બાબતો સમજાવો.
- 4.12 નીચે દર્શાવ્યા પ્રમાણે H<sub>3</sub>PO<sub>3</sub>ને રચના 1 અને રચના 2 વડે રજૂ કરી શકાય. આ બે રચનાઓને H<sub>3</sub>PO<sub>3</sub>ને રજૂ કરતાં સસ્પંદન સંકરના વિહિત સ્વરૂપો તરીકે લઈ શકાય ? જો ના હોય તો તેના માટેના કારણો આપો.



- 4.13 SO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> અને NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ની સસ્પંદન રચનાઓ લખો.
- 4.14 લુઈસ સંજ્ઞાનો ઉપયોગ કરીને નીચેના પરમાણુઓ વચ્ચે ઇલેક્ટ્રોન હેરફેર દર્શાવી ધનાયન અને ઋણાયનની રચના સમજાવો : (a) K અને S (b) Ca અને O (c) Al અને N.
- 4.15 CO<sub>2</sub> અને H<sub>2</sub>O બન્ને ત્રિપરમાણ્વીય અણુઓ છે છતાં H<sub>2</sub>O અણુનો આકાર વળેલો છે, જ્યારે CO<sub>2</sub>નો આકાર રેખીય છે. દ્વિધ્રુવ ચાકમાત્રાના આધારે સમજાવો.
- 4.16 દ્વિધ્રુવ ચાકમાત્રાની અગત્ય/અનુપ્રયોગો લખો.
- 4.17 વિદ્યુતઋણમયતાને વ્યાખ્યાયિત કરો. તે ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્તિ એન્ટાલ્પીથી કેવી રીતે અલગ પડે છે ?
- 4.18 યોગ્ય ઉદાહરણની મદદથી ધ્રુવીય સહસંયોજક બંધ - સમજાવો.
- 4.19 LiF, K<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> અને ClF<sub>3</sub> અણુઓમાં તેમના વધતી આયનીય લાક્ષણિકતાને ચઢતા (વધતા) ક્રમમાં ગોઠવો.
- 4.20 CH<sub>3</sub>COOH માટે માળખાંકીય રચના નીચે દર્શાવ્યા પ્રમાણે સાચી છે, પરંતુ કેટલાક બંધ ખોટી રીતે દર્શાવ્યા છે. એસિટિક એસિડ માટે સાચી લુઈસ રચના લખો :



- 4.21 CH<sub>4</sub> અણુ માટે સમચતુષ્ફલક રચના ઉપરાંત બીજી સમતલીય ચોરસ રચના શક્ય છે, જેમાં ચાર H પરમાણુઓ ચોરસના ખૂણાઓ પર છે અને C પરમાણુ કેન્દ્રમાં છે. CH<sub>4</sub> શા માટે સમતલીય ચોરસ નથી ?
- 4.22 Be-H બંધ ધ્રુવીય છે તેમ છતાં BeH<sub>2</sub> અણુની દ્વિધ્રુવ ચાકમાત્રા શૂન્ય શા માટે છે ? સમજાવો.
- 4.23 NH<sub>3</sub> અને NF<sub>3</sub> માંથી કોની દ્વિધ્રુવ ચાકમાત્રા વધારે છે અને શા માટે ?

- 4.24 પરમાણ્વીય કક્ષકોના સંકરણનો અર્થ શું થાય છે ?  $sp$ ,  $sp^2$  અને  $sp^3$  સંકૃત કક્ષકોના આકાર વર્ણવો.
- 4.25 નીચેની પ્રક્રિયામાં Al પરમાણુના સંકરણમાં (જો કોઈ હોય તો) થતો ફેરફાર વર્ણવો :  
 $\text{AlCl}_3 + \text{Cl}^- \rightarrow \text{AlCl}_4^-$
- 4.26 નીચેની પ્રક્રિયાને કારણે B અને N પરમાણુઓના સંકરણમાં કોઈ ફેરફાર છે ?  
 $\text{BF}_3 + \text{NH}_3 \rightarrow \text{F}_3\text{B} \cdot \text{NH}_3$
- 4.27  $\text{C}_2\text{H}_4$  અને  $\text{C}_2\text{H}_2$  અણુઓમાં કાર્બન પરમાણુઓ વચ્ચે રચાતા દ્વિબંધ અને ત્રિબંધની આકૃતિ દોરો.
- 4.28 નીચેના અણુઓમાં કુલ કેટલા સિગ્મા અને પાઈ બંધ છે ?  
 (a)  $\text{C}_2\text{H}_2$  (b)  $\text{C}_2\text{H}_4$
- 4.29 X-અક્ષને આંતરકેન્દ્રીય અક્ષ તરીકે ગણો અને નીચેનામાંથી કોણ સિગ્મા બંધ રચશે નહિ અને શા માટે ?  
 (a)  $1s$  અને  $1s$  (b)  $1s$  અને  $2p_x$  (c)  $2p_y$  અને  $2p_y$  (d)  $1s$  અને  $2s$ .
- 4.30 નીચેના અણુઓમાં કાર્બન પરમાણુઓ વચ્ચે કઈ સંકૃત કક્ષકો ઉપયોગમાં લેવાય છે ?  
 (a)  $\text{CH}_3\text{-CH}_3$  (b)  $\text{CH}_3\text{-CH=CH}_2$  (c)  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$ ; (d)  $\text{CH}_3\text{-CHO}$  (e)  $\text{CH}_3\text{COOH}$
- 4.31 ઇલેક્ટ્રોનના બંધકારક યુગ્મ અને અબંધકારક યુગ્મ એટલે શું ? સમજાવો. દરેક પ્રકારનું એક ઉદાહરણ આપી સમજાવો.
- 4.32 સિગ્મા અને પાઈ બંધ વચ્ચે ભેદ દર્શાવો.
- 4.33 સંયોજકતા બંધન વાદના આધારે  $\text{H}_2$  અણુની રચના સમજાવો.
- 4.34 આણ્વીય કક્ષકોની રચના માટે પરમાણ્વીય કક્ષકોના રૈખિક સંગઠન માટે અગત્યની શરતો લખો.
- 4.35 આણ્વીય કક્ષક વાદનો ઉપયોગ કરીને સમજાવો કે  $\text{Be}_2$  અણુ અસ્તિત્વ ધરાવતો નથી.
- 4.36 નીચેની સ્પીસિઝની સાપેક્ષ સ્થાયીતા સરખાવો અને તેમના ચુંબકીય ગુણધર્મો સૂચવો :  
 $\text{O}_2$ ,  $\text{O}_2^+$ ,  $\text{O}_2^-$  (સુપર-ઓક્સાઈડ);  $\text{O}_2^{2-}$  (પેરોક્સાઈડ)
- 4.37 કક્ષકોને રજૂ કરવામાં ધન અને ઋણ સંજ્ઞાની અગત્ય લખો.
- 4.38  $\text{PCl}_5$ ની બાબતમાં સંકરણ વર્ણવો. શા માટે અક્ષીય બંધો વિષુવૃત્તીય બંધો (equatorial) કરતાં વધારે લાંબા હોય છે ?
- 4.39 હાઈડ્રોજન બંધને વ્યાખ્યાયિત કરો. તે વાનુ ડર વાલ્સ બળો કરતાં નબળા છે કે પ્રબળ છે ?
- 4.40 બંધક્રમાંક પર્યાય વડે શું સમજવામાં આવે છે ?  
 $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{O}_2^+$  અને  $\text{O}_2^-$  ના બંધક્રમાંક ગણો.

## દ્રવ્યની અવસ્થાઓ (States of Matter)

### હેતુઓ :

આ એકમનાં અભ્યાસ પછી તમે...

- દ્રવ્યની જુદી જુદી અવસ્થાઓને કણોના આંતરઆણ્વીય બળો અને ઉષ્મીય (thermal) ઊર્જા વચ્ચેના સંતુલનના સંદર્ભમાં સમજાવી શકશો.
- આદર્શ વાયુઓની વર્તણૂકને નિયંત્રિત (governing) કરતાં નિયમો સમજાવી શકશો.
- જુદી જુદી સાચી જીવન પરિસ્થિતિમાં પણ વાયુના નિયમો લાગી પાડી શકશો.
- વાસ્તવિક વાયુઓની વર્તણૂક સમજાવી શકશો.
- વાયુઓના પ્રવાહીકરણ માટે જરૂરી શરતોને વર્ણવી શકશો.
- વાયુમય અવસ્થા અને પ્રવાહી અવસ્થા વચ્ચે સાતત્ય (continuity) છે તેમ સમજી શકશો.
- વાયુમય અવસ્થા અને બાષ્પ વચ્ચે તફાવત કરી શકશો.
- પ્રવાહીઓના ગુણધર્મોને આંતરઆણ્વીય આકર્ષણના સંદર્ભમાં સમજાવી શકશો.

“ધરતીમાના ખોળામાં સુંવાળા હિમકણ પડે છે, જે લાંબો સમય રહી શકતા નથી. સૂર્ય આવીને તેને બાષ્પ બનાવે છે અને પહાડી ઢોળાવો પર વહેતા ઝરણાને પાણી સ્વરૂપે પરત આપી દે છે.”

– રોડ ઓ' કોનાર (Rod O' Connor)

### પ્રસ્તાવના

અગાઉના એકમોમાં આપણે દ્રવ્યના એકાકી કણો સાથે સંકળાયેલ ગુણધર્મો જેવાં કે પરમાણ્વીય કદ, આયનીકરણ એન્ટાલ્પી, ઇલેક્ટ્રોન ભારઘનતા, આણ્વીય આકાર અને ધ્રુવીયતા વગેરે વિશે જાણ્યું. રાસાયણિક પ્રણાલીઓની અવલોકનીય ખાસિયતોમાંની મોટા ભાગની સાથે આપણે પરિચિત છીએ. તે દ્રવ્યના જથ્થાત્મક (સ્થૂળ) ગુણધર્મો દર્શાવે છે. એટલે કે આ ગુણધર્મો પરમાણુ, આયન અને અણુઓની મોટી સંખ્યામાંના સંગ્રહ સાથે સંકળાયેલ છે. ઉદાહરણ તરીકે પ્રવાહીનો એકાકી અણુ ઉકળતો નથી, પરંતુ તેનો જથ્થો ઉકળે છે. એકત્રિત પાણીના અણુઓ ભીંજવવાનો ગુણધર્મ ધરાવે છે, એકાકી અણુ ભીંજવતો નથી. પાણી ઘન તરીકે બરફ, પ્રવાહી તરીકે પાણી અને વાયુમય અવસ્થામાં પાણીની બાષ્પ અથવા વરાળ સ્વરૂપે અસ્તિત્વ ધરાવે છે. બરફ, પાણી અને વરાળના ભૌતિક ગુણધર્મો ખૂબ અલગ છે. પાણીની ત્રણેય અવસ્થાઓમાં પાણીના રાસાયણિક સંઘટન સરખા રહે છે. એટલે કે H<sub>2</sub>O. ત્રણેય અવસ્થાઓની લાક્ષણિકતા અણુઓની ઊર્જા અને કઈ રીતે પાણીના અણુઓ સંયુક્ત (aggregate) થયા છે તે પર આધાર રાખે છે. બીજા પદાર્થો માટે પણ આ જ પ્રમાણે સાચું છે.

પદાર્થના રાસાયણિક ગુણધર્મો તેમની ભૌતિક અવસ્થા બદલાતાં છતાં બદલાતા નથી પણ રાસાયણિક પ્રક્રિયાના દર (વેગ) તેમની ભૌતિક અવસ્થા પર આધાર રાખે છે. ઘણી વખતે કેટલીક ગણતરીઓમાં જ્યારે તેમની પ્રાયોગિક માહિતીનો ઉપયોગ કરીએ છીએ ત્યારે દ્રવ્યની અવસ્થાનું જ્ઞાન જરૂરી બને છે. આથી રસાયણશાસ્ત્રી માટે જરૂરી બને છે કે જુદી જુદી અવસ્થામાં દ્રવ્યની વર્તણૂકને નિયંત્રણ કરતા ભૌતિક નિયમો જાણવા જોઈએ. આ એકમમાં

આપણે દ્રવ્યની ત્રણેય ભૌતિક અવસ્થાઓમાંથી પ્રવાહી અને વાયુ અવસ્થા માટે અભ્યાસ કરીશું. શરૂઆત કરીએ તો આંતરઆણ્વીય બળોનો સ્વભાવ, આંતરઆણ્વીય પારસ્પરિક ક્રિયાઓ અને કણની ગતિ પર ઉષ્મા ઊર્જાની અસર વિશે જાણવું જરૂરી બને છે. કારણ કે આ બધા વચ્ચેનું સમતોલન પદાર્થની અવસ્થા નક્કી કરે છે.

## 5.1 આંતરઆણ્વીય બળો (Intermolecular Forces)

આંતરઆણ્વીય બળો પારસ્પરિક ક્રિયા કરતાં કણો (પરમાણુઓ અને અણુઓ) વચ્ચેના આકર્ષણ અને અપાકર્ષણ બળો છે. આ પર્યાયમાં સ્થિરવિદ્યુતીય બળો જે બે વિરુદ્ધ ભારવાળા આયનો વચ્ચે ઉદ્ભવે છે તે અને અણુના પરમાણુઓને એકબીજા સાથે જકડી રાખતા બળો એટલે કે સહસંયોજક બળોનો સમાવેશ થતો નથી.

આકર્ષી આંતરઆણ્વીય બળો જે વાન્ ડર વાલ્સ (van der Waals) બળો તરીકે ઓળખાય છે તે ડચ વૈજ્ઞાનિક જોહાનીસ વાન્ ડર વાલ્સ (Johannes van der Waals) (1837-1923)ના માનમાં કહેવાય છે. વાન્ ડર વાલ્સે આ બળો મારફતે વાસ્તવિક (real) વાયુઓનું આદર્શ વાયુઓથી વિચલન (deviation) સમજાવેલ છે. આપણે આ એકમમાં આના વિશે આગળ ઉપર સમજીશું. વાન્ ડર વાલ્સ બળોની માત્રા (magnitude) ગણનાપાત્ર છે અને તે વિસર્જન (dispersion) બળો અથવા લંડન બળો, દ્વિધ્રુવ-દ્વિધ્રુવ બળો અને દ્વિધ્રુવ-પ્રેરિત-દ્વિધ્રુવ બળોનો સમાવેશ કરે છે. વિશેષ કરીને દ્વિધ્રુવ-દ્વિધ્રુવ પારસ્પરિક ક્રિયા પ્રકારનો પ્રબળ બંધ હાઈડ્રોજન બંધ છે. માત્ર કેટલાક તત્ત્વો હાઈડ્રોજન બંધ રચનામાં ભાગ લઈ શકે છે માટે તેમને અલગ વિભાગ (કેટેગરી)માં લેવામાં આવે છે. આપણે આ પારસ્પરિક ક્રિયા વિશે એકમ 4માં અભ્યાસ કર્યો છે.

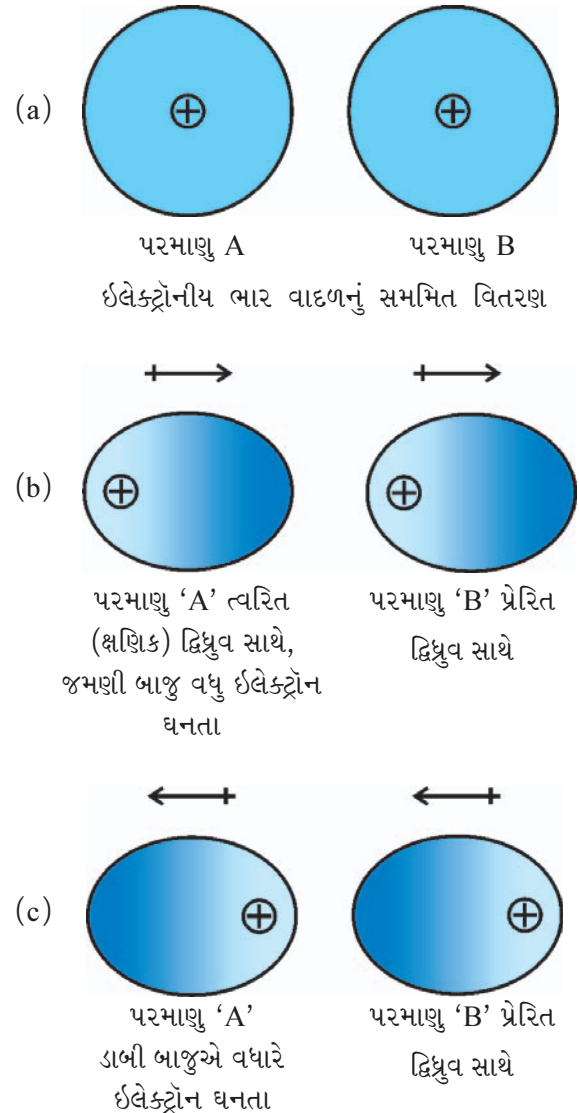
આ તબક્કે એ જાણવું અગત્યનું છે કે આયન અને દ્વિધ્રુવ વચ્ચેના આકર્ષણ બળો આયન-દ્વિધ્રુવ બળો તરીકે ઓળખાય છે; જે વાન્ ડર વાલ્સ બળો નથી. આપણે હવે જુદા જુદા પ્રકારના વાન્ ડર વાલ્સ બળો વિશે શીખીશું.

### 5.1.1 વિસર્જન બળો અથવા લંડન બળો (Dispersion Forces or London Forces)

પરમાણુઓ અને અધ્રુવીય અણુઓ વિદ્યુતીય રીતે સમમિત હોય છે અને તેમને દ્વિધ્રુવ ચાકમાત્રા હોતી નથી, કારણ કે તેમના ઈલેક્ટ્રોનીય ભાર વાદળો સમમિત રીતે વહેંચાયેલા હોય છે, પરંતુ

ક્ષણિક સમય માટે આવા પરમાણુઓ અને અણુઓમાં દ્વિધ્રુવીયતા વિકસી શકે છે. આ નીચે પ્રમાણે સમજી શકાય છે.

ધારો કે આપણી પાસે બે પરમાણુઓ 'A' અને 'B' એકબીજાની ખૂબ નજીક રહેલા છે (આકૃતિ 5.1(a)). એવું બની શકે કે ક્ષણિક સમય માટે બેમાંથી એક પરમાણુ માનો કે 'A' પરનો ઈલેક્ટ્રોનીય ભાર વિતરણથી (distribution) અસમમિત બને છે એટલે કે ભાર વાદળ એક બાજુ પર બીજી બાજુ કરતાં વધારે હોય છે. (આકૃતિ 5.1(b) અને 5.1(c)). આને પરિણામે ખૂબ ઓછા સમય (ત્વરિત સમય) માટે પરમાણુ 'A' પર ધ્રુવીયતા વિકસે છે. આ ત્વરિત અથવા ક્ષણિક (transient) દ્વિધ્રુવીયતા બીજા પરમાણુ 'B' જે તેની નજીક છે તેના પરની વિદ્યુતઘનતાને વિકૃત કરે છે. આને પરિણામે પરમાણુ 'B'માં દ્વિધ્રુવીયતા પ્રેરિત થાય છે.

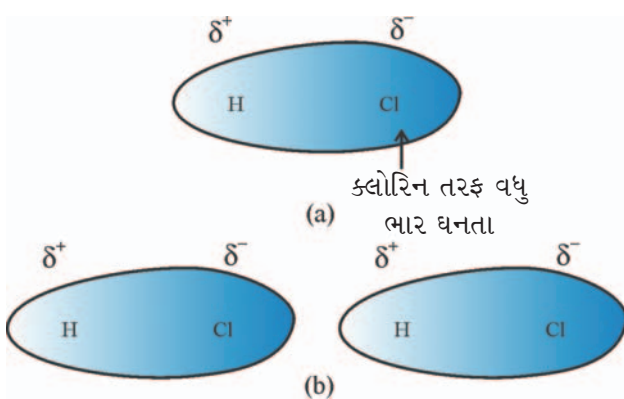


આકૃતિ 5.1 પરમાણુઓ વચ્ચે વિસર્જન બળો અથવા લંડન બળો

પરમાણુ 'A' અને પરમાણુ 'B'ની ક્ષણિક ધ્રુવીયતા એકબીજાને આકર્ષે છે. એ જ પ્રમાણે અણુઓમાં ક્ષણિક દ્વિધ્રુવીયતા પ્રેરિત થાય છે. આ આકર્ષણ બળને સૌપ્રથમ વખત જર્મન ભૌતિકશાસ્ત્રી ફ્રિટ્ઝ લંડને સૂચવેલા અને આ જ કારણે બે ક્ષણિક દ્વિધ્રુવીય વચ્ચેના આકર્ષણ બળ લંડન બળ તરીકે ઓળખાય છે. આ બળનું બીજું નામ વિસર્જન (dispersion) બળ છે. આ બળો હંમેશાં આકર્ષણીય હોય છે અને પારસ્પરિક ઊર્જા બે પારસ્પરિક ક્રિયા કરતાં કણો વચ્ચેના અંતરના છઠ્ઠા ઘાતના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં છે (એટલે કે  $1/r^6$  જ્યાં  $r$  બંને કણો વચ્ચેનું અંતર છે). આ બળો બહુ ઓછા અંતરે ( $\sim 500$  pm) અગત્યના છે અને તેમની માત્રા કણની ધ્રુવીભવનીયતા (polarisability) પર આધાર રાખે છે.

### 5.1.2 દ્વિધ્રુવ-દ્વિધ્રુવ બળો (Dipole-Dipole Forces)

દ્વિધ્રુવ-દ્વિધ્રુવ બળો કાયમી દ્વિધ્રુવીયતા ધરાવતા અણુઓ વચ્ચે લાગુ પડે છે. દ્વિધ્રુવના છેડા 'આંશિક ભાર' ધરાવે છે અને આ ભારને ગ્રીક અક્ષર ડેલ્ટા ( $\delta$ ) વડે દર્શાવાય છે. આંશિક ભાર એકમ ઇલેક્ટ્રોનીય ભાર ( $1.6 \times 10^{-19}$  C) કરતાં હંમેશાં ઓછો હોય છે. ધ્રુવીય અણુઓ બાજુના અણુઓ સાથે પારસ્પરિક ક્રિયા કરે છે. આકૃતિ 5.2(a) હાઈડ્રોજન ક્લોરાઈડના દ્વિધ્રુવમાં ઇલેક્ટ્રોન વાદળ વિતરણ દર્શાવે છે અને આકૃતિ 5.2(b) બે HCl અણુઓ વચ્ચે દ્વિધ્રુવ-દ્વિધ્રુવ પારસ્પરિક ક્રિયા દર્શાવે છે. આ પારસ્પરિક ક્રિયાના બળો લંડન બળો કરતાં વધુ પ્રબળ હોય છે. પરંતુ આયન-આયન પારસ્પરિક ક્રિયા કરતાં નિર્બળ હોય છે. કારણ કે માત્ર આંશિકભાર સંકળાયેલો હોય છે. દ્વિધ્રુવ વચ્ચેનું આકર્ષણબળ અંતર વધતાં ઘટે છે. ઉપર મુજબ અહીં પણ પારસ્પરિકક્રિયા ઊર્જા ધ્રુવીય અણુઓ વચ્ચેના અંતરના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં હોય છે. આ બળો દ્વિધ્રુવ વચ્ચેના અંતરના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં હોય છે. સ્થિર (stationary) ધ્રુવીય અણુઓ વચ્ચે (ઘનમાં હોય તેમ) દ્વિધ્રુવ-દ્વિધ્રુવ પારસ્પરિક ક્રિયા ઊર્જા  $1/r^3$ ને

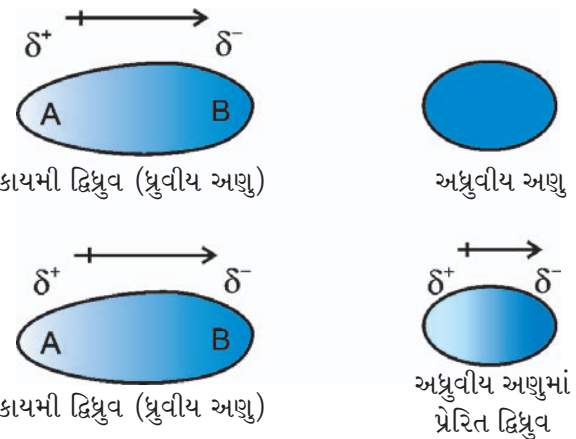


આકૃતિ 5.2 (a) HCl - ધ્રુવીય અણુમાં ઇલેક્ટ્રોન વાદળ વિતરણ, (b) બે HCl અણુઓ વચ્ચે દ્વિધ્રુવ-દ્વિધ્રુવ પારસ્પરિક ક્રિયા

સમપ્રમાણ છે અને ઘૂમતા (rotating) ધ્રુવીય અણુઓ વચ્ચેની પારસ્પરિક ક્રિયા ઊર્જા  $1/r^6$ ને સમપ્રમાણ હોય છે. જ્યાં  $r$  ધ્રુવીય અણુઓ વચ્ચેનું અંતર છે. દ્વિધ્રુવ-દ્વિધ્રુવ પારસ્પરિક ક્રિયા ઉપરાંત ધ્રુવીય અણુઓ લંડન બળો વડે પણ પારસ્પરિક ક્રિયા કરી શકે છે. આથી સંચયિત (cumulative) અસર એ છે કે ધ્રુવીય અણુઓમાં કુલ આંતરઆણ્વીય બળો વધે છે.

### 5.1.3 દ્વિધ્રુવ-પ્રેરિત દ્વિધ્રુવ બળો (Dipole-Induced Dipole Forces)

આ પ્રકારના બળો કાયમી દ્વિધ્રુવીયતા ધરાવતા ધ્રુવીય અણુઓ અને કાયમી દ્વિધ્રુવીયતાની ઊણપવાળા (lacking) અણુઓ વચ્ચે સક્રિય (operate) થાય છે. ધ્રુવીય અણુથી કાયમી દ્વિધ્રુવીયતા વિદ્યુતીય તટસ્થ વાદળને વિકૃત કરીને દ્વિધ્રુવીયતા પ્રેરિત કરે છે (આકૃતિ 5.3). આમ બીજા અણુમાં પ્રેરિત ધ્રુવીયતા વિકસે છે. આ બાબતમાં પણ પારસ્પરિક ક્રિયા ઊર્જા  $1/r^6$ ને સમપ્રમાણ હોય છે. જ્યાં  $r$  બે અણુઓ વચ્ચેનું અંતર છે. પ્રેરિત દ્વિધ્રુવ ચાકમાત્રા કાયમી દ્વિધ્રુવીયતા ધરાવતા અને વિદ્યુતીય તટસ્થ વચ્ચે ધ્રુવીભવનીયતા (polarisability) પર આધાર રાખે છે. આપણે એકમ 4માં શીખ્યા છીએ કે મોટા કદવાળા અણુઓ સહેલાઈથી ધ્રુવીભૂત કરી શકાય છે. ઊંચી ધ્રુવીભવનીયતા આકર્ષણીય પારસ્પરિક ક્રિયાની તાકાત વધારે છે.



આકૃતિ 5.3 કાયમી દ્વિધ્રુવ અને પ્રેરિત દ્વિધ્રુવ વચ્ચે દ્વિધ્રુવ-પ્રેરિત દ્વિધ્રુવ પારસ્પરિક ક્રિયા

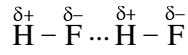
આ બાબતમાં વિસર્જન (dispersion) બળો અને દ્વિધ્રુવ-પ્રેરિત દ્વિધ્રુવ પારસ્પરિક ક્રિયા સહઅસ્તિત્વ ધરાવે છે.

### 5.1.4 હાઈડ્રોજન બંધ (Hydrogen Bond)

વિભાગ 5.1માં જણાવ્યા પ્રમાણે આ દ્વિધ્રુવ-દ્વિધ્રુવ પારસ્પરિક ક્રિયાની ખાસ બાબત છે. આપણે એકમ 4માં આના વિશે અભ્યાસ કર્યો છે. ઊંચા ધ્રુવીય બંધ જેવાં કે



N-H, O-H અથવા H-F બંધ હાજર હોય તેવા અણુઓમાં જોવા મળે છે. હાઈડ્રોજન બંધ N, O અને F પૂરતું મર્યાદિત ગણવામાં આવે છે છતાં  $Cl^-$  જેવી સ્પીસિઝ પણ હાઈડ્રોજન બંધનમાં ભાગ લે છે. હાઈડ્રોજન બંધની ઊર્જા 10 થી 100  $kJ mol^{-1}$  જેટલી હોય છે. આ ઊર્જાનું સાર્થક પ્રમાણ છે માટે હાઈડ્રોજન બંધ ઘણા સંયોજનોની રચના અને ગુણધર્મો નક્કી કરવામાં શક્તિશાળી બળ છે. ઉદાહરણ તરીકે લઈએ તો પ્રોટીન અને ન્યુક્લિક એસિડ. હાઈડ્રોજન બંધની પ્રબળતા વિદ્યુતઋણમય પરમાણુના અબંધકારક ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ અને બીજા અણુના હાઈડ્રોજન પરમાણુ વચ્ચેના કુલોમ્બિક બળો પરથી નક્કી કરવામાં આવે છે. નીચેની આકૃતિ હાઈડ્રોજન બંધની રચના દર્શાવે છે.



અત્યાર સુધી ચર્ચા કરેલા બધા જ આંતરઆણ્વીય બળો આકર્ષણ બળો છે. અણુઓમાં એકબીજા પર અપાકર્ષણ બળો ક્રિયાશીલ (exert) થાય છે, જ્યારે બે અણુઓને એકબીજાની નજીક લાવવામાં આવે છે ત્યારે ઇલેક્ટ્રોન વાદળ અને બે અણુના કેન્દ્રો વચ્ચેના અપાકર્ષણ બળો અસરકારક થવા માંડે છે. અણુઓને અલગ કરતાં અંતરમાં જો ઘટાડો થાય તો અપાકર્ષણ બળોની માત્રા વધુ ઝડપથી વધે છે. આ જ કારણને લીધે પ્રવાહી અને ઘનને દબાવવા મુશ્કેલ છે. આ અવસ્થામાં અણુઓ એકબીજાની નજીક સંપર્કમાં હોય છે. આથી તેઓ વધારે સંકોચનનો અવરોધ કરે છે અને તેને પરિણામે અપાકર્ષણ પારસ્પરિક ક્રિયા વધે છે.

## 5.2 ઉષ્મીય ઊર્જા (Thermal Energy)

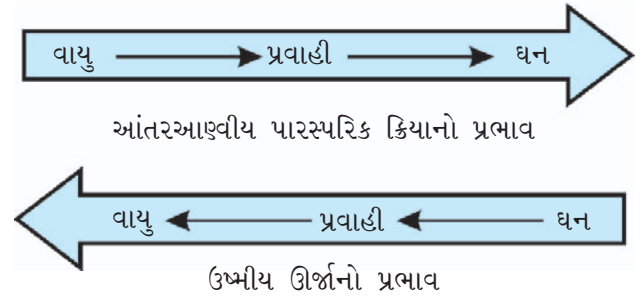
કોઈ પણ પદાર્થની ઉષ્મીય ઊર્જા તેના પરમાણુઓ કે અણુઓની ગતિમાંથી ઉદ્ભવે છે. તે પદાર્થના તાપમાનના સમપ્રમાણમાં હોય છે. તે દ્રવ્યના કણોની સરેરાશ ગતિજ ઊર્જાનું માપ છે અને તેથી તે કણોની હેરફેર (movement) માટે જવાબદાર છે. કણોની આ હેરફેરને થર્મલ ગતિ કહે છે.

## 5.3 આંતરઆણ્વીય બળો વિરુદ્ધ ઉષ્મીય પારસ્પરિક ક્રિયાઓ (Intermolecular forces vs Thermal Interactions)

આપણે શીખી ગયા છીએ કે આંતરઆણ્વીય બળો અણુને ભેગા રાખવાનો પ્રયત્ન કરે છે, પરંતુ ઉષ્મીય ઊર્જા અણુઓને અલગ રાખવાની વૃત્તિ દર્શાવે છે. દ્રવ્યની ત્રણ અવસ્થાઓ

આંતરઆણ્વીય બળો અને અણુઓની ઉષ્મીય ઊર્જા વચ્ચેના સમતોલનનું પરિણામ છે.

જ્યારે આણ્વીય પારસ્પરિક ક્રિયા નબળી હોય ત્યારે જો ઉષ્મીય ઊર્જામાં ઘટાડો, તાપમાનમાં ઘટાડો કરીને કરવામાં ન આવે તો અણુઓ એકબીજા સાથે વળગી રહીને પ્રવાહી કે ઘન બનાવતા નથી. વાયુઓનું માત્ર સંકોચન કરવાથી અણુઓ એકબીજાની વધુ નજીક આવે છે તો પણ અને આંતરઆણ્વીય બળો મહત્તમ બને છે, છતાં પણ પ્રવાહીકરણ થઈ શકતું નથી. જો અણુઓના તાપમાનમાં ઘટાડો કરીને ઉષ્મીય ઊર્જામાં ઘટાડો કરવામાં આવે તો વાયુઓનું સહેલાઈથી પ્રવાહીકરણ થઈ શકે છે. ઉષ્મીય ઊર્જાનો આગળ પડતો પ્રભાવ (predominance) અને ત્રણેય અવસ્થાઓમાં આણ્વીય પારસ્પરિક ક્રિયા ઊર્જાને નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય :



દ્રવ્યની ત્રણેય અવસ્થાઓના અસ્તિત્વ માટેનું કારણ આપણે શીખી ગયા છીએ. હવે આપણે વાયુમય અને પ્રવાહી અવસ્થાઓ વિશે વધુ શીખીશું અને ત્રણેય અવસ્થામાં દ્રવ્યની વર્તણૂકને નિયંત્રિત કરતાં નિયમો વિશે પણ અભ્યાસ કરીશું. આપણે ઘન અવસ્થા વિશે ધોરણ 12માં શીખીશું.

## 5.4 વાયુમય અવસ્થા (Gaseous State)

આ દ્રવ્યની સૌથી સરળ અવસ્થા છે. આપણે જીવનપર્યંત હવાના મહાસાગરમાં ડૂબેલા રહીએ છીએ તે હવા વાયુઓનું મિશ્રણ છે. આપણે વાતાવરણના સૌથી નીચા સ્તરમાં આપણી જિંદગી વીતાવીએ છીએ. વાતાવરણ જેને ટ્રોપોસ્ફિયર કહે છે તે પૃથ્વીની સપાટી સાથે ગુરુત્વાકર્ષણ બળથી વીંટળાયેલ છે. વાતાવરણનું આ પાતળું સ્તર આપણી જિંદગી માટે અત્યાવશ્યક (vital) છે. તે આપણા માટે નુકસાનકારક વિકિરણો સામે ઢાલ તરીકે વર્તે છે અને તે ડાયઑક્સિજન, ડાયનાઈટ્રોજન, કાર્બન ડાયોક્સાઈડ, પાણીની બાષ્પ વગેરે ધરાવે છે.

આપણે હવે તાપમાન અને દબાણની સામાન્ય પરિસ્થિતિમાં વાયુમય અવસ્થા ધરાવતા હોય તેવા પદાર્થોની વર્તણૂક પર

સમૂહ ક્રમાંક	1	15	16	17	18
	H				He
		N	O	F	Ne
			Cl		Ar
					Kr
					Xe
					Rn

**આકૃતિ 5.4** અગિયાર તત્ત્વો જે વાયુ તરીકે અસ્તિત્વ ધરાવે છે.

ધ્યાન કેન્દ્રિત કરીએ. આવર્તકોષ્ટક પર નજર કરશો તો જણાશે કે માત્ર અગિયાર તત્ત્વો જ સામાન્ય પરિસ્થિતિમાં વાયુ તરીકે અસ્તિત્વ ધરાવે છે.

વાયુમય અવસ્થા નીચેના ગુણધર્મોને લીધે લાક્ષણિક છે.

- વાયુઓ ખૂબ જ સંકોચનીય (compressible) છે.
- વાયુઓ બધી જ દિશાઓમાં સરખું દબાણ ધરાવે છે.
- વાયુઓને ઘન અને પ્રવાહી કરતાં ઘણી ઓછી ઘનતા હોય છે.
- વાયુના કદ અને આકાર નિશ્ચિત નથી હોતાં. તેઓ ભરવામાં આવતા પાત્રના કદ અને આકાર પ્રાપ્ત કરે છે.
- વાયુઓ એકબીજામાં કોઈ પણ જાતની યાંત્રિક મદદ વગર એકસરખી રીતે અને બધા જ પ્રમાણમાં સંપૂર્ણપણે મિશ્ર થાય છે.

વાયુઓની સરળતાનું કારણ એ હકીકત છે કે તેમના અણુઓ વચ્ચેના પારસ્પરિક ક્રિયા બળો નગણ્ય (negligible) હોય છે. તેમની વર્તણૂક તેમના પ્રાયોગિક અભ્યાસના પરિણામો પરથી શોધાયેલા સમાન સામાન્ય નિયમોથી નિયંત્રિત થાય છે. આ નિયમો વાયુઓના માપન કરી શકાય તેવા ગુણધર્મો સાથે સંબંધિત છે. આમાંના કેટલાક ગુણધર્મો જેવાં કે દબાણ, કદ, તાપમાન અને દળ ઘણા અગત્યના છે કારણ કે આ ચલો (variables) વચ્ચેનો સંબંધ વાયુની અવસ્થાનું વર્ણન કરે છે. આ ચલોનો એકબીજા પર આધાર વાયુ નિયમોના સૂત્રણ (ઘડતર)(formulation) તરફ દોરે છે. આપણે આગળના વિભાગમાં વાયુ નિયમો વિશે શીખીશું.

## 5.5 વાયુ નિયમો (The Gas Laws)

આપણે હવે વાયુ નિયમોનો અભ્યાસ કરીશું. તે વાયુના ભૌતિક ગુણધર્મો પર કેટલીક સદીઓના સંશોધનનું પરિણામ છે. ઍંગ્લો આયરીશ વૈજ્ઞાનિક રોબર્ટ બોઈલે (Robert Boyle) 1662માં વાયુના ગુણધર્મોના વિશ્વસનીય માપન સૌપ્રથમ કરેલા. તેમણે જે નિયમને સૂત્રિત કર્યો તે બોઈલના નિયમ તરીકે ઓળખાય છે, ત્યારબાદ ગરમ હવાના બલૂનની મદદ વડે હવામાં ઊડવાના પ્રયત્નો પરથી જેક્સ ચાર્લ્સ (Jacques Charles) અને જોસેફ લુઈસ ગે લ્યુસેક (Joseph Lewis Gay Lussac)ને વાયુના બીજા વધારાના નિયમો શોધવા માટે પ્રોત્સાહિત કર્યા. એવોગેદ્રો અને બીજાઓના ફાળાથી વાયુમય અવસ્થા વિશે ઘણી માહિતી મેળવી શક્યા.

### 5.5.1 બોઈલનો નિયમ (Boyle's Law) (દબાણ-કદ સંબંધ (Pressure - Volume Relationship))

રોબર્ટ બોઈલ તેમના પ્રયોગોના આધારે એવા તારણ પર આવ્યા કે અચળ (constant) તાપમાને નિશ્ચિત જથ્થા (એટલે કે મોલની સંખ્યા  $n$ )ના વાયુનું દબાણ તેના કદના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં હોય છે. આ બોઈલના નિયમ તરીકે જાણીતો છે. ગાણિતીય રીતે તેને નીચે પ્રમાણે લખી શકાય :

$$p \propto \frac{1}{V} \quad (\text{અચળ } T \text{ અને } n) \quad (5.1)$$

$$\Rightarrow p = k_1 \frac{1}{V} \quad (5.2)$$

જ્યાં,  $k_1$  સમપ્રમાણતા અચળાંક છે. અચળાંક  $k_1$ નો આધાર વાયુના જથ્થા, વાયુનું તાપમાન અને  $p$  અને  $V$ ને દર્શાવતા એકમો પર આધાર રાખે છે. સમીકરણ (5.2)ની પુનઃગોઠવણી કરતાં આપણને મળશે કે,

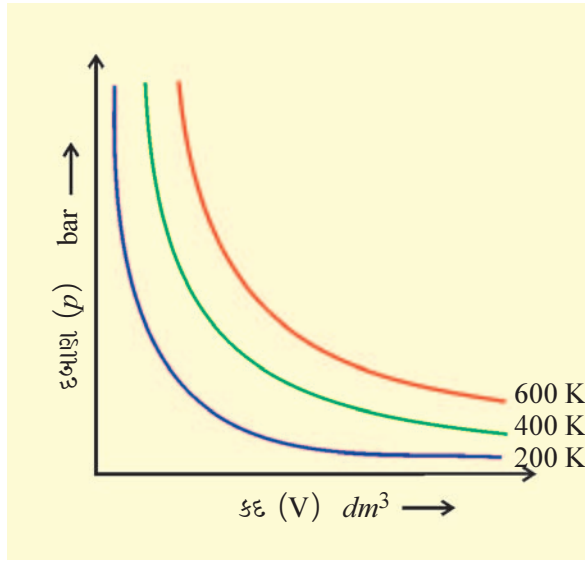
$$pV = k_1 \quad (5.3)$$

આનો અર્થ એમ થાય છે કે નિશ્ચિત જથ્થાના વાયુના દબાણ અને કદનો ગુણાકાર અચળ હોય છે.

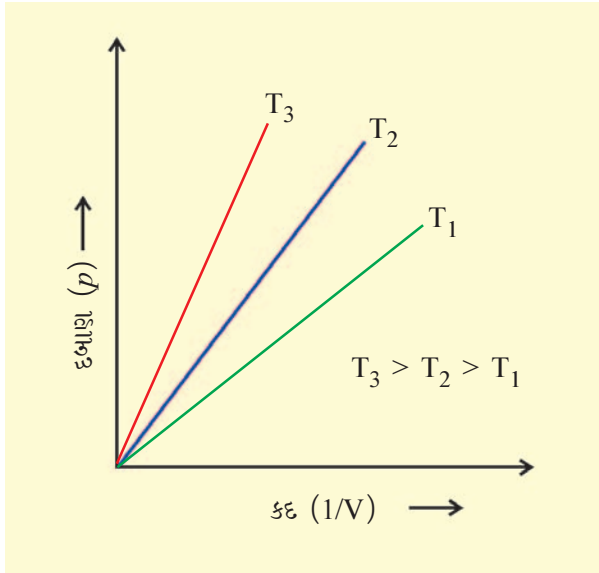
જો નિશ્ચિત જથ્થાનો વાયુ અચળ તાપમાન  $T$  એ દબાણ  $p_1$  એ કદ  $V_1$  ધરાવે છે તે વિસ્તરણ પામે છે અને કદ  $V_2$  અને દબાણ  $p_2$  થાય છે તો બોઈલના નિયમ પ્રમાણે,

$$p_1V_1 = p_2V_2 = \text{અચળ} \quad (5.4)$$

$$\Rightarrow \frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1} \quad (5.5)$$



આકૃતિ 5.5(a) વાયુના દબાણ  $p$  વિરુદ્ધ કદ  $V$  ના જુદા જુદા તાપમાને આલેખ



આકૃતિ 5.5(b) વાયુના દબાણ  $p$  વિરુદ્ધ  $\frac{1}{V}$  નો આલેખ

આકૃતિ 5.5 બોઈલના નિયમને આલેખની રીતે રજૂ કરવાની પ્રણાલિકાગત રીતો છે. આકૃતિ 5.5(a) સમીકરણ (5.3)નો જુદા જુદા તાપમાને આલેખ છે. દરેક વક માટે  $k_1$ નું મૂલ્ય અલગ છે કારણ કે વાયુના આપેલ દળ માટે તે તાપમાન સાથે બદલાય છે. દરેક વક જુદા જુદા અચળ તાપમાનને સુસંગત છે અને તેને **સમતાપી** (અચળ તાપમાન આલેખ) કહે છે. બાજુના આલેખ ઊંચા તાપમાનને અનુરૂપ છે. એ નોંધવું જરૂરી છે કે દબાણ અડધું કરવામાં આવે તો કદ બમણું થાય છે. કોષ્ટક 5.1માં 0.09 mol  $\text{CO}_2$ ના કદ પર 300 K તાપમાને દબાણની અસર દર્શાવે છે. આકૃતિ 5.5(b)માં  $p$  અને  $\frac{1}{V}$  વચ્ચેનો આલેખ રજૂ કરે છે. તે ઉદ્ગમ(origin)માંથી પસાર થતી સીધી રેખા છે. ઊંચા દબાણે વાયુના બોઈલના નિયમમાંથી વિચલન દર્શાવે છે અને આ પરિસ્થિતિમાં આલેખમાં સીધી રેખા મળતી નથી.

બોઈલના પ્રયોગો જથ્થાત્મક રીતે સાબિત કરે છે કે વાયુ ખૂબ જ સંકોચનશીલ હોય છે, કારણ કે આપેલ વાયુનું જ્યારે સંકોચન કરવામાં આવે છે ત્યારે અણુઓની સરખી સંખ્યા વધુ નાની જગ્યા રોકે છે. આનો અર્થ એમ થાય છે કે ઊંચા દબાણે વાયુઓ ઘટ્ટ બને છે. બોઈલના નિયમનો ઉપયોગ કરીને વાયુની ઘનતા અને દબાણ વચ્ચે સંબંધ મેળવી શકાય.

વ્યાખ્યા પ્રમાણે ઘનતા ' $d$ ' દળ ' $m$ ' અને કદ ' $V$ ' સાથે  $d = \frac{m}{V}$  સંબંધથી સંબંધિત છે. આપણે જો બોઈલના નિયમના સમીકરણ પરથી  $V$ નું મૂલ્ય આ સમીકરણમાં મૂકીએ તો આપણને નીચેનો સંબંધ મળશે.

### કોષ્ટક 5.1 0.09 મોલ $\text{CO}_2$ વાયુના કદ પર 300 K તાપમાને દબાણની અસર

દબાણ/ $10^4$ Pa	કદ/ $10^{-3}$ m <sup>3</sup>	(1/V)/m <sup>-3</sup>	$pV/10^2$ Pa m <sup>3</sup>
2.0	112.0	8.90	22.40
2.5	89.2	11.2	22.30
3.5	64.2	15.6	22.47
4.0	56.3	17.7	22.50
6.0	37.4	26.7	22.44
8.0	28.1	35.6	22.48
10.0	22.4	44.6	22.40

$$d = \left(\frac{m}{k_1}\right)p = k'p$$

આ દર્શાવે છે કે અચળ તાપમાને નિશ્ચિત દળના વાયુનું દબાણ ઘનતાના સમપ્રમાણમાં છે.

### કોયડો 5.1

એક બલૂન(કુગ્ગો)માં હાઈડ્રોજન ઓરડાના તાપમાને ભરવામાં આવેલ છે. જો 0.2 bar દબાણ વધે તો તે ફાટી જાય તેમ છે. જો 1 bar દબાણે વાયુ 2.27 L કદ ધરાવે છે, તો કેટલા કદ સુધી બલૂનને વિસ્તારી શકાશે ?

ઉકેલ :

$$\text{બોઈલના નિયમ પ્રમાણે } p_1V_1 = p_2V_2$$

$$\text{જો } p_1 = 1 \text{ bar તો } V_1 = 2.27 \text{ L થશે.}$$

$$\text{જો } p_2 = 0.2 \text{ bar તો } V_2 = \frac{p_1V_1}{p_2}$$

$$\Rightarrow V_2 = \frac{1 \text{ bar} \times 2.27 \text{ L}}{0.2 \text{ bar}} = 11.35 \text{ L}$$

બલૂન 0.2 bar દબાણે ફાટી જાય છે તો બલૂનનું કદ 11.35 Lથી ઓછું રાખવું જોઈએ.

### 5.5.2 ચાર્લ્સનો નિયમ (Charles' Law) (તાપમાન-કદ સંબંધ) (Temperature - Volume Relationship)

ચાર્લ્સ અને ગે લ્યુસેકે સ્વતંત્ર રીતે ગરમ બલૂન ટેકનોલોજીમાં સુધારા માટે ઘણા પ્રયોગો કર્યા. તેમના સંશોધનોએ દર્શાવ્યું કે વાયુના નિશ્ચિત દળ માટે અચળ દબાણે વાયુનું કદ તાપમાનના વધારા સાથે વધે છે અને ઠંડો પાડતાં ઘટે છે. તેમણે શોધ્યું કે તાપમાનમાં પ્રત્યેક એક અંશના વધારા સાથે કદ 0 °C તાપમાને રહેલા મૂળ કદના  $\frac{1}{273.15}$  જેટલો વધારો દર્શાવે છે. આમ જો 0 °C અને  $t$  °C તાપમાને વાયુના કદ અનુક્રમે  $V_0$  અને  $V_t$  હોય તો,

$$V_t = V_0 + \frac{t}{273.15} V_0$$

$$\Rightarrow V_t = V_0 \left(1 + \frac{t}{273.15}\right)$$

$$\Rightarrow V_t = V_0 \left(\frac{273.15+t}{273.15}\right) \quad (5.6)$$

આ તબક્કે આપણે તાપમાનનો એક નવો માપકમ વ્યાખ્યાયિત કરીએ છીએ જેથી કરીને  $t$  °C ને નવા માપકમમાં  $T = 273.15 + t$  અને 0 °C ને  $T_0 = 273.15$  પ્રમાણે દર્શાવીએ છીએ. તાપમાનનો આ નવો માપકમ કેલ્વિન તાપમાન માપકમ અથવા નિરપેક્ષ તાપમાન માપકમ છે.

આથી સેલ્સિયસ માપકમ પર 0 °Cને નિરપેક્ષ માપકમ પર 273.15 K બરાબર થશે એ નોંધશો કે નિરપેક્ષ તાપમાન માપકમ એટલે કે કેલ્વિન માપકમ દર્શાવતી વખતે અંશની સંજ્ઞા લખાતી નથી. કેલ્વિન માપકમને ઉષ્માગતિશાસ્ત્ર માપકમ પણ કહેવાય અને તે બધા જ વૈજ્ઞાનિક કાર્યોમાં વપરાય છે.

આથી સેલ્સિયસ તાપમાનને કેલ્વિન માપકમના તાપમાનમાં મેળવવા માટે 273 (વધુ ચોકસાઈપૂર્વક 273.15) ઉમેરીએ છીએ. અને આપણે સમીકરણ 5.6માં લખીએ તો  $T_1 = 273.15 + t_1$  અને  $T_0 = 273.15$  તો આપણને નીચે પ્રમાણેનો સંબંધ મળશે.

$$V_t = V_0 \left(\frac{T_1}{T_0}\right)$$

$$\Rightarrow \frac{V_t}{V_0} = \frac{T_1}{T_0} \quad (5.7)$$

આમ આપણે નીચે પ્રમાણેનું સમીકરણ લખી શકીએ :

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad (5.8)$$

$$\Rightarrow \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$\Rightarrow \frac{V}{T} = \text{અચળાંક} = k_2 \quad (5.9)$$

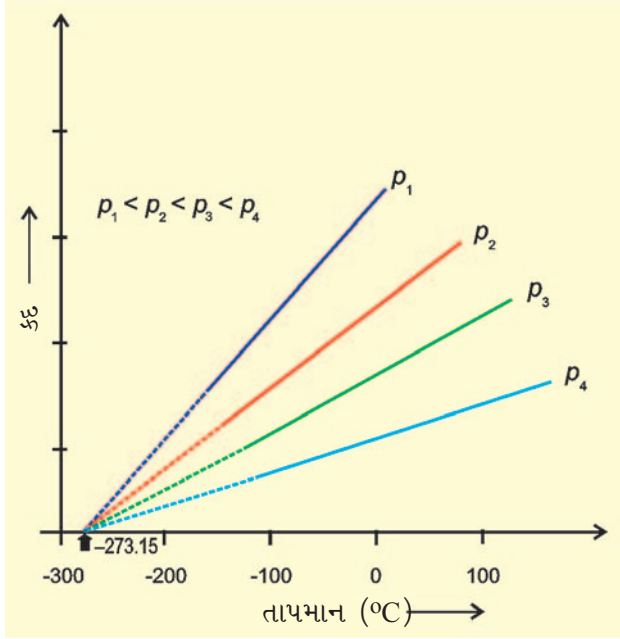
$$\text{આમ, } V = k_2T \quad (5.10)$$

અચળાંક  $k_2$ નું મૂલ્ય વાયુના દબાણ, તેનો જથ્થો અને કદ દર્શાવતા એકમો પરથી દર્શાવાય છે.

સમીકરણ (5.10) ચાર્લ્સના નિયમનું ગાણિતીયરૂપ છે. જે નિવેદિત કરે છે કે જો દબાણ અચળ રહે તો નિશ્ચિત દળના વાયુનું કદ નિરપેક્ષ તાપમાનના સમપ્રમાણમાં છે. ચાર્લ્સ એમ પણ શોધ્યું કે બધા જ વાયુઓ માટે કોઈ પણ દબાણે કદ વિરુદ્ધ

તાપમાન (સેલ્સિયસમાં) એક સીધી રેખા છે અને તેને શૂન્ય કદ તરફ લંબાવતા દરેક રેખા તાપમાન અક્ષને  $-273.15\text{ }^\circ\text{C}$  બિંદુએ આંતર્છેદ કરે છે. જુદા જુદા દબાણો મેળવેલી રેખાઓના ઢાળ જુદા જુદા હોય છે, પરંતુ શૂન્ય કદે બધી જ રેખાઓ  $-273.15\text{ }^\circ\text{C}$  તાપમાને મળે છે (આકૃતિ 5.6).

કદ વિરુદ્ધ તાપમાન આલેખની દરેક રેખા સમભાર (isobar) કહેવાય છે.



**આકૃતિ 5.6** કદ-વિરુદ્ધ તાપમાન ( $^\circ\text{C}$ ) આલેખ

ચાર્લ્સના અવલોકનોને જો આપણે સમીકરણ (5.6)માં  $t$  ના મૂલ્યોને  $-273.15\text{ }^\circ\text{C}$  તરીકે મૂકીએ તો અર્થઘટન (interpret) કરી શકીએ.

આપણે જોઈ શકીએ કે વાયુનું  $-273.15\text{ }^\circ\text{C}$  તાપમાને કદ શૂન્ય થશે. આનો અર્થ એમ થાય કે વાયુનું અસ્તિત્વ જ નહિ હોય. ખરેખર તો આ તાપમાને પહોંચતા પહેલાં બધા જ વાયુઓ પ્રવાહીકરણ પામે છે. સૌથી નીચું કાલ્પનિક તાપમાન કે જે તાપમાને વાયુઓ શૂન્ય કદ ધરાવે છે તેને નિરપેક્ષ શૂન્ય કહેવાય છે.

બધા જ વાયુઓ ઘણા નીચા દબાણો અને ઊંચા તાપમાને ચાર્લ્સનો નિયમ પાળે છે.

### કોષ્ટક 5.2

પેસિક્કિ મહાસાગરમાં તરતું જહાજ જ્યાં તાપમાન  $23.4\text{ }^\circ\text{C}$  છે, ત્યાં એક બલૂન (ફુગ્ગો)  $2\text{ L}$  વાયુથી ભરેલ

છે. આ જહાજ જ્યારે હિન્દ મહાસાગરમાં પહોંચે છે, જ્યાં તાપમાન  $26.1\text{ }^\circ\text{C}$  છે, ત્યારે તેનું કદ કેટલું હશે ?

**ઉકેલ :**

$$\begin{aligned} V_1 &= 2\text{ L} & T_2 &= 26.1 + 273 \\ T_1 &= (23.4 + 273)\text{ K} & &= 299.1\text{ K} \\ &= 296.4\text{ K} & & \end{aligned}$$

ચાર્લ્સના નિયમ પરથી,

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$\Rightarrow V_2 = \frac{V_1 T_2}{T_1}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow V_2 &= \frac{2\text{ L} \times 299.1\text{ K}}{296.4\text{ K}} \\ &= 2\text{ L} \times 1.009 \\ &= 2.018\text{ L} \end{aligned}$$

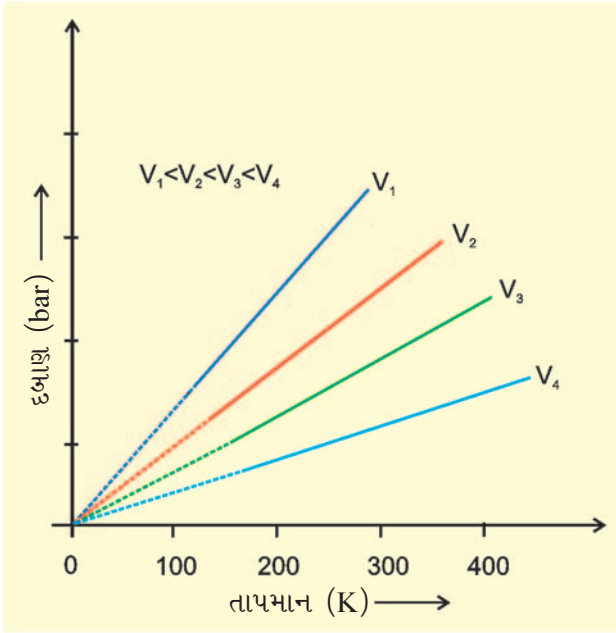
### 5.5.3 ગે લ્યુસેકનો નિયમ (Gay Lussac's Law) (દબાણ-તાપમાન સંબંધ) (Pressure - Temperature Relationship)

વાહનોના સારી રીતે ફુલેલા (inflated) ટાયરોમાં દબાણ લગભગ અચળ હોય છે, પરંતુ ઉનાળાની ગરમીના દિવસોમાં દબાણ એટલું બધું વધે છે કે જો દબાણ બરાબર રાખવામાં ન આવે તો ટાયર ફાટી જાય છે. શિયાળા દરમિયાન, ઠંડી સવારે આપણને જણાશે કે વાહનના ટાયરના દબાણ નોંધપાત્ર રીતે ઘટેલા હોય છે. દબાણ અને તાપમાન વચ્ચે ગાણિતીય સંબંધ જોસેફ ગે લ્યુસેકે આપેલ અને તે ગે લ્યુસેકના નિયમ તરીકે ઓળખાય છે. તે નિવેદિત કરે છે કે ચોક્કસ કદે નિશ્ચિત જથ્થાના વાયુનું દબાણ તાપમાનના સમપ્રમાણમાં હોય છે. ગાણિતીય રીતે લખતાં,

$$p \propto T$$

$$\Rightarrow \frac{p}{T} = \text{અચળાંક} = k_3$$

આ નિયમ બોઈલના નિયમ અને ચાર્લ્સના નિયમમાંથી મેળવી કે ઉપજાવી શકાય. ચોક્કસ મોલર કદે દબાણ વિરુદ્ધ તાપમાન (કેલ્વિન) આલેખ આકૃતિ 5.7માં દર્શાવેલ છે. આ આલેખની દરેક રેખાને ‘આઈસોકોર’ (સમાન કદ ધરાવતા) કહે છે.



આકૃતિ 5.7 વાયુનો દબાણ વિરુદ્ધ તાપમાન (K) આલેખ (આઈસોકોર)

### 5.5.4 એવોગેડ્રો નિયમ (Avogadro Law) (કદ-જથ્થો સંબંધ) (Volume-Amount Relationship)

1811માં ઈટાલિયન વૈજ્ઞાનિક એમિડો એવોગેડ્રોએ ડાલ્ટનના પ્રમાણુવાદ અને ગે લ્યુસેકનો સંયોજતા કદ (એકમ-1) નિયમના તારણોને સંયોજવાનો પ્રયત્ન કર્યો જે હવે એવોગેડ્રો નિયમ તરીકે ઓળખાય છે. તે નિવેદિત કરે છે કે સમાન કદ ધરાવતા બધા જ વાયુઓ, સમાન તાપમાન અને સમાન દબાણની પરિસ્થિતિમાં સરખી સંખ્યાના અણુઓ ધરાવે છે. આનો અર્થ એમ છે કે જ્યાં સુધી તાપમાન અને દબાણ અચળ રહે છે, ત્યાં સુધી વાયુનું કદ વાયુના અણુઓની સંખ્યા પર અથવા બીજા શબ્દોમાં કહીએ તો વાયુના જથ્થા અથવા પ્રમાણ પર આધાર રાખે છે ગાણિતીય રીતે લખીએ તો,

$$V \propto n$$

જ્યાં  $n$  વાયુના મોલની સંખ્યા છે.

$$\Rightarrow V = k_4 n \quad (5.11)$$

વાયુના એક મોલમાં રહેલા અણુઓની સંખ્યા

$6.022 \times 10^{23}$  નક્કી કરવામાં આવી અને તે એવોગેડ્રો અચળાંક

તરીકે ઓળખાય છે. તમને જણાશે કે આ જ સંખ્યા આપણે મોલનો અભ્યાસ કરેલો ત્યારે જાણવા મળેલી (એકમ 1).

વાયુનું કદ મોલની સંખ્યાના સમપ્રમાણમાં હોય છે. પ્રમાણિત તાપમાન અને દબાણે (STP)\* દરેક વાયુનો એક મોલ સમાન કદ ધરાવશે. પ્રમાણિત તાપમાન અને દબાણનો અર્થ છે કે 273.15 (0 °C) K તાપમાન અને 1 bar (એટલે કે  $10^5$  પાસ્કલ) દબાણ. આ મૂલ્યો પાણીનું ઠારબિંદુ તાપમાન અને દરિયાની સપાટીએ વાતાવરણનું દબાણ છે. STP એ આદર્શ વાયુ અથવા આદર્શ વાયુઓનું સંયોગીકરણ આણ્વીય કદ  $22.71098 \text{ L mol}^{-1}$  છે.

કેટલાક વાયુઓના આણ્વીય કદ કોષ્ટક 5.2માં આપેલ છે.

### કોષ્ટક 5.2 કેટલાક વાયુઓના 273.15 K તાપમાન અને 1 bar (STP)ના આણ્વીય કદ લિટર પ્રતિ મોલમાં

આર્ગોન	22.37
કાર્બન ડાયોક્સાઈડ	22.54
ડાયનાઈટ્રોજન	22.69
ડાયઓક્સિજન	22.69
ડાયહાઈડ્રોજન	22.72
આદર્શ વાયુ	22.71

વાયુના મોલની સંખ્યા નીચે પ્રમાણે ગણી શકાય :

$$n = \frac{m}{M} \quad (5.12)$$

જ્યાં,  $m$  = અન્વેષણ (investigation)માંના વાયુનું દળ અને  $M$  = આણ્વીય દળ

આમ,

$$V = k_4 \frac{m}{M} \quad (5.13)$$

સમીકરણ (5.13)ની નીચે પ્રમાણે ગોઠવણી કરી શકાય :

$$M = k_4 \frac{m}{V} = k_4 d \quad (5.14)$$

\* અગાઉના પ્રમાણિત ઘણી વાર ઉપયોગમાં લેવાય છે અને દસકા અગાઉની બધી રાસાયણિક માહિતી (data)ને લાગુ પડે છે. આ વ્યાખ્યામાં STP સમાન તાપમાન 0° C (273.15 K) પણ 1 atm થી વધારે દબાણ (101.325 kPa) સૂચવે છે. કોઈ પણ વાયુ અથવા વાયુઓનું સંયોગીકરણ STP એ 22.413996 L કદ ધરાવે છે.

પ્રમાણિત પરિવેશી (Ambient) તાપમાન અને દબાણ (SATP) શરતો કેટલાક વૈજ્ઞાનિક કાર્યોમાં ઉપયોગમાં લેવાય છે. SATP શરતોનો અર્થ એ થાય છે કે 298.15 K અને 1 bar (એટલે કે ચોક્કસ રીતે (exactly)  $10^5$  Pa). SATP એ (1 bar અને 298.15 K) એ આદર્શ વાયુનું કદ  $24.789 \text{ L mol}^{-1}$  છે.

અહીંયા 'd' વાયુની ઘનતા છે. આપણે સમીકરણ (5.14) પરથી તારવી શકીએ કે વાયુની ઘનતા તેના આણ્વીય દળને સમપ્રમાણ હોય છે.

જે વાયુ બોઈલના નિયમ, ચાર્લ્સના નિયમ અને એવોગેડ્રોના નિયમને ચુસ્ત રીતે અનુસરે છે. તેને આદર્શ વાયુ કહેવાય છે. આવો વાયુ માત્ર પરિકલ્પિત (hypothetical) છે. એવું ધારવામાં આવ્યું છે કે આદર્શ વાયુના અણુઓના વચ્ચે આંતરઆણ્વીય બળો હાજર હોતા નથી. વાસ્તવિક વાયુઓ આ નિયમોનું પાલન કેટલીક વિશિષ્ટ શરતો દરમિયાન કરે છે, જ્યારે પારસ્પરિક ક્રિયાના બળો નગણ્ય થાય છે. બાકીની બીજી બધી જ પરિસ્થિતિમાં આદર્શ વર્તણૂકથી તેઓ વિચલિત થાય છે. તમે વિચલનો વિશે આ એકમમાં આગળ ઉપર શીખશો.

## 5.6 આદર્શ વાયુ સમીકરણ (Ideal Gas Equation)

આપણે અત્યાર સુધીમાં અભ્યાસ કરેલા ત્રણેય નિયમોનું એક જ સમીકરણમાં સંયોગીકરણ કરી શકીએ જે આદર્શ વાયુ સમીકરણ તરીકે ઓળખાય છે.

અચળ તાપમાન T અને n :  $V \propto \frac{1}{p}$  બોઈલનો નિયમ

અચળ p અને n :  $V \propto T$  ચાર્લ્સનો નિયમ

અચળ p અને T :  $V \propto n$  એવોગેડ્રો નિયમ

આમ,

$$V \propto \frac{nT}{p} \quad (5.15)$$

$$\Rightarrow V = R \cdot \frac{nT}{p} \quad (5.16)$$

જ્યાં, R સમપ્રમાણતા અચળાંક છે. સમીકરણ (5.16)ની પુનઃગોઠવણી કરતાં આપણને મળશે.

$$\Rightarrow pV = nRT \quad (5.17)$$

$$\Rightarrow R = \frac{pV}{nT} \quad (5.18)$$

R ને વાયુ અચળાંક કહે છે. બધા વાયુઓ માટે તે સમાન હોય છે. આથી તેને સાર્વત્રિક (Universal) વાયુ અચળાંક કહે છે. સમીકરણ(5.17)ને આદર્શ વાયુ સમીકરણ કહે છે.

સમીકરણ (5.18)માં Rનું મૂલ્ય, p, V અને Tના માપનમાં વપરાયેલા એકમો પર આધાર રાખે છે. જો આ સમીકરણના ત્રણેય ચલો (variables) જાણતા હોઈએ તો ચોથાની ગણતરી કરી શકીએ. આ સમીકરણથી આપણે જોઈ શકીએ છીએ કે અચળ તાપમાન અને દબાણે કોઈ પણ વાયુના n મોલનું કદ એકસરખું રહેશે, કારણ કે  $V = \frac{nRT}{p}$  અને n, R, T અને p અચળ છે. આ સમીકરણ બધા વાયુઓને લાગુ પાડી શકાશે. જો વાયુઓ આદર્શ વર્તણૂક તરફ જાય તેવી પરિસ્થિતિ હશે તો જ. STP પરિસ્થિતિમાં (273.15 K તાપમાને અને 1 bar દબાણે) એક મોલ આદર્શ વાયુનું કદ 22.710981 L mol<sup>-1</sup> થશે. આ પરિસ્થિતિમાં એક મોલ માટે Rનું મૂલ્ય નીચે પ્રમાણે ગણી શકીએ.

$$\begin{aligned} R &= \frac{(10^5 \text{ Pa})(22.71 \times 10^{-3} \text{ m}^3)}{(1 \text{ mol})(273.15 \text{ K})} \\ &= 8.314 \text{ Pa m}^3 \text{ K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \\ &= 8.314 \times 10^{-2} \text{ bar L K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \\ &= 8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \end{aligned}$$

STP અગાઉ વપરાયેલ પરિસ્થિતિએ (0° C અને 1 atm દબાણ) Rનું મૂલ્ય  $8.20578 \times 10^{-2} \text{ L atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$  છે.

આદર્શ વાયુ ચારેય ચલ વચ્ચેનો સંબંધ છે અને તે વાયુની અવસ્થા દર્શાવે છે. એટલા માટે તેને અવસ્થા સમીકરણ કહે છે.

આપણે ફરી પાછા આદર્શ વાયુ સમીકરણનો વિચાર કરીએ. ચલોના એક સાથે વિચરણ (variation) માટેનો આ સંબંધ છે. જો વાયુના નિશ્ચિત જથ્થાનું તાપમાન, કદ અને દબાણ T<sub>1</sub>, V<sub>1</sub> અને p<sub>1</sub> થી T<sub>2</sub>, V<sub>2</sub> અને p<sub>2</sub> માં ફેરવાય તો આપણે લખી શકીએ કે –

$$\begin{aligned} \frac{p_1 V_1}{T_1} &= nR \text{ અને } \frac{p_2 V_2}{T_2} = nR \\ \Rightarrow \frac{p_1 V_1}{T_1} &= \frac{p_2 V_2}{T_2} \quad (5.19) \end{aligned}$$

સમીકરણ (5.19) ઘણું જ ઉપયોગી સમીકરણ છે. જો છ મૂલ્યોમાંથી પાંચ ચલો જાણતા હોઈએ તો અજ્ઞાત ચલનું મૂલ્ય સમીકરણ (5.19) પરથી જાણી શકાય. આ સમીકરણ સંયુક્ત વાયુ નિયમ તરીકે પણ ઓળખાય છે.

**કોયડો 5.3**

25 °C અને 760 mm પારાના દબાણે વાયુ 600 mL કદ ધરાવે છે. વાયુનું કદ 640 mL અને તાપમાન 10 °C થાય ત્યારે તે ઊંચાઈએ દબાણનું મૂલ્ય કેટલું હશે ?

ઉકેલ :

$$p_1 = 760 \text{ mm Hg}, V_1 = 600 \text{ mL}$$

$$T_1 = 25 + 273 = 298 \text{ K}$$

$$V_2 = 640 \text{ ml અને } T_2 = 10 + 273 = 283 \text{ K}$$

સંયુક્ત વાયુ સમીકરણ પ્રમાણે,

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

$$\Rightarrow P_2 = \frac{P_1 V_1 T_2}{T_1 V_2}$$

$$\Rightarrow P_2 = \frac{(760 \text{ mm Hg}) \times (600 \text{ mL}) \times (283 \text{ K})}{(640 \text{ mL}) \times 298 \text{ K}}$$

$$= 676.6 \text{ mm Hg}$$

### 5.6.1 વાયુમય પદાર્થની ઘનતા અને મોલર દળ (Density and Molar Mass of a Gaseous Substance)

આદર્શ વાયુ સમીકરણની નીચે પ્રમાણે પુનઃગોઠવણી કરી શકાય :

$$\frac{n}{V} = \frac{p}{RT}$$

$n$ ને  $\frac{m}{M}$  તરીકે મૂકતાં આપણને મળશે.

$$\frac{m}{MV} = \frac{p}{RT} \quad (5.20)$$

$$\frac{d}{M} = \frac{p}{RT} \quad (\text{જ્યાં } d \text{ ઘનતા છે.}) \quad (5.21)$$

સમીકરણ (5.21)ની પુનઃગોઠવણી કરતાં વાયુનું મોલર દળ ગણવા માટેનો સંબંધ મળી શકે.

$$M = \frac{dRT}{p} \quad (5.22)$$

### 5.6.2 ડાલ્ટનનો આંશિક (વિભાગીય) દબાણનો નિયમ (Dalton's Law of Partial Pressure)

આ નિયમને જોહ્ન ડાલ્ટને 1801માં સૂત્રિત કરેલો. તે નિવેદિત કરે છે કે પારસ્પરિક ક્રિયા ન કરતાં હોય તેવા વાયુઓના મિશ્રણનું કુલ દબાણ વ્યક્તિગત વાયુના આંશિક દબાણના સરવાળા બરાબર થાય છે એટલે કે એ દબાણ જે સમાન કદે અને તાપમાનની પરિસ્થિતિમાં દરેક વાયુ અલગ રીતે ક્રિયાશીલ થશે. વાયુઓના મિશ્રણમાં દરેક વાયુ વડે ક્રિયાશીલ થયેલું દબાણ આંશિક દબાણ કહેવાય છે. ગાણિતીય રીતે,

$$P_{\text{કુલ}} = p_1 + p_2 + p_3 \dots \quad (\text{અચળ } T \text{ અને } V)$$

જ્યાં,  $P_{\text{કુલ}}$  વાયુઓના મિશ્રણનું કુલ દબાણ છે અને  $p_1, p_2, p_3$  વગેરે વાયુઓના આંશિક દબાણ છે.

સામાન્ય રીતે વાયુઓ પાણી પર એકઠા કરવામાં આવે છે અને તેથી તે ભેજવાળા હોય છે. આથી સૂકા વાયુનું દબાણ પાણીની બાષ્પ ધરાવતા ભેજવાળા વાયુના દબાણમાંથી પાણીનું બાષ્પદબાણ બાદ કરવાથી મળે છે. સંતૃપ્ત પાણીની બાષ્પ દ્વારા ક્રિયાશીલ થતા દબાણને જલીય તાણ (aqueous tension) કહે છે. જુદા જુદા તાપમાને પાણીના જલીય તાણ કોષ્ટક 5.3માં દર્શાવેલ છે.

$$P_{\text{શુદ્ધ વાયુ}} = P_{\text{કુલ}} - \text{જલીય તાણ} \quad (5.24)$$

### કોષ્ટક 5.3 પાણીનું જલીય તાણ (બાષ્પ દબાણ) તાપમાનના વિધેય તરીકે

તાપમાન/K	દબાણ/bar	તાપમાન/K	દબાણ/bar
273.15	0.0060	295.15	0.0260
283.15	0.0121	297.15	0.0295
288.15	0.0168	299.15	0.0331
291.15	0.0204	301.15	0.0372
293.15	0.0230	303.15	0.0418

### મોલ અંશના પર્યાયમાં (terms) આંશિક દબાણ :

ધારો કે  $T$  તાપમાને ત્રણ વાયુઓ કદ  $V$ માં સમાયેલા છે. જેમના આંશિક દબાણ અનુક્રમે  $p_1, p_2$  અને  $p_3$  છે. તેથી,

$$p_1 = \frac{n_1 RT}{V} \quad (5.25)$$



$$p_2 = \frac{n_2 RT}{V} \quad (5.26)$$

$$p_3 = \frac{n_3 RT}{V} \quad (5.27)$$

જ્યાં,  $n_1$ ,  $n_2$  અને  $n_3$  આ વાયુઓના અનુક્રમે મોલની સંખ્યા છે. આથી કુલ દબાણનું સમીકરણ થશે.

$$\begin{aligned} p_{\text{કુલ}} &= p_1 + p_2 + p_3 \\ &= n_1 \frac{RT}{V} + n_2 \frac{RT}{V} + n_3 \frac{RT}{V} \\ &= (n_1 + n_2 + n_3) \frac{RT}{V} \end{aligned} \quad (5.28)$$

$p_1$  ને  $p_{\text{કુલ}}$  વડે ભાગતાં,

$$\begin{aligned} \frac{p_1}{p_{\text{કુલ}}} &= \left( \frac{n_1}{n_1 + n_2 + n_3} \right) \frac{RTV}{RTV} \\ &= \frac{n_1}{n_1 + n_2 + n_3} = \frac{n_1}{n} = x_1 \end{aligned}$$

જ્યાં,  $n = n_1 + n_2 + n_3$

$x_1$  ને પ્રથમ વાયુનો મોલ અંશ કહેવાય છે.

આથી,  $p_1 = x_1 p_{\text{કુલ}}$

આ જ પ્રમાણે બીજા બે વાયુઓ માટે લખી શકીએ કે,

$$p_2 = x_2 p_{\text{કુલ}} \quad \text{અને} \quad p_3 = x_3 p_{\text{કુલ}}$$

આથી સામાન્ય સમીકરણ લખી શકાય કે,

$$p_i = x_i p_{\text{કુલ}} \quad (5.29)$$

જ્યાં,  $p_i$  અને  $x_i$  એ  $i$  માં વાયુના અનુક્રમે આંશિક દબાણ અને મોલ અંશ છે. જો વાયુઓના મિશ્રણનું કુલ દબાણ જાણીતું હોય તો સમીકરણ(5.29)નો ઉપયોગ કરી વ્યક્તિગત વાયુ વડે ઉત્પન્ન થયેલું દબાણ શોધી શકીએ.

#### કોયડો 5.4

નિયોન-ડાયઑક્સિજનનું મિશ્રણ 70.6 g ડાયઑક્સિજન અને 167.5 g નિયોન ધરાવે છે. જો નળાકારમાં વાયુઓના મિશ્રણનું દબાણ 25 bar હોય તો મિશ્રણમાં ડાયઑક્સિજન અને નિયોનના આંશિક દબાણ કેટલા હશે ?

ઉકેલ :

ડાયઑક્સિજનના મોલની સંખ્યા

$$= \frac{70.6 \text{ g}}{32 \text{ g mol}^{-1}}$$

$$= 2.21 \text{ mol}$$

નિયોનના મોલની સંખ્યા

$$= \frac{167.5 \text{ g}}{20 \text{ g mol}^{-1}}$$

$$= 8.375 \text{ mol}$$

ડાયઑક્સિજનનો મોલ અંશ

$$= \frac{2.21}{2.21 + 8.375}$$

$$= \frac{2.21}{10.585}$$

$$= 0.21$$

નિયોનના મોલ અંશ

$$= \frac{8.375}{2.21 + 8.375}$$

$$= 0.79$$

વૈકલ્પિક રીતે,

નિયોનનો મોલ અંશ =  $1.0 - 0.21 = 0.79$  થશે.

વાયુનું આંશિક દબાણ = મોલ અંશ  $\times$  કુલ દબાણ

$$\begin{aligned} \Rightarrow \text{ડાયઑક્સિજનનું આંશિક દબાણ} &= 0.21 \times (25 \text{ bar}) \\ &= 5.25 \text{ bar} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{નિયોનનું આંશિક દબાણ} &= 0.79 \times (25 \text{ bar}) \\ &= 19.75 \text{ bar} \end{aligned}$$

## 5.7 વાયુઓનો ગતિજ ઊર્જા આણ્વીયવાદ (Kinetic Molecular Theory of Gases)

અત્યાર સુધીમાં આપણે નિયમો (દા.ત., બોઈલનો નિયમ, ચાર્લ્સનો નિયમ) વિશે શીખ્યા જે વૈજ્ઞાનિકો દ્વારા પ્રયોગશાળામાં અવલોકન કરેલ પ્રાયોગિક હકીકતોના ખૂબ જ ચોક્કસ નિવેદનો છે. કાળજીપૂર્વક પ્રયોગ કરવા તે વૈજ્ઞાનિક પદ્ધતિની એક અગત્યની બાબત છે અને તે આપણને જુદી જુદી પરિસ્થિતિમાં કોઈ ખાસ પ્રણાલી કેવી રીતે વર્તે છે તે વિશે જણાવે છે. એકવાર પ્રાયોગિક હકીકતો પ્રતિપાદિત થઈ જાય છે પછી વૈજ્ઞાનિકો એ જાણવા આતુર હોય છે કે પ્રણાલી શા માટે તે પ્રકારની વર્તણૂક ધરાવે છે. ઉદાહરણ તરીકે, વાયુ નિયમો આપણને એ પ્રાક્કથન કરવામાં મદદરૂપ થાય છે કે

વાયુઓના સંકોચવાથી દબાણ વધે છે પણ આપણને એ જાણવું ગમશે કે વાયુઓને સંકોચવામાં આવે ત્યારે આણ્વીય સ્તરે શું થતું હશે? આ પ્રશ્નોના ઉત્તર માટે એક વાદ રચવામાં આવ્યો છે. આ વાદ એક નમૂનો છે (એટલે કે માનસિક ચિત્ર) જે આપણને આપણા અવલોકનોને વધુ સારી રીતે સમજવામાં તુષ્ટિરૂપ બને છે. વાયુઓની વર્તણૂક પર પ્રકાશ પાડતો આ વાદ ગતિજ આણ્વીય વાદ છે.

ગતિજ આણ્વીય વાદની ધારણાઓ અથવા અભિધારણાઓ નીચે મુજબ છે. આ અભિધારણાઓ પરમાણુ અને અણુઓ સાથે સંબંધિત છે. આપણે પરમાણુ કે અણુને જોઈ શકતાં નથી તેથી એમ કહેવાય છે કે તે વાયુઓનો સૂક્ષ્મદર્શીય નમૂનો પૂરો પાડે છે.

- વાયુઓ એકસરખા કણો(પરમાણુઓ અને અણુઓ)ની મોટી સંખ્યા ધરાવે છે જે કણો ખૂબ જ નાના અને સરેરાશ એકબીજાથી અલગ હોય છે જેથી તેમનું કદ તેમની વચ્ચેના ખાલી અવકાશની સરખામણીમાં નગણ્ય હોય છે. તેમને બિંદુ દળો તરીકે ગણવામાં આવે છે. આ ધારણા વાયુઓની ખૂબ સંકોચનિયતા સમજાવે છે.
- સામાન્ય તાપમાન અને દબાણે વાયુના કણો વચ્ચે આકર્ષણ બળો હોતાં નથી. આ ધારણાને એ હકીકતમાંથી ટેકો મળે છે કે વાયુઓ વિસ્તરી શકે છે અને તેમને મળતા અવકાશને મેળવી લે છે.
- વાયુના કણો હંમેશા સતત અને અસ્તવ્યસ્ત ગતિમાં હોય છે. જ્યારે કણો ગતિમાં ન હોય અને ચોક્કસ જગ્યાએ હોય ત્યારે વાયુ પાસે ચોક્કસ આકાર હોય છે જે જોઈ શકાતો નથી.
- વાયુના કણો સીધી લીટીમાં શક્ય હોય તેટલી બધી જ દિશાઓમાં તેમની અસ્તવ્યસ્ત (random) ગતિ દરમિયાન તે એકબીજા સાથે અને પાત્રની દીવાલો સાથે અથડાય છે. વાયુના કણોની પાત્રની દીવાલ સાથેની અથડામણ વાયુનું દબાણ નક્કી કરે છે.
- વાયુઓની અથડામણ સંપૂર્ણ સ્થિતિસ્થાપક હોય છે. આનો અર્થ એમ કે અણુઓની અથડામણ પહેલાંની અને અથડામણ પછીની કુલ ઊર્જા સરખી રહે છે. અથડાતા અણુઓ વચ્ચે ઊર્જાનો વિનિમય હોઈ શકે છે. તેમની વ્યક્તિગત ઊર્જા બદલાય, પરંતુ તેમની વ્યક્તિગત ઊર્જાનો સરવાળો અચળ રહે છે.

- ગતિજ ઊર્જામાં ઘટાડો થાય તો અણુઓની ગતિ બંધ થશે અને વાયુઓ નીચે બેસી જશે (settle down). આ હકીકતમાં અવલોકન કરાયેલ માહિતીથી વિરુદ્ધ છે. કોઈ પણ એક સમયે વાયુમાંના જુદા જુદા કણોને જુદી જુદી ઝડપ હોય છે અને તેને લીધે જુદી જુદી ગતિજ ઊર્જા હોય છે. આ ધારણા વાજબી છે કારણ કે જ્યારે કણો અથડાય છે ત્યારે તેમની ઝડપ બદલાય તેને અપેક્ષિત કહી શકીએ. બધા કણોની પ્રારંભિક ઝડપ સરખી હોય તો પણ તેઓ અથડાય એટલે વ્યક્તિગત ઝડપ બદલાય છે તો પણ ઝડપની વહેંચણી કોઈ એક તાપમાને અચળ હોય છે.

- જો અણુને બદલાતી ઝડપ હોય તો તેને બદલાતી ગતિજ ઊર્જા હોવી જોઈએ. આ સંજોગોમાં આપણે સરેરાશ ગતિજ ઊર્જાનો વિચાર કરી શકીએ. સરેરાશ ગતિજ વાદમાં એમ ધારવામાં આવ્યું છે કે વાયુના અણુઓની સરેરાશ ગતિજ ઊર્જા નિરપેક્ષ તાપમાનના સમપ્રમાણમાં હોય છે. એ નોંધવામાં આવ્યું છે કે અચળ કદના વાયુને ગરમ કરતાં દબાણ વધે છે. વાયુને ગરમ કરતાં કણોની ગતિજ ઊર્જા વધે છે અને તેઓ પાત્રની દીવાલ સાથે વારંવાર અથડાય છે અને વધારે દબાણ કરે છે.

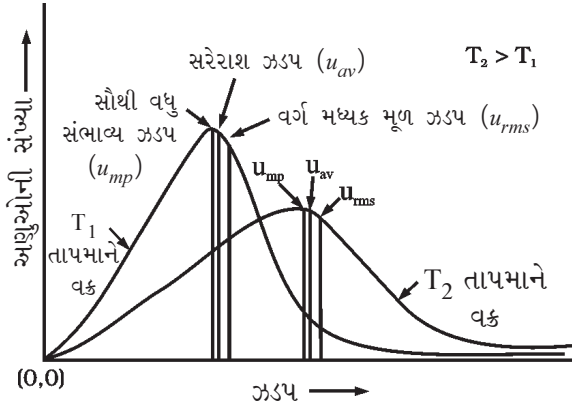
વાયુઓનો ગતિજવાદ આપણને અગાઉ અભ્યાસ કરેલા બધા વાયુ નિયમોને સૈદ્ધાંતિક રીતે નિરૂપણ કરવામાં મદદરૂપ થાય છે. વાયુઓના ગતિજવાદ પર આધારિત પ્રાકૃત્યનો અને ગણતરીઓ પ્રાયોગિક અવલોકનો સાથે ખૂબ જ સારી રીતે સંમત થાય છે અને આથી નમૂનાનું વાજબીપણું (correctness) સ્થાપિત કરે છે.

### ગતિજ ઊર્જા અને આણ્વીય ઝડપ

વાયુના અણુઓ સતત ગતિમાં રહેતા હોય છે. જ્યારે તેઓ ધૂમતા હોય છે ત્યારે એકબીજા સાથે અને પાત્રની દીવાલો સાથે અથડાય છે. આને પરિણામે તેમની ઝડપમાં ફેર પડે છે અને ઊર્જાની પુનઃવહેંચણી થાય છે. આથી વાયુના બધા જ અણુઓની કોઈ એક સમયે ઝડપ અને ઊર્જા સરખા હોતાં નથી. આથી, આપણે અણુઓની ઝડપનું સરેરાશ મૂલ્ય મેળવી શકીએ. ધારો કે નમૂનામાં રહેલા અણુઓની સંખ્યા  $n$  છે અને તેમની વ્યક્તિગત ઝડપ  $u_1, u_2, \dots, u_n$ , છે, તો અણુઓની સરેરાશ ઝડપ  $u_{av}$  નીચે પ્રમાણે ગણી શકાય :

$$u_{av} = \frac{u_1 + u_2 + \dots + u_n}{n}$$

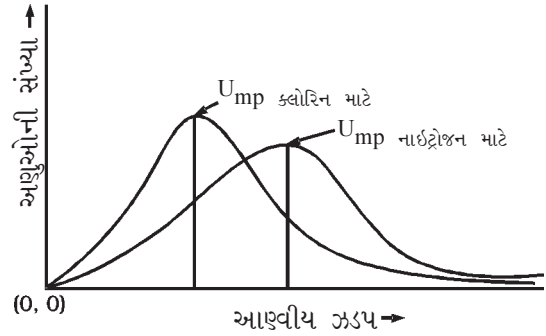
મેક્સવેલ (Maxwell) અને બોલ્ટ્ઝમેને (Boltzmann) દર્શાવ્યું કે અણુઓની ઝડપની ખરેખર વહેંચણી તાપમાન અને વાયુના આણ્વીય દળ પર આધાર રાખે છે. મેક્સવેલે અમુક ઝડપ ધરાવતા અણુઓની સંખ્યાની ગણતરી માટે સૂત્ર ઉપજાવ્યું. આકૃતિ A(1) બે જુદા જુદા  $T_1$  અને  $T_2$  ( $T_1$  કરતાં  $T_2$  ઊંચું તાપમાન છે). અણુઓની સંખ્યા વિરુદ્ધ આણ્વીય ઝડપનો આલેખ દર્શાવેલ છે. આકૃતિમાં દર્શાવેલ આલેખ ઝડપની મેક્સવેલ બોલ્ટ્ઝમેન વહેંચણી કહેવાય છે.



આકૃતિ A(1) મેક્સવેલ-બોલ્ટ્ઝમેનની ઝડપની વહેંચણી

આલેખ દર્શાવે છે કે ઘણી ઊંચી અને ઘણી નીચી ઝડપ ધરાવતા અણુઓની સંખ્યા ઘણી ઓછી છે. વક્રમાં મહત્તમ અણુની મહત્તમ સંખ્યા ધરાવતા અણુની ઝડપ છે. આ ઝડપને મહત્તમ સંભાવ્ય ઝડપ  $u_{mp}$  કહે છે. તે અણુઓની સરેરાશ ઝડપની ઘણી નજીક હોય છે. તાપમાન વધારતાં સૌથી વધુ સંભાવ્ય ઝડપમાં વધારો થાય છે અને તેથી ઝડપ-વહેંચણી વક્ર ઊંચા તાપમાને વધુ પહોળો થાય છે. વક્રનું પહોળા થવું સૂચવે છે કે વધુ ઝડપે ધૂમતા અણુઓની સંખ્યા વધે છે. ઝડપ વહેંચણી અણુના દળ પર પણ આધાર રાખે છે. એ જ તાપમાને વધારે દળવાળા અણુઓને હલકા વાયુ અણુઓ કરતાં ધીમી ઝડપ હોય છે. ઉદાહરણ તરીકે, સમાન તાપમાને હલકા નાઈટ્રોજન અણુઓ ભારે ક્લોરિન અણુઓ કરતાં વધુ ઝડપથી ખસે છે. આથી આપેલા તાપમાને નાઈટ્રોજન અણુઓને ક્લોરિનના અણુઓ કરતાં સૌથી વધુ સંભાવ્ય અણુઓનું મૂલ્ય ઊંચું હોય છે. નાઈટ્રોજન અને ક્લોરિનના આણ્વીય ઝડપ વહેંચણી વક્ર જુઓ જે આકૃતિ A(2)માં આવેલ છે. કોઈ પણ એક

તાપમાને અણુઓની વ્યક્તિગત ઝડપ બદલાતી રહે છે. છતાં પણ ઝડપની વહેંચણી સમાન રહે છે.



આકૃતિ A(2) 300 K તાપમાને ક્લોરિન અને નાઈટ્રોજનની આણ્વીય ઝડપની વહેંચણી

આપણે જાણીએ છીએ કે કણની ગતિજ ઊર્જા નીચેના સમીકરણથી દર્શાવી શકાય :

$$\text{ગતિજ ઊર્જા} = \frac{1}{2} m u^2$$

આથી આપણે સરેરાશ સ્થાનાંતરીય (translational) ગતિ ઊર્જા  $\frac{1}{2} m \overline{u^2}$  જાણવા વાયુ કણ માટે સીધી લીટીમાં ગતિ કરવા માટે આપણે બધા જ અણુઓની ઝડપની સરેરાશ વર્ગ મૂલ્ય  $\overline{u^2}$  મેળવવા ઇચ્છીએ છીએ. આને નીચે પ્રમાણે રજૂ કરી શકાય :

$$\overline{u^2} = \frac{u_1^2 + u_2^2 + \dots + u_n^2}{n}$$

સરેરાશ વર્ગ ઝડપ વાયુ અણુઓની સરેરાશ ગતિજ ઊર્જાનું સીધું જ માપ છે. આપણે જો સરેરાશ વર્ગ ઝડપનું વર્ગમૂળ લઈએ તો આપણને મળતું ઝડપનું મૂલ્ય મહત્તમ સંભાવ્ય ઝડપ અને સરેરાશ ઝડપના મૂલ્ય અલગ હોય છે. આ ઝડપને સરેરાશ વર્ગિત ઝડપનું વર્ગમૂળ કહે છે અને તેને નીચેના સ્વરૂપમાં દર્શાવી શકાય.

$$u_{rms} = \sqrt{\overline{u^2}}$$

સરેરાશ વર્ગિત ઝડપનું વર્ગમૂળ (root mean square speed), સરેરાશ ઝડપ અને મહત્તમ સંભાવ્ય ઝડપ નીચેનો સંબંધ ધરાવે છે :

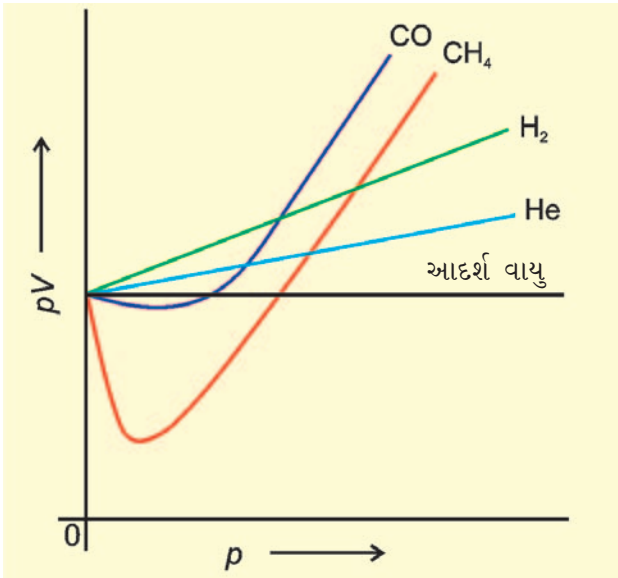
$$u_{rms} > u_{av} > u_{mp}$$

ત્રણેય ઝડપો વચ્ચેનો ગુણોત્તર નીચે દર્શાવેલ છે :

$$u_{mp} : u_{av} : u_{rms} :: 1 : 1.128 : 1.224$$

## 5.8 વાસ્તવિક વાયુઓની વર્તણૂક (Behaviour of Real Gases) : આદર્શ વાયુ વર્તણૂકમાંથી વિચલન (Deviation from Ideal Gas Behaviour)

વાયુનો આપણો સૈદ્ધાંતિક નમૂનો પ્રાયોગિક અવલોકનો સાથે સારી રીતે સુસંગત થાય છે. મુશ્કેલી ત્યારે ઊભી થાય છે જ્યારે આપણે  $pV = nRT$  સંબંધ કેટલે અંશે વાયુઓના ખરેખર દબાણ-કદ-તાપમાન સંબંધનું પુનરુત્થાન કરી શકીએ છીએ. આ બિંદુની પરખ કરવા માટે વાયુઓનો  $pV$  વિરુદ્ધ  $p$ નો આલેખ દોરીએ કારણ કે અચળ તાપમાને  $pV$  અચળ રહેશે (બોઈલનો નિયમ) અને  $pV$  વિરુદ્ધ  $p$ નો આલેખ બધા દબાણે X-અક્ષને સમાંતર સીધી રેખા મળશે. આકૃતિ 5.8માં 273 K તાપમાને કેટલાક વાયુઓની ખરેખરી માહિતીમાંથી દોરાયેલો આલેખ આકૃતિ 5.8 દર્શાવેલ છે.

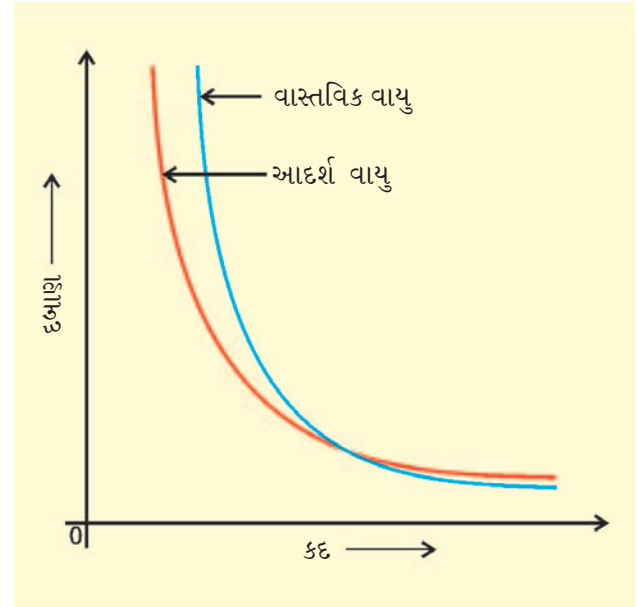


આકૃતિ 5.8 વાસ્તવિક અને આદર્શ વાયુઓના  $pV$  વિરુદ્ધ  $p$ ના આલેખ

સરળતાથી જોઈ શકાય છે કે અચળ તાપમાને વાસ્તવિક વાયુઓ માટે  $pV$  વિરુદ્ધ  $p$ નો આલેખ સીધી રેખા નથી. આદર્શ વર્તણૂકમાંથી નોંધપાત્ર વિચલન છે. બે પ્રકારના વક્ર જોવા મળે છે. હાઈડ્રોજન અને હિલિયમ માટેના વક્રમાં દબાણના વધારા સાથે  $pV$  પણ વધે છે. બીજો પ્રકાર કાર્બન મોનોક્સાઈડ અને મિથેન જેવા વાયુઓમાં જોવા મળે છે. આ આલેખોમાં પહેલાં તેમાં આદર્શ વાયુથી ઋણ વિચલન મળે છે એટલે કે  $pV$ ના મૂલ્યો દબાણના વધારા સાથે ઘટે છે અને વાયુની ખાસિયતના નિમ્નતમ મૂલ્યે પહોંચે છે. ત્યારબાદ  $pV$  મૂલ્યો વધવા માંડે છે. વક્ર ત્યારબાદ આદર્શ વાયુ

માટેની રેખાને છેદે છે અને ત્યારબાદ સતત ધન વિચલન દર્શાવે છે. આમ એમ જાણવા મળ્યું છે કે વાસ્તવિક વાયુઓ બધી જ પરિસ્થિતિમાં સંપૂર્ણ રીતે આદર્શ વાયુ સમીકરણને અનુસરતાં નથી.

જ્યારે દબાણ વિરુદ્ધ કદનો આલેખ દોરવામાં આવે છે ત્યારે પણ આદર્શ વર્તણૂકમાંથી વિચલન દેખાઈ આવે છે. દબાણ વિરુદ્ધ કદની પ્રાયોગિક માહિતી (વાસ્તવિક વાયુ માટે) અને બોઈલના નિયમ (આદર્શ વાયુ માટે) સૈદ્ધાંતિક રીતે ગણીને મળેલી કિંમતોના જેવા જ રહેવા જોઈએ. (આકૃતિ 5.9)માં આ આલેખો દર્શાવેલા છે. એ દેખાઈ આવે છે કે ઘણા ઊંચા દબાણે માપન કરેલાં કદ ગણતરી કરેલા કદ કરતાં વધારે છે. નીચા દબાણે જ માપેલા કદ અને ગણેલા કદ એકબીજાની નજીક રહે છે.



આકૃતિ 5.9 વાસ્તવિક વાયુ અને આદર્શ વાયુઓના દબાણ વિરુદ્ધ કદનો આલેખ

એ જણાવ્યું છે કે વાસ્તવિક વાયુઓ બોઈલનો નિયમ, ચાર્લ્સનો નિયમ અને એવોગેદ્રો નિયમ બધી જ પરિસ્થિતિમાં સંપૂર્ણપણે અનુસરતા નથી. હવે બે પ્રશ્નો ઊભા થાય છે :

- વાયુઓ શા માટે આદર્શ વાયુથી વિચલિત થાય છે ?
- કઈ શરતો છે જે દરમિયાન વાયુઓ આદર્શ વર્તણૂકથી વિચલન પામે છે ?

પ્રથમ પ્રશ્નનો ઉત્તર જો આપણે ફરી એકવાર ગતિજ વાદની અભિધારણાઓનો અભ્યાસ કરીએ તો મળે છે. આપણે જોયું કે ગતિજ વાદની બે ધારણાઓ વાજબી ઠરતી નથી. આ છે,

- (a) વાયુના અણુઓ વચ્ચે આકર્ષણ બળો હોતાં નથી.  
 (b) વાયુએ રોકેલા અવકાશ(જગ્યા)ની સરખામણીમાં વાયુના અણુઓનું કદ નગણ્ય જેટલું ઓછું છે.

જો ધારણા (a) સાચી હોય તો વાયુઓનું કદાપિ પ્રવાહીકરણ થશે નહિ. આપણે જાણીએ છીએ કે વાયુઓનું પ્રવાહીકરણ તેમને ઠંડા પાડવાથી અને સંકોચવાથી થાય છે. બનેલા પ્રવાહીને સંકોચવા ખૂબ મુશ્કેલ પડે છે. આનો અર્થ એમ થાય કે અપાકર્ષણના બળો પૂરતા શક્તિશાળી હોય છે અને અણુઓને નાના કદમાં દબાવી દેવામાંથી રોકે છે. જો અભિધારણા (b) સાચી હોય તો પ્રાયોગિક માહિતી (વાસ્તવિક વાયુઓ) અને સૈદ્ધાંતિક રીતે બોઈલના નિયમ પરથી ગણેલા મૂલ્યો (આદર્શ વાયુ) એકબીજા સાથે સુસંગત (coincide) થવા જોઈએ.

વાસ્તવિક વાયુઓ આદર્શ વાયુઓના નિયમોથી વિચલન દર્શાવે છે. કારણ કે અણુઓ એકબીજા સાથે પારસ્પરિક ક્રિયા કરે છે. ઊંચા દબાણે વાયુઓના અણુઓ એકબીજાની ખૂબ જ નજીક હોય છે. આણ્વીય પારસ્પરિક ક્રિયાની શરૂઆત થાય છે. ઊંચા દબાણે અણુઓ પાત્રની દીવાલ સાથે પૂરતી અથડામણથી અથડાતા નથી, કારણ કે આ અણુઓ બીજા અણુઓ વડે આણ્વીય આકર્ષણ બળને લીધે પાછા ખેંચાય છે. આ અણુઓ વડે પાત્રની દીવાલ પરના અણુમાંથી ક્રિયાશીલ થતાં દબાણ પર અસર પાડે છે. આથી આદર્શ વાયુથી ક્રિયાશીલ થતાં દબાણ કરતાં ઓછું દબાણ ક્રિયાશીલ થાય છે.

$$P_{\text{આદર્શ}} = P_{\text{વાસ્તવિક}} + \frac{an^2}{V^2} \quad (5.30)$$

અવલોકિત સુધારેલ  
દબાણ પદ

અહીંયા  $a$  અચળાંક છે.

અપાકર્ષણ બળો પણ સાર્થક (significant) બને છે. પારસ્પરિક અપાકર્ષણ ટૂંકા વિસ્તારની પારસ્પરિક ક્રિયાઓ છે અને અણુઓ લગભગ સંપર્કમાં હોય ત્યારે અસરકારક હોય છે. આ પરિસ્થિતિ ઊંચા દબાણે હોય છે. અપાકર્ષણ બળો અણુઓને પણ અભેદ ગોળા તરીકે વર્તન કરાવે છે. અણુઓ વડે રોકાયેલ કદ સાર્થક (significant) બને છે કારણ કે  $V$  કદમાં ઘૂમવાને બદલે હવે  $(V-nb)$  કદમાં સીમિત થાય છે. જ્યાં  $nb$  અણુઓના તેમના કદ વડે રોકાયેલું લગભગ કુલ કદ છે. અહીંયા  $b$  અચળાંક છે. દબાણ અને કદને માટે સુધારાને ધ્યાનમાં લઈએ તો સમીકરણ (5.17) નીચે પ્રમાણે ફરી લખી શકાય.

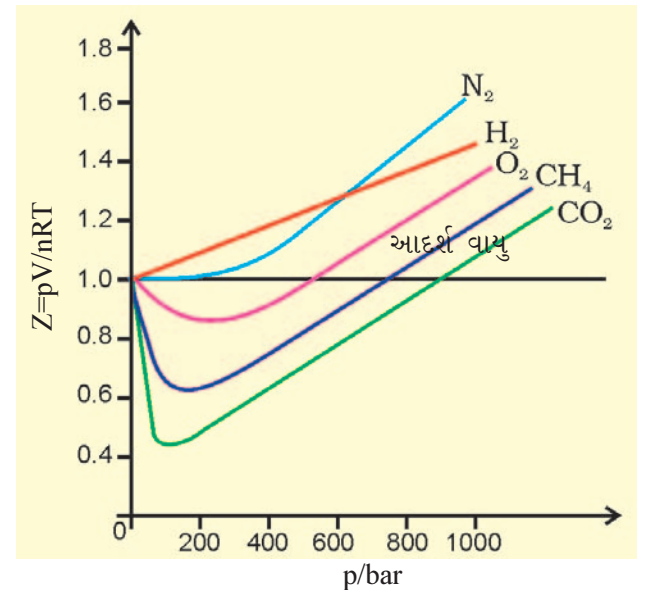
$$\left(p + \frac{an^2}{V^2}\right)(V-nb) = nRT \quad (5.31)$$

સમીકરણ (5.31) વાનુ ડર વાલ્સ સમીકરણ તરીકે ઓળખાય છે. આ સમીકરણમાં  $n$  વાયુના મોલની સંખ્યા છે. અચળાંકો  $a$  અને  $b$  વાનુ ડર વાલ્સ અચળાંકો કહેવાય છે અને તેમનાં મૂલ્યો વાયુઓની લાક્ષણિકતા પર આધાર રાખે છે. ' $a$ 'નું મૂલ્ય વાયુમાં જ આંતરઆણ્વીય આકર્ષણ બળોની માત્રાનું માપ છે અને તે તાપમાન અને દબાણથી સ્વતંત્ર છે.

ઘણા નીચા તાપમાને આંતરઆણ્વીય બળો અસરકારક બને છે. અણુઓ ઓછી સરેરાશ ઝડપથી ફરતા હોય તો આકર્ષણ બળોને કારણે તેઓ એકબીજાથી બંદીવાન (captured) થાય છે. વાસ્તવિક વાયુઓ જ્યારે તાપમાન અને દબાણ એવી પરિસ્થિતિમાં હોય કે આંતરઆણ્વીય આકર્ષણ બળો હકીકતરૂપે નગણ્ય જેવા હોય તેવા સમયે આદર્શ વર્તણૂક બતાવશે. જો દબાણ શૂન્ય તરફ જવા લાગે તો આદર્શ વર્તણૂકનું વિચલન સંકોચનીયતા અવયવ (compressibility factor)  $Z$  ના રૂપમાં માપી શકાય છે. તે  $pV$  અને  $nRT$ નો ગુણોત્તર છે.

$$Z = \frac{pV}{nRT} \quad (5.32)$$

આદર્શ વાયુ માટે બધા જ તાપમાન અને દબાણે  $Z = 1$  થાય છે કારણ કે  $pV = nRT$ .  $Z$  વિરુદ્ધ  $p$ નો આલેખ દબાણ અક્ષ(આકૃતિ 5.10)ને સમાંતર સીધી રેખા હોય છે. જે વાયુઓ આદર્શ વર્તણૂકથી વિચલન દર્શાવે છે તેમાં



આકૃતિ 5.10 કેટલાક વાયુઓ માટે સંકોચનીયતા અવયવમાં વિચરણ

Zનું મૂલ્ય એકથી વધારે થાય છે. ખૂબ નીચા દબાણે બધા જ વાયુઓ  $Z = 1$  દર્શાવે છે અને આદર્શ વાયુ તરીકે વર્તે છે.

ઊંચા દબાણે બધા વાયુઓ માટે  $Z > 1$  હોય છે. આ વાયુઓને સંકોચવા મુશ્કેલ હોય છે. મધ્યવર્તી દબાણે મોટા ભાગના વાયુઓ માટે  $Z < 1$  હોય છે. આમ, વાયુઓ આદર્શ વર્તણૂક દર્શાવશે, જ્યારે ધારણ કરેલું કદ એટલું વધારે હોય છે કે જેની સરખામણીમાં અણુઓનું કદ અવગણી શકાય. બીજા શબ્દોમાં કહીએ તો જ્યારે દબાણ ઘણા નીચા હોય છે ત્યારે વાયુની વર્તણૂક વધારે ને વધારે આદર્શ વર્તણૂક તરફ જાય છે. કેટલા દબાણ સુધી વાયુ આદર્શ નિયમોને અનુસરશે, તેનો આધાર વાયુના સ્વભાવ અને તાપમાન પર રહેલ છે. જે તાપમાને વાસ્તવિક દબાણના ગણતરીપાત્ર ગાળામાં આદર્શ વાયુ નિયમોને પાળે છે. તે તાપમાનને બોઈલ તાપમાન અથવા બોઈલ બિંદુ કહે છે. વાયુનું બોઈલ બિંદુ તેના સ્વભાવ પર આધાર રાખે છે. તેમના બોઈલ બિંદુની ઉપર વાસ્તવિક વાયુ આદર્શપણાથી ધન વિચલન દર્શાવે છે અને Zના મૂલ્યો એક કરતાં વધારે હોય છે. અણુઓ વચ્ચેના આકર્ષણ બળો ઘણા નબળાં હોય છે. બોઈલ તાપમાનથી નીચે વાસ્તવિક વાયુઓ શરૂઆતમાં Z મૂલ્યોમાં ઘટાડો, દબાણના વધારા સાથે દર્શાવે છે. જે નિમ્નતમ મૂલ્ય પર પહોંચે છે. દબાણમાં વધારો કરતાં Zનું મૂલ્ય સતત રીતે વધે છે. ઉપરની સમજૂતી દર્શાવે છે કે નીચા દબાણે અને ઊંચા તાપમાને વાયુઓ આદર્શ વર્તણૂક દર્શાવે છે. આ પરિસ્થિતિઓ જુદા જુદા વાયુઓ માટે જુદી જુદી હોય છે.

જો આપણે નીચેનું નિરૂપણ નોંધીએ તો Zની સાર્થકતામાં વધારે સમજણ મળી શકે છે.

$$Z = \frac{pV_{\text{વાસ્તવિક}}}{nRT} \quad (5.33)$$

$$\text{જો વાયુ આદર્શ વર્તણૂક દર્શાવશે તો } V_{\text{આદર્શ}} = \frac{nRT}{p},$$

$\frac{nRT}{p}$  નું મૂલ્ય સમીકરણ (5.33)માં મૂકીએ તો –

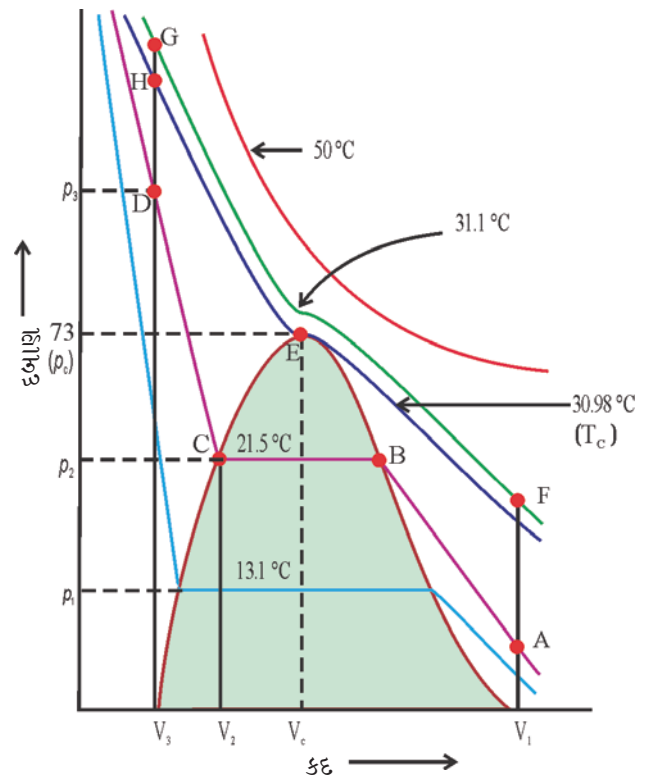
$$Z = \frac{V_{\text{વાસ્તવિક}}}{V_{\text{આદર્શ}}} \quad (5.34)$$

સમીકરણ (5.34) પરથી આપણે જોઈ શકીએ છીએ કે સંકોચનીયતા અવયવ ખરેખર મોલર કદ અને વાયુ તે તાપમાને અને દબાણે આદર્શ વાયુ એમ ગણતા મળેલા મોલર કદનો ગુણોત્તર છે.

હવે પછીના વિભાગોમાં આપણે જોઈશું કે વાયુમય અવસ્થા અને પ્રવાહી અવસ્થા વચ્ચે ભેદ પાડવા શક્ય નથી અને પ્રવાહીને આપણે નાના કદ અને ઘણા ઊંચા આણ્વીય આકર્ષણના વિસ્તારમાં વાયુમય ક્ષાન્તું સાતત્ય ગણી શકીએ. આપણે એ પણ જોઈશું કે વાયુઓના પ્રવાહીકરણ માટે જરૂરી પરિસ્થિતિઓના પ્રાક્ષત્યનો માટે વાયુઓના સમતાપનો ઉપયોગ કરીશું.

## 5.9 વાયુઓનું પ્રવાહીકરણ (Liquifaction of Gases)

બંને પ્રવાહી અને વાયુમય અવસ્થામાં પદાર્થના દબાણ-કદ-તાપમાનના સંબંધોની માહિતી કાર્બન ડાયોક્સાઈડના જુદા જુદા તાપમાને મળેલા સમતાપના એન્ડ્રુઝે (Andrews) આલેખ તૈયાર કર્યાં (આકૃતિ 5.11). પાછળથી એ પણ જાણવા મળ્યું કે વાસ્તવિક વાયુઓ પણ કાર્બન ડાયોક્સાઈડની જેમ જ વર્તે છે. એન્ડ્રુઝે નોંધ્યું કે ઊંચા તાપમાને સમતાપ આદર્શ વાયુના સમતાપ જેવા જ જણાય છે અને ઊંચા દબાણે તેઓનું પ્રવાહીકરણ થઈ શકતું નથી. જેમ જેમ તાપમાન નીચું લાવવામાં આવે છે તેમ તેમ વક્રનો આકાર બદલાય છે અને માહિતી આદર્શ વર્તણૂકથી નોંધપાત્ર વિચલન દર્શાવે છે. 30.98 °C તાપમાને કાર્બન ડાયોક્સાઈડ વાયુ 73 વાતાવરણ દબાણ સુધી વાયુ રહે



આકૃતિ 5.11 જુદા જુદા તાપમાને કાર્બન ડાયોક્સાઈડના સમતાપ

છે (આકૃતિ 5.11માં બિંદુ E). 73 વાતાવરણના દબાણે સૌ પ્રથમ વખત પ્રવાહી કાર્બન ડાયોક્સાઈડ દેખાયો. 30.98 °C તાપમાનને કાર્બન ડાયોક્સાઈડનું ક્રાંતિક તાપમાન ( $T_c$ ) કહેવાય છે. આ સૌથી ઊંચું તાપમાન છે, જ્યારે પ્રવાહી કાર્બન ડાયોક્સાઈડ અવલોકિત થાય છે. આથી ઊંચા તાપમાને તે વાયુ હોય છે. ક્રાંતિક તાપમાને એક મોલ વાયુનું કદ ક્રાંતિક કદ ( $V_c$ ) અને આ તાપમાને વાયુનું દબાણ ક્રાંતિક દબાણ ( $P_c$ ) કહેવાય છે. આ ક્રાંતિક તાપમાન, દબાણ અને કદ ક્રાંતિક અચળાંક કહેવાય છે. ત્યાર બાદ દબાણમાં વધારો કરવામાં આવે તો પ્રવાહી કાર્બન ડાયોક્સાઈડને માત્ર સંકોચે છે અને વક્ર પ્રવાહીનું સંકોચન દર્શાવે છે અને ઊભી લીટી પ્રવાહીનો સમતાપ દર્શાવે છે. થોડુંક પણ સંકોચન દબાણમાં તીવ્ર (steep) વધારો પ્રવાહીનું ઘણું ઓછું સંકોચન દર્શાવે છે. 30.98 °C કરતાં નીચા તાપમાને સંકોચન પામતા વાયુની વર્તણૂક અલગ હોય છે. 21.5 °C તાપમાને કાર્બન ડાયોક્સાઈડ વાયુ તરીકે બિંદુ B સુધી રહે છે. બિંદુ B એ અમુક કદનું પ્રવાહી દેખાય છે. વધારે સંકોચનથી દબાણમાં ફેર પડતો નથી. પ્રવાહી અને વાયુમય કાર્બન ડાયોક્સાઈડ સાથે સહઅસ્તિત્વ ધરાવે છે અને વધારે દબાણ લાગુ પાડતાં વધારે વાયુના સંઘનન(condensation)માં પરિણમે છે અને તે C બિંદુ સુધી રહે છે. બિંદુ Cએ બધો જ વાયુ સંઘનન પામે છે અને વધુ દબાણ લગાડતા માત્ર પ્રવાહીને સંકોચે છે જે સીધો (steep) વધારો દર્શાવે છે. કદમાં થોડા સંકોચન  $V_2$  થી  $V_3$ ના પરિણામે દબાણમાં સીધો વધારો  $P_2$ થી  $P_3$  થાય છે (આકૃતિ 5.11). 30.98 °C તાપમાને (ક્રાંતિક તાપમાન) દરેક વક્ર સરખું જ વલણ દર્શાવે છે. માત્ર આડી રેખાની લંબાઈ નીચા તાપમાને વધે છે. ક્રાંતિક બિંદુએ સમતાપની આડી રેખા એક બિંદુમાં ફેરવાય છે. આમ આપણે જોઈએ છીએ કે આકૃતિ 5.11માં બિંદુ A વાયુમય અવસ્થા દર્શાવે છે. D જેવું બિંદુ પ્રવાહી અવસ્થા દર્શાવે છે અને ઘુમ્મટ(dome)ની અંદરના બિંદુ પ્રવાહી અને વાયુમય કાર્બન ડાયોક્સાઈડ સંતુલનમાં અસ્તિત્વ ધરાવે છે. બધા જ વાયુઓને નિશ્ચિત તાપમાને સંકોચન કરતાં (સમતાપી સંકોચન) કાર્બન ડાયોક્સાઈડ જેવી જ વર્તણૂક દર્શાવે છે. ઉપરની ચર્ચા દર્શાવે છે કે વાયુઓના પ્રવાહીકરણ માટે તેમના ક્રાંતિક તાપમાનથી નીચે ઠંડા પાડવા જોઈએ. વાયુનું ક્રાંતિક તાપમાન એ એટલું સૌથી ઊંચું તાપમાન છે, જ્યારે વાયુનું સૌપ્રથમ વાર પ્રવાહીકરણ

થાય છે. કાયમી વાયુઓ તરીકે ઓળખાતા વાયુઓ (વાયુઓ જે Z મૂલ્યમાં સતત ધન વિચલન દર્શાવે છે) ઠંડક અને ગણનાપાત્ર સંકોચન કરવા જરૂરી બને છે. સંકોચનને કારણે અણુઓને એકબીજાની નજીક લાવે છે અને ઠંડક અણુઓની હેરફેરને ધીમી કરી નાંખે છે. આથી આંતરઆણ્વીય પારસ્પરિક ક્રિયા ખૂબ નજીક હોય અને ધીમી ગતિ કરતાં હોય તેવા અણુઓને ભેગા રાખે છે અને વાયુ પ્રવાહીકરણ પામે છે.

વાયુને પ્રવાહીમાં અને પ્રવાહીને વાયુમાં ફેરવવામાં એક જ પ્રક્રમ જેમાં હંમેશાં એક જ કલા હાજર હોય છે તેના વડે શક્ય છે. ઉદાહરણ તરીકે આકૃતિ 5.11માં આપણે બિંદુ Aથી F સુધી ઊભા (vertically) ખસી શકીએ અને પછી બિંદુ આ સમતાપે અચળ તાપમાન 31.1 °C એ સંકોચન દ્વારા બિંદુ G એ પહોંચી શકીએ છીએ અને દબાણ વધશે. હવે આપણે સીધા (vertically) નીચે D તરફ તાપમાન ઘટાડીને પહોંચી શકીએ છીએ. આપણે જેવા ક્રાંતિક સમતાપ પર H બિંદુને ઓળંગીએ છીએ ત્યારે પ્રવાહી મળે છે. આપણે પ્રવાહી મેળવીને પૂર્ણ કરીએ છીએ, પરંતુ શ્રેણીબદ્ધ ફેરફારોના બે કલા વિસ્તારમાંથી પસાર થતાં નથી. પ્રક્રમ ક્રાંતિક તાપમાને ચાલુ રાખીએ તો પદાર્થ હંમેશાં એક જ કલામાં રહે છે.

આમ પ્રવાહી અને વાયુમય અવસ્થા વચ્ચે સાતત્ય (continuity) હોય છે. આ સાતત્યને ઓળખવા માટે પ્રવાહી કે વાયુ માટે દ્રવ (fluid) પર્યાય વપરાય છે. આમાં પ્રવાહી ખૂબ જ ઘટ્ટ વાયુ તરીકે જોઈ શકીએ. જ્યારે દ્રવ ક્રાંતિક તાપમાન અને દબાણથી નીચે હોય ત્યારે અને તેનું દબાણ અને કદ ઘુમ્મટની નીચે હોય ત્યારે પ્રવાહી અને વાયુ વચ્ચેનો ભેદ પારખી શકાય છે. આ પરિસ્થિતિમાં પ્રવાહી અને વાયુ સંતુલન હેઠળ છે અને તેથી તે બે કલાને અલગ કરતી સપાટી જ દૃશ્યમાન થાય છે. આ સપાટીની ગેરહાજરીમાં બન્ને અવસ્થાઓ વચ્ચે ભેદ કરવાનો કોઈ મૂળ રસ્તો નથી. ક્રાંતિક તાપમાને પ્રવાહી વાયુ અવસ્થામાં અભેદ રીતે અને સતત રીતે પસાર થાય છે. બન્નેને અલગ કરતી સપાટી અદૃશ્ય થાય છે (વિભાગ 5.10.1). વાયુને ક્રાંતિક તાપમાનથી નીચા તાપમાને દબાણ લાગુ પાડીને પ્રવાહી બનાવી શકાય અને તેને પદાર્થની બાષ્પ કહે છે. કાર્બન ડાયોક્સાઈડ વાયુ ક્રાંતિક તાપમાનથી નીચે કાર્બન ડાયોક્સાઈડ બાષ્પ કહેવાય છે. કેટલાક સામાન્ય પદાર્થો માટે ક્રાંતિક અચળાંકો કોષ્ટક 5.4માં આપેલ છે.

## કોષ્ટક 5.4

## કેટલાક પદાર્થોના ક્રાંતિક તાપમાન અને ક્રાંતિક દબાણ

પદાર્થ	$T_c/K$	$p_c/\text{bar}$	$V_c/\text{dm}^3\text{mol}^{-1}$
H <sub>2</sub>	33.2	12.97	0.0650
He	5.3	2.29	0.0577
N <sub>2</sub>	126.0	33.9	0.0900
O <sub>2</sub>	154.3	50.4	0.0744
CO <sub>2</sub>	304.10	73.9	0.0956
H <sub>2</sub> O	647.1	220.6	0.0450
NH <sub>3</sub>	405.5	113.0	0.0723

## કોયડો 5.5

વાયુઓ લાક્ષણિક ક્રાંતિક તાપમાન ધરાવે છે. જે વાયુ કણો વચ્ચેના આંતરઆણ્વીય બળોની માત્રા પર આધાર રાખે છે. એમોનિયા અને કાર્બન ડાયોક્સાઇડના ક્રાંતિક તાપમાન અનુક્રમે 405.5 K અને 304.10 K છે. જો તમે 500 Kથી વાયુઓના ક્રાંતિક તાપમાન સુધી ઠંડા પાડવાનું શરૂ કરો તો કયો વાયુ પ્રથમ પ્રવાહીકૃત થશે ?

## ઉકેલ :

એમોનિયા પ્રથમ પ્રવાહીકૃત થશે કારણ કે તેનું ક્રાંતિક તાપમાન પહેલું આવશે. CO<sub>2</sub>ના પ્રવાહીકરણ માટે વધારે ઠંડકની જરૂર પડશે.

## 5.10 પ્રવાહી અવસ્થા (Liquid State)

આંતરઆણ્વીય બળો વાયુમય અવસ્થા કરતાં પ્રવાહી અવસ્થામાં વધુ પ્રબળ હોય છે. પ્રવાહીના અણુઓ એકબીજાની એટલા નજીક હોય છે કે તેમની વચ્ચે ખાલી અવકાશ ઘણો ઓછો હોય છે અને સામાન્ય પરિસ્થિતિમાં પ્રવાહી વાયુ કરતાં વધારે ઘટ્ટ હોય છે.

પ્રવાહીમાંના અણુઓ આંતરઆણ્વીય આકર્ષણ બળોને લીધે ભેગા ગોઠવાઈ રહે છે. પ્રવાહીને ચોક્કસ કદ હોય છે, કારણ કે અણુઓ એકબીજાથી અલગ પડતાં નથી. પ્રવાહીના અણુઓ એકબીજાની આગળ મુક્ત રીતે ખસી શકે છે અને

તેથી જ પ્રવાહી વહી શકે છે, અને તેને રેડી શકાય છે, અને તેમને જેમાં ભર્યા હોય તે પાત્રનો આકાર ધારણ કરે છે. નીચેના વિભાગોમાં પ્રવાહીના કેટલાક ભૌતિક ગુણધર્મો જેવાં કે બાષ્પદબાણ, પૃષ્ઠતાણ અને સ્નિગ્ધતા વિશે જાણકારી મેળવીશું.

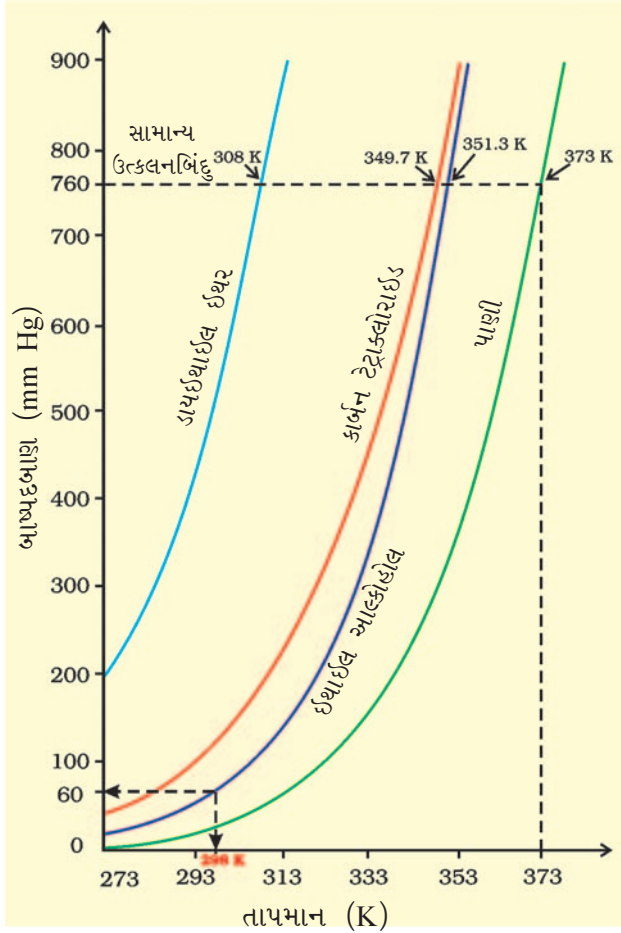
## 5.10.1 બાષ્પદબાણ (Vapour Pressure)

એક શૂન્યાવકાશ કરેલા પાત્રમાં જો અંશતઃ પ્રવાહી ભરવામાં આવે તો પ્રવાહીનો કેટલોક ભાગ બાષ્પીભવન પામી પાત્રના બાકીના કદને ભરી દે છે. પ્રારંભમાં પ્રવાહી બાષ્પીભવન પામે છે અને બાષ્પ વડે દીવાલો પરનું દબાણ (બાષ્પદબાણ) વધતું જાય છે અને કેટલાક સમય પછી તે અચળ થાય છે અને પ્રવાહી કલા - તથા બાષ્પકલા વચ્ચે સંતુલન સ્થપાય છે. આ તબક્કે જે બાષ્પદબાણ હોય તેને સંતુલન બાષ્પદબાણ અથવા સંતૃપ્ત બાષ્પદબાણ કહે છે. બાષ્પીભવન તાપમાન પર આધારિત હોવાથી બાષ્પદબાણ દર્શાવતી વખતે તાપમાન દર્શાવવું જ જોઈએ.

જ્યારે પ્રવાહીને ખુલ્લા પાત્રમાં ગરમ કરવામાં આવે છે ત્યારે સપાટી પરથી પ્રવાહી બાષ્પમાં ફેરવાય છે. એ તાપમાને કે જ્યારે પ્રવાહીની બાષ્પનું દબાણ બાહ્ય દબાણ જેટલું જ થાય છે ત્યારે પ્રવાહીના બધા જ જથ્થામાં બાષ્પીભવન થઈ શકે છે અને બાષ્પ પર્યાવરણમાં (surrounding) મુક્તપણે વિસ્તરે છે. બધા જ પ્રવાહીમાં બાષ્પની મુક્ત બાષ્પીભવનની સ્થિતિને ઉત્કલન કહે છે. જે તાપમાને પ્રવાહીનું બાષ્પદબાણ બાહ્યદબાણ જેટલું થાય છે ત્યારે તે તાપમાનને ઉત્કલનબિંદુ કહેવાય છે. આકૃતિ 5.12માં કેટલાક સામાન્ય પ્રવાહીના જુદા જુદા તાપમાને બાષ્પદબાણ આપ્યા છે. 1 વાતાવરણ દબાણે ઉત્કલનબિંદુને સામાન્ય ઉત્કલનબિંદુ કહે છે. જો દબાણ 1 bar હોય તો ઉત્કલનબિંદુને પ્રવાહીનું પ્રમાણિત ઉત્કલનબિંદુ કહે છે. પ્રમાણિત ઉત્કલનબિંદુ સામાન્ય ઉત્કલનબિંદુ કરતાં થોડું ઓછું હોય છે. કારણ કે 1 bar દબાણ 1 વાતાવરણ દબાણ કરતાં ઓછું હોય છે. પાણીનું સામાન્ય ઉત્કલનબિંદુ 100 °C (373 K) છે અને પ્રમાણિત ઉત્કલનબિંદુ 99.6 °C (372.6 K) છે.

વધારે ઊંચાઈવાળી જગ્યાએ વાતાવરણ દબાણ ઓછું હોય છે. આથી પ્રવાહી દરિયાની સપાટીથી વધારે ઊંચાઈ પર નીચા તાપમાને ઉકળે છે. ટેકરીઓ પર પાણી નીચા તાપમાને ઉકળે છે, માટે ખોરાક રાંધવા માટે પ્રેશર કૂકરનો ઉપયોગ થાય





**આકૃતિ 5.12** કેટલાક સામાન્ય પ્રવાહીના બાષ્પદબાણ વિરુદ્ધ તાપમાનના વક

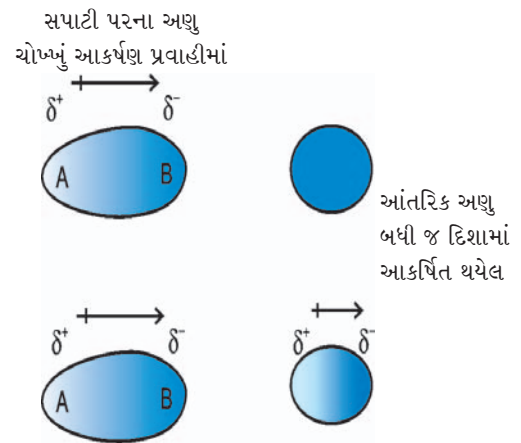
છે. હોસ્પિટલના વાઢકાપના સાધનોને ઓટોકલેવમાં જંતુમુક્ત કરવામાં આવે છે, જ્યાં પાણીનું ઉત્કલનબિંદુ વાતાવરણના દબાણથી ઊંચા દબાણે વજન ધરાવતા દ્વારના ઉપયોગથી વધારાય છે.

બંધપાત્રમાં પાણીને ગરમ કરતાં તે ઉકળતું નથી. ગરમ કરવાથી બાષ્પ દબાણ સતત વધ્યા જ કરે છે. શરૂઆતમાં પ્રવાહી અને બાષ્પ વચ્ચે સ્પષ્ટ સીમા દેખાય છે કારણ કે પ્રવાહી વાયુ કરતાં વધારે ઘટ્ટ છે. તાપમાન જેમ જેમ વધે છે તેમ તેમ વધારે અણુ બાષ્પ કલામાં જાય છે અને બાષ્પની ઘનતા વધે છે. તે જ સમયે પ્રવાહી ઓછું ઘટ થાય છે અને તે વિસ્તરે છે. કારણ કે અણુઓ એકબીજાથી અલગ ધૂમે છે. જ્યારે પાણીની ઘનતા અને બાષ્પની ઘનતા સરખા થાય છે ત્યારે પ્રવાહી અને બાષ્પ વચ્ચેની સીમા (સરહદ) અદૃશ્ય થાય છે. આ તાપમાનને ક્રાંતિક તાપમાન કહે છે. જેની આપણે વિભાગ 5.9માં ચર્ચા કરી ગયા છીએ.

### 5.10.2 પૃષ્ઠતાણ (Surface Tension)

એ ખૂબ જ જાણીતું છે કે પ્રવાહી પાત્રનો આકાર ધારણ કરે છે તો શા માટે પારાના નાના ટીપાં સપાટી પર પ્રસરી જવાને બદલે ગોળાકાર મણકા (bead) બનાવે છે. નદીના તળિયે રહેલા માટીના કણો શા માટે અલગ અલગ રહે છે પણ જ્યારે બહાર કાઢીએ છીએ ત્યારે ભેગા થઈ જાય છે? પાતળી કેશાકર્ષણ નળી પ્રવાહીની સપાટીને અડકે છે ત્યારે પ્રવાહી શા માટે તેમાં ઉપર ચઢે છે? (અથવા નીચે પડે છે) આ બધી જ ઘટનાઓ પ્રવાહીના એક લાક્ષણિક ગુણધર્મને કારણે છે જેને પૃષ્ઠતાણ કહે છે. પ્રવાહીના જથ્થામાં અણુ બધી જ બાજુએથી એકસરખું આંતરઆણ્વીય બળ અનુભવે છે. આથી અણુ કોઈ ચોખ્ખું (net) બળ અનુભવતું નથી, પરંતુ સપાટી પરના અણુ પરનું ચોખ્ખું આકર્ષણ બળ પ્રવાહીની અંદરની તરફ તેમના અણુઓને કારણે હોય છે (આકૃતિ 5.13).

તેની ઉપર અણુઓ હોતા નથી. પ્રવાહી તેમની સપાટીનું ક્ષેત્રફળ ઓછું કરવાના વલણ તરફ હોય છે. સપાટી પરના અણુઓ ચોખ્ખું નીચે લાગતું બળ અનુભવે છે અને તેમની ઊર્જા જથ્થામાંના અણુ કરતાં વધારે હોય છે જે ચોખ્ખું બળ અનુભવતા નથી. આથી પ્રવાહી તેમની સપાટી પર ઓછામાં ઓછી સંખ્યામાં અણુઓ હોવાનું વલણ ધરાવે છે. જો પ્રવાહીની સપાટી જથ્થામાંથી અણુને ખેંચીને વધારવામાં આવે તો લાગતા આકર્ષણ બળોની ઉપરવટ થવું પડે છે. આ ઊર્જાનો ખર્ચ કરશે. પ્રવાહીની સપાટીનું ક્ષેત્રફળ વધારવા માટે એક એકમ ઊર્જા જરૂરી બને છે. તેને સપાટી ઊર્જા કહે છે. તેના પરિમાણ  $Jm^{-2}$  છે. પૃષ્ઠતાણની વ્યાખ્યા આ પ્રમાણે



**આકૃતિ 5.13** પ્રવાહી સપાટી પરના અણુ પર લાગતું બળ અને પ્રવાહીની અંદરના અણુ પર લાગતું બળ

આપી શકાય. પૃષ્ઠતાણ પ્રવાહીની સપાટી પર દોરેલા લંબની એકમ લંબાઈ પર લાગતું બળ છે. તે ગ્રીક અક્ષર  $\gamma$  (ગેમા)થી દર્શાવાય છે અને તેનો પરિમાણ  $\text{kg s}^{-2}$  અને SI એકમ  $\text{Nm}^{-1}$  છે. પ્રવાહીની સૌથી નીચી ઊર્જા અવસ્થા ત્યારે હશે, જ્યારે સપાટી ક્ષેત્રફળ નિમ્નતમ હશે ત્યારે ગોળાકાર આકાર આ શરતને સંતોષે છે. આથી જ પારાના બિંદુઓનો આકાર ગોળાકાર હોય છે. આથી જ કાચની તીણી ધારોને લીસી બનાવવા માટે તેમને ગરમ કરવામાં આવે છે. ગરમ કરવાથી કાચ પીગળે છે અને પ્રવાહીની સપાટી ગોળાકાર આકાર ધરાવવાનું વલણ રાખે છે. જેને લીધે ધારો લીસી બને છે. આને કાચનું અગ્નિ પોલિશિંગ (fire polishing) કહે છે.

પૃષ્ઠતાણને લીધે પ્રવાહી કેશાકર્ષણ નળીમાં ઉપર ચઢવાનું અથવા નીચે ઉતરવાનું વલણ દર્શાવે છે. પ્રવાહી વસ્તુઓને ભીની કરે છે, કારણ કે તેમની સપાટી પર પાતળા પડ તરીકે તે ફેલાઈ જાય છે. ભીની માટીના કણો એકબીજા તરફ ખેંચાયેલા રહે છે, કારણ કે પાણીની પાતળા પડની સપાટીનું ક્ષેત્રફળ ઘટે છે. પ્રવાહીની સપાટીને ખેંચવાનો ગુણધર્મ આપવાનું કાર્ય પૃષ્ઠતાણ કરે છે. સપાટ સપાટી પર નાના બિંદુ ગુરુત્વને કારણે થોડા સપાટ બને છે, પરંતુ ગુરુત્વમુક્ત વાતાવરણમાં તે સંપૂર્ણપણે ગોળાકાર હોય છે.

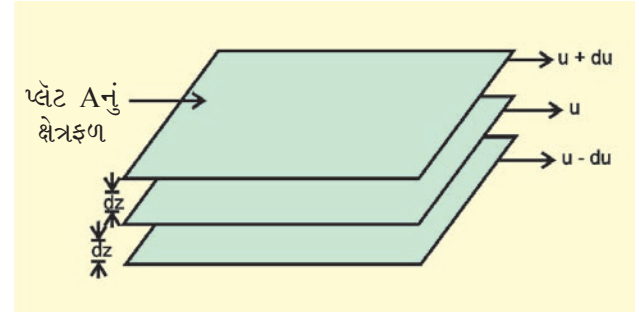
પ્રવાહીના પૃષ્ઠતાણની માત્રા અણુઓ વચ્ચેના આકર્ષણ બળોની માત્રા પર આધાર રાખે છે, જ્યારે આકર્ષણ બળો વધારે હોય છે ત્યારે પૃષ્ઠતાણ વધારે હોય છે. તાપમાનનો વધારો ગતિજ ઊર્જામાં વધારો કરે છે અને આંતરઆણ્વીય આકર્ષણોની અસરકારકતા ઘટાડે છે. તેથી તાપમાન વધારવાથી પૃષ્ઠતાણ ઘટે છે.

### 5.10.3 સ્નિગ્ધતા (Viscosity)

આ પ્રવાહીનો એક લાક્ષણિક ગુણધર્મ છે, જ્યારે પ્રવાહી એકબીજા પર ખસીને વહે છે ત્યારે પ્રવાહીના સ્તરો વચ્ચે આંતરિક ઘર્ષણને લીધે ઉત્પન્ન અવરોધના માપનને સ્નિગ્ધતા કહે છે. અણુઓ વચ્ચેના પ્રબળ આંતરઆણ્વીય બળો તેમને ભેગા રાખે છે અને સ્તરોને એકબીજા પર ખસવામાં અવરોધ ઊભો કરે છે.

જ્યારે પ્રવાહી નિશ્ચિત સપાટી પર વહે ત્યારે સપાટીની તદ્દન નજીકની સંપર્ક સપાટીમાં અણુઓનું સ્તર સ્થિર હોય

છે. ઉપરના સ્તરનો વેગ સ્થિર (fixed) સ્તરનું અંતર વધે છે ત્યારે વધે છે. આ પ્રકારનો પ્રવાહ જેમાં એક સ્તરમાંથી બીજા સ્તરમાં નિયમિત વેગમાં પ્રવણતા (વધારો)(gradation)ને પટલીય પ્રવાહ (laminar flow) કહે છે. આપણે કોઈ સ્તરને પસંદ કરીએ (આકૃતિ 5.14) તેની ઉપરનું સ્તર તેનો પ્રવાહ વધારે છે અને તેનું નીચેનું સ્તર પ્રવાહ ઘટાડે છે.



આકૃતિ 5.14 પટલીય પ્રવાહમાં વેગની પ્રવણતા

જો  $dz$  અંતરે સ્તરની ગતિ  $du$  જેટલા મૂલ્યથી બદલાય તો વેગ પ્રવણતા  $\frac{du}{dz}$  તરીકે આપી શકાય. સ્તરોના પ્રવાહને જાળવી રાખવા માટે બળ જરૂરી હોય છે. આ બળ સ્તરના સંપર્કના ક્ષેત્રફળ અને વેગ પ્રવણતાના ગુણાકારને સમપ્રમાણ હોય છે એટલે કે,

$$F \propto A \quad (A \text{ સંપર્કનું ક્ષેત્રફળ છે.})$$

$$F \propto \frac{du}{dz} \quad (\text{જ્યાં, } \frac{du}{dz} \text{ વેગ પ્રવણતા છે;}$$

અંતર સાથે વેગમાં ફેરફાર)

$$F \propto A \frac{du}{dz}$$

$$\Rightarrow F = \eta A \frac{du}{dz}$$

જ્યાં ' $\eta$ ' સમપ્રમાણતા અચળાંક છે. જેને સ્નિગ્ધતાનો ગુણાંક કહે છે. સ્નિગ્ધતા ગુણાંક વેગ પ્રવણતા એક હોય અને સંપર્કનું ક્ષેત્રફળ એકમ ક્ષેત્રફળ હોય ત્યારનું બળ છે.  $\eta$  સ્નિગ્ધતાનું માપન છે અને સ્નિગ્ધતા ગુણાંકનો એકમ 1 ન્યુટન સેકન્ડ પ્રતિ ચોરસ મીટર ( $\text{Nsm}^{-2}$ ) = પાસ્કલ સેકન્ડ ( $\text{Pa s} = 1 \text{ kg m}^{-1}\text{s}^{-1}$ ). CGS પદ્ધતિમાં સ્નિગ્ધતા ગુણાંકનો એકમ પોઈસ (મહાન વૈજ્ઞાનિક જીન લાઉઝી પોઈસુલી (Jean Louise Poiseuille)ની યાદમાં) છે.

$$1 \text{ poise} = 1 \text{ g cm}^{-1}\text{s}^{-1} = 10^{-1} \text{ kg m}^{-1}\text{s}^{-1}$$

જેટલી વધારે સ્નિગ્ધતા તેટલું પ્રવાહી ધીમું વહેશે. હાઈડ્રોજન બંધ અને વાનુ ડર વાલ્સ બળો ઊંચી સ્નિગ્ધતા માટે કારણરૂપ હોય છે. કાચ અતિશય સ્નિગ્ધ પ્રવાહી છે. એ

એટલો સ્નિગ્ધ છે કે તેના ઘણા ગુણધર્મો ઘન પદાર્થ સાથે સામ્યતા ધરાવે છે. કાચનો વહન થવાનો ગુણધર્મ જૂના મકાનોની બારીઓની જાડાઈનું માપન કરીને અનુભવી શકાય. તેઓ ઉપર કરતાં તળિયે વધારે જાડા હોય છે.

તાપમાન વધે તેમ પ્રવાહીની સ્નિગ્ધતા ઘટે છે, કારણ કે ઊંચા તાપમાને અણુઓ ઊંચી ગતિજ ઊર્જા ધરાવે છે અને સ્તરો વચ્ચે એકબીજા પરથી પસાર થવામાં આંતરઆણ્વીય બળોને ઉપરવટ થઈ જાય છે.

### સારાંશ

દ્રવ્યના કણો વચ્ચે આંતરઆણ્વીય આકર્ષણ બળો કાર્ય કરે છે. આ બળો બે એકબીજાથી વિરુદ્ધ ભારવાળા આયનો વચ્ચે ઉદ્ભવતા સ્થિરવિદ્યુતીય બળોથી અલગ પડે છે. ઉપરાંત આ બળોમાં સહસંયોજક બંધ દ્વારા સહસંયોજક અણુમાં પરમાણુઓને ભેગા રાખતા બળોનો પણ સમાવેશ થતો નથી. ઉષ્મીય ઊર્જા અને આંતરઆણ્વીય પારસ્પરિક ક્રિયા વચ્ચેની હરીફાઈ દ્રવ્યની અવસ્થા નક્કી કરે છે. દ્રવ્યના 'જથ્થાત્મક' ગુણધર્મો જેવાં કે વાયુઓની વર્તણૂક, ઘન અને પ્રવાહીની ખાસિયતો અને અવસ્થામાં ફેરફાર ઘટક કણોની ઊર્જા પર અને તેમની વચ્ચેની પારસ્પરિક ક્રિયાઓના પ્રકાર પર આધાર રાખે છે. પદાર્થના રાસાયણિક ગુણધર્મો અવસ્થામાં ફેરફાર સાથે બદલાતા નથી, પરંતુ તેમની પ્રક્રિયાત્મકતા તેમની ભૌતિક અવસ્થા પર આધાર રાખે છે.

વાયુ અણુઓ વચ્ચે પારસ્પરિક બળો નગણ્ય (નહિવત્) હોય છે અને તે રાસાયણિક સ્વભાવથી લગભગ સ્વતંત્ર છે. કેટલીક અવલોકનીય ગુણધર્મો જેમકે દબાણ, કદ, તાપમાન અને દળનો એકબીજા પરના આધાર (interdependence) પરથી જુદા જુદા વાયુ નિયમો વાયુઓના પ્રાયોગિક અભ્યાસ પરથી મેળવવામાં આવ્યા. **બોઈલનો નિયમ** નિવેદિત કરે છે કે સમતાપી પરિસ્થિતિમાં નિશ્ચિત જથ્થાના વાયુનું દબાણ તેના કદના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં હોય છે. **ચાર્લ્સનો નિયમ** સમભારીય (isobaric) પરિસ્થિતિમાં કદ અને નિરપેક્ષ તાપમાન વચ્ચેનો સંબંધ છે. તે નિવેદિત કરે છે કે નિશ્ચિત જથ્થાના વાયુનું કદ નિરપેક્ષ તાપમાનના સમપ્રમાણમાં હોય છે ( $V \propto T$ ) જો વાયુની અવસ્થાને  $p_1$ ,  $V_1$  અને  $T_1$  વડે રજૂ કરવામાં આવે અને તે બીજી અવસ્થામાં  $p_2$ ,  $V_2$  અને  $T_2$  એ ફેરવાય તો આ બંને અવસ્થાઓ વચ્ચેનો સંબંધ સંયુક્ત વાયુ નિયમો પ્રમાણે આપી શકાય. જેથી,  $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$ . જો આમાંના કોઈ પણ પાંચ ચલો (variables) જાણતા હોઈએ તો બાકીનો કોઈ પણ ચલ નક્કી કરી શકીએ છીએ. **એવોગેડ્રો નિયમ** નિવેદિત કરે છે કે બધા જ વાયુઓના સમાન કદ, સમાન તાપમાન અને દબાણની પરિસ્થિતિમાં સરખી સંખ્યામાં અણુ ધરાવે છે. **ડાલ્ટનનો આંશિક દબાણનો નિયમ** નિવેદિત કરે છે કે એકબીજા પ્રક્રિયા ન કરતા વાયુઓ માટે કુલ દબાણ દરેક વાયુના આંશિક દબાણના સરવાળા બરાબર થાય છે. આમ,  $p = p_1 + p_2 + p_3 + \dots$  દબાણ, તાપમાન, કદ અને વાયુઓના મોલની સંખ્યા વચ્ચેના તેની અવસ્થાનું વર્ણન કરે છે અને તેને વાયુનું અવસ્થા સમીકરણ કહે છે. આદર્શ વાયુ માટે અવસ્થા સમીકરણ  $pV = nRT$  છે. જ્યાં R વાયુ અચળાંક છે અને તેનું મૂલ્ય દબાણ, તાપમાન અને કદ માટે પસંદ કરાયેલા એકમો પર આધાર રાખે છે.

ઊંચા દબાણે અને નીચા તાપમાને આંતરઆણ્વીય બળો વાયુના અણુઓ વચ્ચે પ્રબળતાપૂર્વક કાર્ય કરતાં થાય છે કારણ કે તેઓ એકબીજાની નજીક આવે છે. યોગ્ય તાપમાન અને દબાણ હેઠળની પરિસ્થિતિમાં વાયુઓનું પ્રવાહીકરણ થઈ શકે છે. પ્રવાહીની નાના કદ અને પ્રબળ આણ્વીય આકર્ષણોના વિસ્તારમાં વાયુ અવસ્થાના સાતત્ય (continuation) તરીકે ગણી શકાય. પ્રવાહીના કેટલાક ગુણધર્મો. દા.ત., પૃષ્ઠતાણ અને સ્નિગ્ધતા પ્રબળ આંતરઆણ્વીય આકર્ષણ બળોને લીધે હોય છે.

### સ્વાધ્યાય

- 5.1 500 dm<sup>3</sup> હવાનું 1 bar દબાણે સંકોચન કરી 200 dm<sup>3</sup> કરવા માટે 30 °C તાપમાને નિમ્નતમ કેટલું દબાણ જોઈશે ?
- 5.2 120 mLની ક્ષમતા ધરાવતું એક પાત્ર 35 °C તાપમાને અને 1.2 bar દબાણે અમુક વાયુ ધરાવે છે. આ વાયુને બીજા 180 mL કદવાળા પાત્રમાં 35 °C તાપમાને ભરવામાં આવ્યો. તેનું દબાણ કેટલું હશે ?

- 5.3 અવસ્થા સમીકરણ  $pV = nRT$ નો ઉપયોગ કરીને દર્શાવો કે આપેલ તાપમાને વાયુની ઘનતા તે વાયુના દબાણને સમપ્રમાણ છે.
- 5.4  $0^\circ\text{C}$  તાપમાને વાયુના એક ઓક્સાઇડની ઘનતા 2 bar દબાણે છે તે 5 bar દબાણે રહેલા ડાયનાઇટ્રોજનના જેટલી છે. ઓક્સાઇડનું આણ્વીય દળ કેટલું હશે ?
- 5.5 એક આદર્શ વાયુ A ના 1 ગ્રામ દબાણ 27  $^\circ\text{C}$  તાપમાને 2 bar જણાયું છે. બીજા આદર્શ વાયુ Bના 2 ગ્રામ તે જ તાપમાને તે જ ફ્લાસ્કમાં દાખલ કરવામાં આવે છે ત્યારે દબાણ 3 bar થાય છે. તેમના આણ્વીયદળ વચ્ચેનો સંબંધ શોધો.
- 5.6 એક ગટર સાફ કરનાર પદાર્થ ડ્રેઇનેક્સ થોડા ઘણા પ્રમાણમાં એલ્યુમિનિયમ ધરાવે છે. તે કોસ્ટિક સોડા સાથે પ્રક્રિયા કરી ડાયહાઇડ્રોજન ઉત્પન્ન કરે છે. જો 0.15 ગ્રામ એલ્યુમિનિયમ પ્રક્રિયા કરે તો  $20^\circ\text{C}$  તાપમાન અને એક bar દબાણે ડાયહાઇડ્રોજન વાયુનું કેટલું કદ મળશે ?
- 5.7  $9\text{ dm}^3$ ના ફ્લાસ્કમાં  $27^\circ\text{C}$  તાપમાને 3.2 ગ્રામ મિથેન અને 4.4 ગ્રામ કાર્બન ડાયોક્સાઇડના મિશ્રણ વડે કેટલું દબાણ ઉત્પન્ન થશે ?
- 5.8 0.5 L  $\text{H}_2$ , 0.8 bar દબાણે અને 2.0 L ડાયઓક્સિજન 0.7 bar દબાણે, એક લિટર કદ ધરાવતા પાત્રમાં  $27^\circ\text{C}$  તાપમાને દાખલ કરવામાં આવ્યા. વાયુમય મિશ્રણનું દબાણ કેટલું થશે ?
- 5.9  $27^\circ\text{C}$  તાપમાને અને 2 bar દબાણે વાયુની ઘનતા  $5.46\text{ g/dm}^3$  જણાઈ છે. STP એ કેટલી ઘનતા હશે ?
- 5.10  $546^\circ\text{C}$  તાપમાને અને 0.1 bar દબાણે 34.05 mL ફોસ્ફોરસ બાષ્પનું વજન 0.0625 ગ્રામ થાય છે. ફોસ્ફોરસનું મોલર દળ કેટલું હશે ?
- 5.11 એક વિદ્યાર્થી ગોળ તળિયાવાળા ચંબુમાં  $27^\circ\text{C}$  તાપમાને પ્રક્રિયા મિશ્રણ ઉમેરવાનું ભૂલી ગયો, પરંતુ તેને/તેણીએ ફ્લાસ્કને જ્યોત પર મૂક્યો. થોડા સમય ગયા બાદ તેને તેની ભૂલનું જ્ઞાન લાધ્યું અને પાયરોમીટરની મદદથી ફ્લાસ્કનું તાપમાન માપ્યું તો  $477^\circ\text{C}$  જણાયું. હવાનો કેટલો ભાગ (અંશ) તેમાંથી બહાર નીકળી ગયો હશે ?
- 5.12 3.32 bar દબાણે  $5\text{ dm}^3$  કદ ધરાવતા 4.0 mol વાયુનું તાપમાન ગણો. ( $R = 0.083\text{ bar dm}^3\text{ K}^{-1}\text{ mol}^{-1}$ ).
- 5.13 1.4 ગ્રામ ડાયનાઇટ્રોજન વાયુમાં રહેલા કુલ ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા ગણો.
- 5.14 એક સેકન્ડમાં ઘઉંના  $10^{10}$  દાણા જો વહેંચવામાં આવે તો એક એવોગેડ્રો આંક જેટલા દાણા વહેંચતા કેટલો સમય લાગશે ?
- 5.15 8 ગ્રામ ડાયઓક્સિજન અને 4 ગ્રામ ડાયહાઇડ્રોજનના મિશ્રણનું  $1\text{ dm}^3$  વાળા પાત્રમાં  $27^\circ\text{C}$  તાપમાને કુલ દબાણ ગણો. ( $R = 0.083\text{ bar dm}^3\text{ K}^{-1}\text{ mol}^{-1}$ ).
- 5.16 નીતિભાર (pay load)ને બલૂનના દળ અને વિસ્થાપિત હવાના દળના તફાવત તરીકે વ્યાખ્યાયિત કરવામાં આવે છે. જો 10 m ત્રિજ્યા અને 100 kg દળ ધરાવતું બલૂન 1.66 bar દબાણે અને  $27^\circ\text{C}$  તાપમાને હિલિયમ વડે ભરવામાં આવ્યું, તો નીતિભાર (pay load) ગણો. (હવાની ઘનતા =  $1.2\text{ kg m}^{-3}$  અને  $R = 0.083\text{ bar dm}^3\text{ K}^{-1}\text{ mol}^{-1}$ ).
- 5.17  $31.1^\circ\text{C}$  તાપમાન અને 1 bar દબાણે 8.8 ગ્રામ  $\text{CO}_2$  વડે રોકાયેલ કદ ગણો. ( $R = 0.083\text{ bar L K}^{-1}\text{ mol}^{-1}$ ).
- 5.18 સમાન દબાણે 2.9 ગ્રામ એક વાયુ  $95^\circ\text{C}$  તાપમાને, 0.184 ગ્રામ ડાયહાઇડ્રોજન  $17^\circ\text{C}$  તાપમાને સરખું કદ રોકે તો વાયુનું મોલર દળ કેટલું હશે ?
- 5.19 ડાયહાઇડ્રોજન અને ડાયઓક્સિજનનું મિશ્રણ એક bar દબાણે ડાયહાઇડ્રોજનના 20 % જેટલું વજન ધરાવે છે. ડાયહાઇડ્રોજનનું વિભાગીય દબાણ ગણો.
- 5.20  $pV^2T^2/n$  રાશિ માટે SI એકમ શું હશે ?
- 5.21 ચાર્લ્સ નિયમના શબ્દોમાં સમજાવો કે શા માટે  $-273^\circ\text{C}$  સૌથી નીચું શક્ય તાપમાન છે ?
- 5.22 કાર્બન ડાયોક્સાઇડ અને મિથેનના ક્રાંતિક તાપમાન અનુક્રમે  $31.1^\circ\text{C}$  અને  $-81.9^\circ\text{C}$  છે. આમાંના કોના આંતરઆણ્વીય બળો વધુ મજબૂત હશે અને શા માટે ?
- 5.23 વાન્ ડર વાલ્સ પ્રાયલોની ભૌતિક સાર્થકતા (અગત્ય) સમજાવો.

## ઉષ્માગતિશાસ્ત્ર (Thermodynamics)

### હેતુઓ :

- આ એકમના અભ્યાસ પછી તમે...
- પ્રણાલી અને પર્યાવરણ પર્યાયો સમજાવી શકશો.
- બંધ, ખુલ્લી અને નિરાળી પ્રણાલી વચ્ચે ભેદ પાડી શકશો.
- આંતરિક ઊર્જા, કાર્ય અને ઉષ્મા સમજાવી શકશો.
- ઉષ્માગતિશાસ્ત્રના પ્રથમ નિયમનું નિવેદન કરી શકશો અને ગાણિતીય રૂપ દર્શાવી શકશો.
- રાસાયણિક પ્રણાલીઓમાં ઊર્જાના ફેરફારોની ગણતરીઓને કાર્ય અને ઉષ્માના ફાળા રૂપે સમજાવી શકશો.
- અવસ્થા વિધેયો, U, H સમજાવી શકશો.
- $\Delta U$  અને  $\Delta H$  વચ્ચે સહસંબંધ રજૂ કરી શકશો.
- $\Delta U$  અને  $\Delta H$  પ્રાયોગિક રીતે નક્કી કરી શકશો.
- $\Delta H$ ની પ્રમાણિત અવસ્થા વ્યાખ્યાયિત કરી શકશો.
- જુદા જુદા પ્રકારની પ્રક્રિયાઓના એન્થાલ્પી ફેરફાર ગણી શકશો.
- હેસના અચળ ઉષ્મા સંકલનના નિયમનું નિવેદન કરી શકશો અને અનુપ્રયોગ કરી શકશો.
- માત્રાત્મક અને વિશિષ્ટ ગુણધર્મો વચ્ચે ભેદ પાડી શકશો.
- સ્વયંસ્ફૂરિત (સ્વયંભૂ) અને બિનસ્વયંસ્ફૂરિત (બિનસ્વયંભૂ) પ્રક્રમોને વ્યાખ્યાયિત કરી શકશો.
- એન્ટ્રોપીને ઉષ્માગતિય અવસ્થા વિધેય તરીકે સમજાવી શકશો અને સ્વયંસ્ફૂરણ માટે લાગુ પાડી શકશો.
- ગીબ્સ મુક્ત ઊર્જા ફેરફાર ( $\Delta G$ ) સમજાવી શકશો.
- $\Delta G$  અને સ્વયંસ્ફૂરણ અને  $\Delta G$  અને સંતુલન અચળાંક વચ્ચે સંબંધો પ્રસ્થાપિત કરી શકશો.

“આ સાર્વત્રિક અંતર્વસ્તુ (content)નો માત્ર ભૌતિકવાદ છે જે પાયાની સંકલ્પનાઓના અનુપ્રયોગ (ઉપયોગ)ના ઢાંચામાં છે, તેની મને ખાતરી છે કે તે કદી પણ નકારી શકાશે નહિ.”

– આલ્બર્ટ આઈન્સ્ટાઈન (Albert Einstein)

જ્યારે મિથેન, રાંધણ ગેસ અથવા કોલસો બળે છે ત્યારે થતી રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ દરમિયાન અણુઓ વડે સંગ્રહ કરાયેલ રાસાયણિક ઊર્જા, ઉષ્મા તરીકે છૂટી પડે છે. રાસાયણિક ઊર્જાનો ઉપયોગ યાંત્રિક કાર્ય કરવામાં જ્યારે બળતણ એન્જિનમાં બળે છે ત્યારે અથવા ગેલ્વેનિક કોષ દ્વારા વિદ્યુતીય ઊર્જા પૂરી પાડવામાં કરી શકાય છે. આમ ઊર્જાના જુદા જુદા સ્વરૂપો એકબીજા સાથે સંબંધિત છે અને અમુક પરિસ્થિતિઓમાં તેને એક સ્વરૂપમાંથી બીજા સ્વરૂપમાં ફેરવી શકાય છે. આ ઉષ્મા પરિવર્તનનો અભ્યાસ ઉષ્માગતિશાસ્ત્રનું વિષયવસ્તુ બને છે. ઉષ્માગતિશાસ્ત્રના નિયમો સ્થૂળ પ્રણાલીના ઊર્જા વિનિમય સાથે સંકળાયેલ છે જેમાં ઘણી સંખ્યામાં અણુઓ સમાયેલા હોય, નહિ કે થોડા અણુ ધરાવતી સૂક્ષ્મ પ્રણાલી. ઉષ્માગતિશાસ્ત્ર આ ઊર્જા રૂપાંતર કેવી રીતે કરવામાં આવ્યા અને કેટલા દરથી થયા તેની સાથે સંકળાયેલ નથી, પરંતુ ફેરફાર અનુભવતી પ્રણાલીના પ્રારંભિક અને અંતિમ અવસ્થાઓ પર આધારિત હોય છે. ઉષ્માગતિશાસ્ત્રના નિયમો પ્રણાલી જ્યારે સંતુલનમાં હોય અથવા એક સંતુલન અવસ્થામાંથી બીજા સંતુલન અવસ્થામાં ફેરવાય તેને લાગુ પડે છે. સ્થૂળદર્શિય ગુણધર્મો જેવા કે દબાણ અને તાપમાન સંતુલન અવસ્થામાં સમય સાથે બદલાતા નથી. આ એકમમાં આપણે ઉષ્માગતિશાસ્ત્ર દ્વારા કેટલાક અગત્યના પ્રશ્નોના ઉત્તર આપીશું.

રાસાયણિક પ્રક્રિયા/પ્રક્રમમાં સમાવિષ્ટ ઊર્જા ફેરફાર કેવી રીતે નક્કી કરી શકીએ ? તે થશે કે નહિ ?

રાસાયણિક પ્રક્રિયા કે પ્રક્રમને કોણ પ્રેરે છે (drives) ?

કેટલા પ્રમાણમાં રાસાયણિક પ્રક્રિયા આગળ ધપે છે ?

## 6.1 ઉષ્માગતિય પર્યાયો (Thermodynamic Terms)

આપણે રાસાયણિક પ્રક્રિયામાં અને તેની સાથે સંકળાયેલ ઊર્જાના ફેરફારોમાં રસ ધરાવીએ છીએ. આ માટે આપણને કેટલાક ઉષ્માગતિય પર્યાયો જાણવાની જરૂરિયાત હોય છે. તેમની ચર્ચા નીચે કરેલ છે.

### 6.1.1 પ્રણાલી અને પર્યાવરણ (The System and the Surrounding)

ઉષ્માગતિશાસ્ત્રમાં પ્રણાલીનો અર્થ એમ છે કે એ વિશ્વનો એ ભાગ છે જેમાં આપણે અવલોકન કરીએ છીએ અને બાકીનું વિશ્વ પર્યાવરણમાં સમાવિષ્ટ થાય છે. પર્યાવરણ પ્રણાલી સિવાય સમગ્ર વિશ્વનો સમાવેશ કરે છે.

વિશ્વ = પ્રણાલી + પર્યાવરણ

પ્રણાલીમાં થતા ફેરફારને લીધે પ્રણાલી સિવાયના વિશ્વને અસર થતી નથી. આથી પ્રાયોગિક (વ્યવહાર) હેતુસર પર્યાવરણ બાકીના વિશ્વનો એ ભાગ છે જે પ્રણાલી સાથે આંતરક્રિયા કરી શકે છે. સામાન્ય રીતે, પ્રણાલીની પડોશમાંના અવકાશનો વિસ્તાર પર્યાવરણ રચે છે.

ઉદાહરણ તરીકે, આપણે A અને B બે પદાર્થો વચ્ચે એક બીકરમાં પ્રક્રિયાનો અભ્યાસ કરતાં હોઈએ તો, પ્રક્રિયા મિશ્રણ ધરાવતું બીકર પ્રણાલી છે અને ઓરડો કે જેમાં બીકર રાખેલું છે તે પર્યાવરણ છે (આકૃતિ 6.1).



આકૃતિ 6.1 પ્રણાલી અને પર્યાવરણ

એ નોંધો કે પ્રણાલીને બીકર કે ટેસ્ટટ્યૂબ જેવી ભૌતિક સીમાઓથી વ્યાખ્યાયિત કરી શકાય અથવા પ્રણાલી સરળ રીતે વ્યાખ્યાયિત કરી શકાય કે તે કાર્ટેઝિયન અક્ષો જે અવકાશમાં અમુક કદને નિર્દેશિત કરે છે તેનો સેટ છે. એ જરૂરી છે કે આપણે પ્રણાલીને પર્યાવરણથી કોઈ એક દીવાલ કે જે સાચી અથવા કાલ્પનિક હોય તેના વડે અલગ કરેલ

હોય છે. દીવાલ કે જે પ્રણાલી અને પર્યાવરણને અલગ કરે છે તેને સીમા (હદ) (boundary) કહે છે. આ પ્રકારની રચના આપણને પ્રણાલીમાં અથવા બહાર દ્રવ્ય તથા ઊર્જાની હેરફેરને નિયંત્રિત કરવા અથવા તેમનો માર્ગ જાણવામાં ઉપયોગી થાય છે.

### 6.1.2 પ્રણાલીના પ્રકાર (Types of the System)

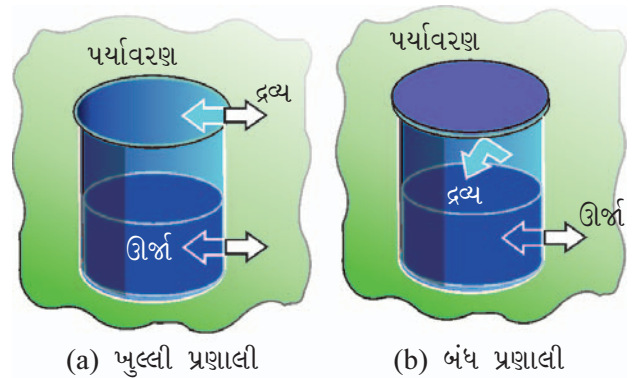
પ્રણાલીમાં અંદર કે બહાર જતા દ્રવ્ય અને ઊર્જાના સંચલન પ્રમાણે પ્રણાલીનું વર્ગીકરણ કરી શકીએ.

#### 1. ખુલ્લી પ્રણાલી :

ખુલ્લી પ્રણાલીમાં પ્રણાલી અને પર્યાવરણની વચ્ચે દ્રવ્ય અને ઊર્જાનો વિનિમય થાય છે (આકૃતિ 6.2(a)). ખુલ્લા બીકરમાં પ્રક્રિયાકોની હાજરી ખુલ્લી પ્રણાલી\*નું ઉદાહરણ છે. અહીંયા સીમા એક કાલ્પનિક સપાટી છે જે બીકર અને પ્રક્રિયાકોને સમાવે છે.

#### 2. બંધ પ્રણાલી :

બંધ પ્રણાલીમાં દ્રવ્યનો વિનિમય થતો નથી પણ ઊર્જાનો વિનિમય પ્રણાલી અને પર્યાવરણ વચ્ચે થાય છે (આકૃતિ 6.2(b)). કોપર અને સ્ટીલ જેવા વહન કરતાં પદાર્થોના બંધ પાત્રમાં રાખેલા પ્રક્રિયાકો બંધ પ્રણાલીનું ઉદાહરણ છે.



(a) ખુલ્લી પ્રણાલી

(b) બંધ પ્રણાલી



(c) નિરાળી પ્રણાલી

આકૃતિ 6.2 ખુલ્લી, બંધ અને નિરાળી પ્રણાલી

\* આપણે માત્ર પ્રક્રિયાકોને જ પ્રણાલી તરીકે પસંદ કરી શક્યા હોત. આમ હોત તો બીકરની દીવાલો સીમા તરીકે વર્તત.

### 3. નિરાળી પ્રણાલી :

નિરાળી પ્રણાલીમાં દ્રવ્ય અથવા ઊર્જામાંથી કોઈનો પણ પ્રણાલી અને પર્યાવરણ વચ્ચે વિનિમય થતો નથી (આકૃતિ 6.2(c)). થર્મોસ ફ્લાસ્કમાં રહેલા પ્રક્રિયકો અથવા કોઈ ઉષ્મારોધક (insulated) બંધપાત્રમાં રહેલા પ્રક્રિયકો નિરાળી પ્રણાલીનું ઉદાહરણ છે.

### 6.1.3 પ્રણાલીની અવસ્થા (The State of the System)

પ્રણાલીનું જથ્થાત્મક રીતે તેમના દરેક ગુણધર્મો જેવાં કે તેમનું દબાણ ( $p$ ), કદ ( $V$ ) અને તાપમાન ( $T$ ) તથા પ્રણાલીનું સંઘટનની દૃષ્ટિએ વર્ણન કરવું જોઈએ જેથી ઉપયોગી ગણતરી કરી શકાય. આપણને પ્રણાલીનું વર્ણન કરવા તેમની ફેરફાર પહેલાંની અને પછીની પરિસ્થિતિની જરૂર પડે છે. તમે તમારા ભૌતિકવિજ્ઞાનના અભ્યાસક્રમમાંથી યાદ કરી શકો કે યંત્રશાસ્ત્ર આપેલ સમયે તે સંપૂર્ણપણે વિશિષ્ટ રીતે તેના દરેક બિંદુના સ્થાન અને વેગ દર્શાવેલ હોય છે. ઉષ્માગતિશાસ્ત્રમાં અવસ્થા માટે એક અલગ પણ વધુ સરળ ખ્યાલ રજૂ કરાયેલ છે. જેમાં દરેક કણની ગતિનું જ્ઞાન જરૂરી નથી, કારણ કે આપણે પ્રણાલીના સરેરાશ માપન થઈ શકે તેવા ગુણધર્મો સાથે કાર્ય કરીએ છીએ. આપણે પ્રણાલીની અવસ્થાને અવસ્થા વિધેયો અથવા અવસ્થા ચલો (variables) તરીકે દર્શાવીએ છીએ.

ઉષ્માગતિય પ્રણાલીની અવસ્થાનું વર્ણન તેના માપી શકાય તેવા અથવા સ્થૂળદર્શિય (જથ્થાત્મક) ગુણધર્મોથી કરીએ છીએ. આપણે વાયુની અવસ્થા તેનું દબાણ ( $p$ ), કદ ( $V$ ) અને તાપમાન ( $T$ ) અને જથ્થો ( $n$ )ની રજૂઆત કરી વર્ણન કરી શકીએ છીએ.  $p$ ,  $V$ ,  $T$  જેવા ચલોને અવસ્થા ચલો અથવા અવસ્થા વિધેયો કહે છે કારણ કે તેમના મૂલ્યો પ્રણાલીની અવસ્થા પર આધાર રાખે છે નહિ કે કેવી રીતે ત્યાં પહોંચ્યા છે. સંપૂર્ણપણે અવસ્થાને વ્યાખ્યાયિત કરવા માટે પ્રણાલીના બધા જ ગુણધર્મોને વ્યાખ્યાયિત કરવાની જરૂર હોતી નથી. કારણ કે અમુક ગુણધર્મોની સંખ્યાને સ્વતંત્ર રીતે બદલીએ છીએ. આ સંખ્યા પ્રણાલીના સ્વભાવ પર આધાર રાખે છે. એકવાર આ સ્થૂળદર્શિય ગુણધર્મોની નિમ્નતમ સંખ્યાને નિશ્ચિત કરી દઈએ તો બીજાને આપોઆપ નિશ્ચિત મૂલ્યો હોય છે.

પર્યાવરણની અવસ્થાને કદી પણ સંપૂર્ણ રીતે દર્શાવી શકાય નહિ. સદ્ભાગ્યે તેમ કરવાની જરૂર પણ નથી હોતી.

### 6.1.4 અવસ્થા વિધેય તરીકે આંતરિક ઊર્જા (The Internal Energy as a State Function)

આપણે જ્યારે આપણી રાસાયણિક પ્રણાલી જે ઊર્જા ગુમાવે છે કે મેળવે છે તે વિશે વાત કરીએ ત્યારે

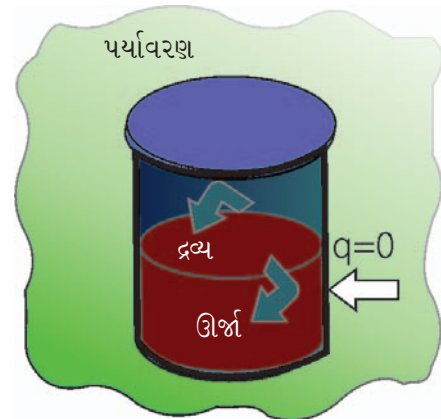
પ્રણાલીની કુલ ઊર્જાને રજૂ કરતી રાશિ દાખલ કરવી પડે છે તે રાસાયણિક, વિદ્યુતીય, યાંત્રિકીય અથવા અન્ય કોઈ પ્રકારની ઊર્જા જેનો તમે વિચાર કરો છો તે બધાનો સરવાળો પ્રણાલીની ઊર્જા છે. ઉષ્માગતિશાસ્ત્રમાં આપણે તેને પ્રણાલીની આંતરિક ઊર્જા  $U$  કહીએ છીએ. તે બદલાય છે. જ્યારે,

- ઉષ્મા પ્રણાલીમાં જશે અથવા બહાર આવશે ત્યારે
- પ્રણાલી ઉપર કે પ્રણાલી વડે કાર્ય થાય ત્યારે
- દ્રવ્ય પ્રણાલીમાં દાખલ થાય કે બહાર નીકળે ત્યારે.

આ પ્રણાલીઓને તમે અભ્યાસ કરેલા વિભાગ 6.1.2માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે વર્ગીકરણ કરી શકાય છે.

#### (a) કાર્ય :

આપણે પ્રથમ કાર્ય કરવાથી આંતરિક ઊર્જામાં થતો ફેરફાર તપાસીએ. આપણે થર્મોસ ફ્લાસ્કમાં અથવા ઉષ્મારોધક બીકરમાં થોડું પાણી ધરાવતી પ્રણાલી લઈએ. આ પ્રણાલી અને પર્યાવરણ વચ્ચે ઉષ્માનો વિનિમય તેમની સીમા મારફતે થવા દેશે નહિ અને તેથી આપણે આ પ્રણાલીને સમોષ્મી (રૂધોષ્મી) (adiabatic) પ્રણાલી કહીશું. આવી પ્રણાલીની અવસ્થા જે રીતે બદલવામાં આવે તેને સમોષ્મી પ્રક્રમ કહે છે. સમોષ્મી પ્રક્રમ એવો પ્રક્રમ છે જેમાં પ્રણાલી અને પર્યાવરણ વચ્ચે ઉષ્માની હેરફેર થતી નથી. અહીંયા પ્રણાલી અને પર્યાવરણને અલગ કરતી દીવાલને સમોષ્મી દીવાલ કહે છે (આકૃતિ 6.3).



આકૃતિ 6.3 સમોષ્મી પ્રણાલી જે તેની સીમા મારફતે ઉષ્માની હેરફેર થવા દેતી નથી.

આપણે આ પ્રણાલી પર થોડું કાર્ય કરીને આંતરિક ઊર્જામાં ફેરફાર લાવીએ. આપણે પ્રારંભિક અવસ્થાને અવસ્થા

A કહીએ અને તેનું તાપમાન  $T_A$  કહીએ. ધારો કે અવસ્થા A દરમિયાન આંતરિક ઊર્જાને  $U_A$  કહીએ. આપણે પ્રણાલીની અવસ્થામાં બે રીતે ફેરફાર કરી શકીએ.

**પ્રથમ રીતે :** આપણે કેટલુંક યાંત્રિક કાર્ય કરીએ, જેમકે 1 kJ કાર્ય નાના પેડલો ફેરવીને અને તેને લીધે પાણીને ઘૂમાવીને (churning). ધારો કે નવી અવસ્થાને આપણે અવસ્થા B કહીએ અને તેના તાપમાનને  $T_B$  કહીએ. એ જણાયું છે કે  $T_B > T_A$  અને તાપમાનમાં ફેરફાર  $\Delta T = T_B - T_A$ . ધારો કે પ્રણાલીની અવસ્થા Bમાં આંતરિક ઊર્જા  $U_B$  અને આંતરિક ઊર્જાનાં ફેરફાર  $\Delta U = U_B - U_A$  છે.

**બીજી રીતે :** હવે આપણે બીજી રીતે 1 kJ જેટલું વિદ્યુતીય કાર્ય ડૂબાડેલા સળિયાની મદદથી કરીએ અને તાપમાનનો ફેરફાર નોંધીએ. આપણને જાણવા મળશે કે તાપમાનમાં ફેરફાર અગાઉની રીત જેટલો જ છે.  $T_B - T_A$ .

હકીકતમાં ઉપર પ્રમાણેના પ્રયોગો જે. પી. જૂલે (J. P. Joule) 1840-'50 વચ્ચે કરેલા અને દર્શાવ્યું કે પ્રણાલી પર આપેલ જથ્થાનું કાર્ય કરવામાં આવે જેમાં રીત કોઈ પણ હોય (પથ અલગ હોય) તો પણ અવસ્થામાં સમાન ફેરફાર કરે છે. જેમકે પ્રણાલીના તાપમાનમાં ફેરફારનું માપન.

આથી એ યોગ્ય જણાય છે કે પ્રણાલીની એક એવી રાશિ આંતરિક ઊર્જા (U)ને વ્યાખ્યાયિત કરવી જોઈએ, જેનું મૂલ્ય પ્રણાલીની અવસ્થાની લાક્ષણિકતા હોય. સમોષ્મી પ્રક્રમમાં કરેલ કાર્ય  $w_{ad}$ , પ્રણાલીની બે અવસ્થાઓનાં Uના તફાવત  $\Delta U$  જેટલું હોય છે. એટલે કે  $\Delta U = U_2 - U_1 = w_{ad}$ .

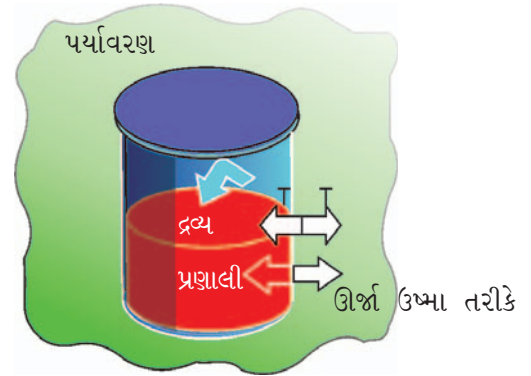
ધન સંજ્ઞા દર્શાવે છે કે  $w_{ad}$  ધન છે અને તે જ્યારે પ્રણાલી પર કાર્ય કરવામાં આવે ત્યારે હોય છે. એ જ પ્રમાણે જ્યારે પ્રણાલી વડે કાર્ય કરવામાં આવે છે ત્યારે  $w_{ad}$ નું મૂલ્ય ઋણ હોય છે.

તમે આવા બીજા પરિચિત અવસ્થા વિધેયના નામ આપી શકો. કેટલાક બીજા જાણીતા અવસ્થા વિધેય છે. V, p અને T. ઉદાહરણ તરીકે, આપણે પ્રણાલીમાં 25 °C થી 35 °C તાપમાન કરીને પ્રણાલીના તાપમાનમાં ફેરફાર લાવીએ. તાપમાનમાં ફેરફાર 35 °C - 25 °C = 10 °C આપણે સીધા જ 35 °C તાપમાને પહોંચીએ અથવા પ્રણાલીને કેટલાક અંશ ઠંડું કરીને મેળવીએ. આમ T અવસ્થા વિધેય છે અને તાપમાનમાં

ફેરફાર આપણે લીધેલા માર્ગ(પથ)થી સ્વતંત્ર છે. તળાવમાંનું પાણી ઉદાહરણ તરીકે ગણીએ તો અવસ્થા વિધેય છે કારણ કે પાણીના કદમાં ફેરફાર તળાવમાં ભરેલા પાણીને વરસાદના પાણીથી અથવા ટ્યૂબવેલના પાણીથી અથવા બંને રીતે ભરેલ હોય.

### (b) ઉષ્મા :

આપણે પ્રણાલીની આંતરિક ઊર્જામાં ફેરફારને પર્યાવરણમાંથી પ્રણાલીમાં કે પ્રણાલીમાંથી પર્યાવરણમાં કાર્ય કર્યા વગર ઉષ્માની હેરફેરથી કરી શકીએ. આ ઊર્જાનો વિનિમય જે તાપમાનના તફાવતનું પરિણામ છે તેને ઉષ્મા  $q$  કહે છે. આપણે હવે સમોષ્મી દીવાલોને બદલે ઉષ્મા વહન કરતી દીવાલો મારફતે સમાન તાપમાન ફેરફાર કરીને (વિભાગ 6.1.4(a)) પ્રમાણે સમાન પ્રારંભિક અને અંતિમ અવસ્થાઓમાંથી ઉષ્મા ફેરફાર કરીએ (આકૃતિ 6.4).



**આકૃતિ 6.4** પ્રણાલી જે તેની સીમા મારફતે ઉષ્મા ફેરફાર થવા દે છે.

આપણે ઉષ્મીય વહન કરતી દીવાલોવાળું પાત્ર જે કૉપરનું બનેલું હોય તેમાં તાપમાન  $T_A$  ધરાવતું પાણી લઈએ અને તેને એક મોટા ઉષ્મા સંગ્રાહક જે તાપમાન  $T_B$  ધરાવે છે, તેમાં બંધ કરી દઈએ. પ્રણાલી (પાણી) વડે શોષાયેલી ઉષ્મા  $q$ ને આપણે તાપમાનના તફાવતના રૂપમાં ( $T_B - T_A$ ) માપી શકીએ. આ બાબતમાં આંતરિક ઊર્જા ફેરફાર  $\Delta U = q$  થશે, જ્યારે અચળ કદે કાર્ય કરવામાં આવ્યું ન હોય.

જો ઉષ્મા પર્યાવરણમાંથી પ્રણાલીમાં હેરફેર કરે તો  $q$  ધન અને જો પ્રણાલીમાંથી ઉષ્માનું હેરફેર પર્યાવરણમાં કરીએ તો  $q$  ઋણ થશે.

### (c) સામાન્ય કિસ્સો :

આપણે એક સામાન્ય કિસ્સો લઈએ જેમાં અવસ્થામાં ફેરફાર કાર્ય અને ઉષ્મા બંનેની હેરફેર કરીને લાવીએ. આ



કિસ્સા માટે આંતરિક ઊર્જામાં ફેરફાર નીચે પ્રમાણે લખી શકીએ :

$$\Delta U = q + w \quad (6.1)$$

આપેલ અવસ્થામાં ફેરફાર માટે  $q$  અને  $w$  બંને ફેરફાર કેવી રીતે લાવવામાં આવ્યો છે તેના પર આધાર રાખશે.  $q + w = \Delta U$  તો માત્ર પ્રારંભિક અને અંતિમ અવસ્થાઓ પર આધાર રાખશે. જો ઊર્જાની હેરફેર ઉષ્મા દ્વારા અથવા કાર્ય વડે કરવામાં આવ્યો ન હોય તો (નિરાળી પ્રણાલી) એટલે કે  $q = 0$  અને  $w = 0$  તેથી  $\Delta U = 0$ .

સમીકરણ 6.1 એટલે કે  $\Delta U = q + w$  ઉષ્માગતિશાસ્ત્રના પ્રથમ નિયમનું ગાણિતીય નિવેદન છે અને તે નિવેદિત કરે છે કે

“નિરાળી પ્રણાલીની ઊર્જા અચળ રહે છે.”

તેને સામાન્ય રીતે ઊર્જાના સંચયના નિયમ તરીકે એટલે ઊર્જા ઉત્પન્ન કરી શકાતી નથી અથવા તેનો નાશ કરી શકાતો નથી – તેવી રીતે નિવેદિત કરવામાં આવે છે.

**નોંધ :** ઉષ્માગતિય ગુણધર્મ ઊર્જાની લાક્ષણિકતાને કદ જેવા યાંત્રિકીય ગુણધર્મ વચ્ચે ગણનાપાત્ર (considerable) તફાવત હોય છે. આપણે ચોક્કસ અવસ્થામાં પ્રણાલીના કદનું નિરપેક્ષ (અસંદિગ્ધ) મૂલ્ય દર્શાવી શકીએ, પરંતુ આંતરિક ઊર્જાના નિરપેક્ષ મૂલ્યને નહિ, આપણે માત્ર આંતરિક ઊર્જામાં ફેરફાર  $\Delta U$ નું જ માપન કરી શકીએ.

### કોયડો 6.1

પ્રણાલીની આંતરિક ઊર્જામાં ફેરફાર દર્શાવો, જ્યારે

- પ્રણાલી વડે પર્યાવરણમાંથી ઉષ્મા શોષાઈ નથી પણ પ્રણાલી પર કાર્ય ( $w$ ) થયેલ છે. પ્રણાલીની દીવાલ કેવા પ્રકારની હશે ?
- પ્રણાલી પર કાર્ય થયેલ નથી પણ ઉષ્માનો જથ્થો  $q$  પ્રણાલીમાંથી લઈને પર્યાવરણને આપવામાં આવ્યો છે. પ્રણાલીની દીવાલો કેવા પ્રકારની હશે ?
- પ્રણાલી વડે કાર્ય ( $w$ ) થયેલ છે અને ઉષ્મા ( $q$ ) પ્રણાલીને આપવામાં આવેલ છે. આ કેવા પ્રકારની પ્રણાલી હશે ?

ઉકેલ :

- $\Delta U = w_{ad}$  દીવાલો સમોષ્મી
- $\Delta U = -q$  ઉષ્મીય વહન કરતી દીવાલો
- $\Delta U = q - w$  બંધ પ્રણાલી

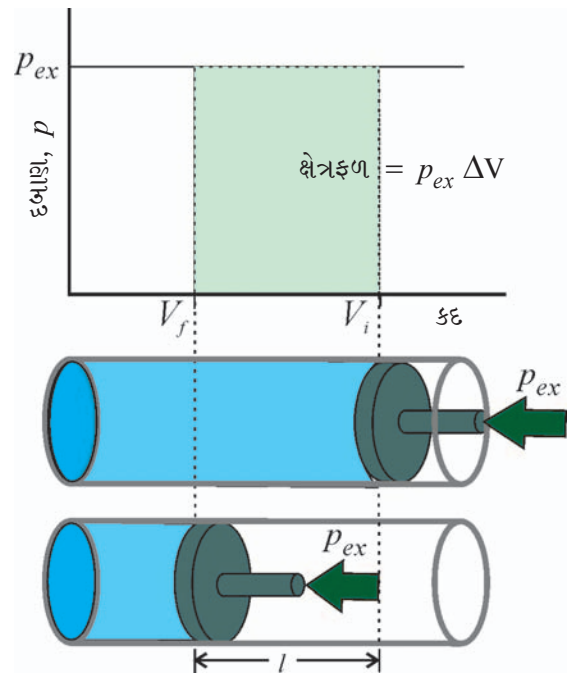
## 6.2 અનુપ્રયોગો (Applications)

ઘણી બધી રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓમાં વાયુઓનું ઉત્પાદન સમાયેલ હોય છે. જે યાંત્રિકીય કાર્ય કરવા માટે શક્તિમાન હોય છે અથવા ઉષ્માનું ઉત્પાદન કરે છે. આપણે માટે આ ફેરફારોને પરિમાણિત (quantify) કરવાનું અગત્યનું છે અને આ ફેરફારને આંતરિક ફેરફારો સાથે સંબંધિત કરવાના છે.

### 6.2.1 કાર્ય (Work)

સૌપ્રથમ આપણે પ્રણાલી કરી શકે તે કાર્યના સ્વભાવ પર કેન્દ્રિત થઈએ. આપણે માત્ર યાંત્રિકીય કાર્ય જ ગણતરીમાં લઈશું એટલે દબાણ-કદ કાર્ય.

દબાણ-કદ કાર્યને સમજવા માટે આપણે એક નળાકારને ગણતરીમાં લઈએ જેમાં એક મોલ આદર્શ વાયુને ઘર્ષણરહિત પિસ્ટન વડે ફીટ કરેલો છે. વાયુનું કુલ કદ  $V_i$  અને વાયુનું અંદરનું દબાણ  $p$  છે. જો બાહ્યદબાણ  $p_{ex}$  હોય જે  $p_i$  કરતાં વધારે છે. પિસ્ટન અંદરના ભાગમાં ખસશે જ્યાં સુધી



**આકૃતિ 6.5(a)** નળાકારમાંના આદર્શ વાયુ પર થયેલ કાર્ય જ્યારે તેને અચળ બાહ્ય દબાણ  $p_{ex}$  વડે સંકોચવામાં આવેલ છે. (એક જ તબક્કામાં) જે છાયાવાળું (shaded) ક્ષેત્રફળ છે.

અંદરનું દબાણ બાહ્યદબાણ  $p_{ex}$  જેટલું નહિ થાય. આ ફેરફાર એક જ સોપાનમાં પ્રાપ્ત થયેલ છે અને અંતિમ કદ  $V_f$  છે. આ સંકોચન દરમિયાન ધારો કે પિસ્ટન  $l$  અંતર ખસે છે અને પિસ્ટનનું આડછેદ ક્ષેત્રફળ  $A$  છે (આકૃતિ 6.5(a)). તો, કદમાં ફેરફાર  $= lA = \Delta V = (V_f - V_i)$

આપણે જાણીએ છીએ કે દબાણ  $= \frac{\text{બળ}}{\text{ક્ષેત્રફળ}}$

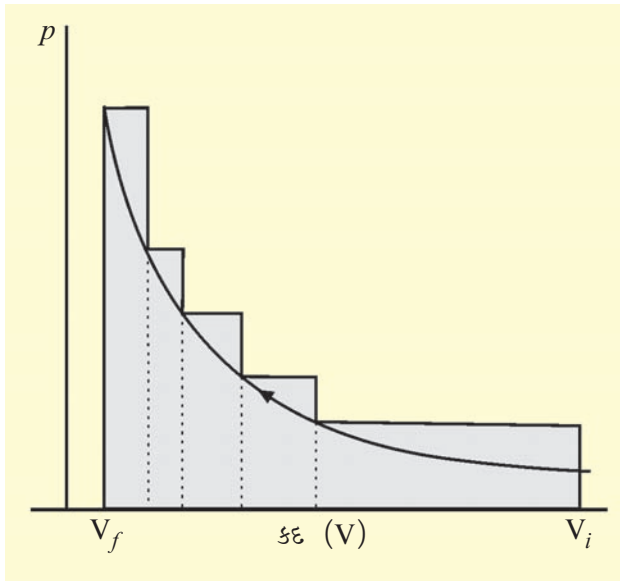
આથી, પિસ્ટન પર લાગતું બળ  $= p_{ex} \cdot A$

જો પિસ્ટનના ખસવાથી પ્રણાલી પર થયેલ કાર્ય  $w$  હોય તો,

$$\begin{aligned} w &= \text{બળ} \times \text{અંતર} = p_{ex} A \cdot l \\ &= p_{ex} (-\Delta V) = -p_{ex} \Delta V = -p_{ex} (V_f - V_i) \end{aligned} \quad (6.2)$$

આ અભિવ્યક્તિ(expression)ની ઋણ સંજ્ઞા જરૂરી છે, જેથી  $w$ ની પ્રણાલિકાગત સંજ્ઞા મેળવી શકાય. તે સૂચવે છે કે સંકોચન દરમિયાન પ્રણાલી પર કાર્ય થયેલું છે. અહીંયા  $(V_f - V_i)$  ઋણ થશે અને ઋણને ઋણ વડે ગુણતાં ધન મળશે. આથી કાર્ય માટે મેળવેલી સંજ્ઞા ધન થશે.

જો સંકોચનના દરેક તબક્કે દબાણ અચળ ન હોય પણ નિશ્ચિત તબક્કામાં બદલાતું હોય તો વાયુ પર થતા કાર્ય બધા જ તબક્કાનો કુલ સરવાળા જેટલું થાય અને તે  $-\sum p \Delta V$  આકૃતિ 6.5(b) જેટલું થશે.



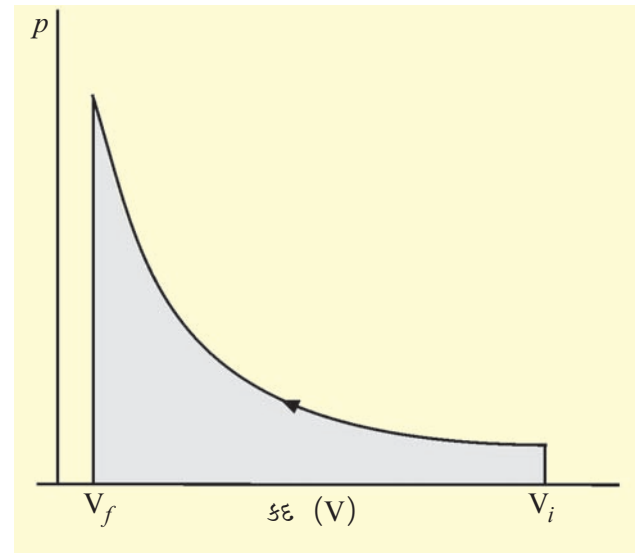
**આકૃતિ 6.5(b)**  $pV$  આલેખ જ્યારે દબાણ અચળ નથી અને પ્રારંભિક કદ  $V_i$  થી અંતિમ કદ  $V_f$  દરમિયાન નિશ્ચિત તબક્કામાં સંકોચન વાયુ પર થયેલ કાર્યને આચ્છાદિત ક્ષેત્રફળથી દર્શાવેલ છે.

જો દબાણ અચળ ના હોય અને પ્રક્રમ દરમિયાન એવી રીતે બદલાતું હોય કે તે વાયુના દબાણ કરતાં અનંતસૂક્ષ્મરીતે (infinitesimally) વધારે હોય છે. કદ અનંતસૂક્ષ્મ રીતે  $dV$  જેટલું ઘટે છે. આવા કિસ્સામાં આપણે વાયુ પરનું કાર્ય નીચેના સંબંધથી ગણી શકીએ.

$$w = - \int_{V_i}^{V_f} p_{ex} dV \quad (6.3)$$

અહીં  $p_{ex}$  દરેક તબક્કે  $(p_{in} + dp)$  થશે (આકૃતિ 6.5(c)). સમાન પરિસ્થિતિમાં વિસ્તરણ પ્રક્રમમાં બાહ્ય દબાણ હંમેશા પ્રણાલીના દબાણ કરતાં ઓછું હોય છે એટલે કે  $p_{ex} = (p_{in} + dp)$ . સામાન્ય કિસ્સામાં આપણે તેને  $p_{ex} = (p_{in} \pm dp)$  તરીકે લખી શકીએ. આવા પ્રક્રમોને પ્રતિવર્તી (reversible) પ્રક્રમ કહે છે.

એ પ્રક્રમ અથવા ફેરફાર ત્યારે જ પ્રતિવર્તી કહી શકાય, જો ફેરફાર એવી રીતે કરવામાં આવ્યો હોય કે પ્રક્રમ ગમે તે ક્ષણે અનંતસૂક્ષ્મ રીતે પ્રતિગામી કરી શકાય. પ્રતિવર્તી પ્રક્રમ ઘણી જ ધીમી રીતે શ્રેણીબદ્ધ સંતુલિત અવસ્થાઓથી આગળ વધે છે કે જેથી પર્યાવરણ અને પ્રણાલી હંમેશાં એકબીજાના લગભગ સંતુલનમાં હોય છે. પ્રતિવર્તી પ્રક્રમ સિવાયના પ્રક્રમો અપ્રતિવર્તી (irreversible) પ્રક્રમો કહેવાય છે.



**આકૃતિ 6.5(c)**  $pV$  આલેખ જ્યારે દબાણ અચળ નથી અને અનંત તબક્કામાં બદલાય છે (પ્રતિવર્તી પરિસ્થિતિમાં) પ્રારંભિક કદ  $V_i$  થી અંતિમ કદ  $V_f$ . વાયુ પર થયેલ કાર્ય આચ્છાદિત ક્ષેત્રફળથી દર્શાવેલ છે.

રસાયણવિજ્ઞાનમાં આપણે એવા કોયડાનો સામનો કરવો પડે છે કે જેને આપણે કાર્ય પર્યાયને પ્રણાલીના આંતરિક દબાણ સાથે સંબંધિત કરી શકીએ. આપણે પ્રણાલીના આંતરિક દબાણને કાર્ય સાથે પ્રતિવર્તી પરિસ્થિતિમાં નીચે જણાવ્યા પ્રમાણેના સમીકરણ (6.3) વડે પ્રતિવર્તી પરિસ્થિતિમાં સંબંધિત કરી શકીએ.

$$w_{rev} = - \int_{V_i}^{V_f} p_{ex} dV = - \int_{V_i}^{V_f} (p_{in} \pm dp) dV$$

$dp \cdot dV$  ઘણા નાના હોવાથી આપણે લખી શકીએ કે

$$w_{rev} = - \int_{V_i}^{V_f} p_{in} dV \quad (6.4)$$

હવે આપણે વાયુના દબાણને ( $p_{in}$  જેને હવે આપણે  $p$  તરીકે લખીએ) વાયુ સમીકરણ દ્વારા કદના સ્વરૂપમાં દર્શાવી શકીએ.  $n$  મોલ આદર્શ વાયુ માટે એટલે કે,

$$pV = nRT$$

$$\Rightarrow p = \frac{nRT}{V}$$

આથી અચળ તાપમાને (સમતાપી પ્રક્રમ)

$$w_{rev} = - \int_{V_i}^{V_f} nRT \frac{dV}{V} = -nRT \ln \frac{V_f}{V_i}$$

$$= -2.303 nRT \log \frac{V_f}{V_i} \quad (6.5)$$

**મુક્ત વિસ્તરણ :** શૂન્યાવકાશમાં ( $p_{ex} = 0$ ) વાયુના વિસ્તરણને મુક્ત વિસ્તરણ કહે છે. આદર્શ વાયુ માટે મુક્ત વિસ્તરણ દરમિયાન કાર્ય થતું નથી. ભલે પછી પ્રક્રમ પ્રતિવર્તી કે અપ્રતિવર્તી હોય (સમીકરણ 6.2 અને 6.3).

હવે આપણે સમીકરણ 6.1ને અનેક રીતે પ્રક્રમના પ્રકાર પ્રમાણેનો આધાર લખી શકીએ.

આપણે  $w = p_{ex} \Delta V$  (સમીકરણ 6.2)ને સમીકરણ 6.1માં મૂકીએ તો,

$$\Delta U = q - p_{ex} \Delta V$$

જો પ્રક્રમ અચળ કદે કરવામાં આવે ( $\Delta V = 0$ ). એથી,

$$\Delta U = q_V$$

$q_V$  માં પાદાંક (subscript)  $V$  અચળ કદે ઉષ્મા પૂરી પાડવામાં આવેલ છે તેમ સૂચવે છે.

### આદર્શ વાયુનું સમતાપી અને મુક્ત વિસ્તરણ :

આદર્શ વાયુના શૂન્યાવકાશમાં સમતાપી ( $T =$  અચળ) વિસ્તરણ માટે  $w = 0$  કારણ કે  $p_{ex} = 0$ . જૂલે એ પણ પ્રાયોગિક રીતે નક્કી કર્યું છે કે  $q = 0$  અને તેથી  $\Delta U = 0$  થશે.

સમીકરણ 6.1  $\Delta U = q + w$  સમતાપી પ્રતિવર્તી અને અપ્રતિવર્તી ફેરફારો માટે નીચે પ્રમાણે રજૂ કરી શકાય.

1. સમતાપી અપ્રતિવર્તી પ્રક્રમ માટે,

$$q = -w = p_{ex}(V_f - V_i)$$

2. સમતાપી પ્રતિવર્તી પ્રક્રમ માટે,

$$q = -w = nRT \ln \frac{V_f}{V_i}$$

$$= 2.303 nRT \log \frac{V_f}{V_i}$$

3. સમોષ્મી ફેરફાર માટે  $q = 0$ .

$$\therefore \Delta U = w_{ad}$$

### કોયડો 6.2

બે લિટર આદર્શ વાયુ 1.0 વાતાવરણ દબાણે શૂન્યાવકાશમાં સમતાપી રીતે જ્યાં સુધી કદ 10 લિટર થાય ત્યાં સુધી વિસ્તરે છે. કેટલી ઉષ્મા શોષાઈ હશે ? અને આ વિસ્તરણમાં કેટલું કાર્ય થયું હશે ?

ઉકેલ :

$$q = -w = p_{ex}(10 - 2) = 0(8) = 0$$

કોઈ કાર્ય થયું નથી અને ઉષ્મા પણ શોષાઈ નથી.

### કોયડો 6.3

ઉપરનું વિસ્તરણ ધ્યાનમાં લઈને ગણતરી કરો. જો અચળ બાહ્ય દબાણ 1 atm હોય.

ઉકેલ :

$$q = -W = p_{ex}(8) = 8 \text{ lit atm}$$

### કોયડો 6.4

ઉપરનું વિસ્તરણ ધ્યાનમાં લો અને પ્રતિવર્તી રીતે 10 લિટર કદ વિસ્તરણ માટે ગણતરી કરો.

ઉકેલ :

$$q = -W = 2.303 \times 10 \log \frac{10}{2}$$

$$= 16.1 \text{ lit atm}$$

## 6.2.2 એન્થાલ્પી, H (Enthalpy, H)

### (a) એક ઉપયોગી નવું અવસ્થા વિધેય :

આપણે જાણીએ છીએ કે અચળ કદે શોષાયેલી ઉષ્મા આંતરિક ઊર્જાનો ફેરફાર છે. એટલે કે  $\Delta U = q_v$  પરંતુ મોટા ભાગની રાસાયણિક પ્રક્રિયા અચળ કદે કરવામાં આવતી નથી. પરંતુ ફ્લાસ્ક (ચંબુ) અથવા કસનળીમાં અચળ વાતાવરણ દબાણે કરવામાં આવે છે. આ પરિસ્થિતિમાં યોગ્ય હોય તેવું બીજું અવસ્થા વિધેય વ્યાખ્યાયિત કરવાની આપણને જરૂર પડશે.

આપણે સમીકરણ(6.1)ને અચળ દબાણે  $\Delta U = q_p - p\Delta V$  તરીકે લખી શકીએ, જ્યાં  $q_p$  પ્રણાલીએ શોષેલી ઉષ્મા છે અને  $p\Delta V$  પ્રણાલી દ્વારા કરાયેલ વિસ્તરણ કાર્ય છે. આપણે પ્રારંભિક અવસ્થાને પાદાંક 1 અને અંતિમ અવસ્થાને પાદાંક 2 વડે દર્શાવીએ. આપણે ઉપરોક્ત સમીકરણ ફરીવાર નીચે પ્રમાણે લખી શકીએ.

$$U_2 - U_1 = q_p - p(V_2 - V_1)$$

પુનઃગોઠવણી કરતાં આપણને મળશે,

$$q_p = (U_2 + pV_2) - (U_1 + pV_1) \quad (6.6)$$

હવે આપણે નવું ઉષ્માગતિય વિધેય વ્યાખ્યાયિત કરી શકીએ. જેને એન્થાલ્પી H (ગ્રીક શબ્દ enthalpien - એટલે ગરમ કરવું અથવા ઉષ્મા સમાવિષ્ટ વસ્તુ (content)) તરીકે ગણી શકાય.

$$H = U + pV \quad (6.7)$$

આથી સમીકરણ (6.6)  $q_p = H_2 - H_1 = \Delta H$  થશે.  $q$  પથ આધારિત વિધેય છે, પરંતુ H અવસ્થા વિધેય છે. કારણ કે તે U, p અને V ત્રણેય સાથે સંકળાયેલ છે જે અવસ્થા વિધેય છે. આથી  $\Delta H$  પથથી સ્વતંત્ર છે. તેથી  $q_p$  પણ પથથી સ્વતંત્ર છે.

અચળ દબાણે નિશ્ચિત ફેરફાર માટે સમીકરણ 6.7ને લખી શકીએ કે  $\Delta H = \Delta U + \Delta(pV)$ , p અચળ હોઈ આપણે લખી શકીએ કે,

$$\Delta H = \Delta U + p\Delta V \quad (6.8)$$

એ નોંધવું અગત્યનું છે કે જ્યારે અચળ દબાણે પ્રણાલી ઉષ્માનું શોષણ કરે છે ત્યારે ખરેખર આપણે એન્થાલ્પી ફેરફાર જ માપીએ છીએ.

યાદ રાખો  $\Delta H = q_p$  અચળ દબાણે પ્રણાલી વડે શોષાયેલી ઉષ્મા છે.

ઉષ્માક્ષેપક પ્રક્રિયાઓ જેમાં પ્રક્રિયા દરમિયાન ઉષ્મા ઉદ્ભવે છે તેને માટે  $\Delta H$  ઋણ હોય છે અને ઉષ્માશોષક

પ્રક્રિયાઓ જેમાં ઉષ્મા વાતાવરણમાંથી શોષાય છે ત્યારે  $\Delta H$  ધન હોય છે.

અચળ કદે ( $\Delta V = 0$ )  $\Delta U = q_v$  આથી સમીકરણ 6.8 થશે.  $\Delta H = \Delta U = q_v$ .

ઘન અને/અથવા પ્રવાહી ધરાવતી પ્રણાલી માટે  $\Delta H$  અને  $\Delta U$  વચ્ચે તફાવત સાર્થક હોતો નથી. ઘન અને પ્રવાહી ગરમ કરતાં કદમાં સાર્થક ફેરફાર દર્શાવતા નથી, પરંતુ જ્યારે પ્રણાલી વાયુમય હોય ત્યારે આ તફાવત સાર્થક હોય છે. આપણે વાયુઓ ધરાવતી એક પ્રણાલી લઈએ. જો  $V_A$  બધા જ વાયુમય પ્રક્રિયકોનું કુલ કદ હોય અને  $V_B$  વાયુમય નીપજોનું કુલ કદ હોય,  $n_A$  વાયુમય પ્રક્રિયકોની કુલ મોલ સંખ્યા હોય અને  $n_B$  વાયુમય નીપજોની કુલ મોલ સંખ્યા હોય, આ બધા જ અચળ તાપમાને અને દબાણે હોય તો આદર્શ વાયુ નિયમનો ઉપયોગ કરી લખી શકીએ.

$$pV_A = n_A RT$$

અને  $pV_B = n_B RT$

હવે,  $pV_B - pV_A = n_B RT - n_A RT = (n_B - n_A)RT$

અથવા  $p(V_B - V_A) = (n_B - n_A)RT$

અથવા  $p\Delta V = \Delta n_g RT \quad (6.9)$

અહીંયા  $\Delta n_g$  વાયુમય નીપજોનો કુલ મોલની સંખ્યા અને વાયુમય પ્રક્રિયકોના કુલ મોલની સંખ્યાનો તફાવત દર્શાવે છે.

સમીકરણ 6.9માં મળેલ  $p\Delta V$ નું મૂલ્ય સમીકરણ 6.8માં મૂકીએ તો આપણને મળશે,

$$\Delta H = \Delta U + \Delta n_g RT \quad (6.10)$$

સમીકરણ 6.10માં  $\Delta U$  માંથી  $\Delta H$  ગણવામાં અથવા  $\Delta H$ માંથી  $\Delta U$  ગણવામાં ઉપયોગી છે.

### કોયડો 6.5

પાણીની બાષ્પ સંપૂર્ણ વાયુ છે તેમ ધારીએ. 1 mol પાણીનો 1 bar દબાણ અને 100 °C તાપમાને મોલર એન્થાલ્પી ફેરફાર 41 kJ mol<sup>-1</sup> છે. આંતરિક ઊર્જા ફેરફાર ગણો. જ્યારે,

(i) 1 mol પાણીને 1 bar દબાણે 100 °C તાપમાને બાષ્પમાં ફેરવવામાં આવે.

(ii) 1 mol પાણીને બરફમાં પરિવર્તિત કરવામાં આવે.

ઉકેલ :

(i) ફેરફાર  $H_2O(l) \rightarrow H_2O(g)$

$$\Delta H = \Delta U + \Delta n_g RT$$

અથવા  $\Delta U = \Delta H - \Delta n_g RT$ , કિંમતો મૂકતાં આપણને મળશે.

$$\begin{aligned} \Delta U &= 41.00 \text{ kJ mol}^{-1} \\ &\quad - 1 \times 8.3 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \times 373 \text{ K} \\ &= 41.00 \text{ kJ mol}^{-1} - 3.096 \text{ kJ mol}^{-1} \\ &= 37.904 \text{ kJ mol}^{-1} \end{aligned}$$

(ii) ફેરફાર  $H_2O(l) \rightarrow H_2O(s)$

કદમાં નગણ્ય (negligible) ફેરફાર છે.

તેથી આપણે  $p\Delta V = \Delta n_g RT = 0$  આ કિસ્સામાં મૂકી શકીએ.

$$\Delta H \cong \Delta U$$

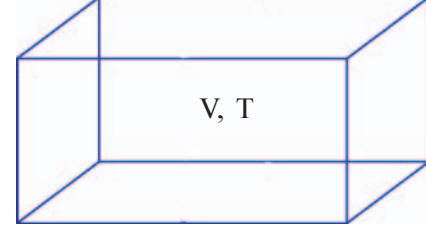
તેથી,  $\Delta U = 41.00 \text{ kJ mol}^{-1}$

### (b) માત્રાત્મક અને વિશિષ્ટ ગુણધર્મો :

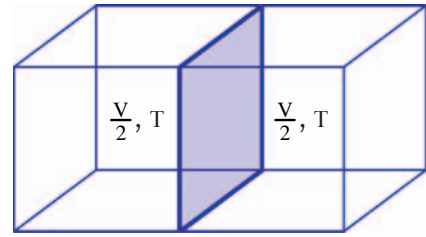
ઉષ્માગતિશાસ્ત્રમાં માત્રાત્મક અને વિશિષ્ટ ગુણધર્મો વચ્ચે ભેદ કરવામાં આવે છે. માત્રાત્મક ગુણધર્મ એ એવો ગુણધર્મ છે જેનું મૂલ્ય પ્રણાલીમાં રહેલા દ્રવ્યનો જથ્થો અથવા કદ અથવા પરિમાપ (size) પર આધાર રાખે છે. ઉદાહરણ તરીકે દળ, કદ, આંતરિક ઊર્જા, એન્ટાલ્પી, ઉષ્માધારિતા વગેરે માત્રાત્મક ગુણધર્મો છે.

એવા ગુણધર્મો જે હાજર દ્રવ્યના જથ્થા અથવા કદ અથવા પરિમાપ પર આધાર રાખતાં નથી. તેમને વિશિષ્ટાત્મક ગુણધર્મો કહે છે. ઉદાહરણ તરીકે તાપમાન, ઘનતા, દબાણ વગેરે વિશિષ્ટ ગુણધર્મો છે. મોલર ગુણધર્મ  $\chi_m$ નું મૂલ્ય 1 mol પદાર્થ ધરાવતી પ્રણાલીના માત્રાત્મક ગુણધર્મ  $\chi$ નું મૂલ્ય છે. જો  $n$  દ્રવ્યનો જથ્થો (amount) હોય તો  $\chi_m = \frac{\chi}{n}$  જે દ્રવ્યના જથ્થાથી સ્વતંત્ર છે. બીજા ઉદાહરણોમાં મોલર કદ  $V_m$  અને મોલર ઉષ્માધારિતા  $C_m$  છે. આપણે માત્રાત્મક અને વિશિષ્ટ ગુણધર્મો વચ્ચેનો ભેદ સમજાવે.  $V$  કદ ધરાવતા પાત્રમાં વાયુને  $T$  તાપમાને લઈએ (આકૃતિ 6.6(a)). આપણે એક વિભાજન (partition) કરીએ જેથી કદ બન્નેમાં અડધું થાય (આકૃતિ 6.6(b)). હવે દરેક ભાગને કુલ કદથી અડધું

કદ  $\frac{V}{2}$  હશે, પરંતુ તાપમાન તો સમાન જ રહેશે જે  $T$  છે. આથી સ્પષ્ટ થાય છે કે કદ માત્રાત્મક ગુણધર્મ છે જ્યારે તાપમાન વિશિષ્ટ ગુણધર્મ છે.



આકૃતિ 6.6(a) વાયુ  $V$  કદે અને  $T$  તાપમાને



આકૃતિ 6.6(b) વિભાજન, દરેક વિભાગ વાયુના અડધા કદ સાથે

### (c) ઉષ્માધારિતા :

આ ઉપવિભાગમાં આપણે પ્રણાલીને ઉષ્મા કઈ રીતે હેરફેર કરવામાં આવી તેના માપન વિશે જાણીએ. જો ઉષ્માનું શોષણ થયું હોય તો ઉષ્મા પ્રણાલીના તાપમાનમાં વધારા તરીકે જણાશે.

તાપમાનનો વધારો હેરફેર થયેલી ઉષ્માને સમપ્રમાણ છે.

$$q = \text{ગુણાંક} \times \Delta T$$

ગુણાંક  $q$ ની માત્રા પ્રણાલીના પરિમાપ, સંઘટન અને સ્વભાવ (પ્રકૃતિ) પર આધાર રાખશે. આપણે લખી શકીએ કે,  $q = C\Delta T$ .

ગુણાંક  $C$ ને ઉષ્માધારિતા કહે છે.

જો આપણે ઉષ્માધારિતા જાણતા હોઈએ, તો તાપમાનના વધારાના માપન પરથી પૂરી પાડવામાં આવેલી (supplied) ઉષ્મા માપી શકીએ.

જો ઉષ્માધારિતા  $C$  ઘણી મોટી હોય તો ઉષ્માનો જથ્થો ઘણા નાના તાપમાનમાંના વધારામાં પરિણમે છે. પાણીને ઊંચી ઉષ્માધારિતા છે એટલે તેનું તાપમાન વધારવા માટે ઘણી વધારે ઊર્જા જોઈશે.

$C$  પદાર્થના જથ્થાને સમપ્રમાણ હોય છે. પદાર્થની મોલર ઉષ્માધારિતા  $C_m = \left(\frac{C}{n}\right)$  છે, જે પદાર્થના એક મોલ માટે છે અને તે એક મોલ પદાર્થનું એક અંશ સેલ્સિયસ

(અથવા એક કેલ્વિન) તાપમાન વધારવા માટે જરૂરી ઊર્જા છે. વિશિષ્ટ ઉષ્મા જેને વિશિષ્ટ ઉષ્માધારિતા પણ કહેવાય છે તે એક પદાર્થના એકમ દળનું તાપમાન એક અંશ સેલ્સિયસ (અથવા એક કેલ્વિન) વધારવા માટે જરૂરી ઊર્જા છે. નમૂનાની ઉષ્મા  $q$  શોષવા માટે એક અંશ તાપમાનના વધારા માટે જરૂરી ઉષ્માને દ્રવ્યના દળ અને વિશિષ્ટ ઉષ્માનો ગુણાકાર કરીએ છીએ. એટલે કે દળ  $m$  અને તાપમાન ફેરફાર  $\Delta T$ . તેથી,

$$q = c \times m \times \Delta T = C\Delta T \quad (6.11)$$

#### (d) આદર્શ વાયુ માટે $C_p$ અને $C_v$ વચ્ચે સંબંધ :

અચળ કદે ઉષ્માધારિતા  $C$  ને  $C_v$  તરીકે અને અચળ દબાણે ઉષ્માધારિતા  $C$  ને  $C_p$  તરીકે દર્શાવાય છે. આ બન્ને વચ્ચેનો સંબંધ નક્કી કરીએ. આપણે ઉષ્મા  $q$  માટે સમીકરણ લખી શકીએ.

$$\text{અચળ કદે } q_v = C_v \Delta T = \Delta U$$

$$\text{અચળ દબાણે } q_p = C_p \Delta T = \Delta H$$

આદર્શ વાયુ માટે  $C_p$  અને  $C_v$  વચ્ચેનો તફાવત મેળવી શકીએ.

$$\begin{aligned} \text{એક મોલ આદર્શ વાયુ માટે } \Delta H &= \Delta U + \Delta(pV) \\ &= \Delta U + \Delta(RT) \\ &= \Delta U + R\Delta T \end{aligned}$$

$$\therefore \Delta H = \Delta U + R\Delta T \quad (6.12)$$

$\Delta H$  અને  $\Delta U$  ના મૂલ્યો મૂકતાં આપણને મળશે.

$$C_p \Delta T = C_v \Delta T + R\Delta T$$

$$C_p = C_v + R$$

$$C_p - C_v = R \quad (6.13)$$

### 6.3 $\Delta U$ અને $\Delta H$ નું માપન (કેલરીમિતી) (Measurement of $\Delta U$ and $\Delta H$ (Calorimetry))

આપણે રાસાયણિક કે ભૌતિક પ્રક્રમ સાથે સંકળાયેલ ઊર્જાના ફેરફારો પ્રાયોગિક તકનીકથી માપી શકીએ જેને કેલરીમિતી કહે છે. કેલરીમિતીમાં પ્રક્રમને કેલરીમીટર તરીકે ઓળખાતા પાત્રમાં કરવામાં આવે છે. તેને જાણીતા કદના

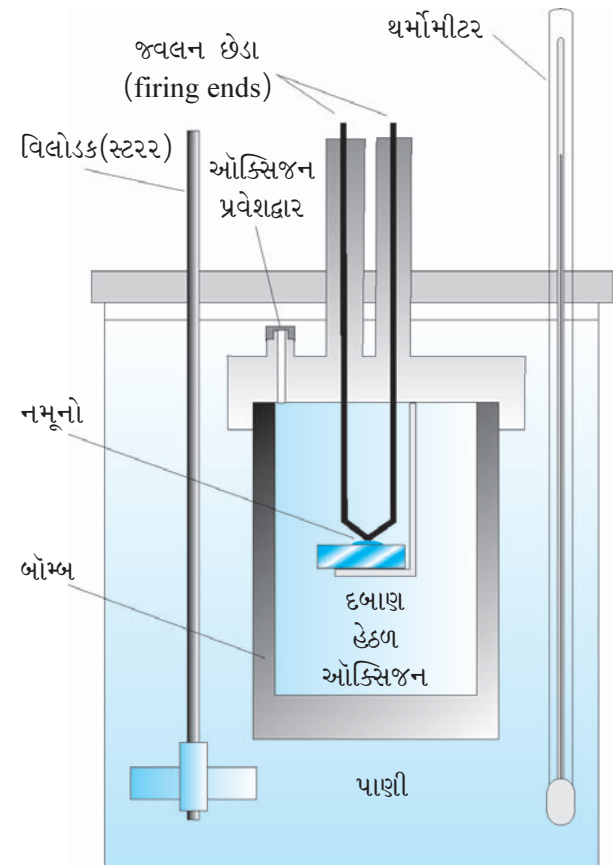
પ્રવાહીમાં રાખવામાં આવે છે. જે પ્રવાહીમાં કેલરીમીટર ડુબાડવામાં આવેલ છે, તેની ઉષ્માધારિતા અને કેલરીમીટરની ઉષ્માધારિતા જાણતા હોઈએ તો તાપમાનના ફેરફારના માપન પરથી પ્રક્રમમાં ઉદ્ભવેલી ઉષ્મા નક્કી કરી શકીએ છીએ. માપન નીચે દર્શાવેલ બે પરિસ્થિતિમાં કરી શકાય.

(i) અચળ કદે,  $q_v$

(ii) અચળ દબાણે,  $q_p$

#### (a) $\Delta U$ માપન :

રાસાયણિક પ્રક્રિયા માટે, અચળ કદે શોષાયેલી ઉષ્માને બોમ્બ કેલરીમીટર(આકૃતિ 6.7)માં નક્કી કરવામાં આવે છે. અહીંયા એક સ્ટીલનું પાત્ર (બોમ્બ)ને જલઉષ્મક (water bath)માં એવી રીતે મૂકવામાં આવે છે કે પર્યાવરણમાં કોઈ ઉષ્માનો વ્યય થતો નથી. દહનશીલ પદાર્થનું શુદ્ધ ડાયઑક્સિજન પૂરો પાડીને સ્ટીલ બોમ્બમાં દહન કરવામાં આવે છે. પ્રક્રિયા દરમિયાન ઉદ્ભવેલી ઉષ્મા બોમ્બની આજુબાજુના પાણીમાં હેરફેર પામે છે અને તેના તાપમાનનું નિયંત્રણ (monitoring) કરવામાં આવે છે. બોમ્બ કેલરીમીટર સીલ (seal) કરેલું હોવાથી તેનું કદ બદલાતું નથી. તેથી ઉષ્માનો ફેરફાર અચળ



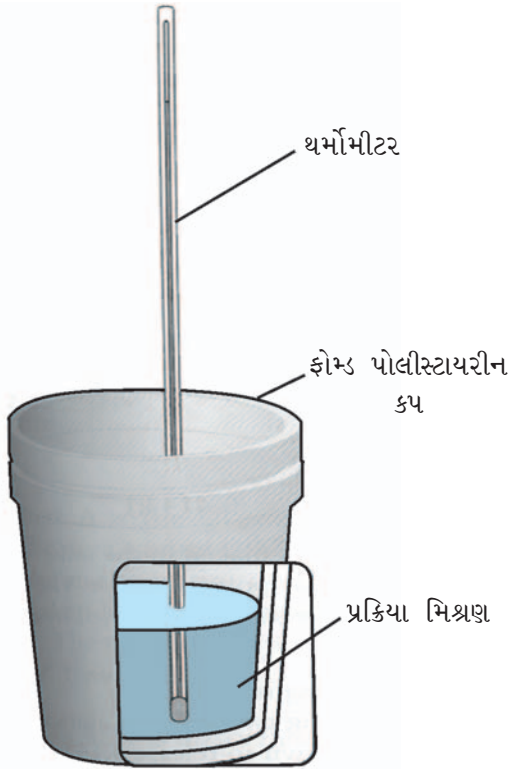
આકૃતિ 6.7 બોમ્બ કેલરીમીટર

કદે સંકળાયેલો ફેરફાર જ હોય છે. આ પરિસ્થિતિમાં કાર્ય થતું નથી. કારણ કે પ્રક્રિયા બોમ્બ કેલરીમીટરમાં અચળ કદે કરવામાં આવેલ છે. વાયુમય પ્રક્રિયાઓ માટે પણ કોઈ કાર્ય થતું નથી. કારણ કે  $\Delta V = 0$  છે. પ્રક્રિયા પૂર્ણ થયા બાદ કેલરીમીટરના તાપમાનના ફેરફારના અવલોકનોને  $q_v$  ના મૂલ્યમાં કેલરીમીટરના ઉષ્માધારિતા મૂલ્યનો ઉપયોગ કરી (સમીકરણ 6.11 વડે) માપી શકાય છે.

### (b) $\Delta H$ માપન :

અચળ દબાણે ઉષ્મા ફેરફારના માપન (સામાન્ય રીતે વાતાવરણ દબાણે) આકૃતિ 6.8માં દર્શાવ્યા પ્રમાણેના કેલરીમીટરની મદદથી કરી શકાય છે. આપણે જાણીએ છીએ કે  $\Delta H = q_p$  (અચળ  $p$  એ) અને તેટલા માટે અચળ દબાણે શોષાયેલી અથવા ઉદ્ભવેલી ઉષ્મા  $q_p$ ને પ્રક્રિયાની ઉષ્મા અથવા પ્રક્રિયાની એન્થાલ્પી  $\Delta_r H$  કહે છે.

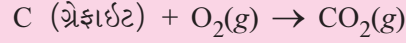
ઉષ્માક્ષેપક પ્રક્રિયામાં ઉષ્મા ઉદ્ભવે છે અને પ્રણાલી ઉષ્મા ગુમાવે છે અને પર્યાવરણને આપે છે. આથી  $q_p$  ઋણ થશે અને  $\Delta_r H$  પણ ઋણ થશે. તે જ પ્રમાણે ઉષ્માશોષક પ્રક્રિયા માટે શોષાયેલી ઉષ્મા  $q_p$  ધન થશે અને  $\Delta_r H$  પણ ધન થશે.



આકૃતિ 6.8 અચળ દબાણે (વાતાવરણ દબાણ) ઉષ્મા ફેરફાર માપવાનું કેલરીમીટર

### કોયડો 6.6

1 g ગ્રેફાઈટને 298 K તાપમાને અને 1 વાતાવરણ દબાણે નીચેની પ્રક્રિયા પ્રમાણે બોમ્બ કેલરીમીટરમાં વધુ પ્રમાણમાં ઓક્સિજનની હાજરીમાં બાળવામાં આવ્યો.



પ્રક્રિયા દરમિયાન તાપમાન 298 Kથી વધી 299 K થાય છે. બોમ્બ કેલરીમીટરની ઉષ્માધારિતા જો 20.7 kJ/K હોય તો 298 K તાપમાન અને 1 atm દબાણે ઉપરની પ્રક્રિયાની એન્થાલ્પી કેટલી થશે ?

ઉકેલ :

ધારો કે  $q$  પ્રક્રિયા મિશ્રણમાંની ઉષ્માનો જથ્થો છે અને  $C_p$  કેલરીમીટરની ઉષ્માધારિતા છે, તો કેલરીમીટર વડે શોષાયેલી ઉષ્માનો જથ્થો થશે.

$$q = C_p \times \Delta T$$

પ્રક્રિયામાંની ઉષ્મા જથ્થાની માત્રા સરખી રહેશે, પરંતુ વિરુદ્ધ સંજ્ઞાવાળી થશે, કારણ કે પ્રણાલી એ (પ્રક્રિયા મિશ્રણ) ઉષ્મા ગુમાવેલ છે અને તેટલી જ ઉષ્મા કેલરીમીટર વડે મેળવાયેલ છે.

$$q = -C_p \times \Delta T = -20.7 \text{ kJ/K} \times (299 - 298) \text{ K} \\ = -20.7 \text{ kJ}$$

અહીંયા ઋણ સંજ્ઞા સૂચવે છે કે પ્રક્રિયા ઉષ્માક્ષેપક પ્રકારની છે. આથી 1 g ગ્રેફાઈટના દહન માટે થશે.

1 mol ગ્રેફાઈટના દહન માટે,

$$= \frac{12.0 \text{ g mol}^{-1} \times (-20.7 \text{ kJ})}{1 \text{ g}}$$

$$= -2.48 \times 10^2 \text{ kJ mol}^{-1} \text{ (કારણ કે } \Delta n_g = 0 \text{)}$$

$$\therefore \Delta H = \Delta U = -2.48 \times 10^2 \text{ kJ mol}^{-1}$$

## 6.4 એન્થાલ્પી ફેરફાર, પ્રક્રિયાની $\Delta_r H$ – પ્રક્રિયા એન્થાલ્પી (Enthalpy Change, $\Delta_r H$ of Reaction Enthalpy)

રાસાયણિક પ્રક્રિયામાં પ્રક્રિયકો નીપજમાં પરિવર્તન પામે છે અને તેને પ્રક્રિયકો  $\rightarrow$  નીપજો તરીકે દર્શાવાય છે.

પ્રક્રિયા સાથે સંકળાયેલ એન્થાલ્પી ફેરફારને પ્રક્રિયા એન્થાલ્પી કહે છે. રાસાયણિક પ્રક્રિયા માટે એન્થાલ્પી ફેરફાર  $\Delta_r H$  સંજ્ઞા વડે દર્શાવાય છે.

$$\begin{aligned}\Delta_r H &= (\text{નીપજોની એન્થાલ્પીનો સરવાળો}) - \\ & \quad (\text{પ્રક્રિયકોની એન્થાલ્પીનો સરવાળો}) \\ &= \sum_i a_i H_{\text{નીપજો}} - \sum_i b_i H_{\text{પ્રક્રિયકો}} \quad (6.14)\end{aligned}$$

(અહીંયા સંજ્ઞા  $\Sigma$  (સિગ્મા) સરવાળા માટે વપરાયેલ છે.  $a_i$  અને  $b_i$  અનુક્રમે નીપજો અને પ્રક્રિયકોના સંતુલિત રાસાયણિક પ્રક્રિયામાં તત્વયોગમિતિય ગુણાંક છે. ઉદાહરણ તરીકે નીચેની પ્રક્રિયા માટે



$$\begin{aligned}\Delta_r H &= \sum_i a_i H_{\text{નીપજો}} - \sum_i b_i H_{\text{પ્રક્રિયકો}} \\ &= [H_m(\text{CO}_2, \text{g}) + 2H_m(\text{H}_2\text{O}, \text{l})] - \\ & \quad [H_m(\text{CH}_4, \text{g}) + 2H_m(\text{O}_2, \text{g})]\end{aligned}$$

જ્યાં,  $H_m$  મોલર એન્થાલ્પી છે.

એન્થાલ્પી ફેરફાર એક અગત્યની રાશિ છે. ઔદ્યોગિક રાસાયણિક પ્રક્રિયાનું અચળ તાપમાન જાળવી રાખવાની જરૂર પડે ત્યારે આ રાશિનું જ્ઞાન જરૂરી બને છે. જેથી ગરમી આપવી કે ઠંડું પાડવું તેનું આયોજન કરી શકાય છે. તાપમાન પર આધારિત સંતુલન અચળાંક ગણવા માટે પણ તેની જરૂર પડે છે.

### (a) પ્રક્રિયાની પ્રમાણિત એન્થાલ્પી :

પ્રક્રિયાની એન્થાલ્પી પ્રક્રિયા કઈ પરિસ્થિતિમાં કરવામાં આવી છે તેના પર આધારિત છે. આથી આપણે કોઈ પ્રમાણિત પરિસ્થિતિ દર્શાવવી જોઈએ. પ્રક્રિયાની પ્રમાણિત એન્થાલ્પી જ્યારે પ્રક્રિયામાં ભાગ લેતા બધા જ પદાર્થો તેમની પ્રમાણિત અવસ્થામાં હોય ત્યારે મળતો એન્થાલ્પી ફેરફાર છે.

પદાર્થની પ્રમાણિત અવસ્થા નિશ્ચિત તાપમાને અને 1 bar દબાણે તેનું શુદ્ધ સ્વરૂપ છે. ઉદાહરણ તરીકે પ્રવાહી ઈથેનોલની પ્રમાણિત અવસ્થા 298 K તાપમાને અને 1 bar દબાણે શુદ્ધ પ્રવાહી ઈથેનોલ છે. ઘન આયર્નની પ્રમાણિત અવસ્થા 500 K તાપમાને 1 bar દબાણે શુદ્ધ આયર્ન છે. સામાન્ય રીતે માહિતી 298 K તાપમાને લેવામાં આવે છે.

પ્રમાણિત અવસ્થાઓ સંજ્ઞા  $\Delta H$ ના મૂર્ધાંક (superscript) તરીકે  $\ominus$  વડે દર્શાવાય છે. દા.ત.,  $\Delta H^\ominus$

### (b) કલા રૂપાંતરણ (પરિવર્તન) દરમિયાન એન્થાલ્પી ફેરફાર (Enthalpy Changes During Phase Transformation)

કલા રૂપાંતરણ ઉષ્મા ફેરફારને સમાવિષ્ટ કરે છે. ઉદાહરણ તરીકે બરફને પીગળવા માટે ઉષ્મા જોઈએ છીએ. સામાન્ય

રીતે આ ગલન અચળ દબાણે (વાતાવરણ દબાણે) અને કલા પરિવર્તન દરમિયાન તાપમાન અચળ (273 K) રહે છે.



અહીંયા  $\Delta_{\text{fus}} H^\ominus$  પ્રમાણિત અવસ્થામાં ગલન એન્થાલ્પી છે. જો પાણી ઠરે તો પ્રક્રમ ઉલટો થાય છે અને તે સમયે ઉષ્માનું સમાન પ્રમાણ પર્યાવરણને આપી દે છે.

એક મોલ ઘન પદાર્થને તેની પ્રમાણિત અવસ્થામાંથી ગલન થતાં તેની સાથે સંકળાયેલ એન્થાલ્પી ફેરફારને પ્રમાણિત ગલન એન્થાલ્પી અથવા ગલનની મોલર એન્થાલ્પી  $\Delta_{\text{fus}} H^\ominus$  કહેવામાં આવે છે.

ઘનનું ઓગળવું ઉષ્માશોષક છે તેથી ગલન એન્થાલ્પી ઘન હોય છે. પાણીને બાષ્પીભવન માટે ઉષ્માની જરૂર પડે છે. તેના ઉત્કલનબિંદુના અચળ તાપમાને  $T_b$  અને અચળ દબાણે



$\Delta_{\text{vap}} H^\ominus$  બાષ્પનની પ્રમાણિત એન્થાલ્પી છે.

એક મોલ પ્રવાહીને અચળ તાપમાને અને અચળ દબાણ હેઠળ (1 bar) બાષ્પાયન કરવા માટે જરૂરી ઉષ્માને પ્રમાણિત બાષ્પન એન્થાલ્પી અથવા મોલર બાષ્પન એન્થાલ્પી  $\Delta_{\text{vap}} H^\ominus$  કહેવામાં આવે છે.

ઉર્ધ્વપાતનમાં ઘન પદાર્થ સીધો જ બાષ્પ સ્વરૂપમાં ફેરવાય છે. ઘન  $\text{CO}_2$  અથવા સૂકો બરફ 195 K તાપમાને ઉર્ધ્વપાતન પામે છે અને  $\Delta_{\text{sub}} H^\ominus = 25.2 \text{ kJ mol}^{-1}$  છે. નેપ્થેલીન ધીમેથી ઉર્ધ્વપાતન પામે છે અને આને માટે  $\Delta_{\text{sub}} H^\ominus = 73.0 \text{ kJ mol}^{-1}$  છે.

પ્રમાણિત ઉર્ધ્વપાતન એન્થાલ્પી  $\Delta_{\text{sub}} H^\ominus$  જ્યારે એક મોલ ઘન પદાર્થ અચળ તાપમાને અને પ્રમાણિત દબાણ હેઠળ (1 bar) ઉર્ધ્વપાતન થાય તે દરમિયાનનો એન્થાલ્પી ફેરફાર છે.

એન્થાલ્પી ફેરફારની માત્રા પદાર્થમાંના આંતરઆણ્વીય પારસ્પરિક ક્રિયાઓની પ્રબળતા, જે કલા પરિવર્તન પામે છે તેના પર આધાર રાખે છે. ઉદાહરણ તરીકે પાણીની પ્રવાહી સ્થિતિમાં પ્રબળ હાઈડ્રોજન બંધ પાણીને પ્રવાહી અવસ્થામાં જકડીને રાખે છે. એસીટોન જેવા કાર્બનિક પ્રવાહી માટે દ્વિધ્રુવ-દ્વિધ્રુવ પારસ્પરિક ક્રિયાઓ સૂચક રીતે નબળી હોય છે. આથી



## કોષ્ટક 6.1 ગલન અને બાષ્પનના પ્રમાણિત એન્થાલ્પી ફેરફારો

પદાર્થ	$T_f/K$	$\Delta_{fus}H^\ominus / (kJ mol^{-1})$	$T_b/K$	$\Delta_{vap}H^\ominus / (kJ mol^{-1})$
N <sub>2</sub>	63.15	0.72	77.35	5.59
NH <sub>3</sub>	195.40	5.65	239.73	23.35
HCl	159.0	1.992	188.0	16.15
CO	68.0	6.836	82.0	6.04
CH <sub>3</sub> COCH <sub>3</sub>	177.8	5.72	329.4	29.1
CCl <sub>4</sub>	250.16	2.5	349.69	30.0
H <sub>2</sub> O	273.15	6.01	373.15	40.79
NaCl	1081.0	28.8	1665.0	170.0
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	278.65	9.83	353.25	30.8

( $T_f$  અને  $T_b$  અનુક્રમે ગલનબિંદુ અને ઉત્કલનબિંદુ છે.)

1 મોલ પાણીની બાષ્પ કરતાં 1 મોલ એસિટોનની બાષ્પ કરવા માટે ઓછી ઉષ્માની જરૂર પડે છે. કોષ્ટક 6.1માં કેટલાક પદાર્થોની પ્રમાણિત ગલન એન્થાલ્પી અને પ્રમાણિત બાષ્પન એન્થાલ્પી આપેલ છે.

## કોયડો 6.7

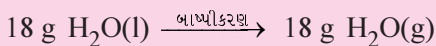
એક તરવૈયો પુલમાંથી બહાર આવે છે ત્યારે તેનું શરીર પાણીની ફિલ્મ(film)થી ઢંકાયેલ છે જેનું વજન 18 g છે. 298 K તાપમાને આ પાણીનું બાષ્પીભવન કરવા માટે કેટલી ઉષ્મા જોઈશે ? 100 °C તાપમાને બાષ્પીભવનની આંતરિક ઊર્જા ગણો.

પાણી માટે  $\Delta_{vap}H^\ominus$

$$373 \text{ K તાપમાને} = 40.66 \text{ kJ mol}^{-1}$$

ઉકેલ :

આપણે બાષ્પીકરણના પ્રક્રમને નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકીએ.



18 ગ્રામ પાણી બરાબર મોલની સંખ્યા

$$= \frac{18 \text{ g}}{18 \text{ g mol}^{-1}}$$

$$= 1 \text{ mol}$$

$$\Delta_{vap}U = \Delta_{vap}H^\ominus - p\Delta V = \Delta_{vap}H^\ominus - \Delta n_g RT$$

(વરાળ આદર્શ વાયુ તરીકે વર્તે છે તેમ ધારીએ.)

$$\Delta_{vap}H^\ominus - \Delta n_g RT = 40.66 \text{ kJ mol}^{-1}$$

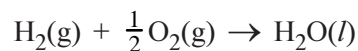
$$- (1)(8.314 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1})(373 \text{ K})(10^{-3} \text{ kJ J}^{-1})$$

$$\Delta_{vap}H^\ominus = 40.66 \text{ kJ mol}^{-1} - 3.10 \text{ kJ mol}^{-1}$$

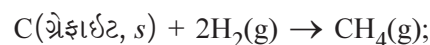
$$= 37.56 \text{ kJ mol}^{-1}$$

## (c) પ્રમાણિત સર્જન એન્થાલ્પી

એક મોલ પદાર્થની તેના તત્ત્વો જે તેમની સ્થાયી અવસ્થામાં છે (જેને સંદર્ભ અવસ્થા તરીકે ઓળખવામાં આવે છે) તેમાંથી રચાય છે ત્યારે થતો એન્થાલ્પી ફેરફાર પ્રમાણિત સર્જન મોલર એન્થાલ્પી કહેવાય છે. તેની સંજ્ઞા  $\Delta_f H^\ominus$  છે, જ્યાં પાદાંક  $f$  દર્શાવે છે કે પદાર્થ તેની પ્રમાણિત અવસ્થામાં તેના તત્ત્વો જે પણ પ્રમાણિત અવસ્થામાં છે તેના જોડાવાથી સર્જન પામેલ છે. સંદર્ભ અવસ્થામાં તત્ત્વોના તેમની સૌથી વધુ સ્થાયી અવસ્થામાં 25 °C તાપમાન અને 1 bar દબાણે છે. ઉદાહરણ તરીકે ડાયહાઇડ્રોજન માટે સંદર્ભ અવસ્થા H<sub>2</sub> વાયુ છે અને ડાયઑક્સિજન, કાર્બન અને સલ્ફર માટે અનુક્રમે O<sub>2</sub> વાયુ, C<sub>ગ્રેફાઇટ</sub> અને S<sub>રૂહોમ્બિક</sub> છે. કેટલીક પ્રક્રિયાઓ તેમની પ્રમાણિત મોલર સર્જન એન્થાલ્પી સાથે નીચે આપેલ છે :



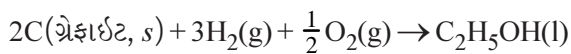
$$\Delta_f H^\ominus = -285.8 \text{ kJ mol}^{-1}$$



$$\Delta_f H^\ominus = -74.81 \text{ kJ mol}^{-1}$$

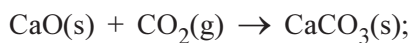
કોષ્ટક 6.2 કેટલાક પસંદ કરેલા પદાર્થોની 298 K તાપમાને પ્રમાણિત મોલર સર્જન એન્થાલ્પી ( $\Delta_f H^\ominus$ )

પદાર્થ	$\Delta_f H^\ominus / (\text{kJ mol}^{-1})$	પદાર્થ	$\Delta_f H^\ominus / (\text{kJ mol}^{-1})$
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	-1675.7	HI(g)	+26.48
BaCO <sub>3</sub> (s)	-1216.3	KCl(s)	-436.75
Br <sub>2</sub> (l)	0	KBr(s)	-393.8
Br <sub>2</sub> (g)	+30.91	MgO(s)	-601.70
CaCO <sub>3</sub> (s)	-1206.92	Mg(OH) <sub>2</sub> (s)	-924.54
C (હીરો)	+1.89	NaF(s)	-573.65
C (ગ્રેફાઈટ)	0	NaCl(s)	-411.15
CaO(s)	-635.09	NaBr(s)	-361.06
CH <sub>4</sub> (g)	-74.81	NaI(s)	-287.78
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (g)	52.26	NH <sub>3</sub> (g)	-46.11
CH <sub>3</sub> OH(l)	-238.86	NO(g)	+90.25
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH(l)	-277.69	NO <sub>2</sub> (g)	+33.18
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> (l)	+49.0	PCl <sub>3</sub> (l)	-319.70
CO(g)	-110.53	PCl <sub>5</sub> (s)	-443.5
CO <sub>2</sub> (g)	-393.51	SiO <sub>2</sub> (s) (ક્વાર્ટ્ઝ)	-910.94
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (g)	-84.68	SnCl <sub>2</sub> (s)	-325.1
Cl <sub>2</sub> (g)	0	SnCl <sub>4</sub> (l)	-511.3
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> (g)	-103.85	SO <sub>2</sub> (g)	-296.83
n - C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> (g)	-126.15	SO <sub>3</sub> (g)	-395.72
HgS(s) (લાલ)	-58.2	SiH <sub>4</sub> (g)	+34
H <sub>2</sub> (g)	0	SiCl <sub>4</sub> (g)	-657.0
H <sub>2</sub> O(g)	-241.82	C(g)	+716.68
H <sub>2</sub> O(l)	-285.83	H(g)	+217.97
HF(g)	-271.1	Cl(g)	+121.68
HCl(g)	-92.31	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	-824.2
HBr(g)	-36.40		



$$\Delta_f H^\ominus = -277.7 \text{ kJ mol}^{-1}$$

એ સમજવું અગત્યનું છે કે પ્રમાણિત મોલર સર્જન એન્થાલ્પી  $\Delta_f H^\ominus$  એક ખાસ બાબત છે જ્યાં એક મોલ પદાર્થ તેના ઘટક તત્ત્વોમાંથી અને છે જે ઉપરના સમીકરણમાં પાણી, મિથેન અને ઈથેનોલના 1 મોલ બન્યા છે. આની વિરુદ્ધમાં ઉષ્માક્ષેપક પ્રક્રિયા માટે એન્થાલ્પી ફેરફાર,

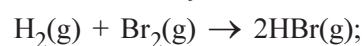


$$\Delta_f H^\ominus = -178.3 \text{ kJ mol}^{-1}$$

કેલ્શિયમ કાર્બોનેટની સર્જન એન્થાલ્પી નથી. કેલ્શિયમ કાર્બોનેટ બીજા સંયોજનોમાંથી બનેલો છે અને તેના ઘટક

તત્ત્વોમાંથી નહિ. વળી, નીચે આપેલી પ્રક્રિયા માટે તે પ્રમાણિત એન્થાલ્પી પણ નથી. HBr માટે  $\Delta_f H^\ominus$  પ્રમાણિત સર્જન ઉષ્મા નથી.

HBr(g) માટે  $\Delta_f H^\ominus$  સર્જન એન્થાલ્પી :



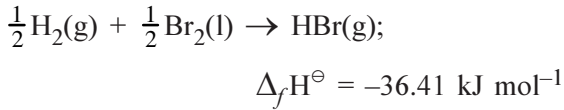
$$\Delta_f H^\ominus = -72.8 \text{ kJ mol}^{-1}$$

અહીંયા એક મોલને બદલે બે મોલ નીપજ તેના તત્ત્વોમાંથી બની છે એટલે કે,

$$\Delta_f H^\ominus = 2\Delta_f H^\ominus$$

આથી સમાન ગુણાંક વડે ભાગવામાં આવે છે. આથી સમતોલિત સમીકરણને 2 વડે ભાગવામાં આવે છે. જેથી,

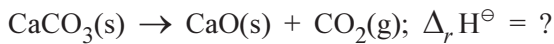
HBr(g)ની સર્જન એન્થાલ્પી આ પ્રમાણે લખી શકાય :



કેટલાક સામાન્ય પદાર્થોની પ્રમાણિત સર્જન એન્થાલ્પી કોષ્ટક 6.2માં આપેલ છે.

પ્રણાલિકા પ્રમાણે કોઈ તત્ત્વની પ્રમાણિત એન્થાલ્પી  $\Delta_f H^\ominus$  સંદર્ભ અવસ્થામાં એટલે કે સૌથી સ્થાયી અવસ્થામાં શૂન્ય લેવામાં આવે છે.

ધારો કે તમે કેમિકલ એન્જિનિયર છો અને જાણવું છે કે કેલ્શિયમ કાર્બોનેટના કેલ્શિયમ ઓક્સાઈડ અને કાર્બન ડાયોક્સાઈડમાં વિઘટન માટે કેટલી ઉષ્માની જરૂર પડશે ? બધા જ પદાર્થો પ્રમાણિત અવસ્થામાં છે.



આપણે અહીંયા પ્રમાણિત સર્જન એન્થાલ્પીનો ઉપયોગ કરીશું અને પ્રક્રિયા માટે એન્થાલ્પી ફેરફાર ગણીશું. નીચેના સામાન્ય સમીકરણનો ઉપયોગ કરીને એન્થાલ્પી ફેરફારની ગણતરી કરી શકીએ.

$$\Delta_r H^\ominus = \sum_i a_i \Delta_f H^\ominus(\text{નીપજ}) - \sum_i b_i \Delta_f H^\ominus(\text{પ્રક્રિયકો})$$

$$(6.15)$$

જ્યાં,  $a$  અને  $b$  સમતોલિત સમીકરણમાં નીપજો અને પ્રક્રિયકોના અનુક્રમે તત્ત્વયોગમિતિય ગુણાંકો છે. ઉપરનું સમીકરણ આપણે કેલ્શિયમ કાર્બોનેટના વિઘટનને લાગુ પાડીએ. અહીંયા ગુણાંકો  $a$  અને  $b$  દરેક 1 છે.

આથી,

$$\Delta_r H^\ominus = \Delta_f H^\ominus[CaO(s)] + \Delta_f H^\ominus[CO_2(g)] - \Delta_f H^\ominus[CaCO_3(s)]$$

$$= 1(-635.1 \text{ kJ mol}^{-1}) + 1(-393.5 \text{ kJ mol}^{-1}) - 1(-1206.9 \text{ kJ mol}^{-1})$$

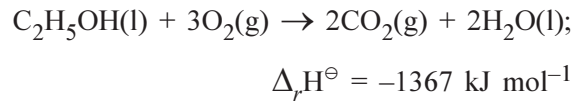
$$= 178.3 \text{ kJ mol}^{-1}$$

આમ,  $CaCO_3(s)$ ના વિઘટનની પ્રક્રિયા ઉષ્માશોષક છે અને તેથી તમારે ઈચ્છિત નીપજ મેળવવા માટે ગરમ કરવું પડશે.

#### (d) ઉષ્માસાયણિક સમીકરણો :

સમતોલિત રાસાયણિક સમીકરણ જેમાં તેના  $\Delta_r H$ ના મૂલ્યનો સમાવેશ થયેલો હોય છે તેને ઉષ્માસાયણિક સમીકરણ કહે છે. આપણે સમીકરણમાં પદાર્થની (અપરરૂપ

અવસ્થા સહિત) ભૌતિક અવસ્થાનો પણ નિર્દેશ કરીએ છીએ. ઉદાહરણ તરીકે,

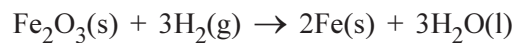


ઉપરનું સમીકરણ પ્રવાહી ઈથેનોલનું અચળ તાપમાન અને દબાણે દહન દર્શાવે છે. એન્થાલ્પી ફેરફારની ઋણ સંજ્ઞા ઉષ્માક્ષેપક પ્રક્રિયા સૂચવે છે.

ઉષ્માસાયણિક સમીકરણો માટે નીચેની પ્રણાલિકાઓ (conventions) જાણવી જરૂરી હોય છે :

1. સમતોલિત ઉષ્માસાયણિક સમીકરણમાં ગુણાંકો પ્રક્રિયામાં સંકળાયેલા પ્રક્રિયકો અને નીપજોના મોલની (અણુઓ નહિ) સંખ્યા સૂચવે છે.
2.  $\Delta_r H^\ominus$ નું સંખ્યાત્મક મૂલ્ય સમીકરણથી નિર્દેશ કરેલા પદાર્થોના મોલની સંખ્યા સૂચવે છે. પ્રમાણિત એન્થાલ્પી ફેરફાર  $\Delta_r H^\ominus$ ના એકમ  $\text{kJ mol}^{-1}$  હોય છે.

આ ખ્યાલને સમજવા માટે આપણે નીચેની પ્રક્રિયાની ઉષ્માની ગણતરી કરીએ :



કોષ્ટક (6.2)માંથી પ્રમાણિત સર્જન એન્થાલ્પી( $\Delta_f H^\ominus$ )ના મૂલ્યો લેતાં, આપણે શોધી શકીશું કે,

$$\Delta_f H^\ominus(H_2O, l) = -285.83 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\Delta_f H^\ominus(Fe_2O_3, s) = -824.2 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\text{વળી, } \Delta_f H^\ominus(Fe, s) = 0 \text{ અને } \Delta_f H^\ominus(H_2, g) = 0$$

પ્રણાલિકા પ્રમાણે.

હવે,

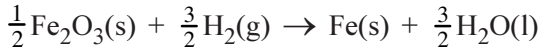
$$\Delta_r H^\ominus = 3(-285.83 \text{ kJ mol}^{-1}) - 1(-824.2 \text{ kJ mol}^{-1})$$

$$= (-857.5 + 824.2) \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$= -33.3 \text{ kJ mol}^{-1}$$

એ નોંધો કે ગુણાંકો જેનો આ ગણતરીમાં ઉપયોગ કર્યો છે તે શુદ્ધ અંકો છે અને તે અનુરૂપ તત્ત્વોયગમિતિય ગુણાંક છે.  $\Delta_r H^\ominus$ નો એકમ  $\text{kJ mol}^{-1}$  છે. જેનો અર્થ છે કે પ્રક્રિયાના પ્રતિ મોલ.

આપણે એકવાર રાસાયણિક સમીકરણને અમુક ચોક્કસ પ્રકારે સમતોલિત કરીએ છીએ ત્યારે તે પ્રક્રિયાના મોલની વ્યાખ્યા આપે છે. જો આપણી પાસે સમતોલિત સમીકરણ બીજી કોઈ રીતે મેળવેલું હોય તો, ઉદાહરણ તરીકે,

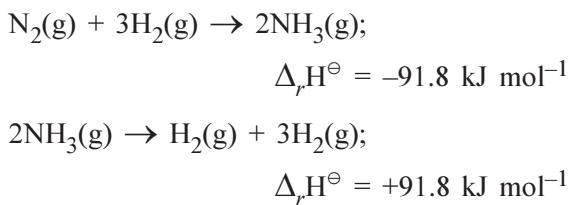


પ્રક્રિયાનો આ જથ્થો પ્રક્રિયાના એક મોલનો હશે અને  $\Delta_r H^\ominus$  થશે.

$$\begin{aligned}\Delta_r H_2^\ominus &= \frac{3}{2}(-285.83 \text{ kJ mol}^{-1}) \\ &\quad - \frac{1}{2}(-824.2 \text{ kJ mol}^{-1}) \\ &= (-428.7 + 412.1) \text{ kJ mol}^{-1} \\ &= -16.6 \text{ kJ mol}^{-1} \\ &= \frac{1}{2}\Delta_r H_1^\ominus\end{aligned}$$

આ દર્શાવે છે કે એન્થાલ્પી માત્રાત્મક ગુણધર્મ છે.

3. જ્યારે રાસાયણિક પ્રક્રિયાને પ્રતિગામી કરીએ ત્યારે  $\Delta_r H^\ominus$ નું મૂલ્ય પણ સંજ્ઞામાં ઉલટું બની જાય છે. ઉદાહરણ તરીકે,



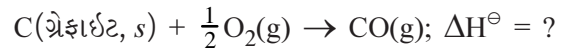
### (e) હેસ(Hess)નો ઉષ્મા સંકલનનો નિયમ :

આપણે જાણીએ છીએ કે એન્થાલ્પી અવસ્થા વિધેય છે તેથી કરીને એન્થાલ્પી પ્રારંભિક (પ્રક્રિયકો) અને અંતિમ (નીપજો) અવસ્થાના પથથી સ્વતંત્ર હોય છે. બીજા શબ્દોમાં કહીએ તો પ્રક્રિયાનો એન્થાલ્પી ફેરફાર પ્રક્રિયા એક તબક્કામાં કે શ્રેણીબદ્ધ તબક્કામાં થયેલ છે છતાં સરખો રહે છે. આને હેસના નિયમ તરીકે નીચે પ્રમાણે નિવેદિત કરી શકાય :

જો પ્રક્રિયા જુદા જુદા તબક્કામાં થતી હોય તો તેની પ્રમાણિત પ્રક્રિયા એન્થાલ્પી પ્રક્રિયાના મધ્યવર્તી તબક્કાની જેમાં એકંદર પ્રક્રિયા સમાન તાપમાને વિભાજિત કરી શકાતી હોય, તેમાં તેમની એન્થાલ્પીનો સરવાળો પ્રમાણિત પ્રક્રિયાની એન્થાલ્પી હશે.

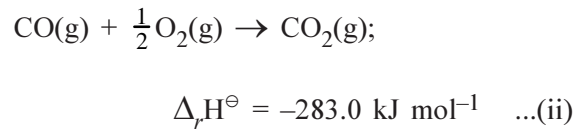
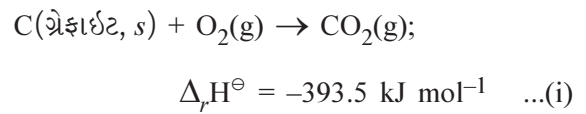
આપણે ઉદાહરણની મદદથી આ નિયમની અગત્ય સમજાવે.

નીચેની પ્રક્રિયાનો એન્થાલ્પી ફેરફાર ગણો :

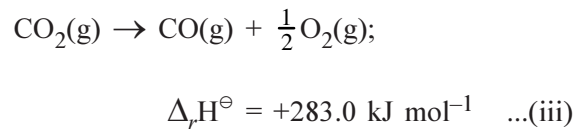


CO(g) મુખ્ય નીપજ છે છતાં કેટલોક CO<sub>2</sub> વાયુ પણ પ્રક્રિયામાં બને છે. તેથી આપણે આ પ્રક્રિયાનો એન્થાલ્પી ફેરફાર સીધો જ ગણી શકીએ નહિ. જો આપણે એવી કોઈ પ્રક્રિયાઓ શોધીએ જેમાં સંબંધિત સ્પીસિઝ સંકળાઈ જતી હોય તો ઉપરની પ્રક્રિયા માટે એન્થાલ્પી ફેરફાર ગણી શકીએ.

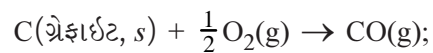
આપણે નીચેની પ્રક્રિયાઓ લઈએ :



આપણે ઉપરની બન્ને પ્રક્રિયાઓને એવી રીતે સંયોજીએ કે ઇચ્છિત પ્રક્રિયા મળે. એક મોલ CO(g)ને જમણી બાજુ મેળવવા માટે સમીકરણ (ii)ને પ્રતિવર્તી રીતે લખીએ. અહીંયા ઉષ્મા ઉદ્ભવવાને બદલે શોષાશે. આથી આપણે  $\Delta_r H^\ominus$ ના મૂલ્યની સંજ્ઞા બદલીશું.



સમીકરણ (i) અને (ii)નો સરવાળો કરતાં આપણને ઇચ્છિત સમીકરણ મળશે.

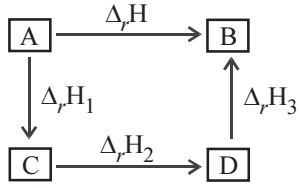


$$\begin{aligned}\text{જેને માટે } \Delta_r H^\ominus &= (-393.5 + 283.0) \\ &= -110.5 \text{ kJ mol}^{-1}\end{aligned}$$

સામાન્ય રીતે જો એકંદર પ્રક્રિયા A→Bની એન્થાલ્પી એક જ તબક્કામાં  $\Delta_r H$  હોય અને  $\Delta_r H_1$ ,  $\Delta_r H_2$ ,  $\Delta_r H_3, \dots$  જુદી જુદી મધ્યવર્તી પ્રક્રિયાઓની એન્થાલ્પી હોય અને છેવટે નીપજ B આપતું હોય તો બીજા માર્ગે ગણતાં,

$$\Delta_r H = \Delta_r H_1 + \Delta_r H_2 + \Delta_r H_3, \dots \quad (6.16)$$

તેને નીચે પ્રમાણે રજૂ કરી શકાય :



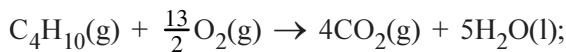
## 6.5 જુદા જુદા પ્રકારની પ્રક્રિયાઓ માટે એન્થાલ્પી (Enthalpies for Different Types of Reactions)

પ્રક્રિયાના પ્રકારને દર્શાવતી એન્થાલ્પીને નામ આપવાનું વધુ અનુકૂળ રહેશે.

### (a) દહનની પ્રમાણિત એન્થાલ્પી (સંજ્ઞા : $\Delta_c H^\ominus$ )

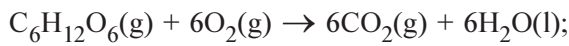
દહન પ્રક્રિયાઓ સ્વભાવે ઉષ્માક્ષેપક હોય છે. આ ઉદ્યોગોમાં રોકેટના કાર્યોમાં અને અગત્યના જીવનના તબક્કાઓમાં ઉપયોગી છે. દહનની પ્રમાણિત એન્થાલ્પીની વ્યાખ્યા આપી શકીએ કે પદાર્થનો એક મોલ (અથવા એકમ જથ્થા દીઠ) દહન પામે છે અને બધા જ પ્રક્રિયકો અને નીપજો નિર્દિષ્ટ તાપમાને તેમની પ્રમાણિત અવસ્થામાં હોય ત્યારે થતો એન્થાલ્પી ફેરફાર છે.

રાંધણ ગેસના સિલિન્ડરમાં મોટે ભાગે બ્યુટેન ( $C_4H_{10}$ ) હોય છે. એક મોલ બ્યુટેનના સંપૂર્ણ દહન દરમિયાન 2658 kJ ઉષ્મા ઉત્પન્ન થાય છે. આને માટે આપણે ઉષ્મા રાસાયણિક પ્રક્રિયા આ પ્રમાણે લખી શકીએ :



$$\Delta_r H^\ominus = -2658.0 \text{ kJ mol}^{-1}$$

આ જ પ્રમાણે ગ્લુકોઝનું દહન 2802.0 kJ mol<sup>-1</sup> ઉષ્મા આપે છે જેને માટે એકંદર પ્રક્રિયા છે.



$$\Delta_r H^\ominus = -2802.0 \text{ kJ mol}^{-1}$$

આપણું શરીર પણ ખોરાકમાંથી ઊર્જા પેદા કરે છે, જેમાં આ જ પ્રમાણેની દહન પ્રક્રિયાઓ હોય છે. જો કે અંતિમ નીપજો શ્રેણીબદ્ધ જટિલ જૈવરાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ જેમાં ઉત્સેચકો પણ સમાવિષ્ટ થાય છે તેના અંતે મળે છે.

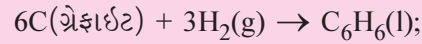
### કોયડો 6.8

એક મોલ બેન્ઝિનનું દહન 298 K તાપમાન અને 1 atm દબાણે થાય છે. દહન પછી  $CO_2(g)$  અને  $H_2O(l)$

નીપજે છે અને 3267.0 kJ ઉષ્મા મુક્ત થાય છે. બેન્ઝિનની પ્રમાણિત સર્જન એન્થાલ્પી ( $\Delta_f H^\ominus$ ) ગણો.  $CO_2(g)$  અને  $H_2O(l)$ ની સર્જન એન્થાલ્પી અનુક્રમે  $-393.5 \text{ kJ mol}^{-1}$  અને  $-285.8 \text{ kJ mol}^{-1}$  છે.

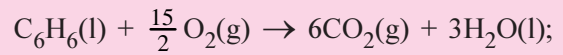
ઉકેલ :

બેન્ઝિનની સર્જન પ્રક્રિયા નીચે પ્રમાણે લખી શકાય :



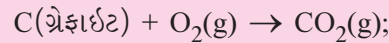
$$\Delta_f H^\ominus = ? \quad \dots(i)$$

1 mol બેન્ઝિનની દહન એન્થાલ્પી



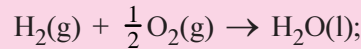
$$\Delta_c H^\ominus = -3267 \text{ kJ mol}^{-1} \quad \dots(ii)$$

1 mol  $CO_2(g)$ ની સર્જન એન્થાલ્પી



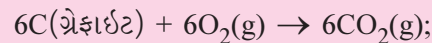
$$\Delta_f H^\ominus = -393.5 \text{ kJ mol}^{-1} \quad \dots(iii)$$

1 mol  $H_2O(l)$ ની સર્જન એન્થાલ્પી

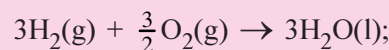


$$\Delta_f H^\ominus = -285.83 \text{ kJ mol}^{-1} \quad \dots(iv)$$

સમીકરણ (iii)ને 6 વડે અને સમીકરણ (iv)ને 3 વડે ગુણતાં,

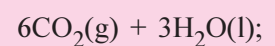
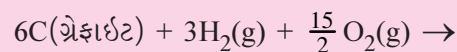


$$\Delta_r H^\ominus = -2361 \text{ kJ mol}^{-1}$$



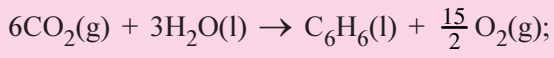
$$\Delta_r H^\ominus = -857.49 \text{ kJ mol}^{-1}$$

ઉપરના બન્ને સમીકરણોનો સરવાળો કરતાં,



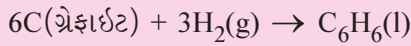
$$\Delta_r H^\ominus = -3218.49 \text{ kJ mol}^{-1} \quad \dots(v)$$

સમીકરણ (ii)ને ઉલટાવતાં,



$$\Delta_f H^\ominus = 3267.0 \text{ kJ mol}^{-1} \dots(\text{vi})$$

સમીકરણ (v) અને (vi)નો સરવાળો કરતાં,



$$\Delta_f H^\ominus = 48.51 \text{ kJ mol}^{-1}$$

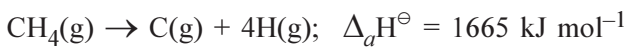
### (b) પરમાણ્વીયકરણની એન્થાલ્પી (સંજ્ઞા : $\Delta_a H^\ominus$ )

ડાયહાઈડ્રોજનના પરમાણ્વીયકરણમાં નીચેનું ઉદાહરણ લઈએ :



તમે જોઈ શકો છો કે ડાયહાઈડ્રોજનના H બંધ તૂટે છે અને બે H પરમાણુઓ મળે છે. આ પ્રક્રિયા દરમિયાનનો એન્થાલ્પી ફેરફાર પરમાણ્વીયકરણ એન્થાલ્પી  $\Delta_a H^\ominus$  તરીકે ઓળખાય છે. તે એક મોલ બંધને સંપૂર્ણપણે તેના પરમાણુઓને વાયુમય કલામાં તોડવા માટેનો એન્થાલ્પી ફેરફાર છે.

ડાયહાઈડ્રોજન (ઉપર દર્શાવેલા જેવા) દ્વિઅણુની બાબતમાં પરમાણ્વીયકરણ એન્થાલ્પી બંધ વિયોજન એન્થાલ્પી પણ કહેવાય છે. પરમાણ્વીયકરણ એન્થાલ્પીના અન્ય ઉદાહરણ છે.



એ નોંધો કે નીપજોમાં માત્ર C અને H પરમાણુઓ વાયુમય કલામાં છે. હવે આપણે નીચેની પ્રક્રિયા જોઈએ.



આ કિસ્સામાં પરમાણ્વીયકરણ એન્થાલ્પી ઉર્ધ્વપાતન એન્થાલ્પી જેટલી જ હોય છે.

### (c) બંધ એન્થાલ્પી (સંજ્ઞા : $\Delta_{\text{bond}} H^\ominus$ )

રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ રાસાયણિક બંધની રચના અને બંધ તોડવાને સાંકળે છે. બંધ તોડવા માટે ઊર્જાની જરૂર પડે છે અને બંધ બને છે ત્યારે ઊર્જા મુક્ત થાય છે. પ્રક્રિયાની ઉષ્માને રાસાયણિક બંધના બનવા અને તૂટવા સાથે સાંકળીને ગણી શકીએ. રાસાયણિક બંધ સાથે સંકળાયેલ એન્થાલ્પી ફેરફારના સંદર્ભમાં બે પર્યાયો ઉષ્માગતિશાસ્ત્રમાં ઉપયોગમાં લેવાય છે.

(i) બંધ વિયોજન એન્થાલ્પી

(ii) સરેરાશ બંધ એન્થાલ્પી

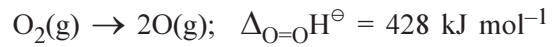
આપણે આ પર્યાયોને દ્વિપરમાણ્વીય અને બહુપરમાણ્વીય અણુઓના સંદર્ભમાં ચર્ચાએ.

**દ્વિપરમાણ્વીય અણુઓ :** નીચેની પ્રક્રિયા લઈએ જેમાં એક મોલ ડાયહાઈડ્રોજન વાયુ( $\text{H}_2$ )ના બંધોને તોડવામાં આવ્યા છે.



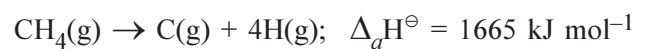
આ પ્રક્રિયામાં સંકળાયેલ એન્થાલ્પી ફેરફાર H-H બંધની બંધ વિયોજન એન્થાલ્પી છે. બંધ વિયોજન એન્થાલ્પી એક મોલ વાયુમય સહસંયોજક સંયોજનના એક મોલ સહસંયોજક બંધને તોડીને નીપજોને વાયુમય કલામાં મેળવવા માટે તોડવા દરમિયાનનો એન્થાલ્પી ફેરફાર છે.

એ નોંધો કે ડાયહાઈડ્રોજનના પરમાણ્વીયકરણની એન્થાલ્પી ફેરફાર જેટલી જ છે. આ બધા જ દ્વિપરમાણ્વીય અણુઓ માટે સાચું છે.

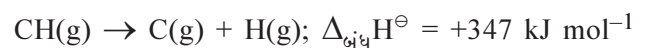
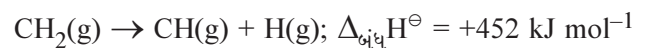
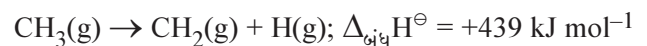
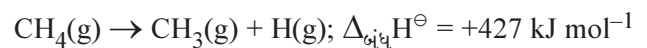


બહુઆણ્વીય અણુની બાબતમાં બંધ વિયોજન એન્થાલ્પી એક જ અણુમાં જુદા જુદા બંધ માટે જુદી જુદી હોય છે.

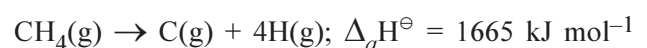
**બહુપરમાણ્વીય અણુઓ :** હવે આપણે  $\text{CH}_4$  જેવા બહુપરમાણ્વીય અણુને લઈએ. તેની પરમાણ્વીય પ્રક્રિયા માટે એકંદરે ઉષ્મા રાસાયણિક સમીકરણ નીચે પ્રમાણે આપી શકાય :



મિથેનમાં બધા જ ચાર C-H બંધ બંધલંબાઈમાં અને ઊર્જામાં એકસરખા છે. જોકે, દરેક વ્યક્તિગત C-H બંધને નીચેના તબક્કા પ્રમાણે તોડતાં જરૂરી ઊર્જા અલગ પડે છે.



આથી,



આવા કિસ્સામાં C-H બંધની સરેરાશ બંધ એન્થાલ્પીનો ઉપયોગ કરીએ છીએ.

ઉદાહરણ તરીકે CH<sub>4</sub>માં Δ<sub>C-H</sub>H<sup>⊖</sup>ને આ પ્રમાણે ગણી શકાય.

$$\Delta_{C-H}H^{\ominus} = \frac{1}{4}(\Delta_d H^{\ominus}) = \frac{1}{4}(1665 \text{ kJ mol}^{-1}) \\ = 416 \text{ kJ mol}^{-1}$$

આપણે જાણીએ છીએ કે મિથેનમાં C-H બંધ એન્થાલ્પી 416 kJ mol<sup>-1</sup> છે. એ પણ જણાયું છે કે સરેરાશ C-H બંધ એન્થાલ્પી એક સંયોજનમાંથી બીજા સંયોજનમાં જતાં થોડીક (પરંતુ વધુ પ્રમાણમાં નહિ) બદલાય છે.\* જેમકે, CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>Cl, CH<sub>3</sub>NO<sub>2</sub> વગેરેમાં હેસના નિયમનો ઉપયોગ કરીને બંધ એન્થાલ્પી ગણી શકાય. કેટલાક એકલબંધ અને કેટલાક બહુ બંધની બંધ એન્થાલ્પીના મૂલ્યો કોષ્ટક 6.3માં આપેલ છે. પ્રક્રિયા એન્થાલ્પી ઘણી ઉપયોગી રાશિ છે કારણ કે તે જૂના બંધનું તૂટવું અને નવા બંધનું રચાવું-માંથી ઉદ્ભવે છે. જો આપણે જુદી જુદી બંધ એન્થાલ્પી જાણતા હોઈએ તો વાયુ કલામાંથી પ્રક્રિયાની એન્થાલ્પીનું પ્રાક્કથન કરી શકીએ. પ્રક્રિયાની પ્રમાણિત એન્થાલ્પી Δ<sub>r</sub>H<sup>⊖</sup>

વાયુકલામાંની પ્રક્રિયામાંના પ્રક્રિયકો અને નીપજોની બંધ એન્થાલ્પી સાથે સંબંધિત છે. જેમકે,

$$\Delta_r H^{\ominus} = \sum \text{બંધ એન્થાલ્પી}_{\text{પ્રક્રિયકો}} \\ - \sum \text{બંધ એન્થાલ્પી}_{\text{નીપજો}} \quad (6.17)**$$

આ સંબંધ ખાસ કરીને વધારે ઉપયોગી છે, જ્યારે જરૂરી Δ<sub>r</sub>H<sup>⊖</sup>ના મૂલ્યો પ્રાપ્ય હોય નહિ. પ્રક્રિયાનો ચોખ્ખો (net) એન્થાલ્પી ફેરફાર એ ઊર્જાનો જથ્થો છે જે પ્રક્રિયકોના બંધોને તોડવા માટે જરૂરી ઊર્જામાંથી નીપજોના બંધોને તોડવા માટે જરૂરી ઊર્જામાંથી બાદ કરતાં મળતી ઊર્જા જેટલો છે. યાદ રાખો કે આ સંબંધ આશરો પડતો (approximate) છે અને જ્યારે બધા જ પદાર્થો (પ્રક્રિયકો અને નીપજો વાયુમય અવસ્થામાં હોય ત્યારે જ) માટે વાજબી ઠરે છે.

#### (d) દ્રાવણની એન્થાલ્પી (સંજ્ઞા : Δ<sub>sol</sub>H<sup>⊖</sup>)

પદાર્થના દ્રાવણની એન્થાલ્પી એ એન્થાલ્પી ફેરફાર છે, જ્યારે એક મોલ પદાર્થને નિશ્ચિત જથ્થાના દ્રાવકમાં ઓગાળવામાં

#### કોષ્ટક 6.3(a) કેટલીક સરેરાશ એકલબંધ એન્થાલ્પી kJ mol<sup>-1</sup> માં 298 K તાપમાને

H	C	N	O	F	Si	P	S	Cl	Br	I	
435.8	414	389	464	569	293	318	339	431	368	297	H
	347	293	351	439	289	264	259	330	276	238	C
		159	201	272	-	209	-	201	243	-	N
			138	184	368	351	-	205	-	201	O
				155	540	490	327	255	197	-	F
					176	213	226	360	289	213	Si
						213	230	331	272	213	P
							213	251	213	-	S
								243	218	209	Cl
									192	180	Br
										151	I

#### કોષ્ટક 6.3(b) કેટલીક સરેરાશ બહુ બંધ એન્થાલ્પી kJ mol<sup>-1</sup> માં 298 K તાપમાને

N = N	418	C = C	611	O = O	498
N ≡ N	946	C ≡ C	837		
C = N	615	C = O	741		
C ≡ N	891	C ≡ O	1070		

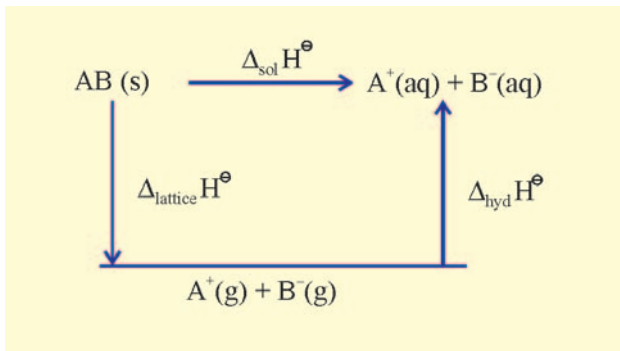
\* નોંધો કે બંધ વિયોજન એન્થાલ્પી અને સરેરાશ બંધ એન્થાલ્પી માટે વપરાયેલ સંજ્ઞા સરખી જ છે.

\*\* જો આપણે બંધ સર્જન એન્થાલ્પી (Δ<sub>f</sub>H<sup>⊖</sup><sub>bond</sub>)નો ઉપયોગ કરીએ જે વાયુમય પરમાણુથી બનેલા ખાસ પ્રકારના એક મોલ બંધની છે તો,

$$\Delta_r H^{\ominus} = \sum \Delta_f H^{\ominus}_{\text{નીપજોના બંધ}} - \sum \Delta_f H^{\ominus}_{\text{પ્રક્રિયકોના બંધ}}$$

આવે છે ત્યારે અનંત મંદને દ્રાવણની એન્થાલ્પી એ એન્થાલ્પી ફેરફાર છે જે પદાર્થને દ્રાવકના અનંત જથ્થામાં ઓગાળવામાં આવે છે અને જ્યારે આયનો (અથવા દ્રાવ્ય અણુઓ) વચ્ચે પારસ્પરિક ક્રિયાઓ નગણ્ય હોય ત્યારે મળેલો એન્થાલ્પી ફેરફાર છે.

જ્યારે આયનીય સંયોજન દ્રાવકમાં ઓગાળે છે ત્યારે આયનો તેમના સ્ફટિક લેટિસમાંના કમબદ્ધ સ્થાન છોડે છે. હવે તેઓ દ્રાવણમાં વધુ મુક્ત હોય છે. પણ આ આયનોનું દ્રાવક યોજન (solvation) (જો પાણી દ્રાવક હોય તો જલીયકરણ (hydration)) તે જ સમયે સાથે થાય છે. આ આયનીય સંયોજન AB(s) માટે નીચેની આકૃતિમાં દર્શાવેલ છે :



AB(s)ની પાણીમાં દ્રાવણ એન્થાલ્પી  $\Delta_{\text{sol}} H^{\ominus}$ . લેટિસ એન્થાલ્પી  $\Delta_{\text{lattice}} H^{\ominus}$  અને આયનની જલીય  $\Delta_{\text{hyd}} H^{\ominus}$ ની પસંદ કરેલા મૂલ્યો પરથી ગણી શકાય છે. જેમકે,

$$\Delta_{\text{sol}} H^{\ominus} = \Delta_{\text{lattice}} H^{\ominus} + \Delta_{\text{hyd}} H^{\ominus}$$

મોટા ભાગના આયનીય સંયોજનો માટે  $\Delta_{\text{sol}} H^{\ominus}$  ધન હોય છે અને વિયોજન પ્રક્રિયા ઉષ્માશોષક હોય છે. આથી ઘણા બધા ક્ષારોની પાણીમાં દ્રાવ્યતા તાપમાનના વધારા સાથે વધે છે. જો લેટિસ એન્થાલ્પી ઘણી વધારે હોય તો સંયોજન ઓગાળશે જ નહિ. શા માટે ફ્લોરાઇડ સંયોજનો તેમના અનુરૂપ ક્લોરાઇડ સંયોજનો કરતાં ઓછા દ્રાવ્ય હોય છે ? એન્થાલ્પી ફેરફારોની માત્રાનો અંદાજ બંધ ઊર્જા (એન્થાલ્પી) અને લેટિસ ઊર્જા(એન્થાલ્પી)ના કોષ્ટકોનો ઉપયોગ કરીને કરી શકાય.

### લેટિસ એન્થાલ્પી :

આયનીય સંયોજનની લેટિસ એન્થાલ્પી જ્યારે કોઈ આયનીય સંયોજનનો એક મોલ તેના આયનોમાં વાયુમય અવસ્થામાં વિયોજન પામે ત્યારે થતો એન્થાલ્પી ફેરફાર છે.

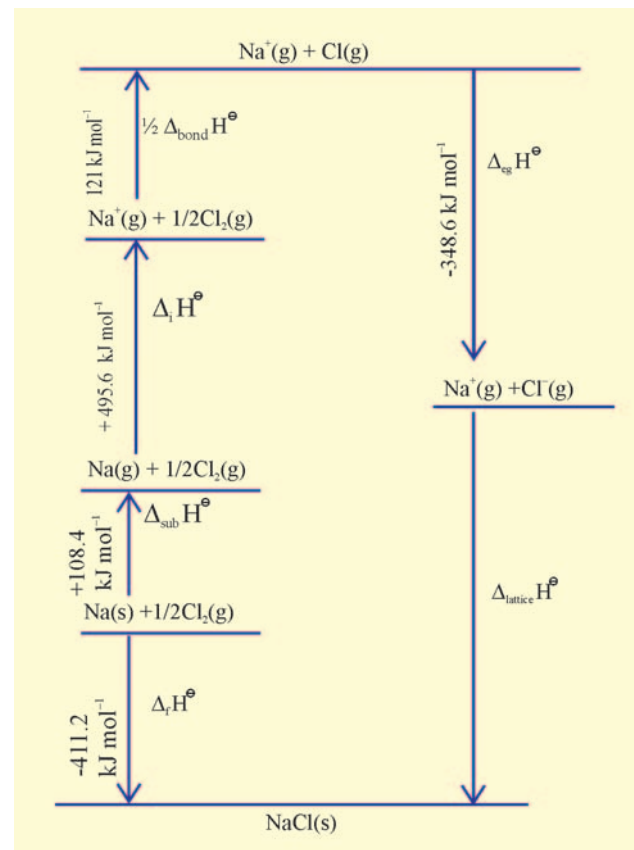


$$\Delta_{\text{lattice}} H^{\ominus} = +788 \text{ kJ mol}^{-1}$$

પ્રયોગ દ્વારા લેટિસ એન્થાલ્પી સીધી રીતે નક્કી કરી શકવી અશક્ય છે. આપણે એક આડકતરી પદ્ધતિનો ઉપયોગ કરીને શોધી શકીએ. આમાં આપણે એક એન્થાલ્પી આકૃતિ રચીએ છીએ. જેને બોર્ન-હેબર ચક્ર (આકૃતિ 6.9) કહે છે.

આપણે હવે  $\text{Na}^+\text{Cl}^-(\text{s})$ ની લેટિસ એન્થાલ્પી નીચેના તબક્કાઓ પરથી ગણીશું :

1.  $\text{Na}(\text{s}) \rightarrow \text{Na}(\text{g});$  સોડિયમ ધાતુનું ઉર્ધ્વાકરણ  
 $\Delta_{\text{sub}} H^{\ominus} = 108.4 \text{ kJ mol}^{-1}$
2.  $\text{Na}(\text{g}) \rightarrow \text{Na}^+(\text{g}) + e^{-1}(\text{g});$  સોડિયમ પરમાણુનું આયનીકરણ, આયનીકરણ એન્થાલ્પી  
 $\Delta_i H^{\ominus} = 496 \text{ kJ mol}^{-1}$
3.  $\frac{1}{2} \text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow \text{Cl}(\text{g});$  ક્લોરિનની વિયોજન પ્રક્રિયા એન્થાલ્પી બંધ વિયોજન એન્થાલ્પીની અડધી હોય છે.  
 $\frac{1}{2} \Delta_{\text{bond}} H^{\ominus} = 121 \text{ kJ mol}^{-1}$



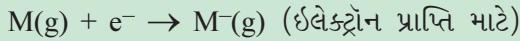
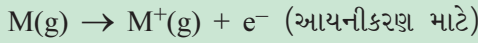
આકૃતિ 6.9 NaClની લેટિસ એન્થાલ્પી માટેની એન્થાલ્પી આકૃતિ



4.  $\text{Cl}(\text{g}) + \text{e}^- \rightarrow \text{Cl}^-(\text{g})$ ; ક્લોરિન પરમાણુ દ્વારા ઇલેક્ટ્રોનની પ્રાપ્તિ,  
ઇલેક્ટ્રોનની પ્રાપ્તિ એન્થાલ્પી  
 $\Delta_{\text{eg}} \text{H}^\ominus = -348.6 \text{ kJ mol}^{-1}$   
તમે આયનીકરણ એન્થાલ્પી અને ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્તિ એન્થાલ્પી વિશે એકમ 3માં શીખી ગયા છો. ખરેખર તો આ પર્યાયો ઉષ્માગતિશાસ્ત્રમાંથી લેવામાં આવેલા છે. અગાઉ આયનીકરણ ઊર્જા અને ઇલેક્ટ્રોન બંધુતા ઉપરના પર્યાયોને બદલે ઉપયોગમાં લેવામાં આવતા હતા. (આના વાજબીપણા (justification) માટે નીચેનું બોક્સ જુઓ.)

#### આયનીકરણ ઊર્જા અને ઇલેક્ટ્રોન બંધુતા :

આયનીકરણ ઊર્જા અને ઇલેક્ટ્રોન બંધુતા નિરપેક્ષ શૂન્યએ વ્યાખ્યાયિત કરવામાં આવેલ છે. અન્ય કોઈ તાપમાને પ્રક્રિયકો અને નીપજોની ઉષ્મા ધારિતાને ગણતરીમાં લેવામાં આવતા હતા. નીચેની પ્રક્રિયાઓ માટે એન્થાલ્પી નીચે પ્રમાણે થશે :



તાપમાન T એ નીચે પ્રમાણે થશે :

$$\Delta_r \text{H}^\ominus(\text{T}) = \Delta_r \text{H}^\ominus(\text{O}) + \int_0^{\text{T}} \Delta_r C_p^\ominus dT$$

ઉપરની પ્રક્રિયાનાં દરેક સ્પીસિઝનાં  $C_p$ નું મૂલ્ય  $\frac{5}{2}R$  થશે (અને  $C_v = \frac{3}{2}R$ ).

આથી,  $\Delta_r C_p^\ominus = +\frac{5}{2}R$  (આયનીકરણ માટે)

$$\Delta_r C_p^\ominus = -\frac{5}{2}R \text{ (ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્તિ માટે)}$$

આથી,

$$\Delta_r \text{H}^\ominus \text{ (આયનીકરણ એન્થાલ્પી)}$$

$$= E_0 \text{ (આયનીકરણ ઊર્જા)} + \frac{5}{2}RT$$

$$\Delta_r \text{H}^\ominus \text{ (ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્તિ એન્થાલ્પી)}$$

$$= -A \text{ (ઇલેક્ટ્રોન બંધુતા)} - \frac{5}{2}RT$$

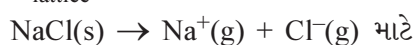
5.  $\text{Na}^+(\text{g}) + \text{Cl}^-(\text{g}) \rightarrow \text{Na}^+\text{Cl}^-(\text{s})$

તબક્કાઓનો ક્રમ આકૃતિ 6.9માં દર્શાવેલ છે અને તે બોર્ન-હેબર ચક્ર તરીકે ઓળખાય છે. આ ચક્રની અગત્ય એ છે કે ચક્રને (cycle) ફરતે એન્થાલ્પી ફેરફારનો સરવાળો શૂન્ય થાય છે.

હેસનો નિયમ લાગુ પાડીએ, તો મળશે કે

$$\Delta_{\text{lattice}} \text{H}^\ominus = 411.2 + 108.4 + 121 + 496 - 348.6$$

$$\Delta_{\text{lattice}} \text{H}^\ominus = +788 \text{ kJ}$$



આંતરિક ઊર્જા  $2RT$  કરતાં ઓછી હોય છે. (કારણ કે  $\Delta n_g = 2$ ) અને તેના બરાબર  $+783 \text{ kJ mol}^{-1}$  છે.

આપણે હવે લેટિસ એન્થાલ્પીનો ઉપયોગ દ્રાવણની એન્થાલ્પી નીચેની રજૂઆતથી ગણીશું :

$$\Delta_{\text{sol}} \text{H}^\ominus = \Delta_{\text{lattice}} \text{H}^\ominus + \Delta_{\text{hyd}} \text{H}^\ominus$$

એક મોલ  $\text{NaCl}(\text{s})$  માટે

લેટિસ એન્થાલ્પી  $+783 \text{ kJ mol}^{-1}$  અને

$$\Delta_{\text{hyd}} \text{H}^\ominus = -784 \text{ kJ mol}^{-1} \text{ (માહિતીમાંથી મેળવીને)}$$

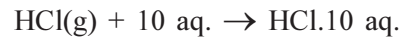
$$\Delta_{\text{sol}} \text{H}^\ominus = +788 \text{ kJ mol}^{-1} - 784 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$= +4 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$\text{NaCl}(\text{s})$ નું વિલયન (dissolution) ઘણી ઓછી ઉષ્મા ફેરફાર સાથે સંકળાયેલ છે.

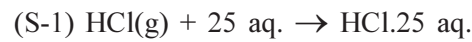
#### (e) મંદન એન્થાલ્પી

એ જાણીતું છે કે દ્રાવણની એન્થાલ્પી એટલે અચળ તાપમાને અને દબાણે દ્રાવકના નિશ્ચિત જથ્થામાં દ્રાવ્યનો નિશ્ચિત જથ્થો ઓગાળવામાં આવે છે, તેની સાથે સંકળાયેલો એન્થાલ્પી ફેરફાર છે. આ દલીલ થોડાક ફેરફાર સાથે કોઈ પણ દ્રાવકને લાગુ પાડી શકાય. 1 mol હાઈડ્રોજન ક્લોરાઇડ વાયુને 10 mol પાણીમાં ઓગાળવામાં થતો એન્થાલ્પી ફેરફાર નીચેના સમીકરણથી રજૂ કરી શકાય. અનુકૂળતા માટે આપણે પાણીને aq. વડે દર્શાવીશું :



$$\Delta \text{H} = -69.01 \text{ kJ / mol}$$

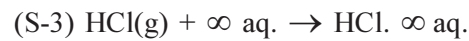
આપણે નીચે પ્રમાણેના એન્થાલ્પી ફેરફારના પગથિયાં ધ્યાનમાં લઈએ :



$$\Delta \text{H} = -72.03 \text{ kJ / mol}$$



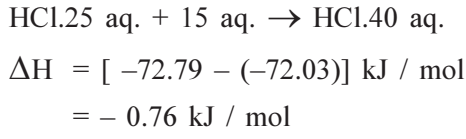
$$\Delta \text{H} = -72.79 \text{ kJ / mol}$$



$$\Delta \text{H} = -74.85 \text{ kJ / mol}$$

$\Delta \text{H}$ ના મૂલ્યો દ્રાવણની એન્થાલ્પીનો સામાન્ય રીતે દ્રાવકના જથ્થા પર આધાર દર્શાવે છે. જેમ જેમ વધારે દ્રાવક ઉમેરવામાં આવે છે તેમ તેમ દ્રાવણની એન્થાલ્પી કોઈ સીમિત મૂલ્યે પહોંચે છે. એટલે કે દ્રાવણના અનંત મંદને દ્રાવણની એન્થાલ્પી ફેરફારનું મૂલ્ય હાઈડ્રોકલોરિક એસિડ માટે સમીકરણ (S-3)માં આપેલ છે.

જો આપણે પ્રથમ સમીકરણ (S-1)ને બીજા સમીકરણ (S-2)માંથી બાદ કરીએ તો આપણને મળશે :



$\Delta H$ નું મૂલ્ય  $(-0.76 \text{ kJ/mol})$  મંદન ઉષ્મા છે. તે જ્યારે વધારાનું દ્રાવક ઉમેરવામાં આવે છે ત્યારે પર્યાવરણમાંથી ખેંચી લેતી ઉષ્મા છે. દ્રાવણની મંદન એન્થાલ્પી દ્રાવણની મૂળ સાંદ્રતા અને ઉમેરેલા દ્રાવકના જથ્થા પર આધારિત છે.

## 6.6 સ્વયંસ્ફુરણ (સ્વયંભૂયિતા) (Spontaneity)

ઉષ્માગતિશાસ્ત્રનો પ્રથમ નિયમ આપણને ઉષ્માનું શોષણ અને પ્રણાલી પર અથવા પ્રણાલી વડે થયેલા કાર્ય વચ્ચેના સંબંધ વિશે કહે છે. તે ઉષ્માના વહનની દિશા પર કોઈ નિયંત્રણ મૂકતો નથી, પરંતુ ઉષ્માનો પ્રવાહ એકદિશીય જ હોય છે એટલે કે ઊંચા તાપમાનથી નીચા તાપમાન તરફ. બરેબર તો બધા જ કુદરતી રીતે (સહજ) થતા પ્રક્રમો ભલે તે રાસાયણિક હોય કે ભૌતિક પણ તે સ્વયંસ્ફુરિત (સ્વયંભૂ) રીતે એક જ દિશામાં જવાનું વલણ દર્શાવે છે. ઉદાહરણ તરીકે, પ્રાપ્ય કદમાં વાયુનું ભરાઈ જવું (ફેલાઈ જવું), ડાયઑક્સિજનની હાજરીમાં કાર્બનનું બળવું અને કાર્બન ડાયોક્સાઈડ આપવો.

પરંતુ ઉષ્મા ઠંડા પદાર્થ તરફથી ગરમ પદાર્થ તરફ પોતાની મેળે વહેશે નહિ, પાત્રમાંનો વાયુ સ્વયંસ્ફુરિત રીતે સંકોચાઈને પાત્રના એક ખૂણામાં નહિ ગોઠવાય. કાર્બન ડાયોક્સાઈડ સ્વયંસ્ફુરિત રીતે કાર્બન અને ડાયઑક્સિજનમાં નહિ ફેરવાય. આ અને આવા ઘણા બધા સ્વયંસ્ફુરિત રીતે થતાં ફેરફારો એકદિશીય જ હોય છે. આપણે પૂછી શકીએ કે સ્વયંસ્ફુરિત રીતે થતાં ફેરફારોનું પ્રેરક બળ (driving force) શું હશે ? સ્વયંસ્ફુરિત ફેરફારની દિશા કોણ નક્કી કરે છે ? આ વિભાગમાં આપણે આ પ્રક્રમ થશે કે નહિ થાય તે માટે કેટલાક અભિલક્ષણ (criterion) પ્રસ્થાપિત કરીશું.

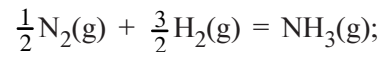
આપણે પ્રથમ તો સમજીએ કે આપણે સ્વયંસ્ફુરિત પ્રક્રિયા અથવા ફેરફાર એટલે શું સમજીએ છીએ ? તમે તમારા સામાન્ય અવલોકન પરથી વિચારી શકો કે સ્વયંસ્ફુરિત પ્રક્રિયા એટલે એવી પ્રક્રિયા જ્યારે પ્રક્રિયકોનું મિશ્રણ કરવામાં આવે છે ત્યારે જ પ્રક્રિયા પરિણમે છે. હાઈડ્રોજન અને ઓક્સિજનના સંયોગીકરણનો કિસ્સો લો. આ વાયુઓને ઓરડાના તાપમાને મિશ્ર કરવામાં આવે અને વર્ષો સુધી મૂકી રાખીએ તો આપણને કોઈ અવલોકનીય ફેરફાર નહિ જણાય. બન્ને વચ્ચે

પ્રક્રિયા થઈ શકે તેમ છે પણ તે અત્યંત ધીમી પ્રક્રિયા છે. તેમ છતાં તેને સ્વયંસ્ફુરિત પ્રક્રિયા કહે છે. આથી સ્વયંસ્ફુરિતાનો અર્થ થાય છે કે બાહ્યકારક(agency)ની મદદ વગર આગળ વધવાની તાકાત હોય. જો કે તે આપણને પ્રક્રિયા અથવા પ્રક્રમના દર વિશે કંઈ કહેતો નથી. સ્વયંસ્ફુરિત પ્રક્રિયાની બીજી બાબત એ છે કે તે પ્રક્રિયા પ્રતિવર્તી દિશામાં પોતાની મેળે (આપમેળે) થઈ શકતી નથી. આનો આપણે નીચે પ્રમાણે ઉપસંહાર કરીએ.

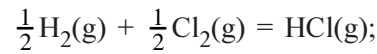
સ્વયંસ્ફુરિત પ્રક્રમ એક અપ્રતિવર્તી પ્રક્રમ છે અને તેને કોઈ બાહ્યકારક (external agency) સિવાય પ્રતિવર્તી કરી શકતા નથી.

### (a) એન્થાલ્પીમાં ઘટાડો પ્રક્રિયાની સ્વયંસ્ફુરણ માટેનું અભિલક્ષણ છે ?

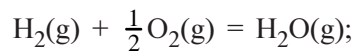
જો આપણે કેટલીક ઘટનાઓ જેવી કે ટેકરી પરથી પાણીનું નીચે વહી જવું, પથ્થરનું ઉપરથી જમીન પર પડવું, આપણે જોઈએ છે કે તેની ફેરફારની દિશામાં સ્થિતિજ ઊર્જાનો ઘટાડો હોય છે. સરખામણી કરીએ તો આપણે કહેવા પ્રેરાઈએ કે જો તેમાં ઊર્જાનો ઘટાડો થયો હશે તો રાસાયણિક પ્રક્રિયા આપેલ દિશામાં સ્વયંસ્ફુરિત થશે. આવું ઉષ્માક્ષેપક પ્રક્રિયામાં બને છે.



$$\Delta_r H^\ominus = -46.1 \text{ kJ mol}^{-1}$$

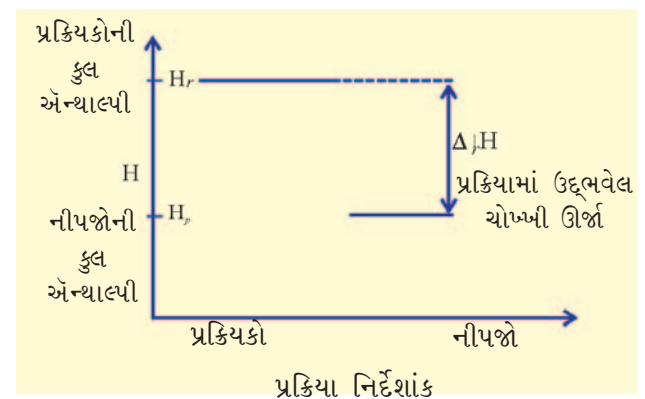


$$\Delta_r H^\ominus = -92.32 \text{ kJ mol}^{-1}$$



$$\Delta_r H^\ominus = -285.8 \text{ kJ mol}^{-1}$$

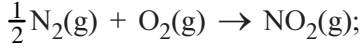
પ્રક્રિયક તરફથી નીપજ તરફ જતાં એન્થાલ્પીમાં થતો ઘટાડો કોઈ પણ ઉષ્માક્ષેપક પ્રક્રિયા માટે એન્થાલ્પી આકૃતિ દ્વારા આકૃતિ 6.10(a)માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે દર્શાવી શકીએ.



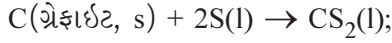
આકૃતિ 6.10(a) ઉષ્માક્ષેપક પ્રક્રિયા માટે એન્થાલ્પી આકૃતિ

આમ, એ અભિધારણા કે ઊર્જામાં ઘટાડો રાસાયણિક પ્રક્રિયાનું પ્રેરક (driving) બળ છે અને તેને પુરાવાના પાયારૂપ ગણી શકીએ.

હવે આપણે નીચેની પ્રક્રિયાઓ તપાસીએ :

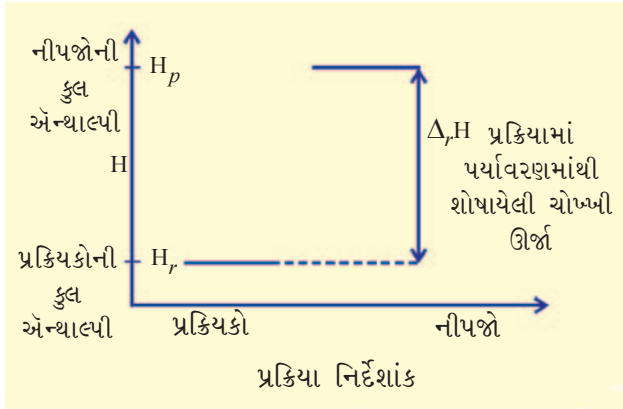


$$\Delta_r H^\ominus = +33.2 \text{ kJ mol}^{-1}$$



$$\Delta_r H^\ominus = +128.5 \text{ kJ mol}^{-1}$$

આ પ્રક્રિયાઓ ઉષ્માશોષક છે છતાં પણ સ્વયંસ્ફુરિત છે. એન્થાલ્પીમાંનો વધારો એન્થાલ્પી આકૃતિ દ્વારા નીચે પ્રમાણે આકૃતિ 6.10(b)માં દર્શાવી શકાય :



**આકૃતિ 6.10(b)** ઉષ્માશોષક પ્રક્રિયા માટે એન્થાલ્પી આકૃતિ

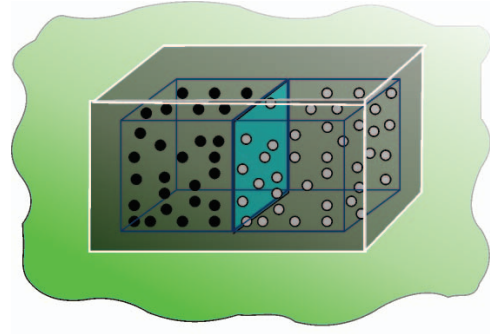
આથી એ સ્પષ્ટ થાય છે કે સ્વયંસ્ફુરણ માટે ફાળો આપતું પરિબળ એન્થાલ્પીમાં ઘટાડો છે, પરંતુ તે બધા જ કિસ્સાઓમાં સાચું નથી હોતું.

### (b) એન્ટ્રોપી અને સ્વયંસ્ફુરણ :

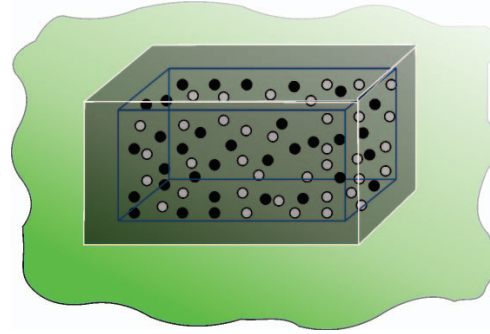
તો પછી, આપેલ દિશામાં સ્વયંસ્ફુરિત પ્રક્રિયા (પ્રક્રમ) માટે કયું પ્રેરકબળ છે ? આપણે એક એવો કિસ્સો લઈએ જેમાં  $\Delta H = 0$  હોય એટલે કે એન્થાલ્પીમાં ફેરફાર થાય નહિ છતાં પણ પ્રક્રમ સ્વયંસ્ફુરિત હોય.

આપણે એક પાત્ર જેને આકૃતિ 6.11માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે પર્યાવરણથી અલગ કરી દીધેલ છે અને તેમાં બે વાયુઓનું એકબીજા વચ્ચેના પ્રસરણને ધ્યાનમાં લઈએ.

બે વાયુઓ વાયુ A અને વાયુ B કાળા અને સફેદ ટપકાં તરીકે અનુક્રમે છે અને તેમને ખસી શકે તેવા વિભાજન (partition) વડે અલગ કરેલાં છે (આકૃતિ 6.11(a)). જ્યારે



(a)



(b)

### આકૃતિ 6.11 બે વાયુઓનું પ્રસરણ

વિભાજનને ખેંચી લેવામાં આવે છે ત્યારે (આકૃતિ 6.11(b)) વાયુઓ એકબીજામાં પ્રસરણ થવાનું શરૂ કરે છે અને અમુક સમય પછી પ્રસરણ પૂર્ણ થાય છે.

આપણે પ્રક્રમને તપાસીએ. વિભાજન પહેલાં આપણે જો ડાબી બાજુના પાત્રમાંથી વાયુના અણુઓ લેવાનો પ્રયત્ન કર્યો હોત તો આપણે ચોક્કસ હોત કે તે અણુઓ વાયુ Aના છે અને તે જ પ્રમાણે વિભાજનની જમણી બાજુથી વાયુના અણુઓ લેવાનો પ્રયત્ન કર્યો હોત તો આપણે ચોક્કસ હોત કે તે અણુઓ વાયુ Bના છે, પરંતુ વિભાજન ખસેડી લીધા પછી પાત્રમાંથી અણુઓ લેવા પ્રયત્ન કરીએ તો આપણે ચોક્કસ રીતે કહી ન શકીએ, કે અણુઓ વાયુ Aના હશે કે વાયુ Bના હશે. આપણે એમ કહી શકીએ કે પ્રણાલીનું પ્રાકૃકથન કરવું અઘરું થયું અથવા તે વધુ અસ્તવ્યસ્ત થયેલ છે.

હવે આપણે બીજી અભિધારણાને સૂત્રિત કરીએ. કોઈ પણ અલગ કરેલી પ્રણાલીમાં હંમેશાં પ્રણાલી માટે વધુ ક્રમવિહિન અથવા અસ્તવ્યસ્ત બનવા તરફનું વલણ હોય છે અને આને આપણે સ્વયંસ્ફુરણનું અભિલક્ષણ કહી શકીએ.

આ તબક્કે આપણે બીજો ઉષ્માગતિકીય વિધેય એન્ટ્રોપી જેને S વડે દર્શાવાય છે તેને દાખલ કરી શકીએ. ઉપર જણાવેલ અસ્તવ્યસ્તતા એન્ટ્રોપીની અભિવ્યક્તિ છે. આના માનસિક

ચિત્રની રચના માટે આપણે એમ વિચારી શકીએ કે એન્ટ્રોપી પ્રણાલીમાં ક્રમવિહીનતા અથવા અસ્તવ્યસ્તતાનું માપ છે. અલગ કરેલી પ્રણાલીમાં જેટલી વધારે અસ્તવ્યસ્તતા તેટલી વધારે એન્ટ્રોપી. જ્યાં સુધી રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓને સંબંધ છે ત્યાં સુધી આ એન્ટ્રોપી ફેરફાર પ્રક્રિયાઓના પરમાણુઓ અથવા આયનોની એક ભાતમાંથી (pattern) નીપજોના પરમાણુઓમાં ફેરગોઠવણી તરીકે ગણી શકીએ. જો નીપજોની રચના પ્રક્રિયાઓની રચના કરતાં વધારે અસ્તવ્યસ્ત હશે તો પરિણામે એન્ટ્રોપીમાં વધારો થશે. રાસાયણિક પ્રક્રિયા સાથે સંકળાયેલ એન્ટ્રોપી ફેરફાર પ્રક્રિયામાં ભાગ લેતી સ્પીસિઝની રચનાને ધ્યાનમાં લઈને ગુણાત્મક રીતે કરી શકીએ. રચનામાં નિયમિતતાના ઘટાડાનો અર્થ એન્ટ્રોપીમાં વધારો. આપેલ પદાર્થ માટે, સ્ફટિકમય ઘન અવસ્થા સૌથી ઓછી એન્ટ્રોપી (ખૂબ જ વ્યવસ્થિતતા) હોય છે, જ્યારે વાયુમય અવસ્થામાં સૌથી વધુ એન્ટ્રોપી હોય છે.

હવે આપણે એન્ટ્રોપીને પરિમાણાત્મક કરીએ. ક્રમવિહીનતા અથવા અસ્તવ્યસ્તતાનો અંશ ગણવાની એક રીત એ છે કે અણુઓ વચ્ચે હલંચાયેલી ઊર્જાની ગણતરી સાંખ્યિકીય પદ્ધતિથી કરીએ, પરંતુ તે આ ઉકેલની પેલે પાર છે. બીજો માર્ગ છે કે આ પ્રક્રમમાં સમાયેલ ઉષ્મા સાથે આ પ્રક્રમને સંબંધિત કરીએ જેથી કરીને એન્ટ્રોપી ઉષ્માગતિકીય સંકલ્પના બને. અન્ય ઉષ્માગતિકીય ગુણધર્મો જેવાં કે આંતરિક ઊર્જા  $U$ , અને એન્થાલ્પી  $H$ , અવસ્થા વિધેય છે તે જ પ્રમાણે એન્ટ્રોપી  $S$  પણ અવસ્થા વિધેય છે અને એન્ટ્રોપી ફેરફાર  $\Delta S$  પથથી સ્વતંત્ર છે.

જ્યારે પણ પ્રણાલીમાં ઉષ્મા ઉમેરવામાં આવે છે ત્યારે તે આણ્વીય ગતિમાં વધારો કરે છે જેને કારણે પ્રણાલીની અસ્તવ્યસ્તતામાં વધારો કરે છે અને પ્રણાલીની એન્ટ્રોપી વધે છે. આમ ઉષ્મા ( $q$ )ની અસ્તવ્યસ્તતાની અસર પ્રણાલી પર પડે છે તો આપણે  $\Delta S$  અને  $q$ ને સરખાવી શકીએ ? થોભો ! અનુભવ એમ શીખવે છે કે ઉષ્માનું વિતરણ પણ તાપમાન પર આધાર રાખે છે જે તાપમાને ઉષ્મા પ્રણાલીમાં દાખલ કરેલ છે. આમ, ઊંચા તાપમાને રહેલી પ્રણાલી, નીચા તાપમાને રહેલી પ્રણાલી કરતાં વધારે અસ્તવ્યસ્તતા ધરાવે છે. આમ, તાપમાન પ્રણાલીમાં કણોની અસ્તવ્યસ્ત ગતિનું સરેરાશ માપ છે. નીચા તાપમાને રહેલી પ્રણાલીમાં ઉષ્મા ઉમેરવામાં આવે તો જો સરખા જ જથ્થામાં ઉષ્મા તેને ઊંચા તાપમાને ઉમેરવામાં આવેલી હોય તેના કરતાં અસ્તવ્યસ્તતા વધે છે. આ સૂચવે છે

કે એન્ટ્રોપી ફેરફાર તાપમાનના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં હોય છે.  $\Delta S$ નો  $q$  અને  $T$  સાથેનો સંબંધ પ્રતિવર્તી પ્રક્રિયા માટે નીચે પ્રમાણે છે :

$$\Delta S = \frac{q_{rev}}{T} \quad (6.18)$$

સ્વયંસ્ફુરિત પ્રક્રમ માટે પ્રણાલી અને પર્યાવરણ માટેનો કુલ એન્ટ્રોપી ફેરફાર નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય :

$$\Delta S_{total} = \Delta S_{sys} + \Delta S_{surr} > 0 \quad (6.19)$$

જ્યારે પ્રણાલી સંતુલનમાં હોય ત્યારે એન્ટ્રોપી મહત્તમ હોય છે અને એન્ટ્રોપી ફેરફાર  $\Delta S = 0$ .

આપણે કહી શકીએ કે સ્વયંસ્ફુરિત પ્રક્રમ માટે એન્ટ્રોપી વધે છે અને સંતુલને તે મહત્તમ થાય છે અને એન્ટ્રોપી ફેરફાર શૂન્ય થાય છે. એન્ટ્રોપી અવસ્થા વિધેય હોવાથી આપણે પ્રતિવર્તી પ્રક્રમ માટે એન્ટ્રોપીમાં ફેરફાર ગણી શકીએ.

$$\Delta S_{sys} = \frac{q_{sys, rev}}{T}$$

આદર્શ વાયુના બંને પ્રતિવર્તી અને અપ્રતિવર્તી વિસ્તરણ સમતાપી પરિસ્થિતિમાં,  $\Delta U = 0$  થશે, પણ  $\Delta S_{total}$  એટલે કે  $\Delta S_{sys} + \Delta S_{surr}$  અપ્રતિવર્તી પ્રક્રમ માટે શૂન્ય નથી. આમ  $\Delta U$  પ્રતિવર્તી અને અપ્રતિવર્તી પ્રક્રમ વચ્ચે ભેદ પાડી શકતા નથી, પરંતુ  $\Delta S$  ચોક્કસ ભેદ પાડી શકે છે.

### કોયડો 6.9

પ્રાકૃત્યન કરો કે નીચેનામાંથી શેમાં એન્ટ્રોપી વધશે/ઘટશે ?

- પ્રવાહી ઘનમાં સ્ફટિકીકરણ પામે છે.
- સ્ફટિકમય ઘનનું તાપમાન 0 K થી વધારી 115 K કરવામાં આવે છે.
- $2\text{NaHCO}_3(\text{s}) \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$
- $\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{H}(\text{g})$

ઉકેલ :

- ઠારણ પછી અણુઓ ક્રમબદ્ધ અવસ્થા પ્રાપ્ત કરે છે અને તેથી એન્ટ્રોપી ઘટશે.
- 0 K તાપમાને ઘટક કણો સ્થિર છે અને એન્ટ્રોપી ન્યૂનતમ છે. જો તાપમાન વધારીને 115 K કરવામાં આવે તો અણુઓ ખસશે અને તેમની લેટિસમાંની

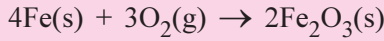
સંતુલન પરિસ્થિતિમાં આંદોલન કરશે. આથી પ્રણાલી વધુ કમવિહિન (અસ્તવ્યસ્ત) થશે એટલા માટે એન્ટ્રોપી વધશે.

(iii) પ્રક્રિયક  $\text{NaHCO}_3$  ઘન છે અને તેની એન્ટ્રોપી ઓછી છે. નીપજોમાં એક ઘન છે અને બે વાયુઓ છે. તેથી નીપજો ઊંચી એન્ટ્રોપીની સ્થિતિ દર્શાવે છે.

(iv) અહીંયા એક અણુ બે પરમાણુ આપે છે. એટલે કે કણોની સંખ્યા વધે છે. જે વધુ અસ્તવ્યસ્ત તરફ દોરી જાય છે. બે મોલ H પરમાણુઓની એન્ટ્રોપી એક મોલ ડાયહાઈડ્રોજન આણુની એન્ટ્રોપી કરતાં વધારે હોય છે.

### કોયડો 6.10

આયર્નના ઓક્સિડેશન માટે,



એન્ટ્રોપી ફેરફાર  $-549.4 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$  298 K તાપમાને છે. આ પ્રક્રિયાનો એન્ટ્રોપી ફેરફાર ઋણ હોવા છતાં પણ શા માટે આ પ્રક્રિયા સ્વયંસ્ફુરિત છે ? (આ પ્રક્રિયા માટે  $\Delta_r H^\ominus = -1648 \times 10^3 \text{ kJ mol}^{-1}$  છે.)

ઉકેલ :

પ્રક્રિયાની સ્વયંસ્ફુરણા નીચેની ગણતરી પરથી કરી શકીએ :

$$\Delta S_{\text{total}} = (\Delta S_{\text{sys}} + \Delta S_{\text{surr}})$$

$\Delta S_{\text{surr}}$  ની ગણતરી કરવા માટે આપણે પર્યાવરણમાંથી પ્રણાલીએ શોષેલી ઉષ્માને ધ્યાનમાં લેવી પડે જે  $-\Delta_r H^\ominus$  જેટલી છે. તાપમાન T એ પર્યાવરણમાં એન્ટ્રોપી ફેરફાર ગણી શકીએ.

$$\begin{aligned} \Delta S_{\text{surr}} &= -\frac{\Delta_r H^\ominus}{T} \quad (\text{અચળ દબાણે}) \\ &= -\frac{(-1648 \times 10^3 \text{ J mol}^{-1})}{298 \text{ K}} \\ &= 5530 \text{ kJ mol}^{-1} \end{aligned}$$

હવે, આ પ્રક્રિયા માટે કુલ એન્ટ્રોપી ફેરફાર

$$\begin{aligned} \Delta S_{\text{total}} &= 5530 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1} + (-549.4 \text{ JK mol}^{-1}) \\ &= 4980.6 \text{ JK mol}^{-1} \end{aligned}$$

આ દર્શાવે છે કે ઉપરોક્ત પ્રક્રિયા સ્વયંસ્ફુરિત છે.

### (c) ગીબ્સ ઊર્જા અને સ્વયંસ્ફુરણા

આપણે જોઈ ગયા કે પ્રણાલી માટે કુલ એન્ટ્રોપી ફેરફાર  $\Delta S_{\text{total}}$  પ્રક્રમની સ્વયંસ્ફુરણા નક્કી કરે છે, પરંતુ મોટા ભાગની રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ બંધ પ્રણાલી કે ખુલ્લી પ્રણાલીના પ્રકારમાં સમાવિષ્ટ થાય છે. આથી મોટા ભાગની રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ માટે એન્ટ્રોપી અને એન્ટ્રોપી બંનેમાં ફેરફાર થતો હોય છે. આગળના વિભાગમાં કરેલી ચર્ચા પ્રમાણે એન્ટ્રોપીમાં ઘટાડો અથવા એન્ટ્રોપીમાં વધારો એકલો જ આ પ્રણાલીઓમાં સ્વયંસ્ફુરિત ફેરફારની દિશા નક્કી કરતો નથી.

આ હેતુ માટે આપણે એક નવું ઉષ્માગતિકીય વિધેય વ્યાખ્યાયિત કરીએ જે ગીબ્સ ઊર્જા અથવા ગીબ્સ વિધેય છે.

$$G = H - TS \quad (6.20)$$

ગીબ્સ વિધેય G માત્રાત્મક ગુણધર્મ છે અને પ્રણાલીની ગીબ્સ ઊર્જામાં ફેરફાર  $\Delta G_{\text{sys}}$  નીચે પ્રમાણે લખી શકાય :

$$\Delta G_{\text{sys}} = \Delta H_{\text{sys}} - T\Delta S_{\text{sys}} - S_{\text{sys}}\Delta T$$

અચળ તાપમાને  $\Delta T = 0$ .

$$\therefore \Delta G_{\text{sys}} = \Delta H_{\text{sys}} - T\Delta S_{\text{sys}}$$

સામાન્ય રીતે પાદાંક (subscript) પ્રણાલી સાથે લખતાં નથી અને તેથી આ સમીકરણને

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S. \quad (6.21)$$

તરીકે લખીએ છીએ.

આમ, ગીબ્સ ઊર્જા ફેરફાર = એન્ટ્રોપી ફેરફાર - (તાપમાન  $\times$  એન્ટ્રોપી ફેરફાર) અને આ સમીકરણને ગીબ્સ સમીકરણ કહે છે. જે રસાયણવિજ્ઞાનમાં એક અગત્યનું સમીકરણ છે. અહીંયા આપણે સ્વયંસ્ફુરણા માટે બંને પર્યાયો, ઊર્જા ( $\Delta H$ ના સ્વરૂપમાં) અને એન્ટ્રોપીનો ( $\Delta S$ ના અવ્યવસ્થાનું માપ સ્વરૂપમાં) અગાઉ જણાવ્યા મુજબ ઉપયોગ કર્યો.

પરિમાણીય રીતે જો વિશ્લેષણ કરીએ તો  $\Delta G$ નો એકમ ઊર્જાનો છે કારણ કે બંને  $\Delta H$  અને  $T\Delta S$  ઊર્જાના પર્યાયો છે, કારણ કે  $T\Delta S = \text{K}(\text{J/K}) = \text{J}$ .

હવે આપણે જોઈએ કે  $\Delta G$  પ્રક્રિયાની સ્વયંસ્ફુરણા સાથે કેવી રીતે સંબંધિત છે.

આપણે જાણીએ છીએ કે,

$$\Delta S_{\text{total}} = \Delta S_{\text{sys}} + \Delta S_{\text{surr}}$$

જો પ્રણાલી પર્યાવરણ સાથે ઉષ્મીય સંતુલનમાં હોય તો પર્યાવરણનું તાપમાન પ્રણાલીના તાપમાન જેટલું હશે. વળી, પર્યાવરણની એન્ટાલ્પીમાં થતો વધારો પ્રણાલીની એન્ટાલ્પીમાં થતાં ઘટાડા બરાબર હોય છે.

આથી, પર્યાવરણનો એન્ટ્રોપી ફેરફાર :

$$\Delta S_{\text{surr}} = \frac{\Delta H_{\text{surr}}}{T} = -\frac{\Delta H_{\text{sys}}}{T}$$

$$\Delta S_{\text{total}} = \Delta S_{\text{sys}} + \left( -\frac{\Delta H_{\text{sys}}}{T} \right)$$

ઉપરના સમીકરણની પુનઃગોઠવણી કરતાં,

$$T\Delta S_{\text{total}} = T\Delta S_{\text{sys}} - \Delta H_{\text{sys}}$$

સ્વયંસ્ફુરિત પ્રક્રમ માટે  $\Delta S_{\text{total}} > 0$ .

$$\text{આથી, } T\Delta S_{\text{sys}} - \Delta H_{\text{sys}} > 0$$

$$\Rightarrow -(\Delta H_{\text{sys}} - T\Delta S_{\text{sys}}) > 0$$

સમીકરણ 6.21નો ઉપયોગ કરીને ઉપરનું સમીકરણ નીચે પ્રમાણે લખી શકાય.

$$-\Delta G > 0$$

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S < 0 \quad (6.22)$$

$\Delta H_{\text{sys}}$  પ્રક્રિયાનો એન્ટાલ્પી ફેરફાર છે.  $T\Delta S_{\text{sys}}$  એવી ઊર્જા છે કે જે ઉપયોગી કાર્ય માટે પ્રાપ્ય નથી. આથી  $\Delta G$  ચોખ્ખી (net) ઊર્જા છે. જેનો ઉપયોગી કાર્ય કરવા માટે ઉપયોગ કરી શકાય. આ કારણને લીધે જ તે પ્રક્રિયાની મુક્ત ઊર્જા તરીકે ગણાય છે.

અચળ દબાણે અને તાપમાને  $\Delta G$  સ્વયંસ્ફુરિત પ્રક્રમ માટે અભિલક્ષણ આપે છે :

(i) જો  $\Delta G$  ઋણ હોય તો ( $< 0$ ), પ્રક્રમ સ્વયંસ્ફુરિત થશે.

(ii) જો  $\Delta G$  ધન હોય તો ( $> 0$ ), પ્રક્રમ સ્વયંસ્ફુરિત નહિ થાય.

**નોંધ :** જો પ્રક્રિયાને ધન એન્ટાલ્પી ફેરફાર હોય અને ધન એન્ટ્રોપી ફેરફાર હોય તો તે સ્વયંસ્ફુરિત થશે. જો  $T\Delta S$  એટલું મોટું હોય કે જે  $\Delta H$  મૂલ્યથી વધી જાય છે. આ બે રીતે થઈ શકે છે :

(a) પ્રણાલીને ધન એન્ટ્રોપી ફેરફાર નાનો હોઈ શકે જે કિસ્સામાં  $T$  ખૂબ વધારે હોવો જોઈએ. (b) પ્રણાલીનો ધન એન્ટ્રોપી ફેરફાર ઘણો વધારે હોય જે કિસ્સામાં  $T$  ઓછો હશે. અગાઉની બાબત પ્રક્રિયાઓને શા માટે ઊંચા તાપમાને કરવી

જોઈએ તે છે. કોષ્ટક 6.4 પ્રક્રિયાની સ્વયંસ્ફુરણ માટે તાપમાનની અસર જણાવેલ છે.

### એન્ટ્રોપી અને ઉષ્માગતિશાસ્ત્રનો બીજો નિયમ

આપણે જાણીએ છીએ કે નિરાળી પ્રણાલીમાં ઊર્જા અચળ રહે છે. આથી આવી પ્રણાલીમાં એન્ટ્રોપીમાં ફેરફાર સ્વયંસ્ફુરિત ફેરફાર માટેની કુદરતી (સહજ)(natural) દિશા છે. આ હકીકતમાં ઉષ્માગતિશાસ્ત્રનો બીજો નિયમ પણ પ્રથમ નિયમની જેમ જુદી જુદી રીતે નિવેદિત કરી શકાય. ઉષ્માગતિશાસ્ત્રનો બીજો નિયમ સમજાવે છે કે શા માટે સ્વયંસ્ફુરિત ઉષ્માક્ષેપક પ્રક્રિયાઓ આટલી બધી સામાન્ય હોય છે. ઉષ્માક્ષેપક પ્રક્રિયામાં મુક્ત થયેલી ઉષ્મા પર્યાવરણની અસ્તવ્યસ્તતામાં વધારો કરે છે અને એકંદરે એન્ટ્રોપી ફેરફાર ધન હોય છે જે પ્રક્રિયાને સ્વયંસ્ફુરિત બનાવે છે.

### (d) નિરપેક્ષ એન્ટ્રોપી અને ઉષ્માગતિશાસ્ત્રનો ત્રીજો નિયમ

પદાર્થના અણુઓ સીધી લીટીમાં ગમે તે દિશામાં ફરી શકે, તે ભ્રમરડાની જેમ પણ ફરી શકે છે અને અણુમાંના બંધ તણાય છે અને સંકોચાય છે. અણુઓની આ ગતિને અનુક્રમે સ્થાનાંતરીય, ભ્રમણીય અને કંપનીય ગતિ કહે છે. જ્યારે પ્રણાલીનું તાપમાન વધે છે ત્યારે આ ગતિ વધુ જલદ બને છે અને એન્ટ્રોપી વધે છે. બીજી બાજુ જ્યારે તાપમાન ઘટાડવામાં આવે છે ત્યારે એન્ટ્રોપી ઘટે છે. કોઈ પણ શુદ્ધ સ્ફટિકમય પદાર્થની એન્ટ્રોપી જેમ તાપમાન નિરપેક્ષ શૂન્ય તરફ જાય છે તેમ તે શૂન્ય તરફ જાય છે. આને ઉષ્માગતિશાસ્ત્રનો ત્રીજો નિયમ કહે છે. આને કારણે એમ કહેવાય કે નિરપેક્ષ શૂન્ય તાપમાને સ્ફટિક સંપૂર્ણ વ્યવસ્થિત હોય છે. આ નિવેદન શુદ્ધ સ્ફટિકમય ધનને જ લાગુ પાડી શકાય છે, કારણ કે સૈદ્ધાંતિક દલીલો અને પ્રાયોગિક પુરાવાઓએ દર્શાવ્યું છે કે દ્રાવણની અને અતિશીત (super-cooled) પ્રવાહીની એન્ટ્રોપી 0 K તાપમાને શૂન્ય હોતી નથી. ત્રીજા નિયમની ઉપયોગિતા એમાં રહેલી છે કે જેથી તે ઉષ્માગતિય માહિતી પરથી શુદ્ધ પદાર્થની એન્ટ્રોપીના નિરપેક્ષ મૂલ્યો નક્કી કરવાની પરવાનગી આપે છે. શુદ્ધ પદાર્થ માટે 0 K થી 298 K તાપમાન સુધીના  $\frac{q_{\text{rev}}}{T}$  વધારાના સરવાળાથી કરી શકાય છે.

## 6.7 ગીબ્સ ઊર્જા ફેરફાર અને સંતુલન (Gibbs Energy Change and Equilibrium)

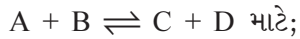
આપણે જોયું કે રાસાયણિક પ્રક્રિયાની મુક્ત ઊર્જા ફેરફારની માત્રા અને ચિહ્ન આપણને કઈ રીતે ઉપયોગી છે ?

- રાસાયણિક પ્રક્રિયાની સ્વયંસ્ફુરણાનું પ્રાક્ષયન
- તેમાંથી ઉપયોગી કાર્ય જે નિષ્કર્ષિત કરી શકીએ તેનું પ્રાક્ષયન

હજુ સુધી આપણે અપ્રતિવર્તી પ્રક્રિયાઓ માટે મુક્ત ઊર્જા ફેરફાર ધ્યાનમાં લીધા. હવે આપણે પ્રતિવર્તી પ્રક્રિયામાંના મુક્ત ઊર્જા ફેરફારોને તપાસીએ.

પ્રતિવર્તિતા સંપૂર્ણપણે ઉષ્માગતિકીય અર્થમાં ગણીએ તો એક પ્રક્રમ કરવા માટે ખાસ રસ્તો છે, જેથી પ્રણાલી પર્યાવરણ સાથે બધા જ સમયે સંપૂર્ણપણે સંતુલનમાં હોય. જ્યારે રાસાયણિક પ્રક્રિયાને લાગુ પાડવામાં આવે છે ત્યારે પર્યાય પ્રતિવર્તી સૂચવે છે કે આપેલ પ્રક્રિયા એક સાથે બન્ને દિશાઓ (પુરોગામી અને પ્રતિગામી)માં થતી હોય. આને કારણે ગતિશીલ સંતુલન સ્થપાય છે. આનો અર્થ એમ થાય છે કે પ્રક્રિયા બન્ને દિશામાં મુક્ત ઊર્જાના ઘટાડા સાથે થતી હોય જે અશક્ય જણાય છે. એ ત્યારે જ શક્ય છે જ્યારે પ્રણાલીની મુક્તઊર્જા સંતુલને ન્યૂનતમ હોય. જો તેમ ન હોય તો પ્રણાલી સ્વયંસ્ફુરિત રીતે નીચી મુક્ત ઊર્જાવાળી રચના તરફ બદલાય છે.

આથી, સંતુલન માટે અભિલક્ષણ છે કે,



$$\Delta_r G = 0$$

જે પ્રક્રિયામાં પ્રક્રિયકો અને નીપજો પ્રમાણિત અવસ્થામાં હોય ત્યારે પ્રક્રિયાની મુક્ત ઊર્જા  $\Delta_r G^\ominus$  નો પ્રક્રિયાના સંતુલન અચળાંક સાથે નીચે પ્રમાણે સંબંધ છે :

$$0 = \Delta_r G^\ominus + RT \ln K$$

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

$$\text{અથવા } \Delta_r G^\ominus = -2.303 RT \log K \quad (6.23)$$

આપણે જાણીએ છીએ કે,

$$\Delta_r G^\ominus = \Delta_r H^\ominus - T\Delta_r S^\ominus = -RT \ln K \quad (6.24)$$

પ્રબળ ઉષ્માશોષક પ્રક્રિયા માટે  $\Delta_r H^\ominus$  નું મૂલ્ય વધારે અને ધન હશે. આ કિસ્સામાં  $K$  નું મૂલ્ય 1 કરતાં પણ ઓછું હશે અને પ્રક્રિયા વધુ નીપજ આપી શકશે નહિ. ઉષ્માક્ષેપક પ્રક્રિયાઓ માટે  $\Delta_r H^\ominus$  ઘણી વધારે અને ઋણ હશે અને  $\Delta_r G^\ominus$  વધારે હશે અને ઋણ પણ હશે. આવા કિસ્સામાં  $K$  નું મૂલ્ય 1 કરતાં ઘણું વધારે હશે. આપણે અપેક્ષા રાખી શકીએ કે પ્રબળ ઉષ્માક્ષેપક પ્રક્રિયાના  $K$  ઘણા વધારે હોય અને પ્રક્રિયા લગભગ પૂર્ણ થવા પર જાય.  $\Delta_r G^\ominus$  વળી  $\Delta_r S^\ominus$  ઉપર આધાર રાખે છે. જો પ્રક્રિયાની એન્ટ્રોપીનો ફેરફાર પણ ધ્યાનમાં લેવામાં આવે તો  $K$  નું મૂલ્ય અથવા પ્રક્રિયા પરિણમવા પર પણ  $\Delta_r S^\ominus$  ધન છે કે ઋણ તે પ્રમાણે અસર પડશે.

સમીકરણ (6.24)નો ઉપયોગ કરતાં,

- $\Delta H^\ominus$  અને  $\Delta S^\ominus$ ના માપનમાંથી  $\Delta G^\ominus$ નો અંદાજ કાઢી શકીએ અને પછી ગમે તે તાપમાને નીપજના વ્યાપારિક ઊપજ (yield) માટે  $K$ ની ગણતરી કરી શકીએ.
- જો  $K$ નું પ્રયોગશાળામાં સીધી જ રીતે માપન કરી શકીએ, તો બીજા કોઈ તાપમાને  $\Delta G^\ominus$ નું મૂલ્ય ગણી શકીએ.

### કોષ્ટક 6.4 પ્રક્રિયાઓની સ્વયંસ્ફુરણા પર તાપમાનની અસર

$\Delta_r H^0$	$\Delta_r S^0$	$\Delta_r G^0$	વર્ણન*	
-	+	-	પ્રક્રિયા બધા તાપમાને સ્વયંસ્ફુરિત.	
-	-	- (નીચા તાપમાને T)	પ્રક્રિયા નીચા તાપમાને સ્વયંસ્ફુરિત.	
-	-	+	(ઊંચા તાપમાને T)	પ્રક્રિયા ઊંચા તાપમાને બિનસ્વયંસ્ફુરિત.
+	+	+	(નીચા તાપમાને T)	પ્રક્રિયા નીચા તાપમાને બિનસ્વયંસ્ફુરિત.
+	+	-	(ઊંચા તાપમાને T)	પ્રક્રિયા ઊંચા તાપમાને સ્વયંસ્ફુરિત.
+	-	+	(બધા તાપમાને T)	પ્રક્રિયા બધા તાપમાને બિનસ્વયંસ્ફુરિત.

\* નીચું તાપમાન અને ઊંચું તાપમાન સાપેક્ષમાં છે. કોઈ એક પ્રક્રિયા માટે ઊંચું તાપમાન ઓરડાનું તાપમાન પણ હોઈ શકે.

**કોયડો 6.11**

298 K તાપમાને ઓક્સિજનમાંથી ઓઝોનના પરિવર્તન  $\frac{3}{2}O_2(g) \rightarrow O_3(g)$  માટે  $\Delta_r G^\ominus$  ગણો. આ પરિવર્તન માટે  $K_p = 2.47 \times 10^{-29}$  છે.

ઉકેલ :

આપણે જાણીએ છીએ કે  $\Delta_r G^\ominus = -2.303 RT \log K_p$   
અને  $R = 8.314 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

$$\begin{aligned} \text{આથી } \Delta_r G^\ominus &= -2.303 (8.314 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}) \\ &\quad (298 \text{ K}) (\log 2.47 \times 10^{-29}) \\ &= 163000 \text{ J mol}^{-1} \\ &= 163 \text{ kJ mol}^{-1} \end{aligned}$$

**કોયડો 6.12**

નીચેની પ્રક્રિયા માટે 298 K તાપમાને સંતુલન અચળાંકનું મૂલ્ય શોધો.



આપેલ તાપમાને પ્રમાણિત ગીબ્સ ઊર્જા ફેરફાર

$$\Delta_r G^\ominus -13.6 \text{ kJ mol}^{-1} \text{ છે.}$$

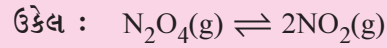
ઉકેલ :

$$\begin{aligned} \text{આપણે જાણીએ છીએ કે } \log K &= \frac{\Delta_r G^\ominus}{2.303RT} \\ &= \frac{(13.6 \times 10^3 \text{ J mol}^{-1})}{2.303 (8.314 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}) (298 \text{ K})} \\ &= 2.38 \end{aligned}$$

$$\text{આથી } K = \text{antilog } 2.38 = 2.4 \times 10^2$$

**કોયડો 6.13**

60 °C તાપમાને ડાયનાઇટ્રોજન ટેટ્રોક્સાઇડ 50 % વિઘટિત થયેલો છે. આ તાપમાને અને એક વાતાવરણ દબાણે પ્રમાણિત મુક્ત ઊર્જા ફેરફાર ગણો.



જો  $N_2O_4$  50 % વિયોજિત હોય તો બન્ને પદાર્થના મોલ અંશ થશે.

$$X_{N_2O_4} = \frac{1-0.5}{1+0.5}; \quad X_{NO_2} = \frac{2 \times 0.5}{1+0.5}$$

$$P_{N_2O_4} = \frac{0.5}{1.5} \times 1 \text{ atm};$$

$$P_{NO_2} = \frac{1}{1.5} \times 1 \text{ atm}$$

સંતુલન અચળાંક  $K_p$  નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય :

$$\begin{aligned} K_p &= \frac{(P_{NO_2})^2}{P_{N_2O_4}} \\ &= \frac{1.5}{(1.5)^2 \times (0.5)} \\ &= 1.33 \text{ atm} \end{aligned}$$

હવે,

$$\Delta_r G^\ominus = -RT \ln K_p$$

$$\Delta_r G^\ominus = (-8.314 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}) \times (333 \text{ K})(2.303) \times (0.1239)$$

$$= -763.8 \text{ kJ mol}^{-1}$$

**સારાંશ**

ઉષ્માગતિશાસ્ત્ર રાસાયણિક અને ભૌતિક પ્રક્રમોમાંના ઊર્જા ફેરફારો સાથે સંકળાયેલા છે. તે આ પ્રક્રમોનો જથ્થાત્મક રીતે અભ્યાસ કરવામાં મદદરૂપ થાય છે. તે કેટલાક પ્રાકૃતિક કરવામાં ઉપોયગી થાય છે. આ હેતુઓ માટે આપણે વિશ્વ(universe)ને પ્રણાલી અને પર્યાવરણમાં વિભાજિત કરીએ છીએ. રાસાયણિક અથવા ભૌતિક પ્રક્રમ ઉષ્મા( $q$ )ના ઉત્સર્જન અથવા શોષણ તરફ દોરી જાય છે. આમાંનો કેટલોક ભાગ કાર્ય( $w$ )માં ફેરવાય છે. આ બાબતો ઉષ્માગતિશાસ્ત્રના પ્રથમ નિયમ દ્વારા સંબંધિત છે. જેમકે,  $\Delta U = q + w$ .  $\Delta U$  આંતરિક ઊર્જામાં ફેરફાર, માત્ર પ્રારંભિક અને અંતિમ અવસ્થાઓ પર આધાર રાખે છે, જ્યારે  $q$  અને  $w$  પથ પર આધાર રાખે છે. તેથી તેઓ અવસ્થા વિધેયો નથી. આમને જ્યારે પ્રણાલીમાં ઉમેરવામાં આવે છે ત્યારે  $q$  અને  $w$ ને ધન સંજ્ઞા



વડે દર્શાવીએ છીએ. આપણે એક પ્રણાલીમાંથી બીજી પ્રણાલીમાં થતું ઉષ્માનું સ્થાનાંતરણ (transfer) માપી શકીએ. જે તાપમાનમાં ફેરફારનું કારણ બને છે. તાપમાનમાં વધારાની માત્રા પદાર્થની ઉષ્માધારિતા (C) પર આધાર રાખે છે. આથી ઉષ્મા શોષાય કે ઉત્પન્ન થાય તે  $q = C\Delta T$ . કાર્યને  $w = -p_{ex}\Delta V$  તરીકે વાયુના વિસ્તરણ દરમિયાન માપી શકાય. પ્રતિવર્તી પ્રક્રમમાં જો આપણે  $p_{ex} = p$  બરાબર કદમાં અનંતસૂક્ષ્મ (infinitesimal) ફેરફાર માટે મૂકીએ તો  $w_{rev} = -pdV$ . આ પરિસ્થિતિમાં આપણે વાયુ સમીકરણ  $pV = nRT$  નો ઉપયોગ કરી શકીએ.

અચળ કદે  $w = 0$  અને તેથી  $\Delta U = q_p$ , અચળ કદે ઉષ્મા સ્થાનાંતરણ છે, પરંતુ રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ દરમિયાન સામાન્ય રીતે અચળ દબાણ હોય છે. આપણે બીજું અવસ્થા વિધેય **એન્થાલ્પી**ને વ્યાખ્યાયિત કરીએ. એન્થાલ્પી ફેરફાર  $\Delta H = \Delta U + \Delta n_g RT$ . આપણે સીધા જ અચળ દબાણે ઉષ્મા ફેરફારો પરથી નક્કી કરી શકીએ.  $\Delta H = q_p$ .

એન્થાલ્પી ફેરફારોના અનેક પ્રકારો છે. કલાનો ફેરફાર જેવા કે ગલન, બાષ્પીભવન અને ઉર્ધ્વપાતન સામાન્ય રીતે અચળ તાપમાને થાય છે અને એન્થાલ્પી ફેરફાર વડે લાક્ષણિક કહી શકાય છે અને તે હંમેશાં ધન હોય છે. સર્જન અને દહન એન્થાલ્પી અને અન્ય એન્થાલ્પી ફેરફારો **હેસના નિયમનો** ઉપયોગ કરી ગણી શકાય. રાસાયણિક પ્રક્રિયા માટે એન્થાલ્પી ફેરફાર નીચે પ્રમાણે નક્કી કરી શકાય :

$$\Delta_r H = \sum_i (a_i \Delta_f H_{નીપજ}) - \sum_i (b_i \Delta_f H_{પ્રક્રિયક})$$

અને વાયુમય અવસ્થામાં  $\Delta_r H^\ominus = \sum$  પ્રક્રિયકોની બંધન એન્થાલ્પી -  $\sum$  નીપજોની બંધન એન્થાલ્પી

ઉષ્માગતિશાસ્ત્રનો પ્રથમ નિયમ આપણને રાસાયણિક પ્રક્રિયાની દિશા વિશે માર્ગદર્શન આપતો નથી. એટલે રાસાયણિક પ્રક્રિયા માટે કયું માર્ગદર્શક અથવા પ્રેરક (directing) બળ છે ? નિરાળી પ્રણાલી માટે  $\Delta U = 0$ . આપણે અન્ય અવસ્થા વિધેય **એન્ટ્રોપી** S આ હેતુ માટે વ્યાખ્યાયિત કરીએ. એન્ટ્રોપી અવ્યવસ્થા અથવા અસ્તવ્યસ્તતાનું માપ છે. સ્વયંસ્ફુરિત પ્રક્રિયા માટે કુલ એન્ટ્રોપી ફેરફાર ધન હોય છે. આથી નિરાળી પ્રણાલી માટે  $\Delta U = 0$ ,  $\Delta S > 0$ . આથી એન્ટ્રોપી ફેરફાર સ્વયંસ્ફુરિત પ્રક્રિયાનો ભેદ પાડી શકે છે, પરંતુ ઉષ્મા ફેરફાર પાડી શકતો નથી. એન્ટ્રોપી ફેરફાર સમીકરણ  $\Delta S = \frac{q_{rev}}{T}$  (પ્રતિવર્તી પ્રક્રિયા માટે).  $\frac{q_{rev}}{T}$  પથથી સ્વતંત્ર હોય છે.

રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ સામાન્ય રીતે અચળ દબાણે કરવામાં આવે છે. આથી આપણે અન્ય અવસ્થા વિધેય **ગીબ્સ ઊર્જા** G ને વ્યાખ્યાયિત કરી શકીએ તે પ્રણાલીના એન્થાલ્પી ફેરફાર અને એન્ટ્રોપી ફેરફાર સાથે નીચેના સમીકરણથી સંબંધિત છે.

$$\Delta_r G = \Delta_r H - T\Delta_r S$$

સ્વયંસ્ફુરિત પ્રક્રિયા માટે  $\Delta G_{sys} < 0$  અને સંતુલને  $\Delta G_{sys} = 0$  પ્રમાણિત ગીબ્સ ઊર્જા ફેરફાર સંતુલન અચળાંક સાથે સમીકરણ  $\Delta_r G^\ominus = -RT \ln K$  વડે સંબંધિત છે. આ સમીકરણ પરથી  $\Delta G^\ominus$  ગણી શકીએ.  $\Delta G^\ominus$  ને  $\Delta_r G^\ominus = \Delta_r H^\ominus - T\Delta_r S^\ominus$  સમીકરણ પરથી ગણી શકાય. આ સમીકરણમાં તાપમાન અગત્યનો અવયવ છે. કેટલીક પ્રક્રિયાઓ જે નીચા તાપમાને સ્વયંસ્ફુરિત નથી તેમને ઊંચા તાપમાને સ્વયંસ્ફુરિત કરી શકાય છે, કારણ કે તે પ્રક્રિયાની એન્ટ્રોપી ધન બને છે.

## સ્વાધ્યાય

- 6.1 સાચો ઉત્તર પસંદ કરો. ઉષ્માગતિય અવસ્થા વિધેય ..... રાશિ છે.
- (i) ઉષ્મા ફેરફાર નક્કી કરવા વપરાતી  
(ii) જેનું મૂલ્ય પથથી સ્વતંત્ર છે.  
(iii) દબાણ-કદ કાર્ય નક્કી કરવા વપરાય છે.  
(iv) જેનું મૂલ્ય માત્ર તાપમાન પર આધાર રાખે છે.
- 6.2 સમોષ્મી પરિસ્થિતિ હેઠળ થનાર પ્રક્રમને માટે સાચી શરત છે :
- (i)  $\Delta T = 0$  (ii)  $\Delta p = 0$   
(iii)  $q = 0$  (iv)  $w = 0$
- 6.3 બધા જ તત્વોની એન્થાલ્પી તેમની પ્રમાણિત અવસ્થામાં હોય છે.
- (i) એક (ii) શૂન્ય  
(iii)  $< 0$  (iv) દરેક તત્વ માટે અલગ
- 6.4 મિથેનના દહનનું  $\Delta U^0$  મૂલ્ય  $-X \text{ kJ mol}^{-1}$  છે.  $\Delta H^0$ નું મૂલ્ય શું હશે ?
- (i)  $= \Delta U^0$  (ii)  $> \Delta U^0$   
(iii)  $< \Delta U^0$  (iv)  $= 0$
- 6.5 298 K તાપમાને મિથેન, ગ્રેફાઈટ અને ડાયહાઈડ્રોજનની દહન એન્થાલ્પી અનુક્રમે  $-890.3 \text{ kJ mol}^{-1}$ ,  $-393.5 \text{ kJ mol}^{-1}$  અને  $-285.8 \text{ kJ mol}^{-1}$  છે.  $\text{CH}_4(\text{g})$  ની સર્જન (formation) એન્થાલ્પી કેટલી હશે ?
- (i)  $-74.8 \text{ kJ mol}^{-1}$  (ii)  $-52.27 \text{ kJ mol}^{-1}$   
(iii)  $+74.8 \text{ kJ mol}^{-1}$  (iv)  $+52.26 \text{ kJ mol}^{-1}$
- 6.6 પ્રક્રિયા  $A + B \rightarrow C + D + q$  નો એન્ડ્રોપી ફેરફાર ધન જણાયો છે. પ્રક્રિયા
- (i) ઊંચા તાપમાને શક્ય હશે. (ii) નીચા તાપમાને શક્ય હશે.  
(iii) કોઈ પણ તાપમાને શક્ય નથી. (iv) કોઈ પણ તાપમાને શક્ય હશે.
- 6.7 એક પ્રક્રમમાં પ્રણાલી દ્વારા 701 J ઉષ્મા શોષાયેલ છે અને 394 J કાર્ય પ્રણાલી દ્વારા થયું છે. પ્રક્રમની આંતરિક ઊર્જાનો તફાવત શું હશે ?
- 6.8 સાયનેમાઈડ  $\text{NH}_2\text{CN}(\text{s})$ ની ડાયઑક્સિજન સાથેની પ્રક્રિયા બોમ્બ કેલરીમીટરમાં કરવામાં આવી અને  $\Delta U$ નું મૂલ્ય  $-742.7 \text{ kJ mol}^{-1}$  298 K તાપમાને મળેલ છે. પ્રક્રિયા માટે 298 K તાપમાને એન્થાલ્પી ફેરફાર ગણો.
- $$\text{NH}_2\text{CN}(\text{g}) + \frac{3}{2}\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{N}_2(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$$
- 6.9 60.0 g એલ્યુમિનિયમનું તાપમાન 35 °C થી 55 °C સુધી વધારવા માટે જરૂરી ઉષ્માના kJની સંખ્યા ગણો. Alની મોલર ઉષ્માધારિતા  $24 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$  છે.
- 6.10 1.0 mol પાણીને 10.0 °C થી  $-10.0 \text{ °C}$  તાપમાને ઠારવામાં આવે તો થતો એન્થાલ્પી ફેરફાર ગણો. 0 °C તાપમાને  $\Delta_{\text{fus}}H = 6.03 \text{ kJ mol}^{-1}$ .
- $C_p [\text{H}_2\text{O}(\text{l})] = 75.3 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}$   
 $C_p [\text{H}_2\text{O}(\text{s})] = 36.8 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}$

- 6.11 કાર્બનના  $\text{CO}_2$  માં દહનની એન્થાલ્પી  $-393.5 \text{ kJ mol}^{-1}$  છે. કાર્બન અને ડાયઑક્સિજનમાંથી  $35.2 \text{ g}$   $\text{CO}_2$  બનાવવામાં મુક્ત થતી ઉષ્મા ગણો.
- 6.12  $\text{CO(g)}$ ,  $\text{CO}_2(\text{g})$ ,  $\text{N}_2\text{O(g)}$  અને  $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$  ની સર્જન એન્થાલ્પી અનુક્રમે  $-110$ ,  $-393$ ,  $81$  અને  $9.7 \text{ kJ mol}^{-1}$  છે. પ્રક્રિયા  $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) + 3\text{CO(g)} \rightarrow \text{N}_2\text{O(g)} + 3\text{CO}_2(\text{g})$ ની  $\Delta_r H^\circ$  નું મૂલ્ય શોધો.
- 6.13  $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{NH}_3(\text{g})$ ;  $\Delta_r H^\circ = -92.4 \text{ kJ mol}^{-1}$  આપેલ છે.  
 $\text{NH}_3$  વાયુની પ્રમાણિત સર્જન ઉષ્મા કેટલી હશે ?
- 6.14 નીચેની માહિતી પરથી  $\text{CH}_3\text{OH(l)}$ ની પ્રમાણિત સર્જન ઉષ્મા ગણો :
- $$\text{CH}_3\text{OH (l)} + \frac{3}{2}\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O(l)}; \Delta_r H^\circ = -726 \text{ kJ mol}^{-1}$$
- $$\text{C(ગ્રેફાઈટ)} + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}); \Delta_c H^\circ = -393 \text{ kJ mol}^{-1}$$
- $$\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2\text{O(l)}; \Delta_f H^\circ = -286 \text{ kJ mol}^{-1}$$
- 6.15  $\text{CCl}_4(\text{g}) \rightarrow \text{C(g)} + 4 \text{Cl(g)}$  પ્રક્રિયા માટે એન્થાલ્પી ફેરફાર ગણો અને  $\text{CCl}_4(\text{g})$ માં C – Cl બંધની બંધન એન્થાલ્પી ગણો.
- $$\Delta_{\text{vap}} H^\circ(\text{CCl}_4) = 30.5 \text{ kJ mol}^{-1}$$
- $$\Delta_f H^\circ(\text{CCl}_4) = -135.5 \text{ kJ mol}^{-1}$$
- $$\Delta_a H^\circ(\text{C}) = 715.0 \text{ kJ mol}^{-1}, \text{ જ્યાં, } \Delta_a H^\circ \text{ પરમાણ્વીયકરણ (atomisation) એન્થાલ્પી છે.}$$
- $$\Delta_a H^\circ(\text{Cl}_2) = 242 \text{ kJ mol}^{-1}$$
- 6.16 નિરાળી પ્રણાલી માટે  $\Delta U = 0$  છે, તો  $\Delta S = ?$
- 6.17  $2\text{A} + \text{B} \rightarrow \text{C}$  પ્રક્રિયા માટે  $298 \text{ K}$  તાપમાને  
 $\Delta H = 400 \text{ kJ mol}^{-1}$  અને  $\Delta S = 0.2 \text{ kJ K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$   
 પ્રક્રિયા માટે  $\Delta H$  અને  $\Delta S$  ગણો અને પ્રાકૃકથન કરો કે પ્રક્રિયા કયા તાપમાને સ્વયંસ્ફુરિત થશે કે નહિ?
- 6.18  $2 \text{Cl(g)} \rightarrow \text{Cl}_2(\text{g})$  પ્રક્રિયા માટે  $\Delta H$  અને  $\Delta S$ ની સંજ્ઞાઓ શું હશે ?
- 6.19  $2 \text{A(g)} + \text{B(g)} \rightarrow 2\text{D(g)}$  પ્રક્રિયા માટે,  
 $\Delta U^\circ = -10.5 \text{ kJ}$  અને  $\Delta S^\circ = -44.1 \text{ JK}^{-1}$ . પ્રક્રિયા માટે  $\Delta G^\circ$  ગણો અને પ્રાકૃકથન કરો કે પ્રક્રિયા સ્વયંસ્ફુરિત રીતે થઈ શકશે ?
- 6.20 એક પ્રક્રિયા માટે સંતુલન અચળાંક  $10$  છે,  $\Delta G^\circ$ નું મૂલ્ય કેટલું હશે ?  $R = 8.314 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ ,  
 $T = 300 \text{ K}$ .
- 6.21  $\text{NO(g)}$  માટે ઉષ્માગતિય સ્થાયીતા પર ટીકા કરો :
- $$\frac{1}{2}\text{N}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{NO(g)}; \Delta_f H^\circ = 90 \text{ kJ mol}^{-1}$$
- $$\text{NO(g)} + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{NO}_2(\text{g}); \Delta_f H^\circ = -74 \text{ kJ mol}^{-1} \text{ આપેલ છે.}$$
- 6.22 પ્રમાણિત પરિસ્થિતિમાં  $1 \text{ mol H}_2\text{O(l)}$  બને ત્યારે પર્યાવરણમાં થતો એન્ટ્રોપી ફેરફાર ગણો.  
 $\Delta_f H^\circ = -286 \text{ kJ mol}^{-1}$

## સંતુલન (Equilibrium)

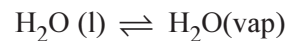
### હેતુઓ :

આ એકમના અભ્યાસ પછી તમે...

- ભૌતિક અને રાસાયણિક પ્રક્રમોમાં સમાવિષ્ટ સંતુલનનો ગતિશીલ સ્વભાવ ઓળખી શકશો.
- સંતુલનના નિયમનું નિવેદન કરી શકશો.
- ભૌતિક અને રાસાયણિક સંતુલનોમાં સમાયેલી લાક્ષણિકતાઓ સમજાવી શકશો.
- સંતુલન અચળાંકો માટે અભિવ્યક્તિ આપી શકશો.
- $K_p$  અને  $K_c$  વચ્ચેનો સંબંધ પ્રસ્થાપિત કરશો.
- પ્રક્રિયાની સંતુલન અવસ્થાને અસર કરતાં જુદા જુદા પરિબલો સમજાવી શકશો.
- આર્હેનિયસ, બ્રૉન્સ્ટેડ-લોરી અને લુઈસ સંકલ્પના પ્રમાણે પદાર્થોને એસિડ અથવા બેઈઝમાં વર્ગીકૃત કરી શકશો.
- એસિડ અને બેઈઝને તેમના આયનીકરણ અચળાંકના પર્યાયો પ્રમાણે નિર્ભળ કે પ્રબળ તરીકે વર્ગીકૃત કરી શકશો.
- આયનીકરણ અંશનો આધાર વિદ્યુત-વિભાજ્યની સાંદ્રતા અને સમાન આયન પર છે તેમ સમજાવી શકશો.
- હાઈડ્રોજન આયનની સાંદ્રતા દર્શાવવા માટેના pH માપકમનું વર્ણન કરી શકશો.
- પાણીનું આયનીકરણ અને તેનો એસિડ અને બેઈઝ તરીકે દ્વિસ્વભાવ સમજાવી શકશો.
- પાણીનો આયનીય ગુણાકાર  $K_w$  અને  $pK_w$ નું વર્ણન કરી શકશો.
- બફર દ્રાવણોના ઉપયોગનું મૂલ્યાંકન કરી શકશો.
- દ્રાવ્યતા ગુણાકાર અચળાંક ગણી શકશો.

ઘણા બધા જૈવિક અને પર્યાવરણીય પ્રક્રમોમાં રાસાયણિક સંતુલનો અગત્યના છે. ઉદાહરણ તરીકે, આપણા ફેફસાંમાંથી આપણા સ્નાયુઓને  $O_2$ ની વહેંચણી અને વહન દરમિયાનમાં  $O_2$  અણુઓ અને પ્રોટીન હિમોગ્લોબીનનો સમાવેશ કરતાં સંતુલનો નિર્ણાયક ભાગ ભજવે છે. આવા જ સંતુલન જેમાં CO અણુઓ અને હિમોગ્લોબીનનો સમાવેશ થાય છે તે COની વિષાલુતાનો ખુલાસો આપે છે.

જ્યારે પ્રવાહી બંધ પાત્રમાં બાષ્પીભવન પામે છે ત્યારે પ્રમાણમાં વધારે ગતિજ ઊર્જા ધરાવતા અણુઓ પ્રવાહીની સપાટીને છોડી દઈને બાષ્પ કલામાં જાય છે અને પ્રવાહીના કેટલાક અણુઓ બાષ્પ અવસ્થામાંથી નીકળી પ્રવાહીની સપાટીને અથડાય છે અને પ્રવાહીમાં જળવાઈ રહે છે. આને લીધે અચળ બાષ્પદબાણ ઉત્પન્ન થાય છે, કારણ કે સંતુલન સ્થપાય છે. જેમાં પ્રવાહીમાંથી બાષ્પમાં ફેરવાતાં અણુઓ અને બાષ્પમાંથી પ્રવાહીમાં ફેરવાતા અણુઓની સંખ્યા સરખી હોય છે. આપણે એમ કહીએ છીએ કે આ તબક્કે પ્રણાલી **સંતુલન અવસ્થા**એ પહોંચેલ છે. જો કે આ સ્થિર સંતુલન હોતું નથી અને પ્રવાહી અને બાષ્પ વચ્ચે સીમા (boundary) પર ઘણી બધી પ્રવૃત્તિ થતી હોય છે. આમ, સંતુલને બાષ્પીભવનનો દર અને સંઘનનનો દર સરખા થાય છે. આને નીચે પ્રમાણે રજૂ કરી શકાય :



બે અર્ધતીરો સૂચવે છે કે પ્રક્રમો બંને દિશામાં એકસાથે જ થતી હોય છે. સંતુલન અવસ્થામાં પ્રક્રિયકો અને નીપજોના મિશ્રણને **સંતુલન મિશ્રણ** કહે છે.

સંતુલન ભૌતિક અને રાસાયણિક એમ બંને પ્રક્રમ માટે પ્રસ્થાપિત કરી શકાય. પ્રાયોગિક પરિસ્થિતિ અને પ્રક્રિયકોના સ્વભાવને આધારે પ્રક્રિયા ઝડપી અથવા ધીમી હોઈ શકે, જ્યારે કોઈ તાપમાને બંધ પાત્રમાં પ્રક્રિયકો પ્રક્રિયા કરે છે અને નીપજો આપે છે ત્યારે પ્રક્રિયકોની સાંદ્રતા ઘટતી જાય છે, જ્યારે નીપજોની સાંદ્રતા અમુક સમય સુધી વધતી રહે છે. ત્યારબાદ પ્રક્રિયકો કે નીપજોમાંથી કોઈની પણ સાંદ્રતા બદલાતી નથી. પ્રણાલીનો આ તબક્કો **ગતિશીલ સંતુલન** છે અને પુરોગામી અને પ્રતિગામી પ્રક્રિયાના વેગ સરખા થાય છે. આ

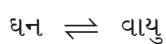
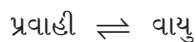
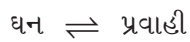
ગતિશીલ સંતુલન તબક્કાને કારણે જ પ્રક્રિયા મિશ્રણમાં જુદી જુદી સ્પીસિઝની સાંદ્રતાઓમાં ફેરફાર થતો નથી. પ્રક્રિયા આગળ વધીને રાસાયણિક સંતુલન અવસ્થાએ પહોંચશે તેના પ્રમાણના આધાર મુજબ ત્રણ સમૂહમાં વહેંચાયેલા છે.

- એવી પ્રક્રિયાઓ કે જે લગભગ પૂર્ણ થવા જાય છે અને પ્રક્રિયકની નગણ્ય સાંદ્રતા બાકી રહી જાય છે. કેટલાક કિસ્સાઓમાં, પ્રાયોગિક રીતે પણ આ ચકાસવું શક્ય હોતું નથી.
- એવી પ્રક્રિયાઓ જેમાં નીપજનું ઘણું ઓછું પ્રમાણ બને છે અને મોટા ભાગના પ્રક્રિયક સંતુલન તબક્કે ફેરફાર વગરના રહે છે.
- એવી પ્રક્રિયાઓ જ્યારે પ્રણાલી સંતુલનમાં હોય ત્યારે પ્રક્રિયકો અને નીપજો એકબીજાની સાથે સરખાવી શકાય તેમ હોય છે.

સંતુલનમાં પ્રક્રિયાના પ્રમાણ પ્રાયોગિક પરિસ્થિતિઓ જેવી કે પ્રક્રિયકોની સાંદ્રતા, તાપમાન વગેરે સાથે બદલાય છે. સંક્રિયાત્મક (operational) પરિસ્થિતિનું અનુકૂળતમીકરણ (optimization) ઉદ્યોગો અને પ્રયોગશાળામાં અગત્યનું છે જેથી ઈચ્છિત નીપજો તરફ પ્રક્રમની દિશા રહે. આ એકમમાં સંતુલનની કેટલીક અગત્યની બાબતો જેમાં ભૌતિક અને રાસાયણિક પ્રક્રમોનો સમાવેશ થયેલ હોય છે તેનો તથા જલીય દ્રાવણોમાં આયનોને સમાવિષ્ટ કરતું સંતુલન જેને આયનીય સંતુલન કહે છે તે વિષે ચર્ચા કરવામાં આવી છે.

## 7.1 ભૌતિક પ્રક્રમમાં સંતુલન (Equilibrium in Physical Processes)

જો આપણે કેટલાક ભૌતિક પ્રક્રમોને તપાસીએ તો સંતુલને પ્રણાલીની લાક્ષણિકતાઓની વધારે સારી સમજણ પડે. ખૂબ જ જાણીતા ઉદાહરણોમાં કલા (phase) રૂપાંતરણ (transformation) પ્રક્રમો છે. દા.ત.,



### 7.1.1 ઘન-પ્રવાહી સંતુલન (Solid-Liquid Equilibrium)

બરફ અને પાણીને સંપૂર્ણ ઉષ્મારોધક (insulator) થર્મોસ ફ્લાસ્કમાં (તેમાં રહેલા પદાર્થો અને પર્યાવરણ સાથે કોઈ ઉષ્માનો વિનિમય નહિ હોય) 273 K તાપમાને અને એક વાતાવરણ દબાણે સંતુલન સ્થિતિમાં પ્રણાલી રસપ્રદ લાક્ષણિક

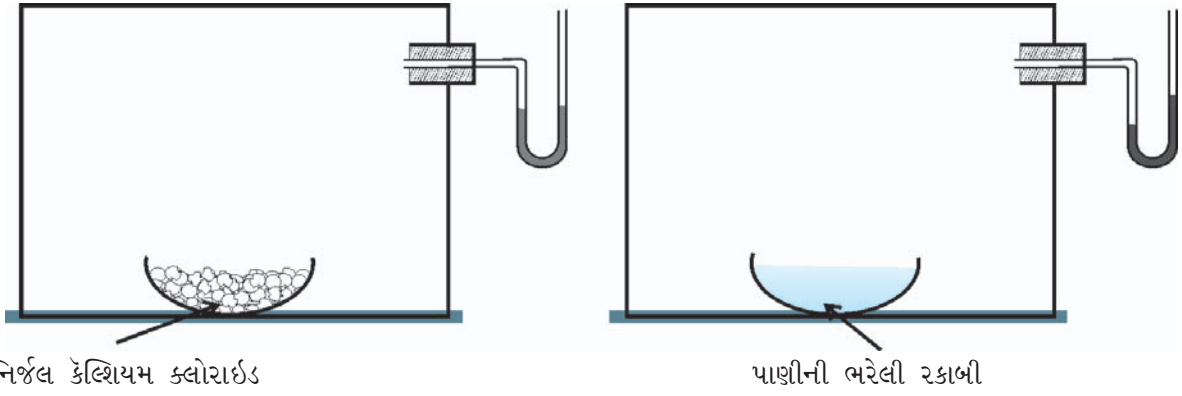
ખાસિયતો દર્શાવે છે. આપણે અવલોકન કરી શકીએ કે સમય સાથે પાણી અને બરફના દળ બદલાતા નથી અને તાપમાન પણ અચળ રહે છે. છતાં પણ સંતુલન સ્થિર (static) નથી. પાણી અને બરફ વચ્ચેની સીમા પર તીવ્ર પ્રવૃત્તિ નોંધી શકાશે. પાણીમાંના અણુઓ બરફની સીમા પર અથડાશે અને તેને વળગી રહેશે અને બરફના કેટલાક અણુ પ્રવાહી કલામાં જતા રહેશે. પાણી અને બરફના દળમાં કોઈ ફેરફાર થતો નથી કારણ કે પાણીમાંથી બરફ અને બરફમાંથી પાણીના અણુઓની હેરફેરનો દર વાતાવરણીય દબાણે અને 273 K તાપમાને સરખા હોય છે.

એ સ્વાભાવિક છે બરફ અને પાણી માત્ર અમુક તાપમાને અને દબાણે જ સંતુલનમાં હોય છે. કોઈપણ શુદ્ધ પદાર્થ માટે વાતાવરણના દબાણે, જે તાપમાને ઘન અને પ્રવાહી કલાઓ વચ્ચે સંતુલન હોય તે તાપમાનને પદાર્થનું સામાન્ય ગલનબિંદુ અથવા સામાન્ય ઠારણબિંદુ કહેવાય છે. અહીંયા પ્રણાલી ગતિશીલ સંતુલનમાં છે અને નીચેનું અનુમાન કરી શકીએ :

- બન્ને એકબીજાથી વિરુદ્ધ પ્રક્રમો એકસાથે જ થાય છે.
- બન્ને પ્રક્રમો સરખા દરે થતા હોવાથી બરફ અને પાણીના પ્રમાણ (જથ્થા) અચળ રહે છે.

### 7.1.2 પ્રવાહી-બાષ્પ સંતુલન (Liquid-Vapour Equilibrium)

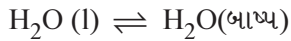
આ સંતુલન આપણે સારી રીતે સમજી શકીએ જો આપણે એક પારદર્શક પેટીનું ઉદાહરણ લઈએ. જેમાં પારો ભરેલી U-નળી (મેનોમીટર) હોય છે. ભેજ શોષણ કરતાં પદાર્થો જેવાં કે નિર્જળ કેલ્શિયમ ક્લોરાઇડ (અથવા ફોસ્ફોરસ પેન્ટોક્સાઇડ) થોડાક કલાકો માટે પેટીમાં મૂકવામાં આવે. ભેજશોષક પદાર્થને દૂર કરી પેટીને આપણે એક બાજુ નમાવીએ અને ઝડપથી પેટીમાં નીચેથી પાણી ભરેલો વોચ ગ્લાસ (અથવા પેટ્રી ડીશ) મૂકી દઈએ. આપણે અવલોકન કરી શકીશું કે મેનોમીટરના જમણી બાજુના છેડા પરના પારાની સપાટી ધીમે ધીમે વધે છે અને છેવટે અચળ મૂલ્ય પ્રાપ્ત કરે છે. એટલે કે પેટીની અંદરનું દબાણ વધે છે અને અચળ મૂલ્યે પહોંચે છે. વળી, વોચ ગ્લાસમાંના પાણીનું કદ ઘટે છે (આકૃતિ 7.1). શરૂઆતમાં પેટીની અંદર પાણીની બાષ્પ હતી નહિ (અથવા ઘણી ઓછી હતી). પાણીનું બાષ્પીભવન થયું એટલે પેટીમાંનું દબાણ પાણીના અણુઓ પેટીમાંની



આકૃતિ 7.1 અચળ તાપમાને સંતુલન બાષ્પદબાણનું માપન

વાયુમય કલામાં ઉમેરાયા. બાષ્પીભવન દર અચળ છે. છતાં દબાણમાં વધારાનો દર સમય સાથે ઘટે છે. કારણ કે બાષ્પનું પાણીમાં સંઘનન થાય છે. છેવટે તે એ સંતુલન પરિસ્થિતિએ લઈ જાય છે કે જ્યાં ચોખ્ખું (net) બાષ્પીભવન થતું નથી. આ એમ સૂચવે છે કે સંતુલન પ્રાપ્ત થાય ત્યાં સુધી વાયુમય અવસ્થામાંથી પ્રવાહી અવસ્થામાં જતાં પાણીના અણુઓની સંખ્યા વધે છે, એટલે કે,

બાષ્પીભવનનો દર = સંઘનનનો દર



સંતુલને આપેલ તાપમાને પાણીના અણુઓ વડે ઉત્પન્ન થયેલ દબાણ અચળ રહે છે અને તેને પાણીનું બાષ્પદબાણ (અથવા માત્ર બાષ્પદબાણ) કહે છે. પાણીનું બાષ્પદબાણ તાપમાનના વધારા સાથે વધે છે. જો ઉપરનો પ્રયોગ મિથાઇલ આલ્કોહોલ, એસિટોન અને ઈથર લઈને ફરી કરવામાં આવે તો એવું જ અવલોકન મળશે. એક જ તાપમાને જુદા જુદા પ્રવાહીના સંતુલન બાષ્પદબાણ જુદા જુદા હોય છે અને જે પ્રવાહીનું બાષ્પદબાણ વધારે છે તે વધુ બાષ્પશીલ છે અને તેનું ઉત્કલનબિંદુ નીચું હોય છે.

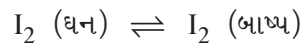
આપણે જો ત્રણ વોય ગ્લાસ જે દરેકમાં 1 ml એસિટોન, ઈથાઇલ આલ્કોહોલ અને પાણી અલગ અલગ રીતે લીધા છે અને વાતાવરણમાં ખુલ્લા મૂક્યા છે અને વધારે ગરમ રૂમમાં ઉપર પ્રમાણેના બધા કિસ્સામાં પ્રવાહીના જુદા જુદા કદ લેવામાં આવ્યા હોય અને પુનરાવર્તિત કરીએ તો એ અવલોકિત થશે કે બધા જ પ્રવાહી અદૃશ્ય થઈ જશે અને સંપૂર્ણ બાષ્પીભવન માટેનો સમય (i) પ્રવાહીનો સ્વભાવ (ii) પ્રવાહીનો જથ્થો (પ્રમાણ) અને (iii) તાપમાન પર આધાર રાખે છે. જ્યારે વોય ગ્લાસ વાતાવરણમાં ખુલ્લા હોય છે ત્યારે બાષ્પીભવનનો દર અચળ રહે છે, પરંતુ અણુઓ રૂમના વધારે કદમાં વિખેરાઈ

જાય છે. આને પરિણામે બાષ્પમાંથી પ્રવાહી અવસ્થા થવાના સંઘનનનો દર બાષ્પીભવનના દર કરતાં ઘણો ઓછો હોય છે. આ ખુલ્લી પ્રણાલીઓ છે અને તેથી ખુલ્લી પ્રણાલીમાં સંતુલને પહોંચવું શક્ય નથી.

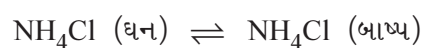
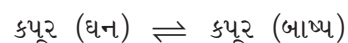
વાતાવરણ દબાણે (1.013 bar) અને 100 °C તાપમાને પાણી અને પાણીની બાષ્પ બંધ પાત્રમાં સંતુલનમાં હોય છે. પાણીનું ઉત્કલનબિંદુ 100 °C 1.013 bar દબાણે હોય છે. કોઈ પણ શુદ્ધ પ્રવાહી માટે એક વાતાવરણ દબાણે (1.013 bar) જે તાપમાને પ્રવાહી અને બાષ્પ સંતુલનમાં હોય છે તેને પ્રવાહીનું સામાન્ય ઉત્કલનબિંદુ કહે છે. પ્રવાહીનું ઉત્કલનબિંદુ વાતાવરણના દબાણ પણ આધાર રાખે છે. તે ઊંચાઈ પર પણ આધાર રાખે છે. વધુ ઊંચાઈએ ઉત્કલનબિંદુ ઘટે છે.

### 7.1.3 ઘન-બાષ્પ સંતુલન (Solid-Vapour Equilibrium)

હવે આપણે એવી પ્રણાલી લઈએ જેમાં ઘન ઉર્ધ્વપાતન પામી બાષ્પ કલામાં ફેરવાય છે. આપણે ઘન આયોડિનને બંધ પાત્રમાં લઈએ તો થોડી વાર પછી પાત્ર જાંબલી રંગની બાષ્પથી ભરાઈ જશે અને રંગની તીવ્રતા સમય સાથે વધશે. અમુક સમય પછી રંગની તીવ્રતા અચળ થાય છે અને આ તબક્કે સંતુલન પ્રાપ્ત થયેલ હોય છે. આમ ઘન આયોડિન ઉર્ધ્વપાતન પામી આયોડિન બાષ્પમાં ફેરવાય છે અને આયોડિનની બાષ્પ સંઘનન પામી ઘન આયોડિન આપે છે. આ સંતુલનને આ પ્રમાણે દર્શાવી શકાય :



આ પ્રકારનું સંતુલન દર્શાવતા અન્ય ઉદાહરણો છે :



### 7.1.4 ઘન અથવા વાયુઓનું પ્રવાહીમાં વિલયનનો સમાવેશ કરતું સંતુલન (Equilibrium Involving Dissolution of Solid or Gases in Liquid)

#### પ્રવાહીમાં ઘન :

આપણા અનુભવ પરથી આપણે જાણીએ છીએ કે ઓરડાના તાપમાને આપેલ પાણીના જથ્થામાં ક્ષાર અથવા ખાંડનું સીમિત પ્રમાણ (જથ્થો) ઓગાળી શકીએ છીએ. જો આપણે ખાંડને ઊંચા તાપમાને ઓગાળીને ખાંડનો સીરપ બનાવીએ અને પછી તેને ઓરડાના તાપમાને ઠંડું પડવા દઈએ તો ખાંડના સ્ફટિકો અલગ પડે છે તેને આપણે સંતૃપ્ત દ્રાવણ કહીએ છીએ. આપેલ તાપમાને આપણે વધારે પદાર્થ ઓગાળી શકીએ નહિ તે દ્રાવણને સંતૃપ્ત દ્રાવણ કહે છે. સંતૃપ્ત દ્રાવણમાં દ્રાવ્યની સાંદ્રતા તાપમાન પર આધાર રાખે છે. ઘન અવસ્થામાં રહેલા અણુઓ અને દ્રાવણમાંના અણુઓ વચ્ચે ગતિશીલ સંતુલન હોય છે.

ખાંડ (દ્રાવણ)  $\rightleftharpoons$  ખાંડ (ઘન) અને

ખાંડનો વિલયન દર = ખાંડનો સ્ફટિકીકરણ દર.

બન્ને દરની સમાનતા અને સંતુલનનો ગતિશીલ સ્વભાવ રેડિયોસક્રિય ખાંડનો ઉપયોગ કરી સાબિત કરવામાં આવેલું છે. ધારો કે આપણે થોડી રેડિયોસક્રિય ખાંડના સંતૃપ્ત દ્રાવણમાં બિનરેડિયોસક્રિય ખાંડના સંતૃપ્ત દ્રાવણના થોડા ટીપાં ઉમેરીએ, તો થોડા સમય પછી રેડિયોસક્રિયતા બન્ને દ્રાવણોમાં જણાય છે. શરૂઆતમાં દ્રાવણમાં રેડિયોસક્રિય ખાંડના અણુ હતા નહિ, પણ સંતુલનના ગતિશીલ સ્વભાવને કારણે બન્ને કલામાંના રેડિયોસક્રિય અને બિનરેડિયોસક્રિય ખાંડના દ્રાવણમાં ફેરફાર થાય છે. રેડિયોસક્રિય અને બિનરેડિયોસક્રિય અણુઓનો ગુણોત્તર અચળ મૂલ્ય ન મળે ત્યાં સુધી વધ્યા કરે છે.

#### પ્રવાહીમાં વાયુઓ :

જ્યારે સોડા વોટરની બોટલ ખોલવામાં આવે છે ત્યારે તેમાં ઓગળેલા કાર્બન ડાયોક્સાઈડમાંથી થોડો કાર્બન ડાયોક્સાઈડ વાયુ ઉભરા સાથે ઝડપથી બહાર આવી જાય છે. આ ઘટના કાર્બન ડાયોક્સાઈડની જુદા જુદા દબાણે દ્રાવ્યતામાં ફેરફારને કારણે બને છે. દબાણ હેઠળ પ્રવાહીમાં ઓગળેલા અણુઓ અને વાયુમય અવસ્થામાં રહેલા અણુઓ વચ્ચે સંતુલન હોય છે. એટલે કે,

$\text{CO}_2$  (વાયુ)  $\rightleftharpoons$   $\text{CO}_2$  (દ્રાવણમાં)

આ સંતુલન હેઠ્ઠીના નિયમથી નિયંત્રિત છે. આ નિયમ જણાવે છે કે કોઈ પણ તાપમાને વાયુનું દળ જે દ્રાવકના

આપેલા દળમાં ઓગાળવામાં આવેલ છે તે દ્રાવકની ઉપરના વાયુના દબાણને સમપ્રમાણ હોય છે. તાપમાનના વધારા સાથે આ પ્રમાણ (જથ્થો) ઘટે છે. કાર્બન ડાયોક્સાઈડની દ્રાવ્યતા પાણીમાં જ્યારે સૌથી વધારે હોય ત્યારે સોડા વોટરને બોટલમાં ભરીને બંધ કરવામાં આવે છે. જેવી બોટલ ખોલવામાં આવે છે ત્યારે ઓગળેલા કાર્બન ડાયોક્સાઈડમાંથી થોડો છૂટો પડે છે જેથી નીચા દબાણે જરૂરી નવી સંતુલન પરિસ્થિતિએ એટલે કે વાતાવરણમાં તેના આંશિક દબાણને પહોંચી શકાય. આથી જ સોડા વોટરની બોટલને કેટલાક સમય માટે ખુલ્લી રાખવામાં આવે તો તેમાંથી કાર્બન ડાયોક્સાઈડ નીકળી જાય છે. આથી સામાન્યીકરણ કરી શકાય કે,

(i) ઘન  $\rightleftharpoons$  પ્રવાહી સંતુલન માટે, એક જ તાપમાને (ગલનબિંદુ) 1 atm (1.013 bar) દબાણે જ્યારે બન્ને કલાઓ સહઅસ્તિત્વ ધરાવે છે. જો પર્યાવરણ સાથે ઉષ્માનો વિનિમય ન હોય તો બન્ને કલાનું દળ અચળ રહે છે.

(ii) પ્રવાહી  $\rightleftharpoons$  બાષ્પ સંતુલન માટે આપેલ તાપમાને બાષ્પદબાણ અચળ હોય છે.

(iii) પ્રવાહીમાં ઘનના વિલયન માટે આપેલ તાપમાને દ્રાવ્યતા અચળ હોય છે.

(iv) પ્રવાહીમાં વાયુના વિલયન માટે પ્રવાહીમાં વાયુની સાંદ્રતા પ્રવાહી પરના વાયુના દબાણ(સાંદ્રતા)ને સમપ્રમાણ હોય છે. આ અવલોકનોનો કોષ્ટક 7.1માં ઉપસંહાર કરી શકાય.

#### કોષ્ટક 7.1 ભૌતિક સંતુલનની વિશિષ્ટતાઓ

પ્રક્રમ	તારણ
પ્રવાહી $\rightleftharpoons$ બાષ્પ $\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}(\text{g})$	$P_{\text{H}_2\text{O}}$ આપેલા તાપમાને અચળ
ઘન $\rightleftharpoons$ પ્રવાહી $\text{H}_2\text{O}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}(\text{l})$	અચળ દબાણે ગલનબિંદુ નિશ્ચિત હોય છે.
દ્રાવ્ય(s) $\rightleftharpoons$ દ્રાવ્ય (દ્રાવણ) ખાંડ(s) $\rightleftharpoons$ ખાંડ (દ્રાવણ)	આપેલ તાપમાને દ્રાવણમાં દ્રાવ્યની સાંદ્રતા અચળ હોય છે.
વાયુ(g) $\rightleftharpoons$ વાયુ(aq)	$[\text{વાયુ}(\text{aq})]/[\text{વાયુ}(\text{g})]$ આપેલ તાપમાને અચળ હોય છે.
$\text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{aq})$	$[\text{CO}_2(\text{aq})]/[\text{CO}_2(\text{g})]$ આપેલ તાપમાને અચળ હોય છે.

### 7.1.5 ભૌતિક પ્રક્રમને સમાવતા સંતુલનની સામાન્ય વિશિષ્ટતાઓ (General Characteristics of Equilibria Involving Physical Processes)

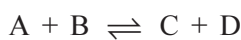
ઉપર ચર્ચા કરેલા ભૌતિક પ્રક્રમો માટે સંતુલનને પ્રણાલીની સામાન્ય વિશિષ્ટતાઓ નીચે પ્રમાણે છે :

- આપેલ તાપમાને બંધ પ્રણાલીમાં જ સંતુલન શક્ય છે.
- બન્ને એકબીજાની વિરુદ્ધ પ્રક્રમો સમાન દરે થાય છે અને ત્યાં ગતિશીલતા હોય છે છતાં પણ સ્થાયી પરિસ્થિતિ હોય છે.
- પ્રણાલીના બધા માપી શકાય તેવા ગુણધર્મો અચળ રહે છે.
- જ્યારે સંતુલન ભૌતિક પ્રક્રમ માટે મેળવાય છે ત્યારે આપેલ તાપમાને તેના કોઈ પણ એક પરિબળના અચળ મૂલ્યથી વિશિષ્ટતા દર્શાવે છે. કોષ્ટક 7.1માં આવી રાશિઓની યાદી કરેલ છે.
- કોઈ પણ તબક્કે આવી રાશિની માત્રા સૂચવે છે કે પ્રક્રિયા સંતુલન અવસ્થાએ પહોંચ્યા પહેલા ભૌતિક પ્રક્રમ કેટલો આગળ વધેલ છે.

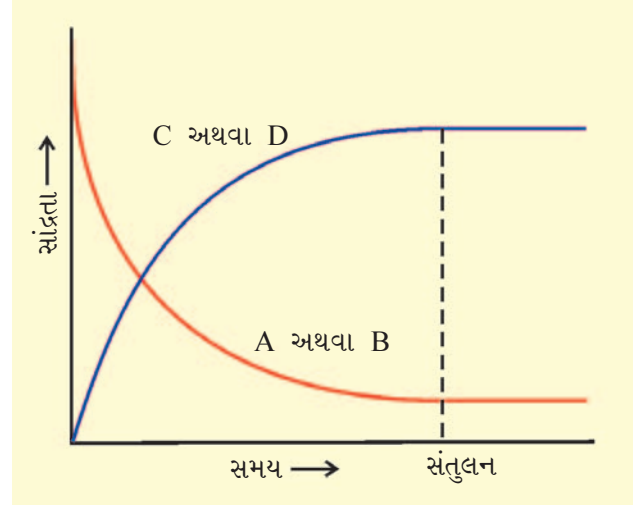
### 7.2 રાસાયણિક પ્રક્રમમાં સંતુલન-ગતિશીલ સંતુલન (Equilibrium in Chemical Processes - Dynamic Equilibrium)

ભૌતિક પ્રક્રમોની જેમ રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ પણ સંતુલન પ્રાપ્ત કરે છે. આ પ્રક્રિયાઓ બન્ને પુરોગામી અને પ્રતિગામી દિશામાં થતી હોય છે, જ્યારે પુરોગામી અને પ્રતિગામી પ્રક્રિયાના દર સમાન હોય છે એટલે કે પ્રક્રિયકો અને નીપજોની સાંદ્રતા અચળ હોય છે. આ રાસાયણિક સંતુલનની અવસ્થા છે. આ સંતુલન સ્વભાવે ગતિશીલ હોય છે. કારણ કે તે પુરોગામી પ્રક્રિયામાં પ્રક્રિયકોમાંથી નીપજ અને પ્રતિગામી પ્રક્રિયામાં નીપજોમાંથી મૂળ પ્રક્રિયકો આપે છે.

સારા સંક્ષિપ્તીકરણ માટે આપણે એક સામાન્ય પ્રતિવર્તી પ્રક્રિયાનો સામાન્ય કિસ્સો લઈએ.



સમય પસાર થવા સાથે નીપજો C અને Dનો ભરાવો (વધારો) થતો જાય છે અને પ્રક્રિયકો A અને Bનો અવક્ષય (ઘટાડો) થતો જાય છે (આકૃતિ 7.2). આને લીધે પુરોગામી પ્રક્રિયાનો દર ઘટે છે અને પ્રતિગામી પ્રક્રિયાનો દર વધે છે.



આકૃતિ 7.2 રાસાયણિક સંતુલનની પ્રાપ્તિ

ખરેખર બે પ્રક્રિયાઓ સમાન દરે થતી હોય છે અને પ્રક્રમ સંતુલન અવસ્થાએ પહોંચે છે.

એ જ પ્રમાણે આપણે જો C અને Dથી પ્રક્રિયા શરૂ કરીએ તો પણ સંતુલન અવસ્થાએ પહોંચી શકીએ છીએ. એટલે કે A અને B શરૂઆતથી હાજર હોતા નથી. આનું કારણ ગમે તે દિશામાંથી સંતુલન પહોંચી શકાય છે.

રાસાયણિક સંતુલનના ગતિશીલ સ્વભાવને આપણે હેબર વિધિથી એમોનિયાના સંશ્લેષણ દ્વારા નિર્દેશિત કરી શકીએ. શ્રેણીબદ્ધ પ્રયોગમાં હેબરે ડાયનાઈટ્રોજન અને ડાયહાઈડ્રોજનના જ્ઞાત જથ્થા ઊંચા તાપમાને અને દબાણે સમયાંતરે હાજર એમોનિયાનું પ્રમાણ નક્કી કર્યું. તે પ્રક્રિયા ન પામેલ ડાયનાઈટ્રોજન અને ડાયહાઈડ્રોજનના પ્રમાણ પણ નક્કી કરી શક્યા. આકૃતિ 7.4 દર્શાવે છે કે અમુક સમય પછી કેટલાક પ્રમાણમાં પ્રક્રિયકો હાજર હોવા છતાં મિશ્રણનું સંઘટન (composition) અચળ રહે છે. સંઘટનમાં અચળતા દર્શાવે છે કે સંતુલન પહોંચી ગયા છીએ. પ્રક્રિયાનો ગતિશીલ સ્વભાવ સમજવા માટે અગાઉના જેવી જ પરિસ્થિતિમાં (આંશિક દબાણ અને તાપમાન) એમોનિયાનું સંશ્લેષણ કરવામાં આવ્યું પરંતુ H<sub>2</sub>ના સ્થાને ટ્યુટેરિયમ D<sub>2</sub>નો ઉપયોગ કર્યો. પ્રક્રિયા મિશ્રણ H<sub>2</sub> અથવા D<sub>2</sub> સાથે શરૂ કરતાં સમાન સંઘટન સાથે સંતુલન પ્રાપ્ત થાય છે. ફરક માત્ર એટલો હોય છે H<sub>2</sub> અને NH<sub>3</sub>ને બદલે D<sub>2</sub> અને ND<sub>3</sub> હાજર હોય છે. સંતુલન પ્રાપ્ત થયા પછી આ બન્ને મિશ્રણો (H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> અને D<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> અને ND<sub>3</sub>) મિશ્ર થાય છે અને થોડા સમય માટે રહે છે.



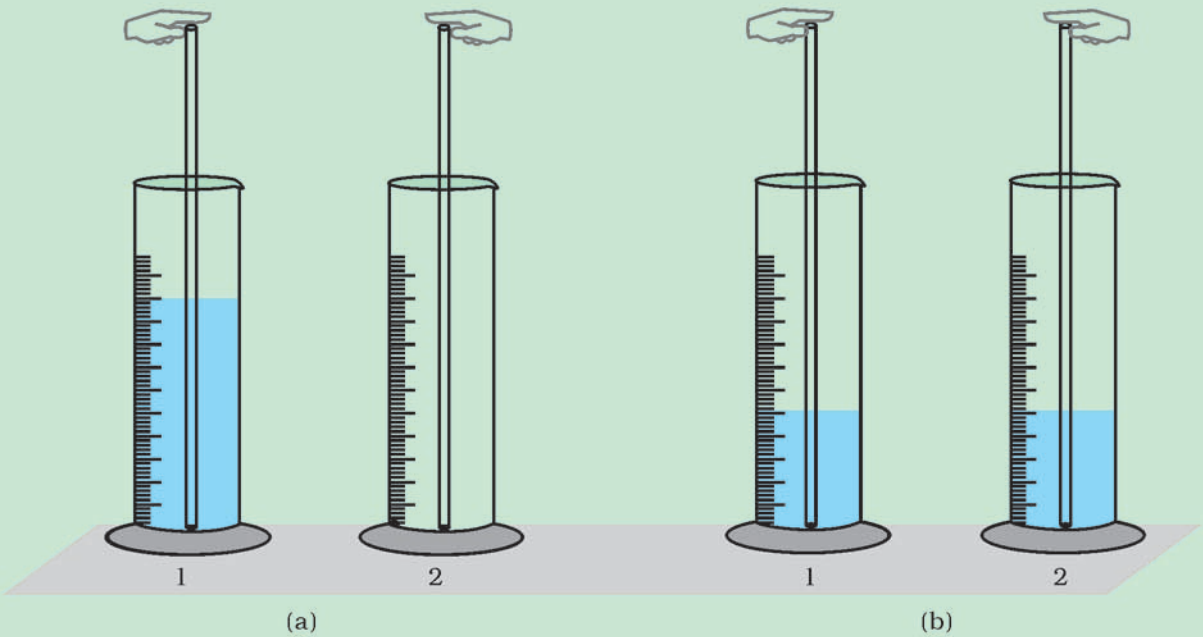
### ગતિશીલ સંતુલન – વિદ્યાર્થી માટે પ્રવૃત્તિ

ભૌતિક પ્રક્રમ હોય કે રાસાયણિક પ્રક્રમ હોય તો પણ સંતુલન હંમેશાં ગતિશીલ હોય છે. આનું નિર્દેશન રેડિયોસક્રિય સમસ્થાનિકોનો ઉપયોગ કરીને કરી શકીએ. શાળાની પ્રયોગશાળામાં આ શક્ય નથી. જો કે નીચેની પ્રવૃત્તિ કરી તેને સહેલાઈથી સમજી શકીશું. આ પ્રવૃત્તિ 5 થી 6 વિદ્યાર્થીઓના સમૂહમાં કરી શકાય.

બે 100 mLના અંકિત નળાકાર લો (જેમને 1 અને 2 નિશાની કરો) અને 30 cm લંબાઈવાળી બે ક્સનળીઓ લો. ક્સનળીના વ્યાસ સરખા હોવા જોઈએ. 3થી 5 mm તફાવત જેટલો હોય તો ચાલે. નળાકાર-1ને રંગીન પાણી લઈ લગભગ અડધે સુધી ભરી દો (રંગીન પાણી બનાવવા પોટેશિયમ પરમેંગેનેટના સ્ફટિકને પાણીમાં ઓગાળો) અને બીજો નળાકાર-2 ખાલી રાખો.

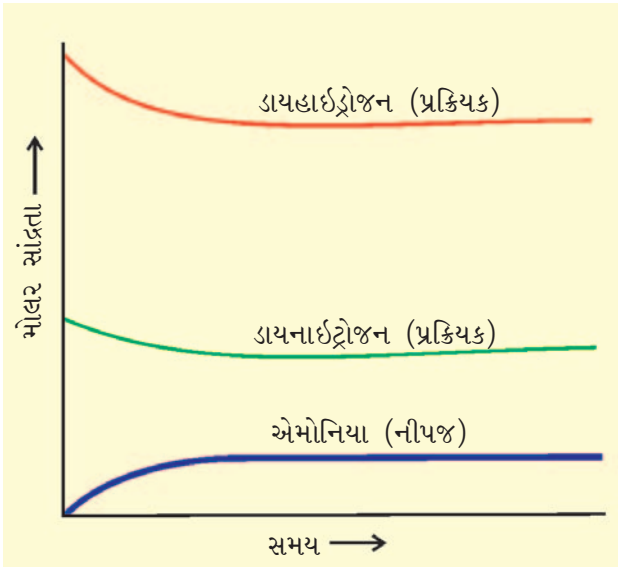
નળાકાર-1માં એક નળી-1 મૂકો અને નળાકાર-2માં નળી-2માં મૂકો. એક નળીને નળાકાર-1માં ડૂબાડો. તેનો ઉપરનો ભાગ આંગળી વડે બંધ કરો અને રંગીન પાણીને નળાકાર-2ના નીચેના ભાગમાં દાખલ કરી દો. બીજા નળાકારમાં રાખેલી બીજી નળીનો ઉપયોગ કરી સમાન રીતથી નળાકાર-2માંથી નળાકાર-1માં દાખલ કરો. આ પ્રમાણે રંગીન પાણીને બે નળીઓનો ઉપયોગ કરીને નળાકાર 1 થી 2માં અને નળાકાર 2 થી 1માં ત્યાં સુધી હેરફેર કરો જ્યાં સુધી તમને લાગે નહિ કે બંને નળાકારમાં રંગીન પાણીની સપાટી અચળ થઈ ગઈ છે.

જો તમે રંગીન પાણીને બે નળાકાર વચ્ચે આંતર હેરફેર ચાલુ રાખો જેથી બંને નળાકારમાં રંગીન પાણીમાં આગળ ઉપર કોઈ હેરફેર થશે નહિ. આપણે જો સપાટીની અનુરૂપતા(analogy)ને પ્રક્રિયક અને નીપજની સાંદ્રતાના રૂપમાં બંને નળાકારમાં ગણીએ તો આપણે કહી શકીએ કે હેરફેરનો પ્રક્રમ અચળતા પ્રાપ્ત કર્યા પછી પણ ચાલુ રહે છે. જે પ્રક્રમનો ગતિશીલ સ્વભાવ દર્શાવે છે. જો આપણે જુદા જુદા વ્યાસવાળી બે નળીઓ લઈને પ્રયોગનું પુનરાવર્તન કરીએ તો બંને નળાકારમાં રંગીન પાણીની સપાટી અલગ અલગ છે. બંને નળાકારમાં સપાટીમાં ફેરફાર માટે વ્યાસ કેવી રીતે જવાબદાર છે ? ખાલી નળાકાર (2) શરૂઆતમાં તેમાં નીપજ ન હોવાનું સૂચવે છે.



આકૃતિ 7.3 સંતુલનના ગતિશીલ સ્વભાવનું નિદર્શન

(a) પ્રારંભિક તબક્કો (b) સંતુલન પ્રાપ્ત કર્યા પછી અંતિમ તબક્કો

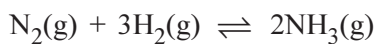


આકૃતિ 7.4  $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$  પ્રક્રિયાના સંતુલનનું ચિત્રણ

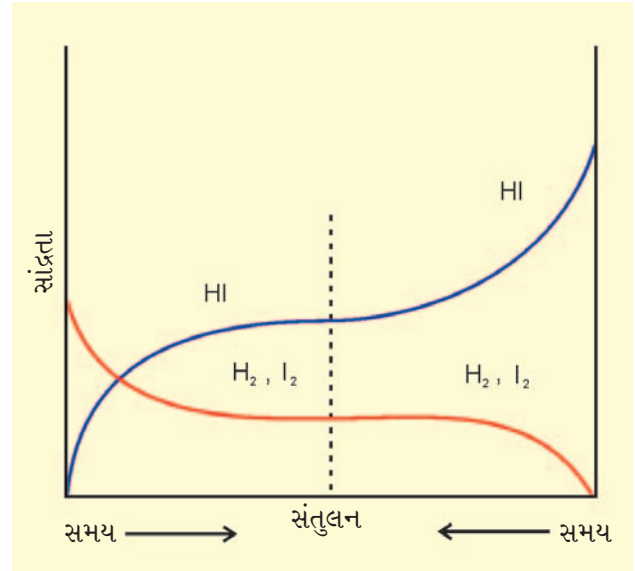
પછી જ્યારે આ મિશ્રણનું પૃથક્કરણ કરવામાં આવ્યું ત્યારે જણાયું કે એમોનિયાની સાંદ્રતા અગાઉના જેટલી જ છે. જ્યારે આ મિશ્રણનું દળસ્પેક્ટ્રોમીટર વડે પૃથક્કરણ કરવામાં આવે છે ત્યારે એમોનિયા અને ડ્યુટેરિયમવાળા એમોનિયા ધરાવતા બધા રૂપો ( $NH_3$ ,  $NH_2D$ ,  $NHD_2$  અને  $ND_3$ ) ડાયહાઈડ્રોજન અને તેમના ડ્યુટેરિયમના સ્વરૂપો ( $H_2$ ,  $HD$  અને  $D_2$ ) હાજર છે. આથી કોઈ તારણ કરી શકે કે અણુમાં H અને D પરમાણુનું અસ્ક્રુટક (scrambling) મિશ્રણમાં પુરોગામી અને પ્રતિગામી પ્રક્રિયાઓ ચાલુ હોવાનું પરિણામ દર્શાવે છે. જો પ્રક્રિયા સંતુલન પ્રાપ્તિ પછી રોકાઈ જ ગઈ હોત તો આ પ્રમાણે સમસ્થાનિકોનું મિશ્રણ થયું ના હોત.

સમસ્થાનિક(ડ્યુટેરિયમ)નો ઉપયોગ એમોનિયાની બનાવટમાં સ્પષ્ટ રીતે સૂચવે છે કે રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ ગતિશીલ સંતુલનની અવસ્થાએ પહોંચે છે જેમાં પુરોગામી અને પ્રતિગામી પ્રક્રિયાના દર સમાન થાય છે અને તેથી સંઘટનમાં ચોખ્ખો (net) ફેર થતો નથી.

સંતુલન બન્ને બાજુએથી પ્રાપ્ત કરી શકાય. ભલે આપણે  $N_2(g)$  અને  $H_2(g)$  લઈને  $NH_3(g)$  મેળવીએ અથવા  $NH_3(g)$  લઈને તેને  $N_2(g)$  અને  $H_2(g)$ માં વિઘટન કરીએ.



આ જ પ્રમાણે આપણે પ્રક્રિયા  $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$  લઈએ. આપણે શરૂઆતમાં  $H_2$  અને  $I_2$ ની સરખી સાંદ્રતા લઈને કરીએ તો પ્રક્રિયા પુરોગામી દિશામાં આગળ વધશે અને  $H_2$  અને  $I_2$ ની સાંદ્રતા ઘટશે, જ્યારે  $HI$ ની સાંદ્રતા વધશે જ્યાં સુધી આ બધા જ સંતુલને અચળ નહિ થાય (આકૃતિ 7.5). આપણે એકલો  $HI$  લઈએ તો પ્રતિગામી પ્રક્રિયાની દિશામાં પ્રક્રિયા આગળ વધશે.  $HI$ ની સાંદ્રતા ઘટશે અને  $H_2$  અને  $I_2$ ની સાંદ્રતા વધશે જ્યાં સુધી તે અચળ નહિ થાય અને સંતુલન પ્રાપ્ત કરશે (આકૃતિ 7.5). જો  $H_2$  અને  $I_2$ ના પરમાણુની કુલ સંખ્યા આપેલ કદમાં સરખી હોય તો સમાન સંતુલન મિશ્રણ મળશે. ભલે આપણે પ્રક્રિયાઓમાંથી અથવા નીપજોમાંથી પ્રક્રિયા શરૂ કરીએ.



આકૃતિ 7.5  $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$

પ્રક્રિયામાં સંતુલન અચળાંક ગમે તે દિશામાંથી પ્રાપ્ત કરી શકાય.

### 7.3 રાસાયણિક સંતુલનનો નિયમ અને સંતુલન અચળાંક (Law of Chemical Equilibrium and Equilibrium Constant)

પ્રક્રિયા અને નીપજોના સંતુલન અવસ્થાએ મિશ્રણને સંતુલન મિશ્રણ કહે છે. આ વિભાગમાં સંતુલન મિશ્રણના સંઘટનના ઘણા બધા અગત્યના પ્રશ્નોને સમજાવું. સંતુલન મિશ્રણમાં પ્રક્રિયા અને નીપજોની સાંદ્રતા વચ્ચે શું સંબંધ છે ? પ્રારંભિક સાંદ્રતામાંથી સંતુલન સાંદ્રતાઓ કેવી રીતે નક્કી કરીશું ? સંતુલન મિશ્રણનું સંઘટન બદલવા માટે આપણે

કયા પરિબલોનો ઉપયોગ કરીશું? છેલ્લો પ્રશ્ન ખાસ કરીને  $H_2$ ,  $NH_3$ ,  $CaO$  વગેરે જેવા ઔદ્યોગિક રસાયણોના સંશ્લેષણ માટે પરિસ્થિતિઓ પસંદ કરીશું.

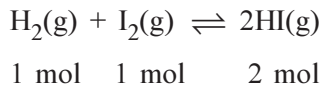
આ પ્રશ્નોના જવાબ આપવા માટે આપણે સામાન્ય પ્રતિવર્તી પ્રક્રિયા  $A + B \rightleftharpoons C + D$ ને ધ્યાનમાં લઈશું.

જ્યાં, સંતુલિત રાસાયણિક સમીકરણમાં A અને B પ્રક્રિયકો છે અને C અને D નીપજો છે. ઘણી પ્રતિવર્તી પ્રક્રિયાઓના અભ્યાસના આધારે નોર્વેના વૈજ્ઞાનિકો કેટો મેક્સીમિલન ગુલ્ડબર્ગ (Cato Maxmillian Guldberg) અને પીટર વાગે (Peter Waage) 1864માં દરખાસ્ત કરી કે સંતુલન મિશ્રણમાં સાંદ્રતા નીચેના સંતુલિત સમીકરણ સાથે સંબંધિત છે :

$$K_c = \frac{[C][D]}{[A][B]} \quad (7.1)$$

જ્યાં,  $K_c$  સંતુલન અચળાંક છે અને જમણી બાજુની અભિવ્યક્તિ(expression)ને સંતુલન અચળાંક અભિવ્યક્તિ કહે છે.

સંતુલન સમીકરણને સક્રિય જથ્થાનો (દળનો) નિયમ પણ કહેવાય છે. રસાયણવિજ્ઞાનના અગાઉના દિવસોમાં સાંદ્રતાને સક્રિય જથ્થો (દળ) કહેવામાં આવતો હતો. તેમના કાર્યને વધુ સારી રીતે બિરદાવવા માટે આપણે  $H_2$  અને  $I_2$ ની સીલ કરેલા પાત્રમાં 731 K તાપમાને ગણતરીમાં લઈએ.



છ પ્રયોગો કરવામાં આવ્યા હતા : જેમાં પ્રારંભિક પરિસ્થિતિઓ બદલીને કરવામાં આવેલ હતા. પહેલા ચાર પ્રયોગો (1, 2, 3, 4)માં  $H_2$  અને  $I_2$  લઈને કરવામાં આવેલ અને બાકીના બે પ્રયોગો (5 અને 6)માં માત્ર HI લઈને પ્રયોગ કરવામાં આવેલા. પ્રયોગ 1, 2, 3, 4  $H_2$  અને/અથવા  $I_2$ ની જુદી જુદી સાંદ્રતા લઈને કરવામાં આવેલ અને એવું અવલોકન કરવામાં આવ્યું કે જાંબુડિયા રંગની તીવ્રતા અચળ રહી અને સંતુલન પ્રાપ્ત થયું હતું. તે જ પ્રમાણે પ્રયોગ 5 અને 6માં સંતુલન વિરુદ્ધ દિશામાંથી પ્રક્રિયા કરીને પ્રાપ્ત થયું હતું.

બધા જ પ્રયોગોના સેટમાં મળેલી માહિતી કોષ્ટક 7.2માં આપેલ છે.

પ્રયોગ 1, 2, 3 અને 4 ઉપરથી એ સ્પષ્ટ છે કે પ્રક્રિયા પામેલા ડાયહાઈડ્રોજનના મોલની સંખ્યા = પ્રક્રિયા પામેલા આયોડિનના મોલની સંખ્યા =  $\frac{1}{2}$ (નીપજેલા HIના મોલની સંખ્યા). વળી પ્રયોગ 5 અને 6 પણ સૂચવે છે કે,

$$[H_2(g)]_{eq} = [I_2(g)]_{eq}$$

ઉપરની હકીકતો જાણ્યા પછી પ્રક્રિયકો અને નીપજોની સાંદ્રતાઓ વચ્ચે સંબંધ પ્રસ્થાપિત કરવા માટે ઘણા સંયોગીકરણના પ્રયત્ન થયા. આપણે સરળ અભિવ્યક્તિ ગણતરીમાં લઈશું.

$$\frac{[HI(g)]_{eq}}{[H_2(g)]_{eq} [I_2(g)]_{eq}}$$

કોષ્ટક 7.3 પરથી જણાશે કે જો આપણે પ્રક્રિયકો અને નીપજોની સંતુલન સાંદ્રતાઓ મૂકીએ તો ઉપરની અભિવ્યક્તિ

### કોષ્ટક 7.2 $H_2$ , $I_2$ અને HI ની પ્રારંભિક અને સંતુલન સાંદ્રતાઓ

પ્રયોગ ક્રમાંક	પ્રારંભિક સાંદ્રતા / mol L <sup>-1</sup>			સંતુલન સાંદ્રતા / mol L <sup>-1</sup>		
	[H <sub>2</sub> (g)]	[I <sub>2</sub> (g)]	[HI(g)]	[H <sub>2</sub> (g)]	[I <sub>2</sub> (g)]	[HI(g)]
1	$2.4 \times 10^{-2}$	$1.38 \times 10^{-2}$	0	$1.14 \times 10^{-2}$	$0.12 \times 10^{-2}$	$2.52 \times 10^{-2}$
2	$2.4 \times 10^{-2}$	$1.68 \times 10^{-2}$	0	$0.92 \times 10^{-2}$	$0.20 \times 10^{-2}$	$2.96 \times 10^{-2}$
3	$2.44 \times 10^{-2}$	$1.98 \times 10^{-2}$	0	$0.77 \times 10^{-2}$	$0.31 \times 10^{-2}$	$3.34 \times 10^{-2}$
4	$2.46 \times 10^{-2}$	$1.76 \times 10^{-2}$	0	$0.92 \times 10^{-2}$	$0.22 \times 10^{-2}$	$3.08 \times 10^{-2}$
5	0	0	$3.04 \times 10^{-2}$	$0.345 \times 10^{-2}$	$0.345 \times 10^{-2}$	$2.35 \times 10^{-2}$
6	0	0	$7.58 \times 10^{-2}$	$0.86 \times 10^{-2}$	$0.86 \times 10^{-2}$	$5.86 \times 10^{-2}$

**કોષ્ટક 7.3 પ્રક્રિયકોની સંતુલન સાંદ્રતાને સમાવિષ્ટ કરતી અભિવ્યક્તિ**



પ્રયોગ ક્રમાંક	$\frac{[\text{HI}(\text{g})]_{\text{eq}}}{[\text{H}_2(\text{g})]_{\text{eq}} [\text{I}_2(\text{g})]_{\text{eq}}}$	$\frac{[\text{HI}(\text{g})]_{\text{eq}}^2}{[\text{H}_2(\text{g})]_{\text{eq}} [\text{I}_2(\text{g})]_{\text{eq}}}$
	1	1840
2	1610	47.6
3	1400	46.7
4	1520	46.9
5	1970	46.4
6	790	46.4

અચળાંકથી ઘણી જ દૂર છે. જો આપણે અભિવ્યક્તિ,

$$\frac{[\text{HI}(\text{g})]_{\text{eq}}^2}{[\text{H}_2(\text{g})]_{\text{eq}} [\text{I}_2(\text{g})]_{\text{eq}}}$$

ગણતરીમાં લઈએ તો તે છ પ્રયોગોમાં અચળાંક મૂલ્ય આપે છે (કોષ્ટક 7.3માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે). આપણે એ પણ જોઈ શકીએ કે પ્રક્રિયકો અને નીપજોની સાંદ્રતાનો ઘાતાંક (power) ખરેખર રાસાયણિક પ્રક્રિયા માટેના સમીકરણમાં તત્ત્વયોગમિતિય ગુણાંક છે. આમ  $\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HI}(\text{g})$  પ્રક્રિયા માટે સમીકરણ 7.1 પ્રમાણે લખતાં સંતુલન અચળાંક  $K$  નીચે પ્રમાણે લખી શકાય :

$$K_c = \frac{[\text{HI}(\text{g})]_{\text{eq}}^2}{[\text{H}_2(\text{g})]_{\text{eq}} [\text{I}_2(\text{g})]_{\text{eq}}} \quad (7.2)$$

સામાન્ય રીતે પાદાંક 'eq' (સંતુલન માટે વપરાયેલ) સાંદ્રતા પર્યાયોમાંથી રદ કરવામાં આવે છે. એવું માની લેવામાં આવે છે કે  $K_c$ ની અભિવ્યક્તિમાં સાંદ્રતાઓ સંતુલન સાંદ્રતાઓ જ હોય છે. આથી આપણે લખી શકીએ કે,

$$K_c = \frac{[\text{HI}(\text{g})]^2}{[\text{H}_2(\text{g})][\text{I}_2(\text{g})]} \quad (7.3)$$

પાદાંક  $c$  સૂચવે છે કે  $K_c$ ની અભિવ્યક્તિમાં સાંદ્રતા  $\text{mol L}^{-1}$  છે.

આપેલ તાપમાને પ્રક્રિયા નીપજોની સાંદ્રતાને સંતુલિત સમીકરણમાંના અનુરૂપ તત્ત્વયોગમિતિય ગુણાંકને ઘાતાંક (power) તરીકે લેતાં અને તેને પ્રક્રિયકોની વ્યક્તિગત સાંદ્રતાઓને અનુરૂપ તત્ત્વયોગમિતિય ગુણાંકને ઘાતાંક તરીકે લઈને ભાગવાથી અચળ મૂલ્ય મળે છે. આને સંતુલન નિયમ અથવા રાસાયણિક સંતુલનનો નિયમ કહે છે.

સામાન્ય પ્રક્રિયા  $aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$  માટે સંતુલન અચળાંક નીચે પ્રમાણે રજૂ કરી શકાય :

$$K_c = \frac{[\text{C}]^c [\text{D}]^d}{[\text{A}]^a [\text{B}]^b} \quad (7.4)$$

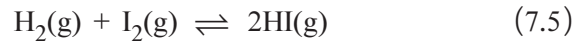
જ્યાં,  $[\text{A}]$ ,  $[\text{B}]$ ,  $[\text{C}]$  અને  $[\text{D}]$  પ્રક્રિયકો અને નીપજોની અનુક્રમે સંતુલન સાંદ્રતા છે.

$4\text{NH}_3(\text{g}) + 5\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 4\text{NO}(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{g})$  માટે સંતુલન અચળાંક નીચે પ્રમાણે લખી શકાય :

$$K_c = \frac{[\text{NO}]^4 [\text{H}_2\text{O}]^6}{[\text{NH}_3]^4 [\text{O}_2]^5}$$

જુદી જુદી સ્પીસિઝની મોલર સાંદ્રતા ચોરસ કોંસમાં દર્શાવીને સૂચવવામાં આવે છે. અગાઉ જણાવ્યા પ્રમાણે એમ સ્વીકારવામાં આવે છે કે તે સંતુલન સાંદ્રતાઓ છે, જ્યારે સંતુલન અચળાંક માટે અભિવ્યક્તિ દર્શાવીએ ત્યારે કલા ( $s$ ,  $l$ ,  $g$ ) સામાન્ય રીતે ધ્યાનમાં લેવાતી નથી.

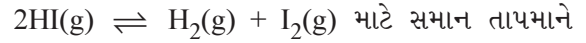
આપણે પ્રક્રિયા



માટે સંતુલન અચળાંક  $K_c$  નીચે પ્રમાણે લખી શકીએ.

$$K_c = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]} = X \quad (7.6)$$

પ્રતિવર્તી પ્રક્રિયા



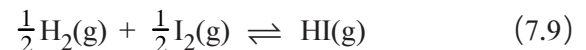
માટે સમાન તાપમાને સંતુલન અચળાંક

$$K'_c = \frac{[\text{H}_2][\text{I}_2]}{[\text{HI}]^2} = \frac{1}{X} = \frac{1}{K_c} \quad (7.7)$$

$$\text{આમ, } K'_c = \frac{1}{K_c} \quad (7.8)$$

પ્રતિગામી પ્રક્રિયા માટે સંતુલન અચળાંક પુરોગામી દિશામાંની પ્રક્રિયા માટેના સંતુલન અચળાંકનો વ્યસ્ત (reciprocal) હોય છે.

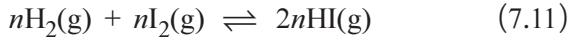
જો આપણે રાસાયણિક પ્રક્રિયામાં તત્ત્વયોગમિતિય ગુણાંકોને કોઈ એક અવયવથી ગુણીને બદલીએ તો આપણને ખાત્રી થવી જોઈએ કે સંતુલન અચળાંકમાં પણ આ ફેરફારનું પ્રતિબિંબ પડે છે (અસર થાય છે). ઉદાહરણ તરીકે જો પ્રક્રિયા (7.5) આ પ્રમાણે લખીએ :



તો સંતુલન અચળાંક ઉપરોક્ત પ્રક્રિયા માટે નીચે પ્રમાણે લખી શકાય :

$$K''_c = \frac{[\text{HI}]}{[\text{H}_2]^{\frac{1}{2}} [\text{I}_2]^{\frac{1}{2}}} = \left[ \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]} \right]^{\frac{1}{2}} = X^{\frac{1}{2}} = K_c^{\frac{1}{2}} \quad (7.10)$$

સમીકરણ (7.5)ને  $n$  વડે ગુણતાં આપણને મળશે



આથી પ્રક્રિયા માટે સંતુલન અચળાંક  $K_c^n$  થશે. આ પરિણામો કોષ્ટક 7.4માં દર્શાવેલ છે એ નોંધવું જોઈએ, કારણ કે સંતુલન અચળાંક  $K_c$  અને  $K_c'$  ને જુદી જુદી સંખ્યાના મૂલ્યો હોય છે. સંતુલન અચળાંકનું મૂલ્ય જ્યારે રજૂ કરીએ ત્યારે સંતુલિત સમીકરણનું સ્વરૂપ રજૂ કરવું અગત્યનું છે.

#### કોષ્ટક 7.4 સામાન્ય પ્રક્રિયા અને તેના ગુણકો સાથે સંતુલન અચળાંકના સંબંધો

રાસાયણિક સમીકરણ	સંતુલન અચળાંક
$aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$	$K_c$
$cC + dD \rightleftharpoons aA + bB$	$K_c' = (1/K_c)$
$naA + nbB \rightleftharpoons ncC + ndD$	$K_c'' = (K_c^n)$

#### કોયડો 7.1

500 K તાપમાને સંતુલને  $\text{N}_2$  અને  $\text{H}_2$ માંથી  $\text{NH}_3$ ની બનાવટમાં નીચે પ્રમાણેની સાંદ્રતા મળેલ છે.

$[\text{N}_2] = 1.5 \times 10^{-2} \text{ M}$ ,  $[\text{H}_2] = 3.0 \times 10^{-2} \text{ M}$  અને  $[\text{NH}_3] = 1.2 \times 10^{-2} \text{ M}$ . સંતુલન અચળાંક ગણો.

ઉકેલ :

$\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$  પ્રક્રિયા માટે, સંતુલન અચળાંક નીચે પ્રમાણે લખી શકાય :

$$\begin{aligned} K_c &= \frac{[\text{NH}_3(\text{g})]^2}{[\text{N}_2(\text{g})][\text{H}_2(\text{g})]^3} \\ &= \frac{(1.2 \times 10^{-2})^2}{(1.5 \times 10^{-2}) \times (3.0 \times 10^{-2})^3} \\ &= 0.106 \times 10^4 = 1.06 \times 10^3 \end{aligned}$$

#### કોયડો 7.2

સંતુલને એક બંધ પાત્રમાં 800 K તાપમાને સાંદ્રતાઓ નીચે પ્રમાણે છે :

$\text{N}_2 = 3.0 \times 10^{-3} \text{ M}$ ,  $\text{O}_2 = 4.2 \times 10^{-3} \text{ M}$  અને  $\text{NO} = 2.8 \times 10^{-3} \text{ M}$  છે તો

$\text{N}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}(\text{g})$  માટે  $K_c$  કેટલો હશે ?

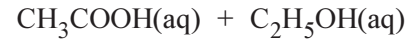
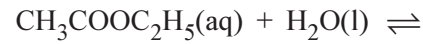
ઉકેલ :

પ્રક્રિયા માટે સંતુલન અચળાંક  $K_c$  નીચે પ્રમાણે લખી શકાય,

$$\begin{aligned} K_c &= \frac{[\text{NO}]^2}{[\text{N}_2][\text{O}_2]} \\ &= \frac{(2.8 \times 10^{-3} \text{ M})^2}{(3.0 \times 10^{-3} \text{ M}) \times (4.2 \times 10^{-3} \text{ M})} \\ &= 0.622 \end{aligned}$$

## 7.4 સમાંગ સંતુલન (Homogeneous Equilibria)

સમાંગ પ્રણાલીમાં બધા જ પ્રક્રિયકો અને નીપજો સમાન કલામાં હોય છે. ઉદાહરણ તરીકે  $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$  પ્રક્રિયામાં પ્રક્રિયકો અને નીપજો સમાંગ કલામાં છે. તે જ પ્રમાણે નીચેની પ્રક્રિયાઓમાં પણ



અને  $\text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + \text{SCN}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{SCN})^{2+}(\text{aq})$  બધા જ પ્રક્રિયકો અને નીપજો સમાંગ દ્રાવણ કલામાં છે. આપણે કેટલીક સમાંગ પ્રક્રિયાઓ માટે સંતુલન અચળાંક ગણતરીમાં લઈશું.

### 7.4.1 વાયુમય પ્રણાલીઓ માટે સંતુલન અચળાંક (Equilibrium Constant in Gaseous System)

આપણે અત્યાર સુધી પ્રક્રિયાઓના સંતુલન અચળાંક પ્રક્રિયકો અને નીપજોની મોલર સાંદ્રતામાં રજૂ કર્યા હતા અને સંજ્ઞા  $K_c$ નો ઉપયોગ કરેલો. વાયુનો સમાવેશ કરતી પ્રક્રિયાઓમાં સામાન્ય રીતે સંતુલન અચળાંક આંશિક દબાણના પર્યાયમાં રજૂ કરવો વધારે અનુકૂળ રહે છે.

આદર્શ વાયુ સમીકરણ નીચે પ્રમાણે લખી શકાય :

$$pV = nRT$$

$$\Rightarrow p = \frac{n}{V} RT$$

જ્યાં,  $p$  દબાણ Pa માં છે,  $n$  વાયુના મોલની સંખ્યા છે.  $V$  વાયુનું કદ  $m^3$  માં છે અને  $T$  તાપમાન કેલ્વિનમાં છે.

આથી,

$\frac{n}{V}$  સાંદ્રતા છે, જે mol/m<sup>3</sup> માં દર્શાવી શકાય. જો સાંદ્રતા

$c$  mol/L અથવા mol/dm<sup>3</sup> હોય અને  $p$  bar હોય તો,

$$p = cRT$$

આપણે લખી શકીએ કે  $p = [\text{વાયુ}] RT$

જ્યાં,  $R = 0.0831 \text{ bar litre / mol K}$

અચળ તાપમાને વાયુનું દબાણ તેની સાંદ્રતાને સમપ્રમાણ છે એટલે કે  $p \propto [\text{વાયુ}]$ .

સંતુલનમાં રહેલી પ્રક્રિયા

$\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HI}(\text{g})$  માટે આપણે લખી શકીએ કે,

$$K_c = \frac{[\text{HI}(\text{g})]^2}{[\text{H}_2(\text{g})][\text{I}_2(\text{g})]} \text{ અથવા}$$

$$K_c = \frac{[p_{\text{HI}}]^2}{[p_{\text{H}_2}][p_{\text{I}_2}]} \quad (7.12)$$

વળી,  $p_{\text{HI}} = [\text{HI}(\text{g})] RT$

$$p_{\text{I}_2} = [\text{I}_2(\text{g})] RT$$

$$p_{\text{H}_2} = [\text{H}_2(\text{g})] RT \text{ છે.}$$

$$\text{માટે, } K_p = \frac{[p_{\text{HI}}]^2}{[p_{\text{H}_2}][p_{\text{I}_2}]}$$

$$= \frac{[\text{HI}(\text{g})]^2 [\text{RT}]^2}{[\text{H}_2(\text{g})] \text{RT} [\text{I}_2(\text{g})] \text{RT}}$$

$$= \frac{[\text{HI}(\text{g})]^2}{[\text{H}_2(\text{g})][\text{I}_2(\text{g})]} = K_c \quad (7.13)$$

આ ઉદાહરણમાં  $K_p = K_c$  એટલે કે બન્ને સંતુલન અચળાંકો સરખા છે, પરંતુ આવું હંમેશાં બનતું નથી. ઉદાહરણ તરીકે પ્રક્રિયા  $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$  માટે

$$K_p = \frac{[p_{\text{NH}_3}]^2}{[p_{\text{N}_2}][p_{\text{H}_2}]^3}$$

$$= \frac{[\text{NH}_3(\text{g})]^2 [\text{RT}]^2}{[\text{N}_2(\text{g})] \text{RT} \cdot [\text{H}_2(\text{g})]^3 (\text{RT}^3)}$$

$$= \frac{[\text{NH}_3(\text{g})]^2 [\text{RT}]^2}{[\text{N}_2(\text{g})][\text{H}_2(\text{g})^3]} = K_c (\text{RT})^{-2}$$

$$\text{અથવા } K_p = K_c (\text{RT})^{-2} \quad (7.14)$$

એ જ પ્રમાણે સામાન્ય પ્રક્રિયા

$a\text{A} + b\text{B} \rightleftharpoons c\text{C} + d\text{D}$  માટે

$$K_p = \frac{(p_C^c)(p_D^d)}{(p_A^a)(p_B^b)}$$

$$= \frac{[\text{C}]^c [\text{D}]^d \cdot [\text{RT}]^{c+d}}{[\text{A}]^a [\text{B}]^b \cdot [\text{RT}]^{a+b}}$$

$$= \frac{[\text{C}]^c [\text{D}]^d}{[\text{A}]^a [\text{B}]^b} (\text{RT})^{(c+d)-(a+b)}$$

$$= \frac{[\text{C}]^c [\text{D}]^d}{[\text{A}]^a [\text{B}]^b} (\text{RT})^{\Delta n} = K_c (\text{RT})^{\Delta n} \quad (7.15)$$

જ્યાં, સંતુલિત રાસાયણિક પ્રક્રિયામાં

$\Delta n = (\text{વાયુમય નીપજોના મોલની સંખ્યા}) -$

$(\text{વાયુમય પ્રક્રિયકોના મોલની સંખ્યા})$

થાય છે. એ જરૂરી છે કે જ્યારે  $K_p$ નું મૂલ્ય ગણીએ ત્યારે દબાણને barમાં દર્શાવવું જોઈએ. કારણ કે દબાણની પ્રમાણિત અવસ્થા 1 bar છે. આપણે એકમ 1માંથી જાણીએ છીએ કે,

1 pascal Pa = 1 Nm<sup>-2</sup> અને 1 bar = 10<sup>5</sup> Pa

કેટલીક પસંદ કરેલી પ્રક્રિયાઓના સંતુલન અચળાંક  $K_p$  કોષ્ટક 7.5માં આપેલ છે.

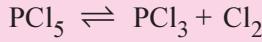
### કોષ્ટક 7.5 કેટલીક પસંદ કરેલી પ્રક્રિયાઓ માટે સંતુલન અચળાંક $K_p$

પ્રક્રિયા	તાપમાન/K	$K_p$
$\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$	298	$6.8 \times 10^5$
	400	41
	500	$3.6 \times 10^{-2}$
$2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g})$	298	$4.0 \times 10^{24}$
	500	$2.5 \times 10^{10}$
	700	$3.0 \times 10^4$
$\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g})$	298	0.98
	400	47.9
	500	1700

#### કોયડો 7.3

$\text{PCl}_5$ ,  $\text{PCl}_3$  અને  $\text{Cl}_2$  500 K તાપમાને સંતુલનમાં છે અને તેમની સાંદ્રતા અનુક્રમે 1.59M  $\text{PCl}_3$ , 1.59M  $\text{Cl}_2$  અને 1.41 M  $\text{PCl}_5$  છે.

નીચેની પ્રક્રિયા માટે  $K_c$  ગણો.



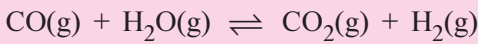
ઉકેલ :

ઉપરની પ્રક્રિયા માટે સંતુલન અચળાંક  $K_c$  આ પ્રમાણે લખી

શકાય :

$$K_c = \frac{[\text{PCl}_3][\text{Cl}_2]}{[\text{PCl}_5]} = \frac{(1.59)^2}{1.41} = 1.79$$

કોયડો 7.4



પ્રક્રિયા માટે  $K_c$  નું મૂલ્ય 800 K તાપમાને 4.24 છે. 800 K તાપમાને સંતુલને  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$  અને  $\text{H}_2\text{O}$  ની સાંદ્રતા ગણો. શરૂઆતમાં માત્ર  $\text{CO}$  અને  $\text{H}_2\text{O}$  જ હાજર હતાં અને તેમની દરેકની સાંદ્રતા 0.10M હતી.

ઉકેલ :

પ્રક્રિયા

$\text{CO(g)} + \text{H}_2\text{O(g)} \rightleftharpoons \text{CO}_2\text{(g)} + \text{H}_2\text{(g)}$  માટે પ્રારંભિક સાંદ્રતા

$$0.1 \text{ M} \quad 0.1 \text{ M} \quad 0 \quad 0$$

ધારો કે  $x$  મોલ પ્રતિલિટર નીપજ બને છે. આથી સંતુલને

$$(0.1 - x)\text{M} \quad (0.1 - x)\text{M} \quad x\text{M} \quad x\text{M}$$

જ્યાં,  $x$ ,  $\text{CO}_2$  અને  $\text{H}_2$ નો સંતુલને જથ્થો છે.

આથી સંતુલન અચળાંક માટે લખી શકીએ,

$$K = \frac{x^2}{(0.1 - x)^2} = 4.24$$

$$x^2 = 4.24 (0.01 + x^2 - 0.2x)$$

$$x^2 = 0.0424 + 4.24x^2 - 0.848x$$

$$3.24x^2 - 0.848x + 0.0424 = 0$$

$$a = 3.24, b = -0.848, c = 0.0424$$

દ્વિઘાત સમીકરણ  $ax^2 + bx + c = 0$  માટે

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$x = 0.848 \pm \sqrt{(0.848)^2 - 4(3.24)(0.0424)} / (3.24 \times 2)$$

$$x = (0.848 \pm 0.4118) / 6.48$$

$$x_1 = (0.848 - 0.4118) / 6.48 = 0.067$$

$$x_2 = (0.848 + 0.4118) / 6.48 = 0.194$$

0.194 મૂલ્ય સ્વીકારી શકાશે નહિ. કારણ કે તે પ્રક્રિયકની પ્રારંભિક સાંદ્રતાથી વધારે બતાવશે. તેથી તે સ્વીકાર્ય નથી. આથી સંતુલને સાંદ્રતા

$$[\text{CO}_2] = [\text{H}_2] = x = 0.067 \text{ M}$$

$$[\text{CO}] = [\text{H}_2\text{O}] = 0.1 - 0.067 = 0.033 \text{ M}$$

કોયડો 7.5

$2\text{NOCl(g)} \rightleftharpoons 2\text{NO(g)} + \text{Cl}_2\text{(g)}$  સંતુલન માટે સંતુલન અચળાંક  $K_c$ નું મૂલ્ય 1069 K તાપમાને  $3.75 \times 10^{-6}$  છે. આ તાપમાને પ્રક્રિયા માટે  $K_p$  ગણો.

ઉકેલ :

આપણે જાણીએ છીએ કે,

$$K_p = K_c \cdot (RT)^{\Delta n}$$

ઉપરની પ્રક્રિયા માટે,

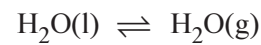
$$\Delta n = (2 + 1) - 2 = 1$$

$$K_p = 3.75 \times 10^{-6} (0.0831 \times 1069)$$

$$K_p = 0.033$$

## 7.5 વિષમાંગ સંતુલન (Heterogeneous Equilibria)

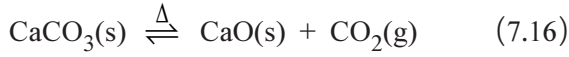
જો પ્રણાલીમાં એક કરતાં વધારે કલા હોય તો તે સંતુલનને વિષમાંગ સંતુલન કહે છે. બંધ પાત્રમાં પ્રવાહી પાણી અને પાણીની બાષ્પ વચ્ચેનું સંતુલન વિષમાંગ સંતુલનનું ઉદાહરણ છે.



આ ઉદાહરણમાં વાયુ કલા છે અને પ્રવાહી કલા પણ છે. એ જ પ્રમાણે ઘન અને સંતૃપ્ત દ્રાવણ વચ્ચે સંતુલન જેમકે,  $\text{Ca(OH)}_2\text{(s)} + \text{(aq)} \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+}\text{(aq)} + 2\text{OH}^{-}\text{(aq)}$  વિષમાંગ સંતુલન છે.

વિષમાંગ સંતુલન મુખ્યત્વે શુદ્ધ ઘન અને પ્રવાહીનો સમાવેશ કરે છે. આપણે સંતુલન અભિવ્યક્તિને વિષમાંગ સંતુલન જેમાં શુદ્ધ ઘન કે પ્રવાહી સમાવિષ્ટ હોય તેને માટે સરળ બનાવી શકીએ. શુદ્ધ ઘન અને પ્રવાહીની મોલર સાંદ્રતા અચળ (એટલે કે હાજર જથ્થાથી સ્વતંત્ર) હોય છે. બીજા શબ્દોમાં કહીએ તો જો પદાર્થ 'X' સમાવિષ્ટ થાય છે, તો  $[\text{X(s)}]$  અને  $[\text{X(l)}]$ નું મૂલ્ય 'X'નો ગમે તેટલો જથ્થો લીધો હોય તો પણ અચળ છે. આની વિરુદ્ધમાં  $[\text{X(g)}]$

અને  $[X(aq)]$  હોત તો તે બદલાત કારણ કે આપેલ કદમાં જથ્થો 'X' બદલાય છે. આપણે કેલ્શિયમ કાર્બોનેટનું ઉષ્મીય વિઘટન લઈએ. જે એક રસપ્રદ અને અગત્યનું વિષમાંગ રાસાયણિક સંતુલનનું ઉદાહરણ છે.



તત્ત્વયોગમિતિય સમીકરણને આધારે લખી શકીએ કે,

$$K_c = \frac{[\text{CaO}(s)][\text{CO}_2(g)]}{[\text{CaCO}_3(s)]}$$

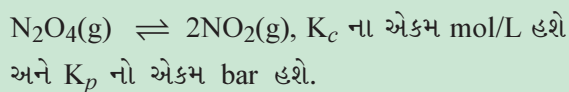
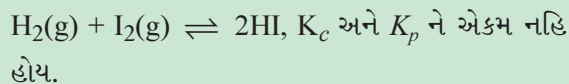
$\text{CaCO}_3(s)$  અને  $\text{CaO}(s)$  બન્ને અચળ છે તેથી કેલ્શિયમ કાર્બોનેટના ઉષ્મીય વિઘટનનો સંતુલન અચળાંક લખી શકાય.

$$K_c = [\text{CO}_2(g)] \quad (7.17)$$

$$\text{અથવા } K_p = p_{\text{CO}_2} \quad (7.18)$$

### સંતુલન અચળાંકના એકમો

સંતુલન અચળાંક  $K_c$ નું મૂલ્ય સાંદ્રતા પર્યાયોને mol/Lમાં દાખલ કરીને અને  $K_p$  માટે આંશિક દબાણ Pa, kPa, bar અથવા atm માં. મોલારિટી અથવા દબાણ પર આધારિત સંતુલન અચળાંકો એકમોમાં પરિણમે છે જેમાં બન્ને અંશ અને છેદના ઘાતાંક સરખા ન હોય ત્યાં સુધી. નીચેની પ્રક્રિયાઓ માટે,

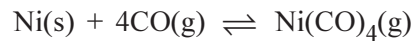


જો પ્રક્રિયા અને નીચજો પ્રમાણિત અવસ્થામાં હોય તો સંતુલન અચળાંકને પરિમાણરહિત રાશિઓ તરીકે રજૂ કરી શકીએ. શુદ્ધ વાયુ માટે પ્રમાણિત અવસ્થા 1 bar છે. આથી 4 bar ને પ્રમાણિત અવસ્થામાં રજૂ કરી શકાય કે 4 bar / 1 bar = 4 જે પરિમાણરહિત સંખ્યા છે. પ્રમાણિત અવસ્થા ( $c_0$ ) દ્રાવ્ય માટે 1 મોલર દ્રાવણ અને સાંદ્રતા તેના સંદર્ભમાં માપી શકાય. સંતુલન અચળાંક સાંખ્યિક મૂલ્ય પસંદ કરેલી પ્રમાણિત અવસ્થા પર આધાર રાખે છે. આથી આ પ્રણાલીમાં  $K_p$  અને  $K_c$  પરિમાણરહિત રાશિઓ છે, પરંતુ સાંખ્યિકીય મૂલ્યો જુદા જુદા છે કારણ કે જુદી જુદી પ્રમાણિત અવસ્થામાં છે.

આ દર્શાવે છે કે કોઈ એક તાપમાને  $\text{CO}_2$ ની અચળ સાંદ્રતા અથવા દબાણ  $\text{CaO}(s)$  અને  $\text{CaCO}_3(s)$  સાથે સંતુલનમાં છે. પ્રાયોગિક રીતે એ નક્કી થયું છે કે 1100 K તાપમાને  $\text{CaCO}_3(s)$  અને  $\text{CaO}(s)$  સાથે સંતુલનમાં રહેલા  $\text{CO}_2$ નું દબાણ  $2.0 \times 10^5$  Pa છે. આથી સંતુલન અચળાંક 1100 K તાપમાને ઉપરની પ્રક્રિયા માટે,

$$K_p = p_{\text{CO}_2} = 2.0 \times 10^5 \text{ Pa} / 10^5 \text{ Pa} = 2.00$$

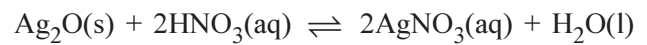
એ જ પ્રમાણે નિકલ, કાર્બન મોનોક્સાઈડ અને નિકલ કાર્બોનિલ વચ્ચેના સંતુલન માટે (નિકલના શુદ્ધીકરણમાં વપરાય છે).



સંતુલન અચળાંક આ પ્રમાણે લખી શકાય :

$$K_c = \frac{[\text{Ni}(\text{CO})_4]}{[\text{CO}]^4}$$

એ યાદ રાખવું જોઈએ કે વિષમાંગ સંતુલનના અસ્તિત્વ માટે શુદ્ધ ઘન અથવા પ્રવાહી સંતુલને (ગમે તેટલો ઓછો જથ્થો હોય તો પણ) હાજર હોવા જોઈએ પરંતુ, તેમની સાંદ્રતા અથવા દબાણ સંતુલન અચળાંકની અભિવ્યક્તિમાં દર્શાવાતા (appear) નથી. પ્રક્રિયા,



$$K_c = \frac{[\text{AgNO}_3]^2}{[\text{HNO}_3]^2}$$

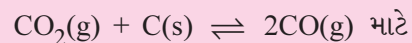
### કોયડો 7.6

$\text{CO}_2(g) + \text{C}(s) \rightleftharpoons 2\text{CO}(g)$  પ્રક્રિયા માટે  $K_p$ નું મૂલ્ય 1000 K તાપમાને 3.0 છે. જો પ્રારંભિક(શરૂઆત)માં  $p_{\text{CO}_2} = 0.48$  bar અને  $p_{\text{CO}} = 0$  bar અને શુદ્ધ ગ્રેફાઈટ હાજર હોય તો CO અને  $\text{CO}_2$ ના સંતુલન આંશિક દબાણની ગણતરી કરો.

ઉકેલ :

પ્રક્રિયા માટે ધારો કે,

$x$   $\text{CO}_2$ ના દબાણમાં ઘટાડો છે. તો,



પ્રારંભિક 0.48 bar

0

સાંદ્રતા

સંતુલને (0.48 - x)

2x bar



$$K_p = \frac{p_{CO}^2}{p_{CO_2}}$$

$$K_p = (2x^2) / (0.48 - x) = 3$$

$$4x^2 = 3(0.48 - x)$$

$$4x^2 = 1.44 - 3x$$

$$4x^2 + 3x - 1.44 = 0$$

$$a = 4, b = 3, c = -1.44$$

$$x = \frac{(-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac})}{2a}$$

$$= [-3 \pm \sqrt{(3)^2 - 4(4)(-1.44)}] / 2 \times 4$$

$$= (-3 \pm 5.66) / 8$$

$= (-3 + 5.66) / 8$  (કારણ કે  $x$ નું મૂલ્ય ઋણ ન હોઈ શકે તેથી તે મૂલ્યને નગણ્ય ગણી શકીએ (રદ કરી શકીએ).

$$x = 2.66 / 8 = 0.33$$

સંતુલન આંશિક દબાણ થશે.

$$p_{CO} = 2x = 2 \times 0.33 = 0.66 \text{ bar}$$

$$p_{CO_2} = 0.48 - x = 0.48 - 0.33 = 0.15 \text{ bar}$$

## 7.6 સંતુલન અચળાંકના અનુપ્રયોગો (Applications of Equilibrium Constants)

સંતુલન અચળાંકના અનુપ્રયોગોને ધ્યાનમાં લેતાં પહેલાં આપણે સંતુલન અચળાંકની અગત્યની ખાસિયતોનો સારાંશ નીચે દર્શાવીએ :

1. સંતુલન અચળાંકની અભિવ્યક્તિ ત્યારે જ લાગુ પાડી શકાય, જ્યારે પ્રક્રિયકો અને નીપજોએ સંતુલન અવસ્થાએ અચળ મૂલ્યો પ્રાપ્ત કર્યા હોય.
2. સંતુલન અચળાંકનું મૂલ્ય પ્રક્રિયકો અને નીપજોની પ્રારંભિક સાંદ્રતાથી સ્વતંત્ર હોય છે.
3. સંતુલન અચળાંક તાપમાન આધારિત છે અને તેને કોઈ ખાસ પ્રક્રિયા જે આપેલ તાપમાને સંતુલિત સમીકરણ દ્વારા રજૂ કરવામાં આવેલ પ્રક્રિયા માટે એક અદ્વિતીય (unique) મૂલ્ય હોય છે.
4. પ્રતિગામી પ્રક્રિયા માટે સંતુલન અચળાંક પુરોગામી પ્રક્રિયા માટેના સંતુલન અચળાંક જેટલો જ પણ વ્યસ્ત પ્રમાણમાં હોય છે.

5. પ્રક્રિયાનો સંતુલન અચળાંક  $K$  તેને અનુરૂપ પ્રક્રિયા સાથે સંબંધિત હોય છે. મૂળ પ્રક્રિયાના સમીકરણને નાના પૂર્ણાંક વડે ગુણવાથી અથવા ભાગવાથી તે સમીકરણ મળે છે.

આપણે સંતુલન અચળાંકના અનુપ્રયોગના અનુસંધાનમાં ગણી શકીએ.

- પ્રક્રિયાનું પ્રમાણ (extent) તેની માત્રાના આધાર પર પ્રાક્કથન કરવા.
- પ્રક્રિયાની દિશાનું પ્રાક્કથન કરવા.
- સંતુલન સાંદ્રતા ગણવા માટે.

### 7.6.1 પ્રક્રિયાના પ્રમાણ (extent) માટેનું પ્રાક્કથન (Predicting the Extent of a Reaction)

પ્રક્રિયા માટેના સંતુલન અચળાંકનું સાંખ્યિકીય મૂલ્ય પ્રક્રિયાનું પ્રમાણ સૂચવે છે, પરંતુ એ યાદ રાખવું જરૂરી છે કે સંતુલન અચળાંક સંતુલન કઈ રીતે પ્રાપ્ત થયું, તેના દર વિશે કોઈ માહિતી આપતું નથી.  $K_c$  અથવા  $K_p$  ની માત્રા અંશમાં દર્શાવાતી નીપજોની સાંદ્રતાના સમપ્રમાણમાં અને છેદમાં દર્શાવાતા પ્રક્રિયકોની સાંદ્રતાના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં હોય છે. આ સૂચવે છે કે  $K$ ના ઊંચા મૂલ્યો નીપજોની વધુ સાંદ્રતા અને એનાથી ઊલટું (vice-versa) દર્શાવે છે.

સંતુલન મિશ્રણના સંઘટન માટે નીચે પ્રમાણેનું સામાન્યીકરણ કરી શકીએ.

- જો  $K_c > 10^3$ ; પ્રક્રિયકો કરતાં નીપજો વધારે એટલે કે  $K_c$  ઘણો ઊંચો હોય તો પ્રક્રિયા લગભગ પૂર્ણ થવા તરફ આગળ ધપે છે. નીચેના ઉદાહરણો ધ્યાનમાં લઈએ :
  - (a)  $H_2$  ની  $O_2$  સાથેની 500 K તાપમાને થતી પ્રક્રિયાનો સંતુલન અચળાંક ઘણો મોટો છે.  $K_c = 2.4 \times 10^{47}$ .
  - (b)  $H_2(g) + Cl_2(g) \rightleftharpoons 2HCl(g)$ નો  $K_c$ , 300K તાપમાને  $4.0 \times 10^{31}$  છે.
  - (c)  $H_2(g) + Br_2(g) \rightleftharpoons 2HBr(g)$ , માટે  $K_c = 5.4 \times 10^{18}$  300 K તાપમાને.
- જો  $K_c < 10^{-3}$ , તો નીપજો કરતાં પ્રક્રિયકો વધારે હોય છે. જો  $K_c$  ઘણો ઓછો હોય તો પ્રક્રિયા ભાગ્યે જ આગળ વધે છે. નીચેના ઉદાહરણો ધ્યાનમાં લઈએ.

(a)  $H_2O$ નું  $H_2$  અને  $O_2$ માં વિઘટનનો સંતુલન અચળાંક 500K તાપમાને ઘણો નાનો હોય છે,  $K_c = 4.1 \times 10^{-48}$

(b)  $N_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g)$ ,  
298 K તાપમાને  $K_c = 4.8 \times 10^{-31}$

• જો  $K_c$ ,  $10^{-3}$  થી  $10^3$ ના ગાળામાં હોય તો પ્રક્રિયકો અને નીપજોની ગણનાપાત્ર સાંદ્રતાઓ હાજર હોય છે. નીચેની પ્રક્રિયાઓ ધ્યાનમાં લો.

(a)  $H_2$ ની  $I_2$  સાથેની પ્રક્રિયા જેથી HI મળે છે.

તેનો  $K_c = 57.0$ , 700K તાપમાને છે.

(b)  $N_2O_4$ નું  $NO_2$  માં વાયુમય કલામાં વિઘટન જે બીજી પ્રક્રિયા છે, તેનો  $K_c = 4.64 \times 10^{-3}$  25°C તાપમાને છે જે ઘણો ઓછો પણ નથી અને ઘણો વધારે પણ નથી. આથી સંતુલન મિશ્રણમાં બન્ને  $N_2O_4$  અને  $NO_2$ ની ગણનાપાત્ર સાંદ્રતા હશે.

આ સામાન્યીકરણને આકૃતિ 7.6માં દર્શાવી શકીએ.



પ્રક્રિયા ભાગ્યે સંતુલને પ્રક્રિયકો અને પ્રક્રિયા લગભગ જ આગળ વધે નીપજો બન્ને હાજર છે. પૂર્ણ થવા પર આગળ વધે છે.

આકૃતિ 7.6 પ્રક્રિયાના પ્રમાણનો  $K_c$  પર આધાર

## 7.6.2 પ્રક્રિયાની દિશાનું પ્રાક્કથન (Predicting the Direction of the Reaction)

સંતુલન અચળાંક કોઈ પણ તબક્કે પ્રક્રિયા કઈ દિશામાં આગળ વધશે તેનું પ્રાક્કથન કરવામાં મદદ કરે છે. આ હેતુ માટે આપણે પ્રક્રિયા ભાગફળ (quotient) Q ગણીશું. પ્રક્રિયા ભાગફળ Q ( $Q_c$  મોલર સાંદ્રતા અને  $Q_p$  આંશિક દબાણ)ને  $K_c$ ને વ્યાખ્યાયિત કરેલી તે જ રીતે વ્યાખ્યાયિત કરી શકાય. સિવાય કે  $Q_c$ માં સાંદ્રતા સંતુલન સાંદ્રતા હોવી જરૂરી નથી. સામાન્ય પ્રક્રિયા



$$Q_c = \frac{[C]^c[D]^d}{[A]^a[B]^b} \quad (7.20)$$

હવે,

જો  $Q_c > K_c$ , હોય તો પ્રક્રિયા પ્રક્રિયકની દિશામાં (પ્રતિગામી પ્રક્રિયા) આગળ વધશે.

જો  $Q_c < K_c$ , હોય તો પ્રક્રિયા નીપજની દિશામાં (પુરોગામી પ્રક્રિયા) આગળ વધશે.

જો  $Q_c = K_c$ , હોય તો સંતુલન મિશ્રણ સંતુલને જ છે.

$H_2$ ની  $I_2$  સાથેની વાયુમય પ્રક્રિયાને ધ્યાનમાં લો.

$H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$ ; 700 K તાપમાને  $K_c = 57.0$

ધારો કે આપણી પાસે મોલર સાંદ્રતાઓ

$[H_2]_t = 0.10M$ ,  $[I_2]_t = 0.20M$  અને  $[HI]_t = 0.40M$ .

(સાંદ્રતા પરનો પાદાંક  $t$ નો અર્થ થાય છે કે સાંદ્રતા કોઈ અડસટ્ટે નક્કી કરેલા સમયે નક્કી કરેલ છે, નહિ કે સંતુલન સમયે.)

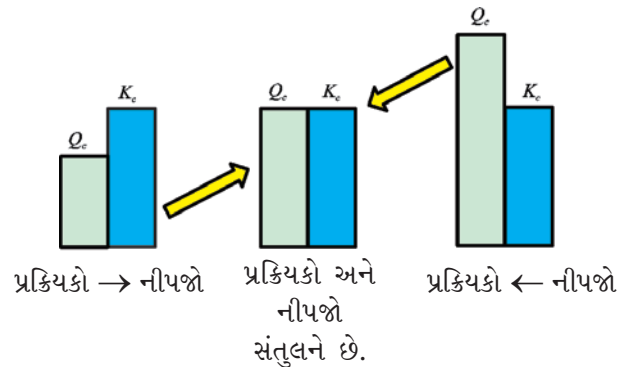
આમ, પ્રક્રિયા ભાગફળ  $Q_c$  આ તબક્કે પ્રક્રિયા માટે આપી શકાય કે,

$$Q_c = \frac{[HI]_t^2}{[H_2]_t [I_2]_t} = \frac{(0.40)^2}{(0.10) \times (0.20)} = 8.0$$

આ કિસ્સામાં  $Q_c$ ,  $K_c$  (57.0)ની બરાબર નથી. આથી મિશ્રણ  $H_2(g)$ ,  $I_2(g)$  અને  $HI(g)$  સંતુલનમાં નથી. એટલે કે  $H_2(g)$  અને  $I_2(g)$  પ્રક્રિયા કરીને વધુ  $HI(g)$  બનાવવાની જરૂર પડશે અને તેમની સાંદ્રતા એટલે સુધી ઘટશે કે  $Q_c = K_c$  થાય.

પ્રક્રિયા ભાગફળ પ્રક્રિયાની દિશા નક્કી કરવામાં પણ ઉપયોગી છે. જેમાં આપણે  $Q_c$  અને  $K_c$ ના મૂલ્યો સરખાવીશું.

આમ આપણે પ્રક્રિયાની દિશાની બાબતમાં નીચે પ્રમાણે સરળીકરણ કરી શકીશું (આકૃતિ 7.7).



આકૃતિ 7.7 પ્રક્રિયાની દિશાનું પ્રાક્કથન

- જો  $Q_c < K_c$ , કુલ પ્રક્રિયા ડાબી તરફથી જમણી તરફ જશે.
- જો  $Q_c > K_c$ , કુલ પ્રક્રિયા જમણી તરફથી ડાબી તરફ જશે.
- જો  $Q_c = K_c$ , કુલ પ્રક્રિયા થશે નહિ.

### કોયડો 7.7

$2A \rightleftharpoons B + C$  પ્રક્રિયા માટે  $K_c$ નું મૂલ્ય  $2 \times 10^{-3}$  છે. આપેલ સમયે પ્રક્રિયા મિશ્રણનું સંઘટન  $[A] = [B] = [C] = 3 \times 10^{-4} M$  છે. કઈ દિશામાં પ્રક્રિયા આગળ વધશે ?

ઉકેલ :

પ્રક્રિયા માટે પ્રક્રિયા ભાગફળ  $Q_c$  નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય.

$$Q_c = [B][C] / [A]^2$$

$[A] = [B] = [C] = 3 \times 10^{-4} M$  છે. આથી,

$$Q_c = (3 \times 10^{-4})(3 \times 10^{-4}) / (3 \times 10^{-4})^2 = 1$$

$Q_c > K_c$  મળે છે તેથી પ્રક્રિયા પ્રતિગામી દિશામાં આગળ વધશે.

### 7.6.3 સંતુલન સાંદ્રતા ગણવી (Calculating Equilibrium Concentration)

કોયડાની બાબતમાં આપણે પ્રારંભિક સાંદ્રતા જાણતા હોઈએ અને કોઈ પણ સંતુલન સાંદ્રતા જાણતા ન હોઈએ તો, નીચેના ત્રણ તબક્કાને અનુસરવું જોઈએ :

**તબક્કો 1 :** પ્રક્રિયા માટે સમતોલિત સમીકરણ લખો.

**તબક્કો 2 :** સમતોલિત સમીકરણની નીચે એક કોષ્ટક બનાવો. જેમાં પ્રક્રિયામાં ભાગ લેતાં દરેક પદાર્થની યાદી હોય અને દરેક પદાર્થ માટે,

- પ્રારંભિક (શરૂઆતની) સાંદ્રતા
- સંતુલન અવસ્થાએ જતાં સાંદ્રતામાં થતો ફેરફાર
- સંતુલન સાંદ્રતા

આ કોષ્ટકની રચનામાં  $x$ ને વ્યાખ્યાયિત કરો. જે પ્રક્રિયામાં ભાગ લેતાં તેની સંતુલન તરફ જતાં પદાર્થની સાંદ્રતા (mol/L) છે. પછી તત્ત્વયોગમિતિનો ઉપયોગ કરીને બીજા પદાર્થોની સાંદ્રતા  $x$  પર્યાયના સંદર્ભમાં નક્કી કરો.

**તબક્કો 3 :** પ્રક્રિયા માટે સંતુલન સમીકરણમાં સંતુલન સાંદ્રતાના મૂલ્યો મૂકો અને  $x$ નો ઉકેલ શોધો. જો તમારે દ્વિઘાત સમીકરણના ઉકેલ મેળવવાનો હોય તો ગાણિતીય ઉકેલ શોધો અને તેમાંથી રાસાયણિક અર્થ થતો હોય તે ઉકેલને પસંદ કરો.

**તબક્કો 4 :**  $x$ ના ગણતરી કરેલા મૂલ્યો પરથી સંતુલન સાંદ્રતા ગણો.

**તબક્કો 5 :** સંતુલન સમીકરણમાં તેમને મૂકીને તમારું પરિણામ ચકાસી જુઓ.

#### કોયડો 7.8

13.8g  $N_2O_4$  1L કદના પ્રક્રિયા પાત્રમાં 400K તાપમાને લેવામાં આવ્યો અને સંતુલન પ્રાપ્ત થવા દીધું.



સંતુલને કુલ દબાણ 9.15 bar હતું.  $K_c$ ,  $K_p$  અને સંતુલને આંશિક દબાણ ગણો.

ઉકેલ :

આપણે જાણીએ છીએ કે  $pV = nRT$

કુલ કદ (V) = 1 L

$N_2O_4$  નું આણ્વીય દળ = 92 g

વાયુના મોલની સંખ્યા ( $n$ ) = 13.8g/92 g = 0.15

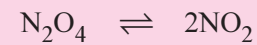
વાયુ અચળાંક (R) = 0.083 bar L mol<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>

તાપમાન (T) = 400 K

$pV = nRT$

$p \times 1L = 0.15 \text{ mol} \times 0.083 \text{ bar L mol}^{-1}\text{K}^{-1} \times 400 \text{ K}$

$p = 4.98 \text{ bar}$



પ્રારંભિક 4.98 bar 0

દબાણ

સંતુલને દબાણ (4.98 - x) bar 2x bar

આથી, સંતુલને

$$P_{\text{total}} = P_{N_2O_4} + P_{NO_2}$$

$$9.15 = (4.98 - x) + 2x$$

$$9.15 = 4.98 + x$$

$$x = 9.15 - 4.98 = 4.17 \text{ bar}$$

સંતુલને આંશિક દબાણ,

$$P_{N_2O_4} = 4.98 - 4.17 = 0.81 \text{ bar}$$

$$P_{NO_2} = 2x = 2 \times 4.17 = 8.34 \text{ bar}$$

$$K_p = (P_{NO_2})^2 / P_{N_2O_4} \\ = (8.34)^2 / 0.81 = 85.87$$

$$K_p = K_c(RT)^{\Delta n}$$

$$85.87 = K_c(0.083 \times 400)^1$$

$$K_c = 2.586 = 2.6$$

#### કોયડો 7.9

3.00 mol  $PCl_5$ ને 1L કદના બંધ પાત્રમાં 380 K તાપમાને લેવામાં આવ્યો અને સંતુલન પ્રાપ્ત થવા દીધું. સંતુલને મિશ્રણનું સંઘટન નક્કી કરો.  $K_c = 1.80$

ઉકેલ :



પ્રારંભિક સાંદ્રતા : 3.0 0 0

ધારો કે  $x$  મોલ પ્રતિલિટર  $\text{PCl}_5$  નું વિયોજન થાય છે.

સંતુલને :  $(3-x) \quad x \quad x$

$$K_c = [\text{PCl}_3][\text{Cl}_2]/[\text{PCl}_5]$$

$$1.8 = x^2/(3 - x)$$

$$x^2 + 1.8x - 5.4 = 0$$

$$x = [-1.8 \pm \sqrt{(1.8)^2 - 4(-5.4)}]/2$$

$$x = [-1.8 \pm \sqrt{3.24 + 21.61}]/2$$

$$x = [-1.8 \pm 4.98]/2$$

$$x = [-1.8 + 4.98]/2 = 1.59$$

$$[\text{PCl}_5] = 3.0 - x = 3 - 1.59 = 1.41 \text{ M}$$

$$[\text{PCl}_3] = [\text{Cl}_2] = x = 1.59 \text{ M}$$

## 7.7 સંતુલન અચળાંક $K$ , પ્રક્રિયા ભાગફળ $Q$ અને ગીબ્સ ઊર્જા $G$ વચ્ચેનો સંબંધ (Relationship Between Equilibrium Constant $K$ , Reaction Quotient $Q$ and Gibbs Energy $G$ )

પ્રક્રિયા માટેનું  $K_c$ નું મૂલ્ય પ્રક્રિયાના દર પર આધાર રાખતું નથી. તમે એકમ 6માં શીખી ગયા કે તે પ્રક્રિયાના ઉષ્માગતિશાસ્ત્ર સાથે સીધું જ સંબંધિત છે અને ખાસ કરીને ગીબ્સ ઊર્જામાં ફેરફાર  $\Delta G$  સાથે. જો,

- $\Delta G$  ઋણ હોય તો પ્રક્રિયા સ્વયંસ્ફુરિત છે અને તે પુરોગામી દિશામાં આગળ વધશે.
- $\Delta G$  ધન હોય તો પ્રક્રિયા બિનસ્વયંસ્ફુરિત ગણાય છે. તેના બદલે પ્રતિગામી પ્રક્રિયાનો  $\Delta G$  ઋણ થશે અને પુરોગામી પ્રક્રિયાની નીપજ પ્રક્રિયકમાં ફેરવાશે.
- જો  $\Delta G$  શૂન્ય હશે તો પ્રક્રિયાએ તે તબક્કે સંતુલન પ્રાપ્ત કરી લીધેલું હશે અને પ્રક્રિયાને ધકેલવા માટે કોઈ મુક્ત ઊર્જા બચી હશે નહિ.

સંતુલનની દૃષ્ટિએ આ ઉષ્માગતિશાસ્ત્રનું ગાણિતીય અભિલક્ષણ નીચેના સમીકરણમાં દર્શાવી શકાય :

$$\Delta G = \Delta G^\ominus + RT \ln Q \quad (7.21)$$

જ્યાં,  $G^\ominus$  પ્રમાણિત ગીબ્સ ઊર્જા છે.

સંતુલને જ્યારે  $\Delta G = 0$  અને  $Q = K_c$  થશે ત્યારે સમીકરણ 7.21 નીચે પ્રમાણે થશે :

$$\Delta G = \Delta G^\ominus + RT \ln K = 0$$

$$\Delta G^\ominus = -RT \ln K \quad (7.22)$$

$$\ln K = -\Delta G^\ominus / RT$$

બન્ને બાજુનો પ્રતિઘાતાંક લેતાં,

$$K = e^{-\Delta G^\ominus / RT} \quad (7.23)$$

આથી સમીકરણ(7.23)નો ઉપયોગ કરીને પ્રક્રિયાની સ્વયંસ્ફુરિતાને  $\Delta G^\ominus$ ના મૂલ્યોના પર્યાયમાં સમજાવી શકીએ.

- જો  $\Delta G^\ominus < 0$ , તો  $-\Delta G^\ominus/RT$  ધન અને  $e^{-\Delta G^\ominus/RT} > 1$ , જેથી  $K > 1$  જે સૂચવે છે કે પ્રક્રિયા સ્વયંસ્ફુરિત છે અથવા પ્રક્રિયા પુરોગામી દિશામાં આગળ વધશે અને નીપજો વિશેષ હશે.
- જો  $\Delta G^\ominus > 0$ , તો  $-\Delta G^\ominus/RT$  ઋણ થશે અને  $e^{-\Delta G^\ominus/RT} < 1$  એટલે કે  $K < 1$  જે સૂચવે છે કે પ્રક્રિયા બિનસ્વયંસ્ફુરિત હશે અથવા પ્રક્રિયા પુરોગામી દિશામાં એટલા ધીમા પ્રમાણમાં આગળ વધશે કે નીપજોનું ઘણું ઓછું પ્રમાણ (જથ્થો) મળશે.

### કોયડો 7.10

ગ્લુકોલકોલીસીસમાં ગ્લુકોઝના ફોસ્ફોરાઇલેશન માટે  $\Delta G^\ominus$ નું મૂલ્ય 13.8 kJ/mol છે. 298 K તાપમાને  $K_c$ નું મૂલ્ય શોધો.

ઉકેલ :

$$\Delta G^\ominus = 13.8 \text{ kJ/mol} = 13.8 \times 10^3 \text{ J/mol}$$

$$\text{વળી, } \Delta G^\ominus = -RT \ln K_c$$

$$\text{તેથી } \ln K_c = \frac{-13.8 \times 10^3 \text{ J/mol}}{(8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \times 298 \text{ K})}$$

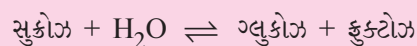
$$\ln K_c = -5.569$$

$$K_c = e^{-5.569}$$

$$K_c = 3.81 \times 10^{-3}$$

### કોયડો 7.11

સુક્રોઝનું જળવિભાજન નીચે મુજબ છે,



આ પ્રક્રિયા માટે સંતુલન અચળાંક  $K_c$  300K તાપમાને  $2 \times 10^{13}$  છે. 300K તાપમાને  $\Delta G^\ominus$  ગણો.

ઉકેલ :

$$\Delta G^\ominus = -RT \ln K_c$$

$$\Delta G^\ominus = -8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \times 300 \text{ K} \times \ln (2 \times 10^{13})$$

$$\Delta G^\ominus = -7.64 \times 10^4 \text{ J mol}^{-1}$$

## 7.8 સંતુલનને અસર કરતાં પરિબળો (Factors Affecting Equilibria)

રાસાયણિક સંશ્લેષણનું એક મુખ્ય ધ્યેય એ હોય છે કે પ્રક્રિયકોમાંથી વધુમાં વધુ નીપજો મેળવવી અને ઊર્જાનો ખર્ચ

ન્યૂનતમ કરવો. આ એમ સૂચવે છે કે નીપજનું મહત્તમ પ્રમાણ નીચા તાપમાન અને દબાણની પરિસ્થિતિએ હોવું. જો આ પ્રમાણે ન બને તો પ્રક્રિયાની પરિસ્થિતિને બદલીને ગોઠવવી પડે. ઉદાહરણ તરીકે હેબર વિધિમાં  $N_2$  અને  $H_2$  માંથી એમોનિયાના સંશ્લેષણ માટેની પ્રાયોગિક પરિસ્થિતિઓની પસંદગી ખરેખર આર્થિક અગત્યની હોય છે. વિશ્વનું એમોનિયાનું વાર્ષિક ઉત્પાદન સો મિલિયન ટન છે, જે ખાતરો માટે પ્રાથમિક રીતે જરૂરી છે.

સંતુલન અચળાંક  $K_c$  પ્રારંભિક સાંદ્રતાથી સ્વતંત્ર હોય છે, પરંતુ જો પ્રણાલી સંતુલનમાં હોય અને તેમાં પ્રક્રિયા કરતાં પદાર્થની સાંદ્રતામાં ફેરફાર કરીએ તો પ્રણાલી સંતુલનમાં રહેતી નથી અને પ્રક્રિયા એવી દિશામાં થાય છે કે તે ફરી પાછી સંતુલનમાં આવી જાય. એ જ પ્રમાણે તાપમાન કે દબાણમાં ફેરફાર પણ પ્રણાલીને અસર કરશે અને સંતુલન બદલાશે. પ્રક્રિયા કયો માર્ગ અપનાવશે તે નક્કી કરવા માટે સંતુલન પર પરિસ્થિતિના ફેરફારની અસરનો અભ્યાસ સમજવા લ શેટેલિયરનો નિયમ ઉપયોગમાં લઈએ છીએ. તે નિવેદિત કરે છે કે, પ્રણાલીની સંતુલન પરિસ્થિતિમાં કોઈપણ પરિબળનો ફેરફાર કરવામાં આવે તો પ્રણાલી આ અસરને ઓછી કરશે અથવા ફેરફારની અસરનો પ્રતિકાર કરશે. આ બાબત બધા જ ભૌતિક અને રાસાયણિક સંતુલનોને લાગુ પાડી શકાય છે.

હવે આપણે સંતુલન પર અસર કરતાં પરિબળોની ચર્ચા કરીએ.

### 7.8.1 સાંદ્રતા ફેરફારની અસર (Effect of Concentration Change)

સામાન્ય રીતે જો કોઈ પ્રક્રિયક/નીપજને ઉમેરવાથી અથવા પ્રક્રિયામાંથી દૂર કરતાં સંતુલનને જ્યારે ખલેલ પહોંચે ત્યારે લ શેટેલિયરનો સિદ્ધાંત પ્રાકૃકથન કરે છે કે,

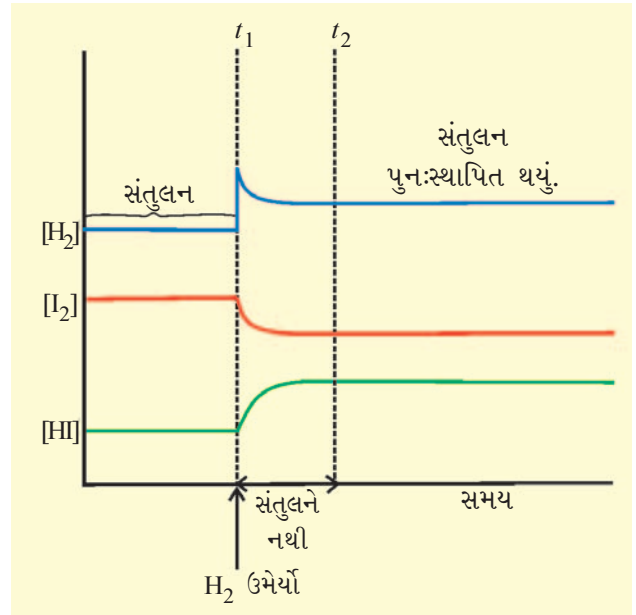
- ઉમેરેલા પ્રક્રિયક/નીપજની સાંદ્રતા, તાણ (stress)માંથી એવી રીતે મુક્ત કરવામાં આવે છે જેથી કુલ પ્રક્રિયા ઉમેરેલા પદાર્થનો વપરાશ થાય તે દિશામાં આગળ વધશે.
- દૂર કરેલા પ્રક્રિયક/નીપજની સાંદ્રતા તાણમાંથી એવી રીતે મુક્ત થાય છે કે જેથી ચોખ્ખી પ્રક્રિયા દૂર કરવામાં આવેલા પદાર્થને પરિપૂર્ણ કરે છે અથવા બીજા શબ્દોમાં કહીએ તો,

‘જ્યારે સંતુલનમાં રહેલી પ્રક્રિયામાં કોઈપણ પ્રક્રિયક કે નીપજની સાંદ્રતામાં ફેરફાર કરવામાં આવે તો પ્રક્રિયા મિશ્રણનું સંઘટન એવી રીતે બદલાશે કે સાંદ્રતા ફેરફારની અસર ન્યૂનતમ થશે.’

આપણે



જો  $H_2$  સંતુલને ઉમેરવામાં આવે તો પ્રક્રિયાના સંતુલનમાં ખલેલ થશે અને તેને પુનઃસ્થાપિત કરવા પ્રક્રિયા એવી રીતે આગળ વધશે જેમાં  $H_2$  વપરાશે. એટલે કે વધુ  $H_2$  અને  $I_2$  પ્રક્રિયા કરી વધુ HI બનાવશે અને છેવટે સંતુલન જમણી બાજુ (પુરોગામી દિશામાં) ખસશે (આકૃતિ 7.8). લ શેટેલિયરના સિદ્ધાંત પ્રમાણે આ સૂચવે છે કે જ્યારે પ્રક્રિયક કે નીપજ ઉમેરવામાં આવે છે ત્યારે નવું સંતુલન સ્થપાશે. જેમાં પ્રક્રિયક/નીપજની સાંદ્રતા તેને ઉમેર્યા પછીથી ઓછી હશે પરંતુ મૂળ મિશ્રણ કરતાં વધારે હશે.



**આકૃતિ 7.8**  $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$  પ્રક્રિયામાં પ્રક્રિયક અને નીપજ માટે સાંદ્રતામાં ફેરફાર માટે  $H_2$ ના ઉમેરણની અસર

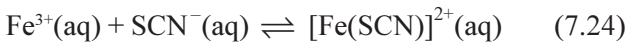
આ જ મુદ્દો પ્રક્રિયા ભાગફળ  $Q_c$ ના પર્યાયમાં પણ સમજાવી શકાય :

$$Q_c = \frac{[HI]^2}{[H_2][I_2]}$$

સંતુલને હાઈડ્રોજન ઉમેરતાં  $Q_c$ નું મૂલ્ય  $K_c$  કરતાં ઓછું થાય છે. આથી ફરીથી સંતુલન પ્રાપ્ત કરવા માટે પ્રક્રિયા પુરોગામી દિશામાં આગળ વધશે. એ જ પ્રમાણે આપણે કહી શકીએ કે નીપજને દૂર કરવામાં આવે તો પણ પ્રક્રિયા પુરોગામી દિશામાં થશે. આનો મોટો ઔદ્યોગિક અનુપ્રયોગ એ છે કે જો નીપજ વાયુ હોય તો અથવા બાષ્પશીલ પદાર્થ હોય તો વધુ નીપજ મેળવી શકાય. એમોનિયાના ઉત્પાદનમાં એમોનિયા વાયુનું પ્રવાહીકરણ કરવામાં આવે છે અને પ્રક્રિયા મિશ્રણમાંથી દૂર કરવામાં આવે છે. આથી પ્રક્રિયા પુરોગામી દિશામાં ચાલુ રહે છે. એ જ પ્રમાણે CaOના (જે અગત્યનો બાંધકામ માટેનો પદાર્થ છે)  $CaCO_3$ માંથી મોટા પાયા પરના ઉત્પાદનમાં  $CO_2$ ને સતત દૂર કરવામાં આવે છે. જેથી કરીને ભઠ્ઠામાંની પ્રક્રિયા પૂર્ણતા તરફ પહોંચે છે. એ યાદ રાખવું જોઈએ કે નીપજને સતત દૂર કરવાથી  $Q_c$ નું મૂલ્ય  $K_c$ ના મૂલ્ય કરતાં ઓછું જળવાઈ રહે છે અને પરિણામે પ્રક્રિયા પુરોગામી દિશામાં ચાલુ રહે છે.

### સાંદ્રતાની અસર : પ્રયોગ :

આ નીચેની પ્રક્રિયાથી નિર્દેશિત કરી શકાય :



પીળો રંગવિહીન ઘેરો લાલ

$$K_c = \frac{[Fe(SCN)(aq)]^{2+}}{[Fe^{3+}(aq)][SCN^{-}(aq)]} \quad (7.25)$$

0.002 M પોટેશિયમ થાયોસાયનેટના બે ટીપાં 1 mL 0.2 M આયર્ન (III) નાઈટ્રેટના દ્રાવણમાં ઉમેરવામાં આવે તો લાલાશ પડતો રંગ દેખાય છે. જે  $[Fe(SCN)]^{2+}$ ના સર્જનને કારણે છે. લાલ રંગની તીવ્રતા સંતુલન પ્રાપ્ત થતાં અચળ બને છે. આ સંતુલનને ડાબી કે જમણી તરફ આપણી પસંદગી પ્રમાણે પ્રક્રિયક અથવા નીપજ ઉમેરી ખસેડી શકાય છે.  $Fe^{3+}$  અથવા  $SCN^{-}$  ને દૂર કરે તેવા પદાર્થો ઉમેરવામાં આવે તો પ્રક્રિયા વિરુદ્ધ દિશામાં જશે. ઉદાહરણ તરીકે ઓક્સેલિક એસિડ ( $H_2C_2O_4$ ),  $Fe^{3+}$  આયન સાથે પ્રક્રિયા કરે છે અને સ્થાયી સંકીર્ણ આયન  $[Fe(C_2O_4)_3]^{3-}$  બને છે. આમ, મુક્ત  $Fe^{3+}(aq)$  આયનની સાંદ્રતા ઘટે છે. લ શેટેલિયરના સિદ્ધાંત પ્રમાણે દૂર થયેલા  $Fe^{3+}$ ની સાંદ્રતા તાણને  $[Fe(SCN)]^{2+}$ ના વિયોજનથી મળતાં  $Fe^{3+}$  આયન વડે મુક્ત કરે છે.

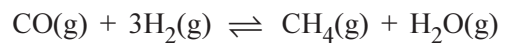
$[Fe(SCN)]^{2+}$ ની સાંદ્રતા ઘટે છે અને તેથી રંગની તીવ્રતા ઘટે છે.

જલીય  $HgCl_2$  ઉમેરવાથી પણ લાલ રંગની તીવ્રતા ઘટે છે. કારણ કે  $Hg^{2+}$  આયન  $SCN^{-}$  આયન સાથે પ્રક્રિયા કરે છે અને સ્થાયી સંકીર્ણ  $[Hg(SCN)_4]^{2-}$  બનાવે છે. મુક્ત  $SCN^{-}(aq)$  ને દૂર કરતાં સમીકરણ (7.24)માંનું સંતુલન જમણીથી ડાબી તરફ ખસે છે. જેથી,  $SCN^{-}$  આયન પરિપૂર્ણ થાય છે. બીજી બાજુ પોટેશિયમ થાયોસાયનેટ ઉમેરવાથી દ્રાવણના રંગની તીવ્રતા વધે છે કારણ કે સંતુલન જમણી તરફ ખસે છે.

### 7.8.2 દબાણ ફેરફારની અસર (Effect of Pressure Change)

એવી વાયુમય રાસાયણિક પ્રક્રિયા જેમાં વાયુમય પ્રક્રિયકોના કુલ મોલની સંખ્યા તથા વાયુમય નીપજોના કુલ મોલની સંખ્યા જુદી જુદી હોય તેવી પ્રક્રિયામાં કદના ફેરફાર દ્વારા દબાણમાં ફેરફાર ઉત્પન્ન કરતાં નીપજની માત્રાને અસર કરે છે. લ-શેટેલિયરનો નિયમ વિષમભાગ સંતુલનને લાગુ પાડતાં ઘન અને પ્રવાહી પર દબાણ ફેરફારની અસર નગણ્ય હોય છે. કારણ કે દ્રાવણ/પ્રવાહીના કદ (અને સાંદ્રતા) દબાણની અસરથી લગભગ સ્વતંત્ર છે.

નીચેની પ્રક્રિયા ધ્યાનમાં લઈએ :



અહીંયા 4 મોલ વાયુમય પ્રક્રિયકો ( $CO + 3H_2$ ), 2 મોલ નીપજો ( $CH_4 + H_2O$ )માં ફેરવાય છે. ધારો કે (ઉપરની પ્રક્રિયા માટે) સંતુલન મિશ્રણને અચળ તાપમાને નળાકારમાં ફીટ કરેલ પિસ્ટન વડે સંકોચીને તેનું કદ મૂળ કદ કરતાં અડધું કરીએ તો કુલ દબાણ બમણું થઈ જશે. (સમીકરણ  $pV = અચળાંક$ ). આથી પ્રક્રિયકો અને નીપજોના આંશિક દબાણો અને તેથી જ તેમની સાંદ્રતામાં ફેરફાર થાય છે, પરિણામે મિશ્રણ સંતુલનમાં રહેતું નથી. લ-શેટેલિયરનો સિદ્ધાંત લાગુ પાડીને કઈ દિશામાં પ્રક્રિયા પરિણમીને ફરીથી સંતુલનનું પુનઃસ્થાપન કરશે તેનું પ્રાક્કથન કરી શકીશું. દબાણ બમણું થયું છે તેથી સંતુલન પુરોગામી દિશામાં ખસશે, આ દિશામાં વાયુના મોલની સંખ્યા અથવા દબાણ ઘટશે. (આપણે જાણીએ છીએ કે દબાણ વાયુના મોલની સંખ્યાના સમપ્રમાણમાં

હોય છે.) આ આપણે પ્રક્રિયા ભાગફળ  $Q_c$ નો ઉપયોગ કરીને સમજી શકીએ. ધારો કે મિથેનેશન પ્રક્રિયામાં સંતુલને  $[CO]$ ,  $[H_2]$ ,  $[CH_4]$  અને  $[H_2O]$  મોલર સાંદ્રતા છે, જ્યારે પ્રક્રિયા મિશ્રણનું કદ અડધું કરવામાં આવે છે ત્યારે આંશિક દબાણ અને સાંદ્રતા બમણા થશે. આપણે દરેક સંતુલન સાંદ્રતાને તેના બમણા મૂલ્યથી બદલીને પ્રક્રિયા ભાગફળ મેળવી શકીએ.

$$Q_c = \frac{[CH_4(g)][H_2O(g)]}{[CO(g)][H_2(g)]^3}$$

જ્યાં,  $Q_c < K_c$  હોવાથી પ્રક્રિયા પુરોગામી દિશામાં આગળ વધે છે.

$C(s) + CO_2(g) \rightleftharpoons 2CO(g)$  પ્રક્રિયામાં જ્યારે દબાણ વધારવામાં આવે છે ત્યારે પ્રક્રિયા પ્રતિગામી દિશામાં જાય છે, કારણ કે વાયુના મોલની સંખ્યા પુરોગામી પ્રક્રિયામાં વધે છે.

### 7.8.3 નિષ્ક્રિય વાયુના ઉમેરાની અસર (Effect of Inert Gas Addition)

જો કદ અચળ રાખવામાં આવે અને નિષ્ક્રિય વાયુ જેવાં કે આર્ગોન ઉમેરવામાં આવે તો પ્રક્રિયામાં ભાગ લેતા નથી અને સંતુલન બલેલરહિત રહે છે. આનું કારણ એ છે કે અચળ કદે નિષ્ક્રિય વાયુનો ઉમેરો પ્રક્રિયામાં ભાગ લેતાં પદાર્થનું આંશિક દબાણ અથવા મોલર સાંદ્રતા બદલાતા નથી. જો ઉમેરેલ નિષ્ક્રિય વાયુ પ્રક્રિયામાં સંકળાયેલ પ્રક્રિયક અથવા નીપજ હોય તો પ્રક્રિયા ભાગફળ બદલાય છે.

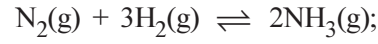
### 7.8.4 તાપમાન ફેરફારની અસર (Effect of Temperature Change)

જ્યારે પણ સંતુલનને સાંદ્રતા, દબાણ અથવા કદમાં ફેરફાર કરી બલેલ પહોંચાડવામાં આવે છે ત્યારે સંતુલન મિશ્રણની સાંદ્રતા બદલાય છે. કારણ કે પ્રક્રિયા ભાગફળ  $Q_c$  સંતુલન અચળાંક  $K_c$  જેટલો રહેતો નથી, પરંતુ જો તાપમાનમાં ફેરફાર થાય તો સંતુલન અચળાંક  $K_c$ માં ફેરફાર થાય છે.

સામાન્ય રીતે સંતુલન અચળાંકનો તાપમાન પર આધાર પ્રક્રિયાના  $\Delta H$ ની સંજ્ઞા (નિશાની) પર રહે છે.

- ઉષ્માક્ષેપક પ્રક્રિયા (ઋણ  $\Delta H$ )માં સંતુલન અચળાંક તાપમાનના વધારા સાથે ઘટે છે.
- ઉષ્માશોષક પ્રક્રિયા (ધન  $\Delta H$ )માં સંતુલન અચળાંક તાપમાનના વધારા સાથે વધે છે.

તાપમાનમાં ફેરફાર સંતુલન અચળાંક અને પ્રક્રિયા દરને અસર કરે છે. એમોનિયાનું ઉત્પાદન નીચેની પ્રક્રિયા પ્રમાણે ઉષ્માક્ષેપક પ્રક્રમ છે.

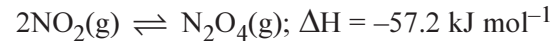


$$\Delta H = -92.38 \text{ kJ mol}^{-1}$$

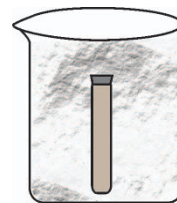
લ-શ્વેટેલિયરના સિદ્ધાંત પ્રમાણે તાપમાનનો વધારો એમોનિયાના સંતુલનને ડાબી બાજુ ખસેડે છે. બીજા શબ્દોમાં કહીએ તો નીચું તાપમાન એમોનિયાની વધુ પ્રમાણમાં નીપજ માટે સાનુકૂળ છે, પરંતુ પ્રાયોગિક દૃષ્ટિએ ઘણું નીચું તાપમાન પ્રક્રિયાનો દર ઘટાડે છે. આથી ઉદ્દીપક વપરાય છે.

### તાપમાનની અસર : પ્રયોગ

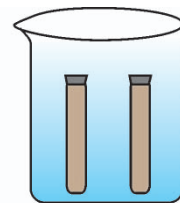
સંતુલન પર તાપમાનની અસરનું નિદર્શન આપણે  $NO_2$  વાયુ (કથ્થાઈ રંગ) લઈને જેનું દ્વિતીયકરણ (દ્વિઅણુ રચના) (dimerisation)  $N_2O_4$  વાયુ (રંગવિહીન)માં થાય છે.



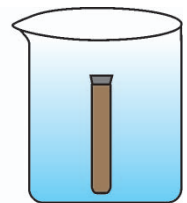
Cuને  $HNO_3$ માં ઉમેરીને  $NO_2$  વાયુ બનાવી શકાય. આ વાયુને બે 5 mL ની કસનળીમાં (ખાતરી કરીને કે દરેક કસનળીમાં વાયુના રંગની તીવ્રતા સરખી છે) લઈને બૂચને એરેલડાઈટ લગાડીને સીલ કરી દો. ત્રણ 250 mL કદના બીકર 1, 2 અને 3માં ઠારણ મિશ્રણ, ઓરડાના તાપમાને પાણી અને ગરમ પાણી (363K) અનુક્રમે લેવામાં આવે છે (આકૃતિ 7.9). બન્ને કસનળીઓને બીકર 2માં 8-10 મિનિટ રાખી મૂકો. પછી એકને બીકર 1માં મૂકો અને બીજાને બીકર 3માં મૂકો. પ્રક્રિયાની દિશા પર તાપમાનની અસર આ પ્રયોગમાં ઘણી સારી રીતે ચિત્ર દ્વારા રજૂ કરેલ છે. નીચા તાપમાને બીકર 1માં પુરોગામી પ્રક્રિયા જે  $N_2O_4$ ની બનાવટ છે તેને વધુ પસંદ કરે છે. કારણ કે પ્રક્રિયા ઉષ્માક્ષેપક છે અને આથી  $N_2O_4$ ની રચના



270 K તાપમાને ઠારણ મિશ્રણથી ભરેલ બીકર



ઓરડાના તાપમાને પાણી 298 K

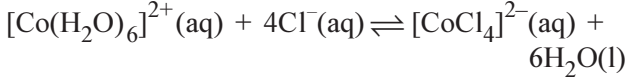


પાણી 363 K તાપમાને

આકૃતિ 7.9  $2NO_2(g) \rightleftharpoons N_2O_4(g)$  પ્રક્રિયા માટે તાપમાનની સંતુલન પર અસર

થવાથી NO<sub>2</sub>ને કારણે જણાતા કથ્થાઈ રંગની તીવ્રતા ઘટે છે. જ્યારે બીકર 3માં ઊંચું તાપમાન પ્રતિવર્તી પ્રક્રિયાની તરફેણ કરે છે જે NO<sub>2</sub>ની બનાવટ છે. આથી કથ્થાઈ રંગની તીવ્રતા વધે છે.

તાપમાનની અસર ઉષ્માશોષક પ્રક્રિયા પર જોઈ શકાય.



ગુલાબી રંગવિહીન વાદળી

ઓરડાના તાપમાને સંતુલન મિશ્રણ વાદળી છે જે [CoCl<sub>4</sub>]<sup>2-</sup>ને લીધે છે. જ્યારે તેને ઠારણ મિશ્રણમાં ઠંડું પાડવામાં આવે છે ત્યારે મિશ્રણનો રંગ ગુલાબી બને છે જે [Co(H<sub>2</sub>O)<sub>6</sub>]<sup>2+</sup>ને લીધે છે.

### 7.8.5 ઉદ્દીપકની અસર (Effect of Catalyst)

ઉદ્દીપક, પ્રક્રિયકમાંથી નીપજ મેળવવા માટેના કોઈ ઓછી ઊર્જાની જરૂરિયાતવાળા પથને પ્રાપ્ત કરી રાસાયણિક પ્રક્રિયાનો દર વધારે છે. તે પુરોગામી પ્રક્રિયાનો દર અને પ્રતિગામી પ્રક્રિયાનો દર વધારે છે જે સમાન સંક્રાંતિ અવસ્થામાંથી પસાર થાય છે અને સંતુલનને અસર કરતો નથી. ઉદ્દીપક પુરોગામી પ્રક્રિયા અને પ્રતિગામી પ્રક્રિયા બન્નેની સક્રિયકરણ ઊર્જામાં સરખા પ્રમાણમાં ઘટાડો કરે છે. ઉદ્દીપક પ્રક્રિયા મિશ્રણના સંઘટનને અસર કરતો નથી. તે સંતુલિત રાસાયણિક પ્રક્રિયામાં દેખાતો નથી અથવા સંતુલન અચળાંકની રજૂઆતમાં પણ દેખાતો નથી.

આપણે ડાયનાઈટ્રોજન અને ડાયહાઈડ્રોજન વાયુમાંથી એમોનિયા વાયુની બનાવટની પ્રક્રિયા લઈએ જે ઉષ્માક્ષેપક પ્રક્રિયા છે અને પ્રક્રિયકના વધુ મોલમાંથી નીપજના ઓછા મોલમાં ફેરવાય છે. તાપમાનના વધારા સાથે સંતુલન અચળાંક ઘટે છે. નીચા તાપમાને પ્રક્રિયાનો દર ઘટે છે અને સંતુલન પ્રાપ્ત કરવા માટે ઘણો સમય લે છે, જ્યારે ઊંચા તાપમાને દર સંતોષકારક છે પણ ઊપજ ઓછી છે.

જર્મન વૈજ્ઞાનિક ફ્રિટ્ઝ હેબરે (Fritz Haber) શોધ્યું છે કે આયર્ન ધરાવતો ઉદ્દીપક એ તાપમાને સંતોષકારક દરે પ્રક્રિયાને ઉદ્દીપિત કરે છે, ત્યારે જે તાપમાને એમોનિયાની સંતુલને સાંદ્રતા વાજબી રીતે તરફેણવાળી હોય છે. પ્રક્રિયામાં પરિણમતી નીપજના મોલ પ્રક્રિયકના મોલ કરતાં ઓછા છે અને તેથી દબાણના વધારાથી NH<sub>3</sub>ની ઊપજ વધારી શકાય.

NH<sub>3</sub>ના સંશ્લેષણમાં ઉદ્દીપકના ઉપયોગ સાથે તાપમાનના અને દબાણની અનુકૂળતમ પરિસ્થિતિ 500 °C અને 200 atmની આસપાસ હોય છે.

એ જ પ્રમાણે, સંપર્ક પદ્ધતિથી સલ્ફ્યુરિક એસિડનું ઉત્પાદન નીચેની પ્રક્રિયાથી થઈ શકે છે. તેમાં,

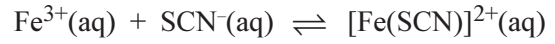


Kનું મૂલ્ય પ્રક્રિયા પૂર્ણ થવા તરફનું સૂચન કરે છે, પરંતુ પ્રાયોગિક દૃષ્ટિએ SO<sub>2</sub> નું SO<sub>3</sub> માં ઓક્સિડેશન ઘણી ધીમી પ્રક્રિયા છે. આથી પ્લેટિનમ અથવા ડાયવેનેડિયમ પેન્ટા-ઓક્સાઈડ (V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) ઉદ્દીપક તરીકે પ્રક્રિયાનો દર વધારવા માટે વપરાય છે.

**નોંધ :** જો પ્રક્રિયાના Kનું મૂલ્ય પ્રમાણમાં ઘણું જ ઓછું હોય તો ઉદ્દીપકની મદદ ઘણી ઓછી હોય છે.

## 7.9 દ્રાવણમાં આયનીય સંતુલન (Ionic Equilibrium in Solution)

સંતુલનની દિશા પર સાંદ્રતાની અસરની ચર્ચા દરમિયાન સંજોગવશાત્ તમે આયનોનો સમાવેશ કરતી પ્રક્રિયાનો અભ્યાસ કર્યો.



ઘણા બધા સંતુલનો છે કે જેમાં માત્ર આયનોનો સમાવેશ થાય છે. નીચેના વિભાગમાં આપણે આયનોના સમાવેશનો અભ્યાસ કરીશું. આપણે જાણીએ છીએ કે ખાંડનું દ્રાવણ વિદ્યુતનું વહન કરતું નથી, જ્યારે સામાન્ય ક્ષાર (સોડિયમ ક્લોરાઈડ) પાણીમાં ઉમેરવામાં આવે છે ત્યારે તે વિદ્યુતનું વહન કરે છે. સામાન્ય ક્ષારની સાંદ્રતાના વધારા સાથે વિદ્યુતનું વહન પણ વધે છે. માઈકલ ફેરડેએ પદાર્થોને તેમની વિદ્યુત વહન કરવાની ક્ષમતા પ્રમાણે બે વિભાગમાં વહેંચી દીધા. એક વિભાગ જેમાં પદાર્થો તેમના જલીય દ્રાવણમાં વિદ્યુત વહન કરે છે. જેને તેમણે વિદ્યુતવિભાજ્ય કહ્યા જ્યારે બીજા જે વિદ્યુતનું વહન કરતા નથી તેમને વિદ્યુત અવિભાજ્ય તરીકે ઓળખાવ્યા. ફેરડેએ આગળ ઉપર વિદ્યુતવિભાજ્યોને પ્રબળ અને નિર્બળ વિદ્યુતવિભાજ્યો તરીકે વર્ગીકૃત કર્યા. પ્રબળ વિદ્યુતવિભાજ્યો પાણીમાં ઓગળતાં સંપૂર્ણપણે આયનીકરણ પામે છે, જ્યારે નિર્બળ વિદ્યુતવિભાજ્યો અંશતઃ વિયોજિત થાય છે. ઉદાહરણ તરીકે સોડિયમ ક્લોરાઈડનું જલીય દ્રાવણ લગભગ સંપૂર્ણપણે સોડિયમ આયન અને ક્લોરાઈડ આયનનું હોય છે, જ્યારે એસિટિક એસિડ મુખ્યત્વે અવિયોજિત એસિટિક એસિડ અણુઓ અને થોડાક એસિટેટ આયન અને હાઈડ્રોનિયમ આયન ધરાવે છે. આનું કારણ એ છે કે સોડિયમ ક્લોરાઈડની બાબતમાં લગભગ 100 % આયનીકરણ થાય છે, જ્યારે એસિટિક એસિડ જે નિર્બળ વિદ્યુતવિભાજ્ય છે તેમાં 5 % થી પણ ઓછું આયનીકરણ થાય છે. એ નોંધવું જોઈએ કે નિર્બળ વિદ્યુતવિભાજ્યોમાં આયન અને બિનઆયનીકરણ પામેલા અણુઓ વચ્ચે સંતુલન સ્થપાય છે. આ પ્રકારનું

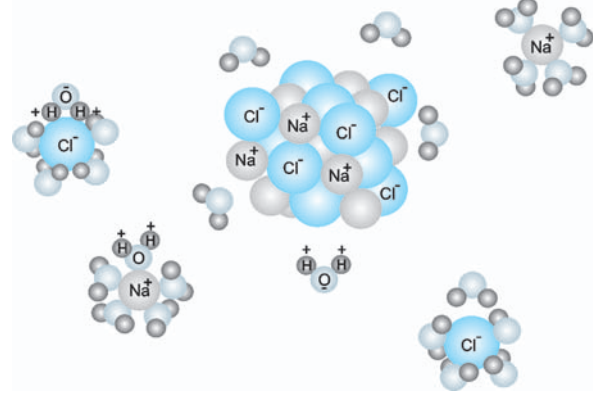


સંતુલન જેમાં જલીય દ્રાવણમાંના આયનોનો સમાવેશ થાય છે તેને **આયનીય સંતુલન** કહે છે. એસિડ, બેઈઝ અને ક્ષાર વિદ્યુતવિભાજ્યોના વિભાગમાં આવે છે અને તે પ્રબળ કે નિર્બળ વિદ્યુતવિભાજ્ય તરીકે વર્તે છે.

## 7.10 એસિડ, બેઈઝ અને ક્ષાર (Acids, Bases and Salts)

એસિડ, બેઈઝ અને ક્ષાર કુદરતમાં વિશાળ પ્રાપ્તિસ્થાન ધરાવે છે. હાઈડ્રોક્લોરિક એસિડ જે પાચક રસ તરીકે આપણા જઠર(હોજરી)માંથી સ્રાવ થાય છે જે નોંધપાત્ર પ્રમાણમાં એટલે કે 1.2-1.5 L/દિવસ છે અને તે પાચનક્રિયા માટે આવશ્યક છે. એસિટિક એસિડ સરકો(વિનેગાર)માં મુખ્ય ઘટક તરીકે જાણીતો છે. લીંબુ અને નારંગીના જ્યુસમાં સાઈટ્રિક એસિડ અને એસ્કોબિક એસિડ હોય છે. આંબલીમાં ટાર્ટરિક એસિડ હોય છે. મોટા ભાગના એસિડ સ્વાદમાં ખાટા હોય છે, તેથી શબ્દ 'એસિડ' (acid) લેટિન શબ્દ એસિડસ(acidus)માંથી ઉતરી આવ્યો છે. એસિડ ભૂરા (વાદળી) લિટમસ પત્રને લાલમાં ફેરવે છે અને કેટલીક ધાતુઓ સાથેની પ્રક્રિયામાં ડાયહાઈડ્રોજન મુક્ત કરે છે. એ જ પ્રમાણે બેઈઝ લાલ લિટમસ પત્રને વાદળી (ભૂરા) કરે છે. સ્વાદમાં કડવા હોય છે અને સ્પર્શ ચીકણા લાગે છે. બેઈઝનું સામાન્ય ઉદાહરણ ધોવાનો સોડા છે. જે ધોવાના કામોમાં વપરાય છે. જો એસિડ અને બેઈઝને તેમના યોગ્ય પ્રમાણમાં ભેગા કરવામાં આવે તો એકબીજા સાથે પ્રક્રિયા કરીને ક્ષાર આપે છે. કેટલાક જાણીતા ક્ષારના ઉદાહરણ છે - સોડિયમ ક્લોરાઈડ, બેરિયમ સલ્ફેટ, સોડિયમ નાઈટ્રેટ. સોડિયમ ક્લોરાઈડ (સામાન્ય ક્ષાર) આપણા ખોરાકનો અગત્યનો ઘટક છે અને તે હાઈડ્રોક્લોરિક એસિડ અને

સોડિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડ વચ્ચેની પ્રક્રિયાથી બને છે તે ઘન અવસ્થામાં ધનભારવાળા સોડિયમ આયન અને ઋણભારવાળા ક્લોરાઈડ આયનોના ઝૂમખાં તરીકે હોય છે. જેમને આકૃતિ 7.10માં દર્શાવ્યા પ્રમાણેના એકબીજાથી વિરુદ્ધ ભારવાળી સ્પીસિઝની પારસ્પરિક ક્રિયાને કારણે ખૂબ જ જકડાયેલા રહે છે. બન્ને (વિરુદ્ધ) ભાર વચ્ચેના સ્થિરવિદ્યુતીય બળો માધ્યમના ડાયઇલેક્ટ્રિક (પરાવૈદ્યુત) અચળાંકના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં હોય છે.



**આકૃતિ 7.10** સોડિયમ ક્લોરાઈડનું પાણીમાં વિલયન,  $\text{Na}^+$  અને  $\text{Cl}^-$  આયનો ધ્રુવીય પાણીના અણુઓ સાથે જલીયકરણથી સ્થાયી થયા છે.

પાણી, સાર્વત્રિક દ્રાવક છે અને 80 જેટલો ઊંચો ડાયઇલેક્ટ્રિક અચળાંક ધરાવે છે. આમ, સોડિયમ ક્લોરાઈડ પાણીમાં ઓગાળીએ ત્યારે સ્થિરવિદ્યુતીય પારસ્પરિક આકર્ષણો 80ના ગુણાંકમાં ઘટે છે અને આયનોને દ્રાવણમાં મુક્ત રીતે ફરવાની સગવડ કરી આપે છે. વળી તેઓ સારા પ્રમાણમાં એકબીજાથી અલગ હોય છે તેનું કારણ પાણીના અણુ સાથેનું જલીયકરણ છે.

ફેરાડેનો જન્મ લંડનની નજીક મર્યાદિત સગવડોવાળા એક કુટુંબમાં થયો હતો. 14 વર્ષની ઉંમરે તેમણે એક બુક બાઈન્ડરને ત્યાં ઓપ્રેન્ટિસ તરીકે કાર્ય શરૂ કરેલું. જ્યાં તેમને જે પુસ્તકોનું બાઈન્ડિંગ કરતા હતા તેને વાંચવાની છૂટ મળેલી. એક ભાગ્યશાળી તકના લીધે તેઓ 1813-'14માં ડેવીના લેબોરેટરી આસિસ્ટન્ટ બન્યા. ફેરાડે તેમની સાથે મહાદ્વિપમાં ગયા. આ યાત્રા દરમિયાન તે સમયના ઘણા બધા જાણીતા અને આગળ પડતાં વૈજ્ઞાનિકો સાથેના સંપર્કમાં આવ્યા અને તેમના અનુભવમાંથી ઘણું શીખ્યા. 1825માં તે ડેવીના ઉત્તરાધિકારી તરીકે રોયલ ઇન્સ્ટિટ્યુશન લેબોરેટરીઝના નિયામક અને 1833માં તેઓ પ્રથમ ફુલેરિયન પ્રોફેસર ઓફ કેમિસ્ટ્રી બન્યા. ફેરાડેનું પ્રથમ અગત્યનું કાર્ય વૈશ્લેષિક રસાયણ હતું. 1821 પછીનું તેમનું ઘણું કાર્ય વિદ્યુત અને ચુંબક તથા ઘણી બધી વિદ્યુતચુંબકીય ઘટનાઓ પર હતું. તેમના વિચારો આધુનિક ક્ષેત્રવાદની સ્થાપના તરફ દોરી ગયા. તેમણે 1834માં વિદ્યુતવિભાજનના બે નિયમો શોધ્યા. ફેરાડે એક સજ્જન અને માયાળુ હૃદયના માનવી હતા. તેમણે બધા જ સન્માનોને ફગાવી દીધા અને વૈજ્ઞાનિક વાદવિવાદોને ટાળ્યા. તેમણે એકલાએ જ કાર્ય કરવાનું પસંદ કર્યું. અને કોઈ મદદનીશ કદી રાખ્યા નહિ. એમણે વિજ્ઞાનનો પ્રસાર અનેક રીતે કર્યો. જેમાં શુક્રવારની સાંજના વ્યાખ્યાનો(પ્રવચનો)નો સમાવેશ થાય છે. આની શરૂઆત તેમણે રોયલ ઇન્સ્ટિટ્યુટશનથી જ કરેલી. તે તેમના નાતાલ વ્યાખ્યાન 'Chemical History of a Candle' (મીણબત્તીનો રાસાયણિક ઇતિહાસ) માટે તેઓ ખૂબ જ જાણીતા હતા. તેમણે લગભગ 450 વૈજ્ઞાનિક પત્રો પ્રકાશિત કરેલા છે.



માઈકલ ફેરાડે  
(1791-1867)

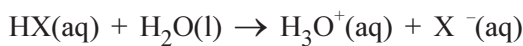
હાઈડ્રોક્લોરિક એસિડ અને એસિટિક એસિડ બંને ધ્રુવીય સહસંયોજક અણુઓ છે. તેમની પાણીમાં વિયોજનથી સરખામણી કરતાં HCl તેમના આયનોમાં સંપૂર્ણ આયનીકરણ પામેલા છે, જ્યારે CH<sub>3</sub>COOH માત્ર અંશતઃ (< 5 %) આયનીકરણ પામેલા છે. આયનીકરણ કેટલે અંશે થશે તેની માત્રા બંધની પ્રબળતા અને ઉત્પન્ન થયેલા આયનોના દ્રાવકયોજન (Solvation) પર આધાર રાખે છે. અગાઉ વિયોજન અને આયનીકરણ પર્યાયો જુદા જુદા અર્થમાં વપરાતા હતા. વિયોજન એવો પ્રક્રમ છે જેમાં દ્રાવ્ય ઘન અવસ્થામાં જે રીતે અસ્તિત્વ ધરાવતો હતો તે જ રીતે દ્રાવણમાં આયનોમાં અલગીકરણ સ્વરૂપે જ રહે છે (જેમકે સોડિયમ ક્લોરાઇડમાં). બીજી બાજુ આયનીકરણ એવો પ્રક્રમ છે જેમાં તટસ્થ અણુ દ્રાવણમાં ભારિત આયનો તરીકે વિભાજિત થાય છે. આપણે અહીંયા બે વચ્ચે ભેદ દર્શાવીશું નહિ અને બન્ને પર્યાયો એકબીજાને માટે વાપરીશું.

### 7.10.1 એસિડ અને બેઈઝની આર્હેનિયસની સંકલ્પના (Arrhenius Concept of Acids and Bases)

આર્હેનિયસ (Arrhenius) સિદ્ધાંત પ્રમાણે એસિડ એવા પદાર્થો છે જે પાણીમાં વિયોજન પામે છે અને હાઈડ્રોજન આયન H<sup>+</sup>(aq) આપે છે અને બેઈઝ એવા પદાર્થો છે જે પાણીમાં વિયોજન પામે છે અને હાઈડ્રોક્સિલ આયન OH<sup>-</sup>(aq) આપે છે. એસિડ HX(aq)નું આયનીકરણ નીચેના સમીકરણોથી રજૂ કરી શકાય :



અથવા



સ્વતંત્ર (bare) પ્રોટોન H<sup>+</sup> ખૂબ જ સક્રિય છે અને જલીય દ્રાવણમાં સ્વતંત્ર રીતે અસ્તિત્વ ધરાવી શકતો નથી. આથી તે દ્રાવક પાણીના ઓક્સિજન સાથે બંધ રચે છે, જેથી ત્રિકોણીય પિરામિડલ હાઈડ્રોનિયમ આયન મળે છે. H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> {[H(H<sub>2</sub>O)]<sup>+</sup>} (બોક્સમાં જુઓ) આ પ્રકરણમાં આપણે H<sup>+</sup>(aq) અને H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>(aq) નો એકબીજાની બદલીમાં ઉપયોગ કરીશું અને એનો અર્થ જળયુક્ત પ્રોટોન છે.

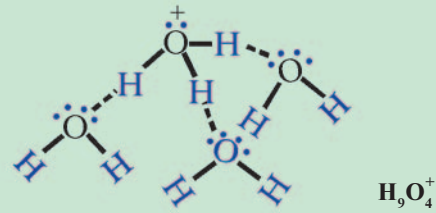
એ જ પ્રમાણે MOH જેવો બેઈઝ અણુ જલીય દ્રાવણમાં નીચેના સમીકરણ પ્રમાણે આયનીકરણ પામે છે.



હાઈડ્રોક્સિલ આયન પણ જલીય દ્રાવણમાં જળયુક્ત સ્વરૂપમાં હોય છે. આર્હેનિયસ એસિડ-બેઈઝ સિદ્ધાંતની એક મર્યાદા એ છે કે તે માત્ર જલીય દ્રાવણોને જ લાગુ પાડી શકાય છે અને એમોનિયા જેવા પદાર્થોની બેઝિકતા સમજાવી શકતો નથી, કારણ તેમાં હાઈડ્રોક્સિલ સમૂહ હોતો જ નથી.

### હાઈડ્રોનિયમ અને હાઈડ્રોક્સિલ આયનો

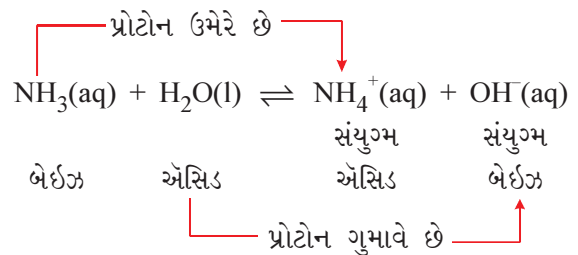
હાઈડ્રોજન આયન પોતે સ્વતંત્ર પ્રોટોન છે જેનું કદ ઘણું નાનું છે (~10<sup>-15</sup> m ત્રિજ્યા) અને તીવ્ર વિદ્યુતીય ક્ષેત્ર ધરાવે છે, જેથી ઓક્સિજન પર મળતાં બે અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોન જોડમાંની એક સાથે પોતે બંધન રચે છે અને H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> આપે છે. આ સ્પીસિઝની ઘણા સંયોજનોની ઘન અવસ્થામાં પરખ થયેલ છે (ઉદા. H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>Cl<sup>-</sup>). જલીય દ્રાવણમાં હાઈડ્રોનિયમ આયન ફરી જળયુક્ત થાય છે અને H<sub>5</sub>O<sub>2</sub><sup>+</sup>, H<sub>7</sub>O<sub>3</sub><sup>+</sup> અને H<sub>9</sub>O<sub>4</sub><sup>+</sup> જેવી સ્પીસિઝ આપે છે. એ જ પ્રમાણે હાઈડ્રોક્સિલ આયન પણ જળયુક્ત થાય છે અને H<sub>3</sub>O<sub>2</sub><sup>-</sup>, H<sub>5</sub>O<sub>3</sub><sup>-</sup> અને H<sub>7</sub>O<sub>4</sub><sup>-</sup> વગેરે કેટલીક સ્પીસિઝ આપે છે.



### 7.10.2 બ્રોન્સ્ટેડ-લોરી એસિડ અને બેઈઝ (Bronsted-Lowry Acids and Bases)

ડેનિશ રાસાયણશાસ્ત્રી જોહાનિસ બ્રોન્સ્ટેડ (Johannes Bronsted) અને અંગ્રેજ રાસાયણશાસ્ત્રી થોમસ એમ. લોરીએ (Thomas M. Lowry) એસિડ અને બેઈઝની વધારે સામાન્ય વ્યાખ્યા આપી. બ્રોન્સ્ટેડ-લોરીના સિદ્ધાંત પ્રમાણે એસિડ એવો પદાર્થ છે જે હાઈડ્રોજન આયન H<sup>+</sup>નું દાન કરવા શક્તિમાન છે અને બેઈઝ એવો પદાર્થ છે જે હાઈડ્રોજન આયન H<sup>+</sup>ને સ્વીકારે છે. ટૂંકાણમાં એસિડ પ્રોટોનદાતા છે અને બેઈઝ પ્રોટોનગ્રાહી છે.

નીચે દર્શાવેલા સમીકરણ પ્રમાણે NH<sub>3</sub>નું H<sub>2</sub>Oમાં વિલયનનું ઉદાહરણ ધ્યાનમાં લઈએ.



હાઈડ્રોક્સિલ આયનની હાજરીને લીધે બેઝિક દ્રાવણ બને છે. આ પ્રક્રિયામાં પાણીના અણુ પ્રોટોનદાતા તરીકે વર્તે છે અને એમોનિયાનો અણુ પ્રોટોનગ્રાહી તરીકે વર્તે છે અને આમ તે અનુક્રમે લોરી-બ્રોન્સ્ટેડ એસિડ અને બેઈઝ તરીકે વર્તે છે. પ્રતિગામી પ્રક્રિયામાં NH<sub>4</sub><sup>+</sup>માંથી H<sup>+</sup>, OH<sup>-</sup> તરફ હેરફેર પામે છે. આ કિસ્સામાં NH<sub>4</sub><sup>+</sup> બ્રોન્સ્ટેડ એસિડ તરીકે જ્યારે OH<sup>-</sup> બ્રોન્સ્ટેડ બેઈઝ તરીકે વર્તે છે. એસિડ-બેઈઝની જોડ જે માત્ર એક પ્રોટોનથી જ અલગ પડે છે તેને સંયુગ્મ એસિડ-બેઈઝ જોડ કહે છે. આથી OH<sup>-</sup>ને H<sub>2</sub>Oનો સંયુગ્મ બેઈઝ કહે છે અને



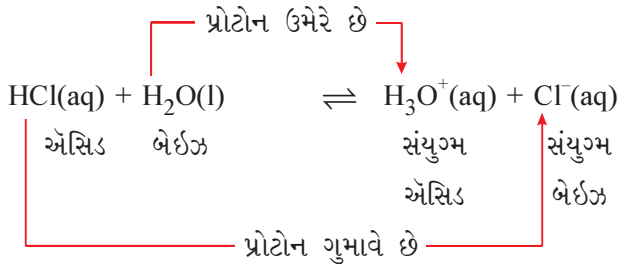
સ્વાન્ને આર્હેનિયસ  
(1859-1927)

આર્હેનિયસ ઉપસાલા, સ્વીડનની નજીક જન્મ્યા હતા. તેમણે 1884માં યુનિવર્સિટી ઓફ ઉપસાલામાં તેમનો મહાનિબંધ (thesis) રજૂ કર્યો હતો. જેનું શીર્ષક હતું - વિદ્યુતવિભાજ્ય વાહકોના દ્રાવણની વાહકતા (Conductivities of electrolyte solutions) પછીના પાંચ વર્ષ તેમણે ખૂબ જ મુસાફરી કરી અને યુરોપમાંના ઘણા સંશોધન કેન્દ્રોની મુલાકાત લીધી. 1895માં તેમની સ્ટોકહોમમાંની નવી રચાયેલી યુનિવર્સિટી ઓફ સ્ટોકહોમમાં ભૌતિકવિજ્ઞાનના પ્રોફેસર તરીકે નિમણૂક થઈ અને 1897 થી 1902 સુધી તેમણે રેક્ટર તરીકે ફરજ બજાવેલી. 1905થી તેમના મૃત્યુ સુધી સ્ટોકહોમની નોબેલ ઈન્સ્ટિટ્યૂટના ભૌતિક-રસાયણવિજ્ઞાન નિયામક તરીકે કાર્ય કર્યું. તેમણે ઘણા વર્ષો સુધી વિદ્યુતવિભાજ્યમય દ્રાવણ પર કાર્ય કર્યું. 1899માં તેમણે રાસાયણિક પ્રક્રિયાના દરનો તાપમાન પર આધાર અંગે ચર્ચા કરી અને એક સમીકરણ તારવ્યું જે હવે આપણે આર્હેનિયસ સમીકરણ તરીકે ઓળખીએ છીએ.

તેમણે ઘણા જુદા જુદા ક્ષેત્રોમાં કાર્ય કર્યું અને તેમણે અગત્યનું યોગદાન પ્રતિરક્ષારસાયણ (Immuno-chemistry), બ્રહ્માંડ વિજ્ઞાન (Cosmology), જિંદગીની ઉત્પત્તિ (Origin of life) અને હિમયુગના કારણો વગેરે ક્ષેત્રોમાં કર્યું. તેઓ સૌપ્રથમ હતા જેમણે 'ગ્રીન હાઉસ અસર' જેને આપણે આજે આ નામથી ઓળખીએ છીએ તેની પણ ચર્ચા કરી હતી. તેમણે 1903માં તેમના વિદ્યુતીય વિયોજનના વાદ અને તેનો રસાયણવિજ્ઞાનના વિકાસ માટેના ઉપયોગના કાર્ય માટે રસાયણવિજ્ઞાનનું નોબેલ પારિતોષિક મેળવેલું.

$\text{NH}_4^+$ ને  $\text{NH}_3$ નો સંયુગ્મ એસિડ કહે છે. જો બ્રોન્સ્ટેડ એસિડ પ્રબળ હોય તો તેનો સંયુગ્મ બેઈઝ નિર્બળ બેઈઝ હોય છે અને તેનાથી ઊલટું પણ (vice-versa). એ નોંધશો કે સંયુગ્મ એસિડને એક વધારાનો પ્રોટોન હોય છે અને બેઈઝને એક પ્રોટોન ઓછો હોય છે.

હાઈડ્રોક્લોરિક એસિડના પાણીમાં આયનીકરણનું ઉદાહરણ લઈએ.  $\text{HCl}(\text{aq})$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  જે બેઈઝ તરીકે વર્તે છે તેને પ્રોટોનનું દાન કરીને એસિડ તરીકે વર્તે છે.



ઉપરના સમીકરણમાં જોઈ શકાશે કે પાણી બેઈઝ તરીકે વર્તે છે, કારણ કે તે પ્રોટોન સ્વીકારે છે.  $\text{H}_3\text{O}^+$  સ્પીસિઝ પાણી જ્યારે  $\text{HCl}$ માંથી પ્રોટોન સ્વીકારે છે ત્યારે બને છે. આથી  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCl}$ નો સંયુગ્મ બેઈઝ બને છે અને  $\text{HCl}$ , બેઈઝ  $\text{Cl}^-$ નો સંયુગ્મ એસિડ બને છે. એ જ પ્રમાણે  $\text{H}_2\text{O}$ , એસિડ  $\text{H}_3\text{O}^+$ નો સંયુગ્મ બેઈઝ બને છે અને  $\text{H}_3\text{O}^+$ , બેઈઝ  $\text{H}_2\text{O}$ નો સંયુગ્મ એસિડ બને છે.

પાણીનો એસિડ અને બેઈઝ એમ બન્ને પ્રકારનો ભાગ ભજવવો તે એક રસપ્રદ અવલોકન છે.  $\text{HCl}$  સાથેની પ્રક્રિયાના કિસ્સામાં પાણી બેઈઝ તરીકે વર્તે છે અને એમોનિયા સાથેની પ્રક્રિયાના કિસ્સામાં એસિડ તરીકે વર્તે છે.

### કોયડો 7.12

નીચેના બ્રોન્સ્ટેડ એસિડ માટે સંયુગ્મ બેઈઝ શું હશે ?  
 $\text{HF}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  અને  $\text{HCO}_3^-$  ?

ઉકેલ :

સંયુગ્મ બેઈઝને દરેક કિસ્સામાં દર્શાવ્યા પ્રમાણે કરતાં એક પ્રોટોન ઓછો હોવો જોઈએ તેથી અનુવર્તી સંયુગ્મ બેઈઝ નીચે પ્રમાણે થશે. જે અનુક્રમે  $\text{F}^-$ ,  $\text{HSO}_4^-$  અને  $\text{CO}_3^{2-}$  છે.

### કોયડો 7.13

નીચેના બ્રોન્સ્ટેડ બેઈઝ માટે સંયુગ્મ એસિડ લખો :

$\text{NH}_2^-$ ,  $\text{NH}_3$  અને  $\text{HCOO}^-$ .

ઉકેલ :

સંયુગ્મ એસિડને દરેક કિસ્સા કરતાં એક વધારે પ્રોટોન હોવો જોઈએ, તેથી અનુવર્તી સંયુગ્મ એસિડ નીચે પ્રમાણે થશે જે અનુક્રમે  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NH}_4^+$  અને  $\text{HCOOH}$  છે.

### કોયડો 7.14

સ્પીસિઝ  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{HSO}_4^-$  અને  $\text{NH}_3$  બ્રોન્સ્ટેડ એસિડ અને બેઈઝ બન્ને તરીકે વર્તી શકે છે. દરેક કિસ્સા માટે અનુરૂપ સંયુગ્મ એસિડ અને સંયુગ્મ બેઈઝ જણાવો.

ઉકેલ :

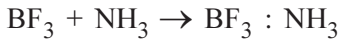
ઉત્તર નીચેના કોષ્ટકમાં આપેલ છે :

સ્પીસિઝ	સંયુગ્મ એસિડ	સંયુગ્મ બેઈઝ
$\text{H}_2\text{O}$	$\text{H}_3\text{O}^+$	$\text{OH}^-$
$\text{HCO}_3^-$	$\text{H}_2\text{CO}_3$	$\text{CO}_3^{2-}$
$\text{HSO}_4^-$	$\text{H}_2\text{SO}_4$	$\text{SO}_4^{2-}$
$\text{NH}_3$	$\text{NH}_4^+$	$\text{NH}_2^-$

### 7.10.3 લુઈસ એસિડ-બેઈઝ (Lewis Acids and Bases)

જી. એન. લુઈસે (G. N. Lewis) 1923માં વ્યાખ્યાઓ આપી કે એસિડ એવી સ્પીસિઝ છે જે ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ સ્વીકારે છે અને બેઈઝ એવી સ્પીસિઝ છે જે ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મનું દાન કરે છે. જ્યાં સુધી બેઈઝની બાબત છે ત્યાં સુધી બ્રોન્સ્ટેડ-લોરી અને લુઈસ સંકલ્પનામાં ખાસ કોઈ ફેર નથી, કારણ કે બેઈઝ અબંધકારક યુગ્મ બન્નેમાં પૂરા પાડે છે. લુઈસ સંકલ્પનામાં ઘણા એસિડ પ્રોટોન ધરાવતા નથી. જાણીતા ઉદાહરણમાં ઇલેક્ટ્રોન ઊણપવાળા સ્પીસિઝ  $BF_3$ ની  $NH_3$  સાથેની પ્રક્રિયા છે.

$BF_3$ ને પ્રોટોન નથી પણ છતાં એસિડ તરીકે વર્તે છે અને  $NH_3$  સાથે ઇલેક્ટ્રોનનું અબંધકારક સ્વીકારીને પ્રક્રિયા કરે છે. પ્રક્રિયા નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય.



ઇલેક્ટ્રોન ઊણપવાળી સ્પીસિઝ,  $AlCl_3$ ,  $Co^{3+}$ ,  $Mg^{2+}$  વગેરે લુઈસ એસિડ તરીકે વર્તી શકે છે, જ્યારે  $H_2O$ ,  $NH_3$ ,  $OH^-$  વગેરે જેવી સ્પીસિઝ જે ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મનું દાન કરે છે તે લુઈસ બેઈઝ તરીકે વર્તે છે.

#### કોયડો 7.15

નીચેની સ્પીસિઝને લુઈસ એસિડ અને લુઈસ બેઈઝમાં વર્ગીકૃત કરો અને દર્શાવો કે તે કેવી રીતે વર્તે છે.

- (a)  $HO^-$  (b)  $F^-$  (c)  $H^+$  (d)  $BCl_3$

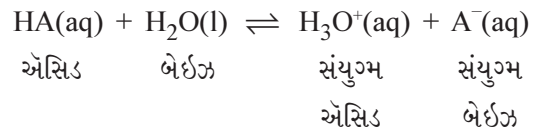
ઉકેલ :

- (a) હાઈડ્રોક્સિલ આયન લુઈસ બેઈઝ છે, કારણ કે તે અબંધકારક ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ ( $:OH^-$ )નું દાન કરી શકે છે.
- (b) ફ્લોરાઈડ આયન લુઈસ બેઈઝ તરીકે વર્તે છે, કારણ કે તે ચારમાંથી કોઈ પણ એક અબંધકારક ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મનું દાન કરી શકે છે.
- (c) પ્રોટોન લુઈસ એસિડ છે કારણ કે તે અબંધકારક ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ ધરાવતાં હાઈડ્રોક્સિલ આયન અને ફ્લોરાઈડ આયન જેવા બેઈઝમાંથી અબંધકારક ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ મેળવી શકે છે.
- (d)  $BCl_3$  લુઈસ એસિડ તરીકે વર્તે છે કારણ કે તે અબંધકારક ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ એમોનિયા અથવા એમાઈન જેવા અણુમાંથી સ્વીકારી શકે છે.

### 7.11 એસિડ અને બેઈઝના આયનીકરણ (Ionization of Acids and Bases)

એસિડ અને બેઈઝની આર્હેનિયસની સંકલ્પના એસિડ અને બેઈઝના આયનીકરણની બાબતમાં ઉપયોગી નીવડે છે, કારણ કે રાસાયણિક અને જૈવરાસાયણિક પ્રણાલીઓમાં મોટે ભાગે આયનીકરણ જલીય માધ્યમમાં જ થાય છે. પ્રબળ એસિડ

જેવાં કે પરક્લોરિક એસિડ ( $HClO_4$ ), હાઈડ્રોક્લોરિક એસિડ ( $HCl$ ), હાઈડ્રોબ્રોમિક એસિડ ( $HBr$ ), હાઈડ્રોઆયોડિક એસિડ ( $HI$ ), નાઈટ્રિક એસિડ ( $HNO_3$ ) અને સલ્ફ્યુરિક એસિડ ( $H_2SO_4$ )ને પ્રબળ એસિડ ગણવા કારણ કે તેઓ જલીય માધ્યમમાં લગભગ સંપૂર્ણપણે તેમના ઘટક આયનોમાં વિયોજિત થાય છે જેથી કરીને તેઓ પ્રોટોનદાતા તરીકે વર્તે છે. એ જ પ્રમાણે પ્રબળ બેઈઝ જેવા કે લિથિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડ ( $LiOH$ ), સોડિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડ ( $NaOH$ ), પોટેશિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડ ( $KOH$ ), સીઝિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડ ( $CsOH$ ) અને બેરિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડ  $Ba(OH)_2$  તેમના જલીય માધ્યમમાં લગભગ સંપૂર્ણપણે તેમના ઘટક આયનોમાં વિયોજિત થાય છે અને હાઈડ્રોક્સિલ આયન ( $OH^-$ ) આપે છે. આર્હેનિયસની સંકલ્પના પ્રમાણે તેઓ સંપૂર્ણપણે વિયોજિત થાય છે અને અનુક્રમે  $H_3O^+$  અને  $OH^-$  આયનો માધ્યમમાં આપે છે. વૈકલ્પિક રીતે એસિડ અને બેઈઝની પ્રબળતા પણ બ્રોન્સ્ટેડ-લોરીના એસિડ-બેઈઝની સંકલ્પનાના પર્યાયમાં સમાવિષ્ટ કરી શકીએ. જેમાં, પ્રબળ એસિડનો અર્થ છે કે સારો પ્રોટોનદાતા અને પ્રબળ બેઈઝનો અર્થ છે કે સારો પ્રોટોનગ્રાહી છે. નિર્બળ એસિડ  $HA$ ના એસિડ-બેઈઝ વિયોજન સંતુલનને ધ્યાનમાં લઈએ.

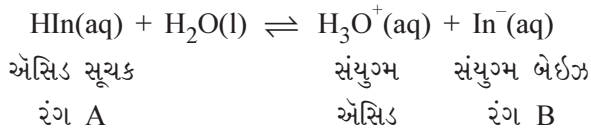


વિભાગ (7.10.2)માં આપણે જોયું કે એસિડ (અથવા બેઈઝ)નું વિયોજન સંતુલન ગતિશીલ છે, જેમાં પ્રોટોનની હેરફેર પુરોગામી અને પ્રતિગામી દિશામાં થયા કરે છે. હવે, પ્રશ્ન એ ઊભો થાય છે કે જો સંતુલન ગતિશીલ હોય તો સમયના પસાર થવા સાથે તે કઈ દિશામાં ખસશે ? આની પાછળ કયું પ્રેરક (driving) બળ હશે ? ઉપરોક્ત પ્રશ્નના ઉત્તર માટે આપણે વિયોજન સંતુલનમાં સંકળાયેલા બંને એસિડની (અથવા બેઈઝ) પ્રબળતાની સરખામણી કરવી પડશે. ઉપરના કિસ્સામાંના બે એસિડ  $HA$  અને  $H_3O^+$  જે ઉપરના એસિડ-વિયોજન સંતુલનમાં નિર્દેશિત છે તેમને ધ્યાનમાં લઈએ. આપણે એ જોવું પડશે કે આ બન્નેમાંથી વધારે પ્રબળ પ્રોટોનદાતા કોણ હશે ? જે એસિડ પ્રોટોનદાતા તરીકેના વલણમાં વધારે પ્રબળ હશે તેને પ્રબળ એસિડ ગણવો પડશે અને પછી સંતુલન નિર્બળ એસિડની દિશામાં ખસશે. ધારો કે  $HA$  એસિડ  $H_3O^+$  એસિડ કરતાં વધારે પ્રબળ છે, તો  $HA$  પ્રોટોનનું દાન કરશે અને  $H_3O^+$  નહિ કરી શકે અને તેથી દ્રાવણમાં મુખ્યત્વે  $A^-$  અને  $H_3O^+$  આયનો હશે. સંતુલન નિર્બળ એસિડની રચના અને નિર્બળ બેઈઝની

રચનાની દિશામાં ખસશે, કારણ કે પ્રબળ એસિડ પ્રબળ બેઈઝને પ્રોટોનનું દાન કરશે.

પ્રબળ એસિડ પાણીમાં સંપૂર્ણપણે વિયોજિત થાય છે અને પરિણામે બનતો બેઈઝ વધુ નિર્બળ હોય છે. એટલે કે પ્રબળ એસિડને વધુ નબળા સંયુગ્મ બેઈઝ હોય છે. પરક્લોરિક એસિડ (HClO<sub>4</sub>), હાઈડ્રોક્લોરિક એસિડ (HCl), હાઈડ્રોબ્રોમિક એસિડ (HBr), હાઈડ્રોઆયોડિક એસિડ (HI), નાઈટ્રિક એસિડ (HNO<sub>3</sub>) અને સલ્ફ્યુરિક એસિડ (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) નિર્બળ સંયુગ્મ બેઈઝ આયનો અનુક્રમે ClO<sub>4</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, I<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> અને HSO<sub>4</sub><sup>-</sup> આપે છે જે પાણી કરતાં પણ વધારે નિર્બળ બેઈઝ છે. એ જ પ્રમાણે પ્રબળ બેઈઝ નિર્બળ સંયુગ્મ એસિડ આપશે. બીજી તરફ નિર્બળ એસિડ ધારો કે HA આંશિક વિયોજિત થાય છે તો તે મુખ્યત્વે અવિયોજિત HA અણુ ધરાવશે. જાણીતા નિર્બળ એસિડમાં નાઈટ્રસ એસિડ (HNO<sub>2</sub>), હાઈડ્રોક્લોરિક એસિડ (HF) અને એસિટિક એસિડ (CH<sub>3</sub>COOH) છે. એ નોંધવું જોઈએ કે, નિર્બળ એસિડને ઘણા પ્રબળ સંયુગ્મ બેઈઝ હોય છે. ઉદાહરણ તરીકે NH<sub>2</sub><sup>-</sup>, O<sup>2-</sup> અને H<sup>-</sup> ઘણા સારા પ્રોટોનગ્રાહી છે અને આમ પાણી કરતાં વધારે પ્રબળ બેઈઝ હોય છે.

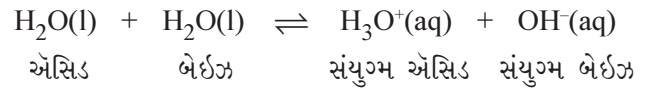
કેટલાક પાણીમાં દ્રાવ્ય કાર્બનિક પદાર્થો જેવાં કે ફિનોલ્ફથેલીન અને બ્રોમોથાયમોલ બ્લ્યુ નિર્બળ એસિડ તરીકે વર્તે છે અને તેઓ તેમના એસિડ સ્વરૂપ[HIn]માં અને સંયુગ્મ બેઈઝ [In<sup>-</sup>] સ્વરૂપમાં જુદા જુદા રંગ દર્શાવે છે.



આવા પદાર્થો એસિડ-બેઈઝ અનુમાપનમાં અને H<sup>+</sup> આયનની સાંદ્રતા શોધવામાં ઉપયોગી સૂચકો છે.

### 7.11.1 પાણીનો આયનીકરણ અચળાંક અને તેનો આયનીય ગુણાકાર (The Ionization Constant of Water and its Ionic Product)

કેટલાક પદાર્થો જેવાં કે પાણી તેમની એસિડ તરીકે અને બેઈઝ તરીકે વર્તવાની તાકાતના અર્થમાં વિશિષ્ટ હોય છે. આ બાબતને આપણે વિભાગ 7.10.2માં પાણીની બાબતમાં જોઈ ગયા. એસિડ HAની હાજરીમાં તે પ્રોટોન સ્વીકારે છે અને બેઈઝ તરીકે વર્તે છે, જ્યારે બેઈઝની હાજરીમાં B<sup>-</sup> ને પ્રોટોનનું દાન કરીને એસિડ તરીકે વર્તે છે. શુદ્ધ પાણીમાં પાણીનો એક અણુ એસિડ તરીકે પ્રોટોનનું દાન કરે છે અને બીજો પાણીનો અણુ તે જ સમયે પ્રોટોન સ્વીકારે છે અને બેઈઝ તરીકે વર્તે છે. નીચેનું સંતુલન અસ્તિત્વ ધરાવે છે.



વિયોજન અચળાંક નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય :

$$K = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] / [\text{H}_2\text{O}]^2 \quad (7.26)$$

પાણીની સાંદ્રતા છેદમાંથી દૂર કરવામાં આવે છે કારણ કે પાણી શુદ્ધ પ્રવાહી છે અને તેની સાંદ્રતા અચળ રહે છે. [H<sub>2</sub>O]<sup>2</sup>ને સંતુલન અચળાંક સાથે સમાવી લેવામાં આવે છે, જેથી નવો અચળાંક K<sub>w</sub> મળે છે, જેને પાણીનો આયનીય ગુણાકાર કહે છે.

$$K_w = [\text{H}^+][\text{OH}^-] \quad (7.27)$$

H<sup>+</sup> આયનની સાંદ્રતા પ્રાયોગિક રીતે 298 K તાપમાને 1.0 × 10<sup>-7</sup> M નક્કી કરવામાં આવેલ છે અને પાણીનું વિયોજન સરખી સંખ્યામાં H<sup>+</sup> અને OH<sup>-</sup> આયનો ઉત્પન્ન કરે છે તેથી હાઈડ્રોક્સિલ આયનની સાંદ્રતા,

$$[\text{OH}^-] = [\text{H}^+] = 1.0 \times 10^{-7} \text{ M થશે. આથી, } K_w \text{ નું મૂલ્ય } 298\text{K તાપમાને,}$$

$$K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] = (1 \times 10^{-7})^2 = 1 \times 10^{-14} \text{ M}^2 \quad (7.28)$$

K<sub>w</sub>નું મૂલ્ય તાપમાન આધારિત છે, કારણ કે તે સંતુલન અચળાંક છે.

શુદ્ધ પાણીની ઘનતા 1000 g / L છે અને તેનું મોલર દળ 18.0 g / mol છે. આથી શુદ્ધ પાણીની મોલારિટી નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય :

$$[\text{H}_2\text{O}] = (1000 \text{ g / L})(1 \text{ mol} / 18.0 \text{ g}) = 55.55 \text{ M.}$$

આથી વિયોજિત પાણી અને અવિયોજિત પાણીની સાંદ્રતાનો ગુણોત્તર 10<sup>-7</sup> / (55.55) = 1.8 × 10<sup>-9</sup> અથવા ~2 × 10<sup>-9</sup> થશે (આથી સંતુલન મુખ્યત્વે અવિયોજિત પાણીની તરફ રહેશે).

H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> અને OH<sup>-</sup> આયનોની સાંદ્રતાના સાપેક્ષ મૂલ્યો પરથી જલીય એસિડિક, બેઝિક અને તટસ્થ દ્રાવણો વચ્ચે ભેદ પાડી શકીએ.

$$\text{એસિડિક} : [\text{H}_3\text{O}^+] > [\text{OH}^-]$$

$$\text{તટસ્થ} : [\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-]$$

$$\text{બેઝિક} : [\text{H}_3\text{O}^+] < [\text{OH}^-]$$

### 7.11.2 pH માપક્રમ (The pH Scale)

હાઈડ્રોનિયમ આયનની મોલારિટીમાં સાંદ્રતા વધારે અનુકૂળતાથી લઘુગણકીય માપક્રમમાં દર્શાવી શકીએ જેને pH માપક્રમ કહે છે. દ્રાવણની pHની વ્યાખ્યા, હાઈડ્રોજન આયનની સક્રિયતા (activity) (a<sub>H+</sub>)નો 10ના આધારે ઋણ લઘુગણક

છે. મંદદ્રાવણમાં ( $< 0.01 \text{ M}$ ) હાઈડ્રોજન આયન ( $\text{H}^+$ )ની સક્રિયતાની માત્રા  $[\text{H}^+]$  વડે દર્શાવાતી માત્રા જેટલી જ હોય છે. એ નોંધવું જોઈએ કે સક્રિયતાને એકમ નથી અને તે નીચે પ્રમાણે વ્યાખ્યાયિત કરી શકાય :

$$a_{\text{H}^+} = [\text{H}^+] / \text{mol L}^{-1}$$

pHની વ્યાખ્યા પરથી નીચે પ્રમાણે લખી શકાય કે,

$$\text{pH} = -\log a_{\text{H}^+} = -\log \{[\text{H}^+] / \text{mol L}^{-1}\}$$

આમ, HClનું જલીય દ્રાવણ ( $10^{-2} \text{ M}$ )ની  $\text{pH} = 2$  થશે. એ જ પ્રમાણે NaOHનું જલીય દ્રાવણ જેની  $[\text{OH}^-] = 10^{-4} \text{ M}$  અને  $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-10} \text{ M}$  છે તેથી  $\text{pH} = 10$  થશે.  $25^\circ \text{C}$  તાપમાને શુદ્ધ પાણીમાં હાઈડ્રોજન આયનની સાંદ્રતા  $[\text{H}^+] = 10^{-7} \text{ M}$  છે. આથી શુદ્ધ પાણીની  $\text{pH}$  નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય :

$$\text{pH} = -\log(10^{-7}) = 7$$

એસિડિક દ્રાવણો હાઈડ્રોજન આયનની સાંદ્રતા  $[\text{H}^+] > 10^{-7} \text{ M}$  ધરાવે છે જ્યારે બેઝિક દ્રાવણો હાઈડ્રોજન આયનની સાંદ્રતા  $[\text{H}^+] < 10^{-7} \text{ M}$  ધરાવે છે. આથી આપણે લખી શકીએ કે,

એસિડિક દ્રાવણની  $\text{pH} < 7$

બેઝિક દ્રાવણની  $\text{pH} > 7$

તટસ્થ દ્રાવણની  $\text{pH} = 7$

હવે ફરી સમીકરણ (7.28)ને  $298 \text{ K}$  તાપમાને ગણતરીમાં લઈએ.

$$K_w = [\text{H}_3\text{O}^+] [\text{OH}^-] = 10^{-14}$$

સમીકરણની બન્ને બાજુના ઋણ ઘાતાંક લેતાં આપણને મળશે.

$$\begin{aligned} -\log K_w &= -\log \{[\text{H}_3\text{O}^+] [\text{OH}^-]\} \\ &= -\log [\text{H}_3\text{O}^+] - \log [\text{OH}^-] \\ &= -\log 10^{-14} \end{aligned}$$

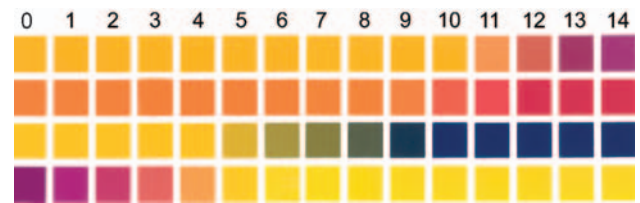
$$pK_w = \text{pH} + \text{pOH} = 14 \quad (7.29)$$

એ નોંધવું કે  $K_w$  તાપમાનના ફેરફાર સાથે બદલાશે પણ  $\text{pH}$ માં તાપમાનના ફેરફાર સાથેના ફેરફાર એટલા ઓછા હોય છે કે આપણે તેમને અવગણીએ છીએ.

$pK_w$  જલીય દ્રાવણો માટે અગત્યની રાશિ છે અને હાઈડ્રોજન અને હાઈડ્રોક્સિલ આયનોની સાપેક્ષ સાંદ્રતાને નિયંત્રિત કરે છે. કારણ કે તેમનો ગુણાકાર એક અચળાંક છે. એ નોંધવું જોઈએ કે  $\text{pH}$  માપકમ ઘાતાંકીય છે અને તેથી

$\text{pH}$ ના એક એકમના ફેરફારનો અર્થ એ થાય કે  $[\text{H}^+]$ ની સાંદ્રતાનો ફેરફાર 10ના અવયવ જેટલો થશે. એ જ પ્રમાણે જ્યારે હાઈડ્રોજન આયન સાંદ્રતા  $[\text{H}^+]$ નાં 100ના અવયવનો ફેરફાર થાય છે ત્યારે  $\text{pH}$  બે એકમથી બદલાય છે. હવે તમને ખાતરી થશે કે શા માટે તાપમાન સાથેના  $\text{pH}$ ના ફેરફારને આપણે અવગણીએ છીએ.

દ્રાવણની  $\text{pH}$ નું માપન આવશ્યક છે કારણ કે જ્યારે જૈવરાસાયણિક કે સૌંદર્ય પ્રસાધન પદાર્થો સાથે કાર્ય કરીએ ત્યારે તેની જાણકારી જરૂરી બને છે. દ્રાવણની  $\text{pH}$  અડસટ્ટે  $\text{pH}$  પેપરની મદદથી નક્કી કરી શકાય.  $\text{pH}$  પેપર પર જુદા જુદા  $\text{pH}$ ને અનુસાર જુદા જુદા રંગ દર્શાવે છે. હવે ચાર પટ્ટીઓવાળા  $\text{pH}$  પેપર મળે છે. જુદી જુદી પટ્ટીને જુદા જુદા રંગ હોય છે (આકૃતિ 7.11). 1-14ના ગાળામાં  $\text{pH}$ નું મૂલ્ય  $\sim 0.5$ ની ચોકસાઈ સાથે  $\text{pH}$  પેપર વાપરીને કરી શકીએ છીએ.



આકૃતિ 7.11 ચાર પટ્ટીઓ સાથેનો  $\text{pH}$  પેપર જેના સમાન  $\text{pH}$  મૂલ્યે જુદા જુદા રંગ હોય છે.

વધારે ચોકસાઈ માટે  $\text{pH}$  મીટરનો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે.  $\text{pH}$  મીટર એક એવું સાધન છે જે પરખ માટેના દ્રાવણની  $\text{pH}$  0.001 પરિશુદ્ધતા સાથે નક્કી કરવા  $\text{pH}$  આધારિત વિદ્યુતીય પોટેન્શિયલ હોય છે. હવે બજારમાં લખવાની પેનના માપના  $\text{pH}$  મીટર પ્રાપ્ય છે. કેટલાક સામાન્ય પદાર્થોની  $\text{pH}$  કોષ્ટક 7.5માં દર્શાવેલ છે.

#### કોયડો 7.16

એક ઠંડા પીણાનાં નમૂનામાં હાઈડ્રોજન આયનની સાંદ્રતા  $3.8 \times 10^{-3} \text{ M}$  છે. તેની  $\text{pH}$  કેટલી હશે ?

ઉકેલ :

$$\begin{aligned} \text{pH} &= -\log[3.8 \times 10^{-3}] \\ &= -\{\log[3.8] + \log[10^{-3}]\} \\ &= -\{(0.58) + (-3.0)\} = -\{-2.42\} = 2.42 \end{aligned}$$

આથી ઠંડા પીણાંની  $\text{pH}$  2.42 થશે અને તેથી અનુમાન કરી શકાય કે તે એસિડિક છે.

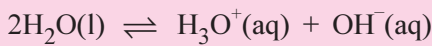
#### કોયડો 7.17

$1.0 \times 10^{-8} \text{ M}$  HClની  $\text{pH}$  ગણો.

## કોષ્ટક 7.5 કેટલાક સામાન્ય પદાર્થોની pH

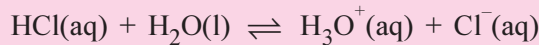
દ્રવ્યું નામ	pH	દ્રવ્યું નામ	pH
NaOHનું સંતૃપ્ત દ્રાવણ	~15	બ્લેક કોફી	5.0
0.1 M NaOH દ્રાવણ	13	ટોમેટો જ્યુસ	~4.2
ચૂનાનું પાણી	10.5	ઠંડા પીણા અને વિનેગાર	~3.0
મિલ્ક ઓફ મેગ્નેશિયા	10	લેમન (લિંબુ) જ્યુસ	~2.2
ઈંડાંની સફેદી, દરિયાનું પાણી	7.8	પાયક રસ	~1.2
માનવ લોહી	7.4	1M HCl દ્રાવણ	~0
માનવ લાળ	6.8	સાંદ્ર HCl	~-1.0
દૂધ	6.4		

ઉકેલ :



$$K_w = [\text{OH}^-][\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-14}$$

ધારો કે  $x = [\text{OH}^-] = [\text{H}_3\text{O}^+]$  ( $\text{H}_2\text{O}$ માંથી).  $\text{H}_3\text{O}^+$  સાંદ્રતા (i) ઓગાળેલા HClના આયનીકરણથી એટલે કે



અને (ii)  $\text{H}_2\text{O}$ ના આયનીકરણમાંથી. આ ઘણા મંદ દ્રાવણોમાં  $\text{H}_3\text{O}^+$ ની સાંદ્રતાના બન્ને સ્ત્રોતોને ગણતરીમાં લેવા જોઈએ.

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-8} + x$$

$$K_w = (10^{-8} + x)(x) = 10^{-14}$$

$$\text{અથવા } x^2 + 10^{-8}x - 10^{-14} = 0$$

$$[\text{OH}^-] = x = 9.5 \times 10^{-8}$$

$$\text{આથી } \text{pOH} = 7.02 \text{ અને } \text{pH} = 6.98$$

અહીંયા  $c =$  અવિયોજિત એસિડ HXની પ્રારંભિક સાંદ્રતા  $t = 0$  સમયે છે.  $\alpha =$  HXની આયનમાં આયનીકરણ થવાની માત્રા છે. આ સંજ્ઞાઓનો ઉપયોગ કરીને આપણે ઉપર ચર્ચા કરેલ એસિડ-બેઈઝ વિયોજન સંતુલનનો સંતુલન અચળાંક ગણી શકીએ.

$$K_a = c^2\alpha^2 / c(1-\alpha) = c\alpha^2 / (1-\alpha)$$

$K_a$ ને એસિડ HXનો વિયોજન અથવા આયનીકરણ અચળાંક કહેવામાં આવે છે. તેને વૈકલ્પિક રીતે મોલર સાંદ્રતામાં નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય :

$$K_a = [\text{H}^+][\text{X}^-] / [\text{HX}] \quad (7.30)$$

આપેલ તાપમાન T એ  $K_a$  એસિડ HXની પ્રબળતા (strength)નું માપ છે. એટલે કે  $K_a$ નું મૂલ્ય જેટલું વધારે તેટલો વધારે પ્રબળ એસિડ.  $K_a$  પરિમાણરહિત રાશિ છે, જેની સમજ છે કે બધી જ સ્પીસિઝની પ્રમાણિત અવસ્થા સાંદ્રતા 1M છે.

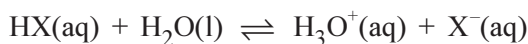
કેટલાક પસંદ કરેલા નિર્બળ એસિડના આયનીકરણ અચળાંક કોષ્ટક 7.6માં દર્શાવ્યા છે.

## કોષ્ટક 7.6 કેટલાક પસંદ કરેલા નિર્બળ એસિડના આયનીકરણ અચળાંક (298K તાપમાને)

એસિડ	આયનીકરણ અચળાંક $K_a$
હાઈડ્રોફ્લોરિક એસિડ (HF)	$3.5 \times 10^{-4}$
નાઈટ્રસ એસિડ ( $\text{HNO}_2$ )	$4.5 \times 10^{-4}$
ફોર્મિક એસિડ ( $\text{HCOOH}$ )	$1.8 \times 10^{-4}$
નિયાસીન ( $\text{C}_5\text{H}_4\text{NCOOH}$ )	$1.5 \times 10^{-5}$
એસિટિક એસિડ ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ )	$1.74 \times 10^{-5}$
બેન્ઝોઈક એસિડ ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ )	$6.5 \times 10^{-5}$
હાઈપોક્લોરસ એસિડ ( $\text{HClO}$ )	$3.0 \times 10^{-8}$
હાઈડ્રોસાયનિક એસિડ ( $\text{HCN}$ )	$4.9 \times 10^{-10}$
ફિનોલ ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ )	$1.3 \times 10^{-10}$

## 7.11.3 નિર્બળ એસિડના આયનીકરણ અચળાંક (Ionization Constants of Weak Acids)

નિર્બળ એસિડ HXને ધ્યાનમાં લો જે જલીય દ્રાવણમાં આંશિક આયનીકરણ પામે છે. તેનું સંતુલન નીચે પ્રમાણે રજૂ કરી શકાય.



પ્રારંભિક

સાંદ્રતા (M)

$$c \qquad 0 \qquad 0$$

ધારો કે  $\alpha$  આયનીકરણની માત્રા દર્શાવે તો ફેરફાર

પામતી સાંદ્રતા (M)

$$-c\alpha \qquad +c\alpha \qquad +c\alpha$$

સંતુલને સાંદ્રતા (M)

$$c-c\alpha \qquad c\alpha \qquad c\alpha$$

હાઈડ્રોજન આયન સાંદ્રતા માટેનો pH માપકમ એટલો ઉપયોગી છે કે  $pK_w$  ઉપરાંત તેનો ઉપયોગ બીજી સ્પીસિઝના જથ્થા માટે વિકસાવી શકાય.

$$pK_a = -\log(K_a) \quad (7.31)$$

એસિડનો આયનીકરણ અચળાંક  $K_a$  જાણવાથી તેની પ્રારંભિક સાંદ્રતા  $c$  ગણી શકાય. બધી જ સ્પીસિઝની સંતુલન સાંદ્રતાની ગણતરી કરવાનું પણ શક્ય બને છે અને એસિડનો આયનીકરણ અંશ અને દ્રાવણની pH પણ ગણી શકીએ.

નિર્બળ વિદ્યુતવિભાજ્યની pHના મૂલ્યાંકન માટે સામાન્ય તબક્કાવાર અભિગમ (approach) આપણે અપનાવી શકીએ.

**તબક્કો 1 :** વિયોજન પહેલાંની હાજર સ્પીસિઝને બ્રૉન્સ્ટેડ-લોરી એસિડ/બેઈઝ તરીકે ઓળખી શકીએ.

**તબક્કો 2 :** શક્ય બધી જ પ્રક્રિયાઓ માટે સંતુલિત સમીકરણ એટલે કે એસિડ અને બેઈઝ બન્ને તરીકે વર્તતી સ્પીસિઝને લખીએ.

**તબક્કો 3 :** ઊંચા  $K_a$  વાળી પ્રક્રિયાને પ્રાથમિક પ્રક્રિયા તરીકે જ્યારે બીજી પ્રક્રિયાઓને ગૌણ પ્રક્રિયા તરીકે ઓળખવી જોઈએ.

**તબક્કો 4 :** પ્રાથમિક પ્રક્રિયામાંથી દરેક સ્પીસિઝ માટે નીચેના મૂલ્યોનો કોષ્ટક સ્વરૂપમાં યાદી બનાવીએ :

- પ્રારંભિક સાંદ્રતા,  $c$ .
- સંતુલન તરફ આગળ વધતી પ્રક્રિયામાં સાંદ્રતા ફેરફાર આયનીકરણ અંશ  $\alpha$ ના પર્યાયોમાં દર્શાવીએ.
- સંતુલન સાંદ્રતા

**તબક્કો 5 :** મુખ્ય પ્રક્રિયા માટેના સંતુલન અચળાંક સમીકરણમાં સંતુલન સાંદ્રતાઓ મૂકીએ અને  $\alpha$  માટે ઉકેલ મેળવીએ.

**તબક્કો 6 :** મુખ્ય પ્રક્રિયામાં સ્પીસિઝની સાંદ્રતાઓ ગણો.

**તબક્કો 7 :**  $pH = -\log[H_3O^+]$  ગણો.

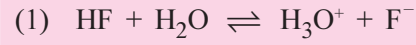
ઉપર દર્શાવેલી પદ્ધતિ નીચેના ઉદાહરણો દ્વારા સ્પષ્ટ કરીશું.

### કોયડો 7.18

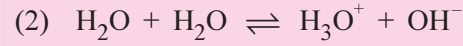
HF નો આયનીકરણ અચળાંક  $3.2 \times 10^{-4}$  છે. HFનો તેના 0.02 M દ્રાવણમાં વિયોજન અંશ ગણો. દ્રાવણમાં હાજર બધી જ સ્પીસિઝ ( $H_3O^+$ ,  $F^-$  અને HF) અને તેની pH ગણો.

ઉકેલ :

નીચેની પ્રોટોન ફેરબદલી પ્રક્રિયાઓ શક્ય છે :

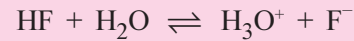


$$K_a = 3.2 \times 10^{-4}$$



$$K_w = 1.0 \times 10^{-14}$$

$K_a \gg K_w$ , માટે (1) પ્રક્રિયા મુખ્ય પ્રક્રિયા છે.



પ્રારંભિક

સાંદ્રતા (M)

$$0.02 \quad 0 \quad 0$$

સાંદ્રતામાં ફેરફાર (M)

$$-0.02\alpha \quad +0.02\alpha \quad +0.02\alpha$$

સંતુલન સાંદ્રતા (M)

$$0.02 - 0.02\alpha \quad 0.02\alpha \quad 0.02\alpha$$

મુખ્ય પ્રક્રિયાના સંતુલન અચળાંકમાં સંતુલન સાંદ્રતાના મૂલ્યો મૂકતાં મળશે.

$$K_a = (0.02\alpha)^2 / (0.02 - 0.02\alpha)$$

$$= 0.02 \alpha^2 / (1 - \alpha) = 3.2 \times 10^{-4}$$

આપણને નીચેનું દ્વિઘાત સમીકરણ મળશે :

$$\alpha^2 + 1.6 \times 10^{-2}\alpha - 1.6 \times 10^{-2} = 0$$

દ્વિઘાત સમીકરણનો ઉકેલ શોધી શકાય અને તેના બે મૂળ (ઉકેલ)ના મૂલ્યો થશે,

$$\alpha = +0.12 \text{ અને } -0.12$$

ઋણ ઉકેલ સ્વીકાર્ય નથી અને તેથી,  $\alpha = 0.12$

આનો અર્થ એમ થાય છે કે આયનીકરણ અંશ  $\alpha = 0.12$ , પછી બીજી સ્પીસિઝની જેવી કે ( $HF$ ,  $F^-$  અને  $H_3O^+$ )ની સંતુલન સાંદ્રતા નીચે પ્રમાણે આપી શકાશે :

$$[H_3O^+] = [F^-] = c\alpha = 0.02 \times 0.12$$

$$= 2.4 \times 10^{-3} \text{ M}$$

$$[HF] = c(1 - \alpha) = 0.02 (1 - 0.12)$$

$$= 17.6 \times 10^{-3} \text{ M}$$

$$pH = -\log[H^+] = -\log(2.4 \times 10^{-3}) = 2.62$$

### કોયડો 7.19

0.1 M એકબેઝિક એસિડની pH 4.50 છે. સ્પીસિઝ  $H^+$ ,  $A^-$  અને  $HA$  ની સંતુલન સાંદ્રતા ગણો. વળી, એકબેઝિક એસિડનો  $K_a$  અને  $pK_a$ ના મૂલ્યો નક્કી કરો.



ઉકેલ :

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

$$\begin{aligned} \text{માટે } [\text{H}^+] &= 10^{-\text{pH}} = 10^{-4.50} \\ &= 3.16 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

$$[\text{H}^+] = [\text{A}^-] = 3.16 \times 10^{-5}$$

$$\text{હવે, } K_a = [\text{H}^+][\text{A}^-] / [\text{HA}]$$

$$[\text{HA}]_{\text{eqbm}} = 0.1 - (3.16 \times 10^{-5}) \approx 0.1$$

$$K_a = (3.16 \times 10^{-5})^2 / 0.1 = 1.0 \times 10^{-8}$$

$$\text{p}K_a = -\log(10^{-8}) = 8$$

વૈકલ્પિક રીતે, “ટકામાં વિયોજન” બીજી ઉપયોગી પદ્ધતિ નિર્બળ એસિડની પ્રબળતા નક્કી કરવા માટે છે અને તે નીચે પ્રમાણે છે :

ટકામાં વિયોજન

$$= [\text{HA}]_{\text{dissociated}} / [\text{HA}]_{\text{initial}} \times 100 \% \quad (7.32)$$

કોષ્ટક 7.20

0.08 M હાયપોકલોરસ એસિડ (HOCl) દ્રાવણની pH ગણો. એસિડનો આયનીકરણ અચળાંક  $2.5 \times 10^{-5}$  છે. HOClનું ટકામાં વિયોજન ગણો.

ઉકેલ :



પ્રારંભિક સાંદ્રતા (M)

$$0.08 \qquad \qquad \qquad 0 \qquad \qquad \qquad 0$$

સાંદ્રતા સંતુલને

પહોંચવા માટેનો

ફેરફાર (M)

$$-x \qquad \qquad \qquad +x \qquad \qquad \qquad +x$$

સંતુલને સાંદ્રતા (M)

$$0.08 - x \qquad \qquad \qquad x \qquad \qquad \qquad x$$

$$K_a = \{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{ClO}^-] / [\text{HOCl}]\}$$

$$= x^2 / (0.08 - x)$$

$$x \ll 0.08, \text{ હોવાથી } 0.08 - x \approx 0.08$$

$$x^2 / 0.08 = 2.5 \times 10^{-5}$$

$$x^2 = 2.0 \times 10^{-6} \text{ આથી } x = 1.41 \times 10^{-3}$$

$$[\text{H}^+] = 1.41 \times 10^{-3} \text{ M.}$$

માટે ટકામાં વિયોજન

$$= \{[\text{HOCl}]_{\text{dissociated}} / [\text{HOCl}]_{\text{initial}}\} \times 100$$

$$= 1.41 \times 10^{-3} \times 10^2 / 0.08 = 1.76 \%$$

$$\text{pH} = -\log(1.41 \times 10^{-3}) = 2.85.$$

### 7.11.4 નિર્બળ બેઈઝનું આયનીકરણ (Ionization of Weak Bases)

MOH બેઈઝનું આયનીકરણ નીચેના સમીકરણથી દર્શાવી શકાય :



નિર્બળ બેઈઝમાં MOHનું આંશિક આયનીકરણ હોય છે. જે એસિડ વિયોજન સંતુલનને મળતું આવે છે. બેઈઝ આયનીકરણ માટેના સંતુલન અચળાંકને બેઈઝ આયનીકરણ અચળાંક કહે છે અને તે  $K_b$  વડે દર્શાવાય છે. તેને સંતુલનમાં રહેલી જુદી જુદી સ્પીસિઝ મોલારિટીમાં સાંદ્રતાના પર્યાયમાં નીચેના સમીકરણ વડે દર્શાવી શકાય.

$$K_b = [\text{M}^+][\text{OH}^-] / [\text{MOH}] \quad (7.33)$$

વૈકલ્પિક રીતે જો,  $c$  = બેઈઝની પ્રારંભિક સાંદ્રતા અને  $\alpha$  = બેઈઝનો આયનીકરણ અંશ એટલે કે બેઈઝ કેટલી માત્રામાં આયનીકરણ પામે છે, જ્યારે સંતુલન પ્રાપ્ત થાય છે ત્યારે, સંતુલન અચળાંક નીચે પ્રમાણે લખી શકાય :

$$K_b = (c\alpha)^2 / c(1 - \alpha) = c\alpha^2 / (1 - \alpha)$$

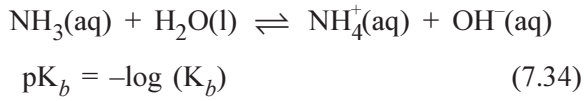
કેટલાક પસંદ કરેલા નિર્બળ બેઈઝના આયનીકરણ અચળાંક  $K_b$  કોષ્ટક 7.7માં દર્શાવેલ છે.

**કોષ્ટક 7.7 કેટલાક નિર્બળ બેઈઝના આયનીકરણ અચળાંકના મૂલ્યો 298 K તાપમાને**

બેઈઝ	$K_b$
ડાયમિથાઇલએમાઇન, $(\text{CH}_3)_2\text{NH}$	$5.4 \times 10^{-4}$
ટ્રાયઇથાઇલએમાઇન, $(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{N}$	$6.45 \times 10^{-5}$
એમોનિયા, $\text{NH}_3$ અથવા $\text{NH}_4\text{OH}$	$1.77 \times 10^{-5}$
ક્વીનાઇન (એક વૃક્ષ નીપજ)	$1.10 \times 10^{-6}$
પીરીડીન, $\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$	$1.77 \times 10^{-9}$
એનીલીન, $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$	$4.27 \times 10^{-10}$
યુરિયા, $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	$1.3 \times 10^{-14}$

ઘણા કાર્બનિક સંયોજનો જેવાં કે એમાઇન, નિર્બળ બેઈઝ છે. એમાઇન એમોનિયાની વ્યુત્પત્તિ છે, જેમાં એક અથવા વધુ હાઇડ્રોજન પરમાણુ બીજા સમૂહથી વિસ્થાપિત થાય છે. ઉદાહરણ તરીકે, મિથાઇલએમાઇન, કોડીન, ક્વીનાઇન અને નિકોટીન બધા જ વધુ નિર્બળ બેઈઝ તરીકે વર્તે છે, કારણ કે

તેમના  $K_b$ ના મૂલ્યો ઘણાં નીચાં (ઓછા) છે. એમોનિયા જલીય દ્રાવણમાં  $\text{OH}^-$  ઉત્પન્ન કરે છે.



મેળવવા માટે હાઈડ્રોજન આયન સાંદ્રતા માટેનો pH માપકમ લંબાવવામાં આવેલ છે.

### કોયડો 7.21

0.004M હાઈડ્રોજીન દ્રાવણની pH 9.7 છે. તેનો આયનીકરણ અચળાંક  $K_b$  અને  $pK_b$  ગણો.

ઉકેલ :



pH પરથી આપણે હાઈડ્રોજન આયન સાંદ્રતા ગણી શકીએ. હાઈડ્રોજન આયનની સાંદ્રતા જાણીને અને પાણીના આયનીય ગુણાકારનો ઉપયોગ કરી હાઈડ્રોક્સિલ આયનની સાંદ્રતા ગણી શકીએ.

$$[\text{H}^+] = \text{antilog}(-\text{pH})$$

$$= \text{antilog}(-9.7) = 1.67 \times 10^{-10}$$

$$[\text{OH}^-] = K_w / [\text{H}^+] = 1 \times 10^{-14} / 1.67 \times 10^{-10}$$

$$= 5.98 \times 10^{-5}$$

તેને અનુરૂપ હાઈડ્રોજીનિયમ આયનની સાંદ્રતા હાઈડ્રોક્સિલ આયનની સાંદ્રતા જેટલી થશે. આ બંને આયનોની સાંદ્રતા ઘણી ઓછી હોઈ અવિયોજિત બેઈઝની સાંદ્રતા બરાબર 0.004M લઈ શકાય.

આમ,

$$K_b = [\text{NH}_2\text{NH}_3^+][\text{OH}^-] / [\text{NH}_2\text{NH}_2]$$

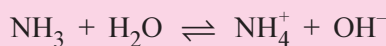
$$= (5.98 \times 10^{-5})^2 / 0.004 = 8.96 \times 10^{-7}$$

$$pK_b = -\log K_b = -\log(8.96 \times 10^{-7}) = 6.04.$$

### કોયડો 7.22

0.2M  $\text{NH}_4\text{Cl}$  અને 0.1M  $\text{NH}_3$  ધરાવતા દ્રાવણની pH ગણો. એમોનિયાના દ્રાવણ માટે  $pK_b = 4.75$  છે.

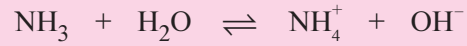
ઉકેલ :



$\text{NH}_3$ નો આયનીય સંતુલન,

$K_b = \text{antilog}(-pK_b)$  એટલે કે,

$$K_b = 10^{-4.75} = 1.77 \times 10^{-5} \text{ M}$$



પ્રારંભિક સાંદ્રતા (M)

$$0.10 \quad \quad \quad 0.20 \quad \quad \quad 0$$

સંતુલને પહોંચવા

ફેરફાર (M)

$$-x \quad \quad \quad +x \quad \quad \quad +x$$

સંતુલને સાંદ્રતા (M)

$$0.10 - x \quad \quad \quad 0.20 + x \quad \quad \quad x$$

$$K_b = [\text{NH}_4^+][\text{OH}^-] / [\text{NH}_3]$$

$$= (0.20 + x)(x) / (0.1 - x) = 1.77 \times 10^{-5}$$

$K_b$  ઓછો છે માટે આપણે  $x$ ને 0.1M અને 0.2Mની સરખામણીમાં અવગણી શકીએ. આમ,

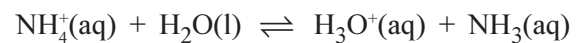
$$[\text{OH}^-] = x = 0.88 \times 10^{-5}$$

$$\text{માટે } [\text{H}^+] = 1.12 \times 10^{-9}$$

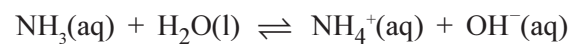
$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] = 8.95.$$

### 7.11.5 $K_a$ અને $K_b$ વચ્ચે સંબંધ (Relation Between $K_a$ and $K_b$ )

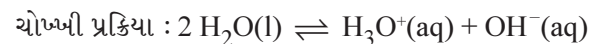
આ પ્રકરણમાં આગળ જોયું તેમ  $K_a$  અને  $K_b$  એસિડ અને બેઈઝની અનુક્રમે પ્રબળતા દર્શાવે છે. સંયુગ્મ એસિડ-બેઈઝ યુગ્મમાં તેઓ સરળ રીતે સંબંધિત થયેલા છે. જેથી એક જાણતા હોઈએ તો બીજાને તારવી શકીએ.  $\text{NH}_4^+$  અને  $\text{NH}_3$  ઉદાહરણ લઈએ તો,



$$K_a = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{NH}_3] / [\text{NH}_4^+] = 5.6 \times 10^{-10}$$



$$K_b = [\text{NH}_4^+][\text{OH}^-] / [\text{NH}_3] = 1.8 \times 10^{-5}$$



$$K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] = 1.0 \times 10^{-14} \text{ M}$$

જ્યાં  $K_a$ ,  $\text{NH}_4^+$ ની એસિડ તરીકે પ્રબળતા દર્શાવે છે અને  $K_b$   $\text{NH}_3$ ની બેઈઝ તરીકે પ્રબળતા દર્શાવે છે.

યોખ્ખી પ્રક્રિયા પરથી જણાશે કે સંતુલન અચળાંક ઉમેરેલી પ્રક્રિયાઓ માટે સંતુલન અચળાંકો  $K_a$  અને  $K_b$ ના ગુણાકાર બરાબર થાય છે. આમ,

$$K_a \times K_b = \{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{NH}_3] / [\text{NH}_4^+]\} \times \{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-] / [\text{NH}_3]\}$$

$$= [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] = K_w$$

$$= (5.6 \times 10^{-10}) \times (1.8 \times 10^{-5}) = 1.0 \times 10^{-14} \text{ M}$$

આને સામાન્યીકરણ કરવા માટે લંબાવી શકીએ : બે કે વધારે પ્રક્રિયાનો સરવાળો કરી મળતી ચોખ્ખી (net) પ્રક્રિયાનો સંતુલન અચળાંક વ્યક્તિગત પ્રક્રિયાના સંતુલન અચળાંકોનો ગુણાકાર છે.

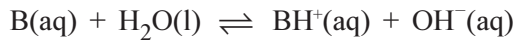
$$K_{\text{ચોખ્ખું}} = K_1 \times K_2 \times \dots \quad (3.35)$$

એ જ પ્રમાણે સંયુગ્મ એસિડ-બેઈજ યુગ્મ માટે

$$K_a \times K_b = K_w \quad (3.36)$$

એક જાણતા હોઈએ તો બીજાની ગણતરી કરી શકાય. એ નોંધવું જોઈએ કે પ્રબળ એસિડને નિર્બળ સંયુગ્મ બેઈજ હશે અને તેનાથી ઊલટું (vice-versa).

વૈકલ્પિક રીતે ઉપરનું અભિલક્ષણ (expression)  $K_w = K_a \times K_b$ , બેઈજના વિયોજન સંતુલનની પ્રક્રિયાને ધ્યાનમાં લઈને પણ મેળવી શકાય.



$$K_b = \frac{[\text{BH}^+][\text{OH}^-]}{[\text{B}]}$$

પાણીની સાંદ્રતા અચળ રહે છે માટે તેને છેદમાંથી દૂર કરીને વિયોજન અચળાંકમાં સમાવિષ્ટ કરેલ છે. પછી ઉપરના અભિલક્ષણને  $[\text{H}^+]$  વડે ગુણીને અને ભાગીને આપણે મેળવી શકીએ કે,

$$\begin{aligned} K_b &= \frac{[\text{BH}^+][\text{OH}^-][\text{H}^+]}{[\text{B}][\text{H}^+]} \\ &= \frac{[\text{OH}^-][\text{H}^+]}{[\text{BH}^+]} \frac{[\text{BH}^+]}{[\text{B}][\text{H}^+]} \\ &= K_w / K_a \end{aligned}$$

$$\text{અથવા } K_a \times K_b = K_w$$

એ નોંધવું જોઈએ કે જો સમીકરણની બન્ને બાજુના ઋણ ઘાતાંક લઈએ તો સંયુગ્મ એસિડ અને બેઈજના pK મૂલ્યો એકબીજા સાથે નીચેના સમીકરણથી સંબંધિત છે.

$$pK_a + pK_b = pK_w = 14 \quad (298\text{K તાપમાને})$$

### કોયડો 7.23

0.05M એમોનિયા દ્રાવણનો આયનીકરણ અંશ અને pH નક્કી કરો. એમોનિયાનો આયનીકરણ અચળાંક કોષ્ટક 7.7માંથી લઈ શકાશે. વળી, એમોનિયાના સંયુગ્મ એસિડનો આયનીકરણ અચળાંક પણ ગણો.

ઉકેલ :

એમોનિયાનું પાણીમાં આયનીકરણ નીચેના સમીકરણથી દર્શાવી શકાય.



આપણે હાઈડ્રોક્સિલ આયનની સાંદ્રતા ગણવા સમીકરણ (7.33)નો ઉપયોગ કરીએ.

$$[\text{OH}^-] = c\alpha = 0.05 \alpha$$

$$K_b = 0.05 \alpha^2 / (1 - \alpha)$$

$\alpha$ નું મૂલ્યો ઓછું છે માટે દ્વિઘાત સમીકરણને 1ની સરખામણીમાં  $\alpha$ ને સમીકરણની જમણી બાજુએ છેદને બરાબર એક ગણીને દ્વિઘાત સમીકરણ સરળ બનાવી શકીએ. આમ,

$$K_b = c\alpha^2 \text{ અથવા } \alpha = \sqrt{1.77 \times 10^{-5} / 0.05} = 0.018$$

$$[\text{OH}^-] = c\alpha = 0.05 \times 0.018 = 9.4 \times 10^{-4} \text{M.}$$

$$[\text{H}^+] = K_w / [\text{OH}^-] = 10^{-14} / (9.4 \times 10^{-4}) = 1.06 \times 10^{-11}$$

$$\text{pH} = -\log(1.06 \times 10^{-11}) = 10.97.$$

હવે, સંયુગ્મ એસિડ-બેઈજ સંબંધનો ઉપયોગ કરીને

$$K_a \times K_b = K_w$$

$\text{NH}_3$  માટેનું  $K_b$ નું મૂલ્ય કોષ્ટક 7.7માંથી મેળવીને કરી શકીએ.

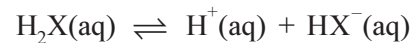
સંયુગ્મ એસિડ  $\text{NH}_4^+$ ની સાંદ્રતા પણ નક્કી કરી શકીએ.

$$K_a = K_w / K_b = 10^{-14} / 1.77 \times 10^{-5} = 5.64 \times 10^{-10}.$$

### 7.11.6 ડાય- અને પોલિપ્રોટિક એસિડ અને ડાય- અને પોલિએસિડિક બેઈજ (Di- and Polyprotic Acids and Di- and Polyacidic Bases)

કેટલાક એસિડ જેવા કે ઓક્સેલિક એસિડ, સલ્ફ્યુરિક એસિડ અને ફોસ્ફોરિક એસિડને તેના પ્રતિ આણુમાં એક કરતાં વધારે આયનીકરણ પામે તેવા પ્રોટોન હોય છે. આવા એસિડને પોલિબેઝિક અથવા પોલિપ્રોટિક એસિડ કહે છે.

ઉદાહરણ તરીકે દ્વિબેઝિક (ડાયબેઝિક) એસિડ  $\text{H}_2\text{X}$ ની આયનીકરણ પ્રક્રિયાઓ નીચેની સમીકરણોથી દર્શાવી શકાય :



અને અનુરૂપ સંતુલન અચળાંક નીચે પ્રમાણે આપી શકાય :

$$K_{a1} = \frac{[\text{H}^+][\text{HX}^-]}{[\text{H}_2\text{X}]} \text{ અને}$$

$$K_{a2} = \frac{[\text{H}^+][\text{X}^{2-}]}{[\text{HX}^-]}$$

અહીંયા  $K_{a1}$  અને  $K_{a2}$  એસિડ  $H_2X$ ના પ્રથમ અને દ્વિતીય આયનીકરણ અચળાંકો અનુક્રમે કહેવાય છે. એ જ પ્રમાણે ત્રિબેઝિક (ટ્રાયબેઝિક) એસિડ જેવા કે  $H_3PO_4$ ને માટે ત્રણ આયનીકરણ અચળાંક મળશે. કેટલાક સામાન્ય પોલિપ્રોટિક એસિડના આયનીકરણ અચળાંકોના મૂલ્યો કોષ્ટક 7.8માં આપેલ છે.

### કોષ્ટક 7.8 કેટલાક સામાન્ય પોલિપ્રોટિક એસિડના આયનીકરણ અચળાંકો (298K તાપમાને)

એસિડ	$K_{a1}$	$K_{a2}$	$K_{a3}$
ઓકઝેલિક એસિડ	$5.9 \times 10^{-2}$	$6.4 \times 10^{-5}$	
એસ્કોર્બિક એસિડ	$7.4 \times 10^{-4}$	$1.6 \times 10^{-12}$	
સલ્ફ્યુરિક એસિડ	$1.7 \times 10^{-2}$	$6.4 \times 10^{-8}$	
સલ્ફ્યુરિક એસિડ	ઘણો વધારે	$1.2 \times 10^{-2}$	
કાર્બોનિક એસિડ	$4.3 \times 10^{-7}$	$5.6 \times 10^{-11}$	
સાઈટ્રિક એસિડ	$7.4 \times 10^{-4}$	$1.7 \times 10^{-5}$	$4.0 \times 10^{-7}$
ફોસ્ફોરિક એસિડ	$7.5 \times 10^{-3}$	$6.2 \times 10^{-8}$	$4.2 \times 10^{-13}$

એ જોઈ શકાશે કે આયનીકરણ અચળાંકો ( $K_{a2}$ ,  $K_{a3}$ )નો ઉચ્ચતર ક્રમ નીચેના આયનીકરણ અચળાંક ( $K_{a1}$ )ના મૂલ્યો કરતાં વધારે ઓછો છે. આને માટેનું કારણ એ છે કે સ્થિરવિદ્યુતીય બળોને કારણે ઋણ આયનમાંથી ધનભારવાળા પ્રોટોનને દૂર કરવો વધારે મુશ્કેલ બને છે. જેમકે ભારરહિત  $H_2CO_3$ માંથી પ્રોટોનને દૂર કરવાની બાબતમાં ઋણભારવાળા  $HCO_3^-$  આયનમાંથી પ્રોટોનને દૂર કરવો. એ જ પ્રમાણે દ્વિભારવાળા  $HPO_4^{2-}$  એનાયનમાંથી પ્રોટોન દૂર કરવો એ  $H_2PO_4^-$ ની સરખામણીમાં ઘણો વધારે મુશ્કેલ છે.

પોલિપ્રોટિક એસિડના દ્રાવણો  $H_2A$ ,  $HA^-$  અને  $A^{2-}$  જેવા એસિડનું મિશ્રણ ધરાવે છે.  $H_2A$  જેવા ડાયપ્રોટિક એસિડ પ્રબળ એસિડ હોઈ પ્રાથમિક પ્રક્રિયા  $H_2A$ ના વિયોજનથી પ્રક્રિયા સમાવિષ્ટ થાય છે અને દ્રાવણમાં  $H_3O^+$  મુખ્યત્વે પ્રથમ વિયોજન તબક્કામાંથી આવે છે.

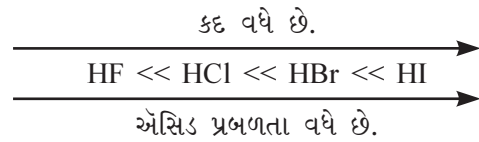
### 7.11.7 એસિડ પ્રબળતાને અસર કરતાં, પરિબળો (Factors Affecting Acid Strength)

એસિડ અને બેઈઝની પ્રબળતાની ચર્ચા કર્યા પછી હવે આપણે એ તબક્કે આવ્યા છીએ જ્યાં આપેલા દ્રાવણની pH ગણી શકીએ. પણ એ ઈંતેજારી જાગે છે કે શા માટે કેટલાક એસિડ બીજા કરતાં વધારે પ્રબળ છે ? તેમને વધારે પ્રબળ બનાવવા માટે કયાં પરિબળો જવાબદાર છે. આનો જવાબ એક જટિલ ઘટનામાં સમાયેલો છે. પણ, વિશાળ અર્થમાં કહીએ તો આપણે કહી શકીએ કે એસિડની વિયોજન થવાની માત્રા

(પ્રમાણ) (extent) H-A બંધની પ્રબળતા અને ધ્રુવીયતા પર આધાર રાખે છે.

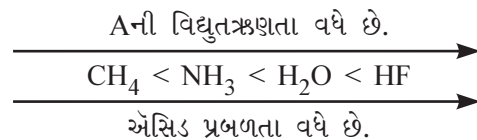
સામાન્ય રીતે જ્યારે H-A બંધની પ્રબળતા ઘટે છે ત્યારે બંધ તોડવા માટે જરૂરી ઊર્જા ઘટે છે. HA પ્રબળ એસિડ બને છે. વળી H-A બંધ વધુ ધ્રુવીય બને છે એટલે કે H અને A પરમાણુઓ વચ્ચેનો વિદ્યુતઋણતા તફાવત વધે છે અને તેમના વીજભાર અલગીકરણ નોંધપાત્ર હોય છે. બંધનું વિખંડન (cleavage) વધુ સરળ બને છે અને તેથી એસિડિકતા વધે છે.

પણ એ નોંધવું જોઈએ કે જ્યારે આવર્તકોષ્ટકના એક સમૂહના તત્વોની સરખામણી કરતા હોઈએ ત્યારે H-A બંધની પ્રબળતા તેના ધ્રુવીય સ્વભાવ કરતાં એસિડિકતા નક્કી કરવામાં અગત્યનું પરિબળ છે. Aનું કદ સમૂહમાં નીચે તરફ જતાં જેમ વધે છે તેમ H-A બંધ પ્રબળતા ઘટે છે અને એસિડ પ્રબળતા વધે છે. ઉદાહરણ તરીકે,



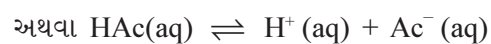
એ જ પ્રમાણે  $H_2S$ ,  $H_2O$  કરતાં વધારે પ્રબળ એસિડ છે.

પરંતુ જ્યારે આપણે આવર્તકોષ્ટકના સમાન આવર્તમાંના તત્વોની ચર્ચા કરીએ ત્યારે H-A બંધ ધ્રુવીયતા એસિડ પ્રબળતા નક્કી કરવા માટેનું નિર્ણાયક પરિબળ બને છે. જેમ Aની વિદ્યુતઋણતા વધે છે તેમ એસિડની પ્રબળતા પણ વધે છે. ઉદાહરણ તરીકે,



### 7.11.8 એસિડ અને બેઈઝના આયનીકરણમાં સમાન આયન અસર (Common Ion Effect in the Ionization of Acids and Bases)

એસિટિક એસિડ વિયોજન સંતુલન જે નીચે પ્રમાણે રજૂ કરી શકાય તેનું ઉદાહરણ લઈએ.

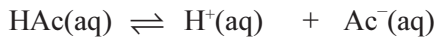


$$K_a = \frac{[\text{H}^+][\text{Ac}^-]}{[\text{HAc}]}$$

એસિટિક એસિડના દ્રાવણમાં એસિટેટ આયનનો ઉમેરો હાઈડ્રોજન આયનની સાંદ્રતા  $[\text{H}^+]$  ઘટાડે છે અથવા જો બાહ્ય સ્ત્રોત દ્વારા  $\text{H}^+$  આયન ઉમેરવામાં આવે તો સંતુલન અવિયોજિત એસિડની દિશામાં ખસે છે એટલે કે હાઈડ્રોજન આયનની સાંદ્રતા  $[\text{H}^+]$ ના ઘટાડાની દિશામાં જાય છે. આ ઘટના સમાન આયન

અસર છે. એની વ્યાખ્યા એમ આપી શકાય કે વિયોજન સંતુલનમાં અગાઉથી હાજર હોય તેમાં એવો પદાર્થ ઉમેરવામાં આવે કે જે હાજર આયનીય સ્પીસિઝમાં વધારો કરે છે. આથી આપણે કહી શકીએ કે સમાન આયન અસર લ શેટેલિયરના સિદ્ધાંત જેની વિભાગ 7.8માં ચર્ચા કરેલ છે તેના પર આધારિત છે.

0.05 M એસિટિક એસિડના દ્રાવણમાં 0.05M એસિટેટ આયનનું દ્રાવણ ઉમેરવામાં આવે તો પરિણમતા દ્રાવણની pHની ગણતરી કરવામાં ફરી એકવાર એસિટિક એસિડ વિયોજન સંતુલનને ધ્યાનમાં લઈશું.



પ્રારંભિક સાંદ્રતા (M)

$$0.05 \quad 0 \quad 0.05$$

ધારો કે  $x$  એસિટિક એસિડના આયનીકરણનું પ્રમાણ (માત્રા) છે, તો

સાંદ્રતામાં ફેરફાર (M)

$$-x \quad +x \quad +x$$

સંતુલન સાંદ્રતા (M)

$$0.05-x \quad x \quad 0.05+x$$

આથી,

$$K_a = [\text{H}^+][\text{Ac}^-]/[\text{HAc}] = \{(0.05+x)(x)\}/(0.05-x)$$

નિર્બળ એસિડના  $K_a$  ઘણા ઓછા હોય છે, તેથી  $x \ll 0.05$  અને તેથી

$$(0.05 + x) \approx (0.05 - x) \approx 0.05$$

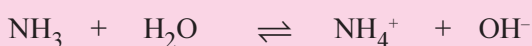
આમ,

$$\begin{aligned} 1.8 \times 10^{-5} &= (x)(0.05 + x) / (0.05 - x) \\ &= x(0.05) / (0.05) = x = [\text{H}^+] = 1.8 \times 10^{-5} \text{ M} \\ \text{pH} &= -\log(1.8 \times 10^{-5}) = 4.74 \end{aligned}$$

### કોયડો 7.24

0.10 M એમોનિયા દ્રાવણની pH ગણો. આ દ્રાવણના 50.0 mL દ્રાવણમાં 25.0 mL 0.10M HCl ઉમેરવામાં આવે પછી મળતી pH ગણો. એમોનિયાનો વિયોજન અચળાંક  $K_b = 1.77 \times 10^{-5}$ .

ઉકેલ :



$$K_b = [\text{NH}_4^+][\text{OH}^-] / [\text{NH}_3] = 1.77 \times 10^{-5}$$

તટસ્થીકરણ પહેલાં,

$$[\text{NH}_4^+] = [\text{OH}^-] = x$$

$$[\text{NH}_3] = 0.10 - x \approx 0.10$$

$$x^2 / 0.10 = 1.77 \times 10^{-5}$$

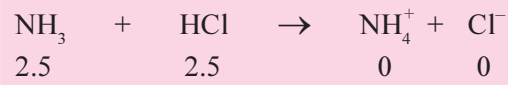
$$\text{આમ, } x = 1.33 \times 10^{-3} = [\text{OH}^-]$$

$$\text{આથી, } [\text{H}^+] = K_w / [\text{OH}^-] = 10^{-14} /$$

$$(1.33 \times 10^{-3}) = 7.51 \times 10^{-12}$$

$$\text{pH} = -\log(7.5 \times 10^{-12}) = 11.12$$

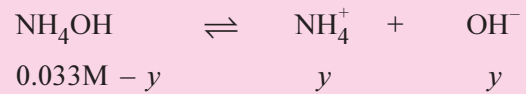
25 mL 0.1M HClનું દ્રાવણ (એટલે કે 2.5 mmol HCl) 50 mL 0.1M એમોનિયા દ્રાવણ (5 mmol NH<sub>3</sub>) ઉમેરતાં 2.5 mmol NH<sub>3</sub>ના અણુઓ તટસ્થીકરણ પામ્યાં છે. પરિણમતું 75 mL દ્રાવણ તટસ્થીકરણ નહિ પામેલો 2.5 mmol NH<sub>3</sub> અણુ અને 2.5 mmol NH<sub>4</sub><sup>+</sup> આયન ધરાવે છે.



સંતુલને

$$0 \quad 0 \quad 2.5 \quad 2.5$$

પરિણમતું 75 mL દ્રાવણ 2.5 mmol NH<sub>4</sub><sup>+</sup> આયન (એટલે કે 0.033 M) અને 2.5 mmol (એટલે કે 0.033 M) તટસ્થીકરણ નહિ પામેલા NH<sub>3</sub> અણુઓ. આ એમોનિયા નીચેના સંતુલનમાં અસ્તિત્વ ધરાવે છે.



$$\text{જ્યાં, } y = [\text{OH}^-] = [\text{NH}_4^+]$$

અહીં 75 mL દ્રાવણ તટસ્થીકરણ બાદ 2.5 mmol NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (એટલે કે 0.033M) અગાઉ ધરાવે. આથી NH<sub>4</sub><sup>+</sup>ની કુલ સાંદ્રતા,

$$[\text{NH}_4^+] = 0.033 + y$$

$y$  નાનો હોવાથી  $[\text{NH}_4\text{OH}] \approx 0.033 \text{ M}$  અને

$$[\text{NH}_4^+] \approx 0.033\text{M}.$$

આપણે જાણીએ છીએ કે,

$$\begin{aligned} K_b &= [\text{NH}_4^+][\text{OH}^-] / [\text{NH}_4\text{OH}] \\ &= y(0.033)/(0.033) = 1.77 \times 10^{-5} \text{ M} \end{aligned}$$

$$\text{આથી, } y = 1.77 \times 10^{-5} = [\text{OH}^-]$$

$$[\text{H}^+] = 10^{-14} / 1.77 \times 10^{-5} = 0.56 \times 10^{-9}$$

$$\text{આથી, pH} = 9.24$$

### 7.11.9 ક્ષારનું જળવિભાજન અને તેમના દ્રાવણની pH (Hydrolysis of Salts and the pH of their Solutions)

એસિડ અને બેઈઝના નિશ્ચિત પ્રમાણમાંની પ્રક્રિયાથી ક્ષાર બને છે, જે પાણીમાં આયનીકરણ પામે છે. ક્ષારના આયનીકરણથી રચાતા ધનાયન/ઋણાયન કાં તો જળયુક્ત આયન તરીકે

જલીય દ્રાવણમાં અસ્તિત્વ ધરાવે છે અથવા પાણી સાથે પારસ્પરિક ક્રિયા કરે છે અને ક્ષારના સ્વભાવ પ્રમાણે તેને અનુરૂપ એસિડ કે બેઈઝની પુનર્રચના કરે છે. ક્ષારના ધનાયન/ઋણાયન અથવા બન્ને અને પાણી વચ્ચેની પારસ્પરિક ક્રિયાને જળવિભાજન કહે છે. પારસ્પરિક ક્રિયાથી દ્રાવણની pHને અસર પડે છે. પ્રબળ બેઈઝના ધનાયન (ઉદા., માત્ર  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$  વગેરે.) અને પ્રબળ એસિડના ઋણ આયન ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{ClO}_4^-$  વગેરે) જળયુક્ત થાય છે. પણ જળવિભાજન પામતા નથી. આથી પ્રબળ એસિડ અને પ્રબળ બેઈઝમાંથી બનેલા ક્ષારના દ્રાવણ તટસ્થ હોય છે. એટલે કે તેમની pH 7 હોય છે. તેમ છતાં ક્ષારનો બીજો વિભાગ જળવિભાજન પામે છે.

આપણે નીચેના પ્રકારના ક્ષારના જળવિભાજનને ધ્યાનમાં લઈશું :

(i) નિર્બળ એસિડ અને પ્રબળ બેઈઝના ક્ષાર

ઉદા.,  $\text{CH}_3\text{COONa}$ .

(ii) પ્રબળ એસિડ અને નિર્બળ બેઈઝના ક્ષાર

ઉદા.,  $\text{NH}_4\text{Cl}$

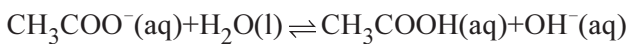
(iii) નિર્બળ એસિડ અને નિર્બળ બેઈઝના ક્ષાર

ઉદા.,  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ .

પ્રથમ કિસ્સામાં  $\text{CH}_3\text{COONa}$  નિર્બળ એસિડ  $\text{CH}_3\text{COOH}$  અને પ્રબળ બેઈઝ  $\text{NaOH}$  નો ક્ષાર છે તે જલીય દ્રાવણમાં સંપૂર્ણપણે આયનીકરણ પામે છે.



આ રીતે બનેલો એસિડેટ આયન પાણી સાથે જળવિભાજન કરે છે અને નિર્બળ એસિટિક એસિડ અને  $\text{OH}^-$  આયન આપે છે.

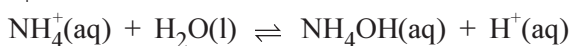


એસિટિક એસિડ નિર્બળ એસિડ ( $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$ ) હોઈ મોટે ભાગે દ્રાવણમાં અવિયોજિત રહે છે. આને પરિણામે  $\text{OH}^-$ ના આયનની સાંદ્રતામાં વધારો થાય છે અને તેથી દ્રાવણ આલ્કલાઈન બને છે. આવા દ્રાવણની pH 7 કરતાં વધારે હોય છે.

એ જ પ્રમાણે,  $\text{NH}_4\text{Cl}$  જે નિર્બળ બેઈઝ  $\text{NH}_4\text{OH}$  અને પ્રબળ એસિડ  $\text{HCl}$ માંથી બને છે. તે પાણીમાં સંપૂર્ણપણે વિયોજિત થાય છે.

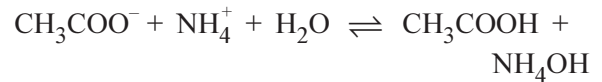


એમોનિયમ આયન પાણી સાથે જળવિભાજન કરી  $\text{NH}_4\text{OH}$  અને  $\text{H}^+$  આયન રચે છે.

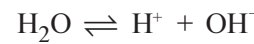
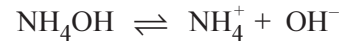
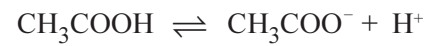


એમોનિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડ નિર્બળ બેઈઝ ( $K_b = 1.77 \times 10^{-5}$ ) છે અને તેથી દ્રાવણમાં લગભગ અવિયોજિત રહે છે. આને પરિણામે દ્રાવણમાં  $\text{H}^+$  આયનની સાંદ્રતા વધે છે અને તેથી દ્રાવણ એસિડિક બને છે. આમ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$  ના પાણીમાં દ્રાવણની pH 7 કરતાં ઓછી હોય છે.

નિર્બળ એસિડ અને નિર્બળ બેઈઝમાંથી બનેલો ક્ષાર  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ ને ધ્યાનમાં લઈ. તેના મળતા આયનો પાણી સાથે નીચે પ્રમાણે જળવિભાજન કરે છે.



$\text{CH}_3\text{COOH}$  અને  $\text{NH}_4\text{OH}$  આંશિક વિયોજિત સ્વરૂપમાં રહે છે.



વિગતવાર ગણતરીમાં ગયા સિવાય કહી શકીએ કે જળવિભાજનનો અંશ દ્રાવણની સાંદ્રતાથી સ્વતંત્ર છે અને આવા દ્રાવણોની pH તેમના pKના મૂલ્યો પરથી નક્કી કરાય છે.

$$\text{pH} = 7 + \frac{1}{2}(\text{pK}_a - \text{pK}_b) \quad (7.38)$$

દ્રાવણની pH 7 કરતાં વધારે હોય. જો તફાવત ધન હોય તો અથવા 7 કરતાં ઓછી હોય જો તફાવત ઋણ હોય તો.

### કોયડો 7.25

એસિટિક એસિડનો  $\text{pK}_a$  4.76 અને એમોનિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડનો  $\text{pK}_b$  4.76 છે. એમોનિયમ એસિડેટ દ્રાવણની pH ગણો.

ઉકેલ :

$$\text{pH} = 7 + \frac{1}{2}[\text{pK}_a - \text{pK}_b]$$

$$= 7 + \frac{1}{2}[4.76 - 4.75]$$

$$= 7 + \frac{1}{2}[0.01] = 7 + 0.005 = 7.005$$

## 7.12 બફર દ્રાવણો (Buffer Solutions)

ઘણા શરીર-દ્રવો ઉદાહરણ તરીકે લોહી અથવા પેશાબની pH નિશ્ચિત હોય છે અને તેમની pHમાં વિચલન શરીરના કાર્યોની વિકૃતિ (malfunctioning) કરે છે. pHનું નિયંત્રણ ઘણા રાસાયણિક અને જૈવરાસાયણિક પ્રક્રમોમાં ઘણું અગત્યનું છે. ઘણી વૈદકીય અને સૌંદર્યપ્રસાધન બનાવટોમાં જરૂરી હોય છે કે તેમને કોઈ ખાસ pH વાળી રાખવામાં આવે અને વાપરવામાં આવે.

દ્રાવણો જેનું મંદન કરવાથી અથવા તેમનામાં થોડા પ્રમાણમાં એસિડ અથવા આલ્કલી ઉમેરવામાં આવે તો પણ

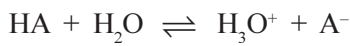
તેઓ pH ફેરફારનો પ્રતિકાર કરે છે. તેવા દ્રાવણોને બફર દ્રાવણો કહે છે. જાત pH વાળા બફર દ્રાવણો એસિડના  $pK_a$  અને બેઈજના  $pK_b$  ના જ્ઞાન પરથી અને તેમના ક્ષાર અને એસિડ અથવા ક્ષાર અને બેઈજના ગુણોત્તરનું નિયંત્રણ કરીને તૈયાર કરી શકાય છે. એસિટિક એસિડ અને સોડિયમ એસિટેટનું મિશ્રણ pH 4.75ની આજુબાજુ બફર દ્રાવણ તરીકે વર્તે છે અને એમોનિયમ ક્લોરાઈડ અને એમોનિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડનું મિશ્રણ pH 9.25ની આસપાસ બફર દ્રાવણ તરીકે વર્તે છે. બફર દ્રાવણો વિશે તમે વધુ ઉચ્ચતર ધોરણોમાં શીખશો.

### 7.12.1 બફર દ્રાવણની રચના (બનાવટ) (Designing Buffer Solution)

$pK_a$ ,  $pK_b$  અને સંતુલન અચળાંકનું જ્ઞાન આપણને જાત pHના બફર દ્રાવણ બનાવવામાં મદદ કરે છે. આપણે જોઈએ આ કેવી રીતે કરી શકીએ ?

#### એસિટિક બફરની બનાવટ :

એસિટિક pH વાળા બફરને બનાવવા માટે આપણે નિર્બળ એસિડ અને તેનો પ્રબળ બેઈજ સાથેનો ક્ષાર લઈશું. આપણે pH, સંતુલન અચળાંક, નિર્બળ એસિડનો  $K_a$  અને નિર્બળ એસિડ અને તેના સંયુગ્મ બેઈજના ગુણોત્તરને સંબંધિત કરીને આપણે સમીકરણ નિરૂપિત કરી શકીએ. સામાન્ય કિસ્સામાં જેમાં નિર્બળ એસિડ HA પાણીમાં આયનીકરણ પામે છે.



જેને આપણે લખી શકીએ કે,

$$K_a = \frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]}$$

સમીકરણની પુનઃગોઠવણી કરીએ તો,

$$[H_3O^+] = K_a \frac{[HA]}{[A^-]}$$

બન્ને બાજુના ઘાતાંક લેતાં, અને પર્યાયોની પુનઃગોઠવણી કરતાં આપણને મળશે,

$$pK_a = pH - \log \frac{[A^-]}{[HA]}$$

અથવા

$$pH = pK_a + \log \frac{[A^-]}{[HA]} \quad (A-1)$$

$$pH = pK_a + \log \frac{[\text{સંયુગ્મ બેઈજ}, A^-]}{[\text{એસિડ}, HA]} \quad (A-2)$$

સમીકરણ (A-2) હેન્ડરસન-હેસલબેક (Henderson-Hasselback) સમીકરણ તરીકે ઓળખાય છે.  $\frac{[A^-]}{[HA]}$

ગુણોત્તર મિશ્રણમાં રહેલા એસિડના સંયુગ્મ બેઈજ (ઋણાયન) અને મિશ્રણમાં હાજર એસિડની સાંદ્રતાઓનો ગુણોત્તર છે. એસિડ નિર્બળ છે અને તેથી ઘણી ઓછી માત્રામાં આયનીકરણ પામે છે, તેથી [HA] ની સાંદ્રતા બફર બનાવવા માટે લીધેલા એસિડની સાંદ્રતાથી નહિવત્ (નગણ્ય) અલગ પડે છે. વળી, સંયુગ્મ બેઈજ  $[A^-]$ નો મોટો જથ્થો એસિડના ક્ષારના આયનીકરણમાંથી આવે છે, જેથી સંયુગ્મ બેઈજની સાંદ્રતા ક્ષારની સાંદ્રતાથી નગણ્ય (નહિવત્) અલગ પડશે.

આમ, સમીકરણ (A-2) નીચેનું સ્વરૂપ પ્રાપ્ત કરશે :

$$pH = pK_a + \log \frac{[\text{ક્ષાર}]}{[\text{એસિડ}]}$$

સમીકરણ (A-1)માં જો  $[A^-]$  ની સાંદ્રતા [HA]ની સાંદ્રતા જેટલી થાય તો  $pH = pK_a$  કારણ કે  $\log 1$ નું મૂલ્ય શૂન્ય થશે. આથી જો આપણે એસિડ અને સંયુગ્મ બેઈજની સરખી સાંદ્રતાઓ લઈએ તો, બફર દ્રાવણની pH એસિડના  $pK_a$  મૂલ્ય જેટલી થશે. આથી ઈચ્છિત pHનું બફર દ્રાવણ બનાવવા માટે એવા એસિડને પસંદ કરવો કે જેનું  $pK_a$ નું મૂલ્ય pHના મૂલ્યની નજીક હોય. એસિટિક એસિડ માટે  $pK_a$ નું મૂલ્ય 4.76 છે. આથી એસિટિક એસિડ અને સોડિયમ એસિટેટની સરખી મોલર સાંદ્રતાવાળા દ્રાવણો લઈએ. બનતા બફર દ્રાવણની pH 4.76ની આસપાસ હોય.

આવું જ પૃથક્કરણ નિર્બળ બેઈજ અને તેના પ્રબળ એસિડના ક્ષાર સાથેના બફર માટે કરી શકીએ અને પરિણામ મળશે,

$$pOH = pK_b + \log \frac{[\text{સંયુગ્મ એસિડ}, BH^+]}{[\text{બેઈજ}, B]} \quad (A-3)$$

બફર દ્રાવણની pH સમીકરણ  $pH + pOH = 14$ નો ઉપયોગ કરીને ગણી શકીએ.

આપણે જાણીએ છીએ કે  $pH + pOH = pK_w$  અને  $pK_a + pK_b = pK_w$ . સમીકરણ (A-3)માં આ મૂલ્યો મૂકતાં તે નીચેના સ્વરૂપમાં મળશે :

$$pK_w - pH = pK_w - pK_a + \log \frac{[\text{સંયુગ્મ એસિડ}, BH^+]}{[\text{બેઈજ}, B]}$$

અથવા

$$pH = pK_a - \log \frac{[\text{સંયુગ્મ એસિડ}, BH^+]}{[\text{બેઈજ}, B]} \quad (A-4)$$

જો બેઈજ અને તેના સંયુગ્મ એસિડ (ધનાયન)ની મોલર સાંદ્રતા સરખી હશે તો બફર દ્રાવણની pH બેઈજના  $pK_a$  મૂલ્ય

જેટલી થશે. એમોનિયાનો  $pK_a = 9.25$  છે તેથી 9.25ની નજીકનું બફર દ્રાવણ એમોનિયા અને એમોનિયમ ક્લોરાઇડની સરખી સાંદ્રતા લઈને મેળવી શકીશું. એમોનિયમ ક્લોરાઇડ અને એમોનિયમ હાઇડ્રોક્સાઇડથી બનતા બફર દ્રાવણ માટે સમીકરણ (A-4) નીચે પ્રમાણે થશે :

$$pH = 9.25 - \log \frac{[\text{સંયુગ્મ એસિડ, BH}^+]}{[\text{બેઝ, B}]}$$

બફર દ્રાવણની pH મંદનથી અસર પામતું નથી કારણ કે ધાતાંકીય પર્યાયોનો ગુણોત્તર ફેરફાર વગર રહે છે.

### 7.13 અલ્પદ્રાવ્ય ક્ષારના દ્રાવ્યતા સંતુલન (Solubility Equilibria of Sparingly Soluble Salts)

આપણે શીખી ગયા છીએ કે આયનીય ઘન પદાર્થોની દ્રાવ્યતા ઘણા ઊંચા અંશે બદલાય છે. આમાંના કેટલાક (જેમકે કેલ્શિયમ ક્લોરાઇડ) એટલા બધા દ્રાવ્ય હોય છે કે તેઓ સ્વભાવે એટલા બધા ભેજશોષક (hygroscopic) છે કે તેઓ વાતાવરણમાંથી પણ પાણીની બાષ્પને શોષે છે. બીજા(જેવા કે લિથિયમ ફ્લોરાઇડ)ની દ્રાવ્યતા ઘણી જ ઓછી છે. જેથી તેમને સામાન્ય રીતે અદ્રાવ્ય કહેવામાં આવે છે. દ્રાવ્યતા ઘણા બધા પરિબળો પર આધાર રાખે છે. જેમાંના અગત્યના છે તે ક્ષારની લેટિસ એન્ટાલ્પી અને દ્રાવણમાં આયનની દ્રાવકયોજન (solvation) એન્ટાલ્પી છે. ક્ષારને દ્રાવકમાં ઓગળવા માટે આયનો વચ્ચેના પ્રબળ આકર્ષણ બળો લેટિસ એન્ટાલ્પીને આયન-દ્રાવક પારસ્પરિક ક્રિયા વડે ઉપરવટ થવું પડે છે. આયનની દ્રાવકયોજન એન્ટાલ્પી દ્રાવક યોજન પર્યાયના અર્થમાં જોઈએ તો હંમેશાં ઋણ હોય છે, એટલે કે દ્રાવક યોજન પ્રક્રમ દરમિયાન ઊર્જા મુક્ત થાય છે. દ્રાવકયોજન એન્ટાલ્પીનું પ્રમાણ દ્રાવકના સ્વભાવ પર આધાર રાખે છે. અધ્રુવીય (સહસંયોજક) દ્રાવકની બાબતમાં, દ્રાવકયોજન એન્ટાલ્પી ઓછી છે અને તેથી ક્ષારની લેટિસ એન્ટાલ્પીની ઉપરવટ થઈ શકતી નથી. પરિણામે ક્ષાર અધ્રુવીય દ્રાવકમાં ઓગળતો નથી. સામાન્ય નિયમ પ્રમાણે, કોઈ પણ ક્ષારને કોઈ ખાસ દ્રાવકમાં ઓગળવા માટે તેની દ્રાવકયોજન એન્ટાલ્પી તેની લેટિસ એન્ટાલ્પી કરતાં વધારે હોવી જોઈએ, જેથી દ્રાવકયોજન એન્ટાલ્પી વડે લેટિસ એન્ટાલ્પીની ઉપરવટ જઈ શકાય. દરેક ક્ષારને પોતાની લાક્ષણિક દ્રાવ્યતા હોય છે, જેનો આધાર તાપમાન પર હોય છે. આપણે ક્ષારને તેમની દ્રાવ્યતાના આધારે નીચેના ત્રણ વિભાગોમાં વર્ગીકૃત કરી શકીએ.

વિભાગ I	દ્રાવ્ય	દ્રાવ્યતા > 0.1M
વિભાગ II	ઓછું દ્રાવ્ય	0.01M < દ્રાવ્યતા < 0.1M
વિભાગ III	અલ્પદ્રાવ્ય	દ્રાવ્યતા < 0.01M

હવે આપણે અલ્પદ્રાવ્ય આયનીય ક્ષાર અને તેના સંતૃપ્ત જલીય દ્રાવણ વચ્ચેનું સંતુલન ગણતરીમાં લઈશું.

#### 7.13.1 દ્રાવ્યતા ગુણાકાર અચળાંક (Solubility Product Constant)

ધારો કે હવે આપણી પાસે બેરિયમ સલ્ફેટ જેવો ઘન તેના સંતૃપ્ત જલીય દ્રાવણ સાથે સંપર્કમાં છે. નહિ ઓગળેલા ઘન અને સંતૃપ્ત દ્રાવણમાંના આયન વચ્ચે સંતુલન નીચેના સમીકરણથી દર્શાવી શકાય.



સંતુલન અચળાંક નીચેના સમીકરણથી આપી શકાય :

$$K = \{[\text{Ba}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}]\} / [\text{BaSO}_4]$$

શુદ્ધ ઘન પદાર્થ માટે તેની સાંદ્રતા અચળ રહે છે અને આપણે લખી શકીએ કે,

$$K_{sp} = K[\text{BaSO}_4] = [\text{Ba}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}] \quad (7.39)$$

$K_{sp}$  ને આપણે દ્રાવ્યતા ગુણાકાર અચળાંક અથવા સાદી રીતે દ્રાવ્યતા ગુણાકાર કહીશું. ઉપરના સમીકરણનું પ્રાયોગિક મૂલ્ય 298 K તાપમાને  $1.1 \times 10^{-10}$  છે. આનો અર્થ એમ છે કે ઘન બેરિયમ સલ્ફેટ તેના સંતૃપ્ત દ્રાવણ સાથે સંતુલનમાં છે અને બેરિયમ અને સલ્ફેટ આયનોની સાંદ્રતાનો ગુણાકાર તેનો દ્રાવ્યતા ગુણાકાર અચળાંક છે. બન્ને આયનોની સાંદ્રતા બેરિયમ સલ્ફેટની મોલર સાંદ્રતા બરાબર થશે. જો મોલર દ્રાવ્યતા S હોય તો,

$$1.1 \times 10^{-10} = (S)(S) = S^2$$

$$\text{અથવા } S = 1.05 \times 10^{-5}$$

આમ, બેરિયમ સલ્ફેટની મોલર સાંદ્રતા  $1.05 \times 10^{-5}$  mol L<sup>-1</sup> છે.

ક્ષાર વિયોજન દરમિયાન બે અથવા બેથી વધારે ઋણાયન અને ધનાયન આપણે જે જુદા ભાર ધરાવતા હોય. ઉદાહરણ તરીકે, ઝિરકોનિયમ ફોસ્ફેટ જેનું આણ્વીય સૂત્ર  $(\text{Zr}^{4+})_3(\text{PO}_4^{3-})_4$  છે તે ક્ષારને ધ્યાનમાં લઈએ. તે ત્રણ ઝિરકોનિયમ ધનાયન જેનો ભાર +4 અને ચાર ફોસ્ફેટ ઋણાયન જેનો ભાર -3 છે તે આપે છે. ધારો કે ઝિરકોનિયમ ફોસ્ફેટની મોલર સાંદ્રતા S છે તો, સંયોજનની તત્વોયગમિતિ પરથી લખી શકાય કે,

$$[\text{Zr}^{4+}] = 3S \text{ અને } [\text{PO}_4^{3-}] = 4S$$

$$\text{અને } K_{sp} = (3S)^3 (4S)^4 = 6912 (S)^7$$

$$\text{અથવા } S = \{K_{sp} / (3^3 \times 4^4)\}^{1/7} = (K_{sp} / 6912)^{1/7}$$



એક ઘન ક્ષાર જેનું સામાન્ય સૂત્ર  $M_x^{p+} X_y^{q-}$  છે તેના સંતૃપ્ત દ્રાવણ સાથેના સંતુલનમાં મોલર દ્રાવ્યતા S છે, તો નીચેના સમીકરણમાં તે દર્શાવી શકાય :



(જ્યાં,  $x \times p^+ = y \times q^-$ )

અને તેનો દ્રાવ્યતા ગુણાકાર અચળાંક નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય :

$$K_{sp} = [M^{p+}]^x [X^{q-}]^y = (xS)^x (yS)^y \quad (7.40)$$

$$= x^x \cdot y^y \cdot S^{(x+y)}$$

$$S^{(x+y)} = K_{sp} / x^x \cdot y^y$$

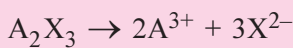
$$S = (K_{sp} / x^x \cdot y^y)^{1/(x+y)} \quad (7.41)$$

$K_{sp}$  પર્યાયને  $Q_{sp}$  વડે સમીકરણમાં લઈ શકાય (વિભાગ 7.6.2) જ્યારે એક અથવા વધારે સ્પીસિઝની સાંદ્રતા સંતુલન સાંદ્રતા બરાબર નથી. સ્વાભાવિક રીતે સંતુલન પરિસ્થિતિમાં  $K_{sp} = Q_{sp}$  થવી જોઈએ, પરંતુ તે સિવાય તે અવક્ષેપન પ્રક્રિયા થશે કે વિલયન પ્રક્રિયા થશે તેની દિશા સૂચવે છે. ઘણા બધા સામાન્ય ક્ષારના દ્રાવ્યતા ગુણાકાર અચળાંક 298K તાપમાને કોષ્ટક 7.9માં આપેલ છે.

**કોષ્ટક 7.26**

$A_2X_3$ ની દ્રાવ્યતા શુદ્ધ પાણીમાં ગણો. એમ ધારી લો કે કોઈ પણ પ્રકારનો આયન પાણી સાથે પ્રક્રિયા કરતો નથી.  $A_2X_3$ નો દ્રાવ્યતા ગુણાકાર  $K_{sp} = 1.1 \times 10^{-23}$  છે.

ઉકેલ :



$$K_{sp} = [A^{3+}]^2 [X^{2-}]^3 = 1.1 \times 10^{-23}$$

ધારો કે  $S = A_2X_3$ ની દ્રાવ્યતા તો,

$$[A^{3+}] = 2S; [X^{2-}] = 3S$$

$$\text{આથી, } K_{sp} = (2S)^2(3S)^3 = 108S^5$$

$$= 1.1 \times 10^{-23}$$

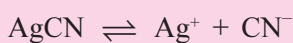
$$\text{આથી, } S^5 = 1 \times 10^{-25}$$

$$S = 1.0 \times 10^{-5} \text{ mol/L.}$$

**કોષ્ટક 7.27**

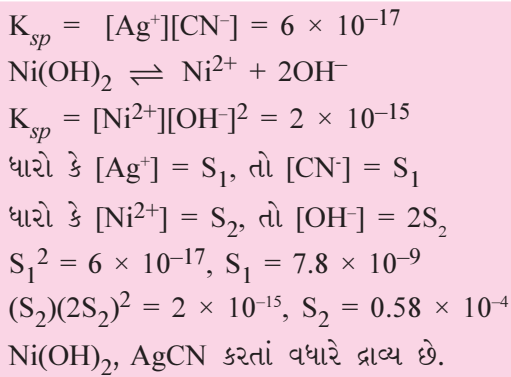
બે અલ્પદ્રાવ્ય ક્ષાર  $Ni(OH)_2$  અને  $AgCN$  ના  $K_{sp}$  ના મૂલ્યો અનુક્રમે  $2.0 \times 10^{-15}$  અને  $6 \times 10^{-17}$  છે. કયો ક્ષાર વધારે દ્રાવ્ય હશે ? સમજાવો.

ઉકેલ :



**કોષ્ટક 7.9 કેટલાક સામાન્ય આયનીય ક્ષારોના 298 K તાપમાને દ્રાવ્યતા ગુણાકાર અચળાંક**

ક્ષારનું નામ	સૂત્ર	$K_{sp}$
સિલ્વર બ્રોમાઇડ	AgBr	$5.0 \times 10^{-13}$
સિલ્વર કાર્બોનેટ	Ag <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	$8.1 \times 10^{-12}$
સિલ્વર ક્રોમેટ	Ag <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	$1.1 \times 10^{-12}$
સિલ્વર ક્લોરાઇડ	AgCl	$1.8 \times 10^{-10}$
સિલ્વર આયોડાઇડ	AgI	$8.3 \times 10^{-17}$
સિલ્વર સલ્ફેટ	Ag <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	$1.4 \times 10^{-5}$
એલ્યુમિનિયમ હાઇડ્રોક્સાઇડ	Al(OH) <sub>3</sub>	$1.3 \times 10^{-33}$
બેરિયમ ક્રોમેટ	BaCrO <sub>4</sub>	$1.2 \times 10^{-10}$
બેરિયમ ફ્લોરાઇડ	BaF <sub>2</sub>	$1.0 \times 10^{-6}$
બેરિયમ સલ્ફેટ	BaSO <sub>4</sub>	$1.1 \times 10^{-10}$
કેલ્શિયમ કાર્બોનેટ	CaCO <sub>3</sub>	$2.8 \times 10^{-9}$
કેલ્શિયમ ફ્લોરાઇડ	CaF <sub>2</sub>	$5.3 \times 10^{-9}$
કેલ્શિયમ હાઇડ્રોક્સાઇડ	Ca(OH) <sub>2</sub>	$5.5 \times 10^{-6}$
કેલ્શિયમ ઓક્સેલેટ	CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	$4.0 \times 10^{-9}$
કેલ્શિયમ સલ્ફેટ	CaSO <sub>4</sub>	$9.1 \times 10^{-6}$
કેડમિયમ હાઇડ્રોક્સાઇડ	Cd(OH) <sub>2</sub>	$2.5 \times 10^{-14}$
કેડમિયમ સલ્ફાઇડ	CdS	$8.0 \times 10^{-27}$
ક્રોમિક હાઇડ્રોક્સાઇડ	Cr(OH) <sub>3</sub>	$6.3 \times 10^{-31}$
ક્યુપ્રસ બ્રોમાઇડ	CuBr	$5.3 \times 10^{-9}$
ક્યુપ્રિક કાર્બોનેટ	CuCO <sub>3</sub>	$1.4 \times 10^{-10}$
ક્યુપ્રસ ક્લોરાઇડ	CuCl	$1.7 \times 10^{-6}$
ક્યુપ્રિક હાઇડ્રોક્સાઇડ	Cu(OH) <sub>2</sub>	$2.2 \times 10^{-20}$
ક્યુપ્રસ આયોડાઇડ	CuI	$1.1 \times 10^{-12}$
ક્યુપ્રિક સલ્ફાઇડ	CuS	$6.3 \times 10^{-36}$
ફેરસ કાર્બોનેટ	FeCO <sub>3</sub>	$3.2 \times 10^{-11}$
ફેરસ હાઇડ્રોક્સાઇડ	Fe(OH) <sub>2</sub>	$8.0 \times 10^{-16}$
ફેરિક હાઇડ્રોક્સાઇડ	Fe(OH) <sub>3</sub>	$1.0 \times 10^{-38}$
ફેરસ સલ્ફાઇડ	FeS	$6.3 \times 10^{-18}$
મરક્યુરસ બ્રોમાઇડ	Hg <sub>2</sub> Br <sub>2</sub>	$5.6 \times 10^{-23}$
મરક્યુરસ ક્લોરાઇડ	Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	$1.3 \times 10^{-18}$
મરક્યુરસ આયોડાઇડ	Hg <sub>2</sub> I <sub>2</sub>	$4.5 \times 10^{-29}$
મરક્યુરસ સલ્ફેટ	Hg <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	$7.4 \times 10^{-7}$
મરક્યુરિક સલ્ફાઇડ	HgS	$4.0 \times 10^{-53}$
મંગ્નેશિયમ કાર્બોનેટ	MgCO <sub>3</sub>	$3.5 \times 10^{-8}$
મંગ્નેશિયમ ફ્લોરાઇડ	MgF <sub>2</sub>	$6.5 \times 10^{-9}$
મંગ્નેશિયમ હાઇડ્રોક્સાઇડ	Mg(OH) <sub>2</sub>	$1.8 \times 10^{-11}$
મંગ્નેશિયમ ઓક્સેલેટ	MgC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	$7.0 \times 10^{-7}$
મંગ્નેઝ કાર્બોનેટ	MnCO <sub>3</sub>	$1.8 \times 10^{-11}$
મંગ્નેઝ સલ્ફાઇડ	MnS	$2.5 \times 10^{-13}$
નિકલ હાઇડ્રોક્સાઇડ	Ni(OH) <sub>2</sub>	$2.0 \times 10^{-15}$
નિકલ સલ્ફાઇડ	NiS	$4.7 \times 10^{-5}$
લેડ બ્રોમાઇડ	PbBr <sub>2</sub>	$4.0 \times 10^{-5}$
લેડ કાર્બોનેટ	PbCO <sub>3</sub>	$7.4 \times 10^{-14}$
લેડ ક્લોરાઇડ	PbCl <sub>2</sub>	$1.6 \times 10^{-5}$
લેડ ફ્લોરાઇડ	PbF <sub>2</sub>	$7.7 \times 10^{-8}$
લેડ હાઇડ્રોક્સાઇડ	Pb(OH) <sub>2</sub>	$1.2 \times 10^{-15}$
લેડ આયોડાઇડ	PbI <sub>2</sub>	$7.1 \times 10^{-9}$
લેડ સલ્ફેટ	PbSO <sub>4</sub>	$1.6 \times 10^{-8}$
લેડ સલ્ફાઇડ	PbS	$8.0 \times 10^{-28}$
સ્ટેનસ હાઇડ્રોક્સાઇડ	Sn(OH) <sub>2</sub>	$1.4 \times 10^{-28}$
સ્ટેનસ સલ્ફાઇડ	SnS	$1.0 \times 10^{-25}$
સ્ટ્રોન્શિયમ કાર્બોનેટ	SrCO <sub>3</sub>	$1.1 \times 10^{-10}$
સ્ટ્રોન્શિયમ ફ્લોરાઇડ	SrF <sub>2</sub>	$2.5 \times 10^{-9}$
સ્ટ્રોન્શિયમ સલ્ફેટ	SrSO <sub>4</sub>	$3.2 \times 10^{-7}$
થેલસ બ્રોમાઇડ	TlBr	$3.4 \times 10^{-6}$
થેલસ ક્લોરાઇડ	TlCl	$1.7 \times 10^{-4}$
થેલસ આયોડાઇડ	TlI	$6.5 \times 10^{-8}$
ઝિંક કાર્બોનેટ	ZnCO <sub>3</sub>	$1.4 \times 10^{-11}$
ઝિંક હાઇડ્રોક્સાઇડ	Zn(OH) <sub>2</sub>	$1.0 \times 10^{-15}$
ઝિંક સલ્ફાઇડ	ZnS	$1.6 \times 10^{-24}$



### 7.13.2 આયનીય ક્ષારની દ્રાવ્યતા પર સમાન આયન અસર (Common Ion Effect on Solubility of Ionic Salts)

લ શેટેલિયરના સિદ્ધાંત પરથી એ અપેક્ષિત છે કે જો કોઈ પણ આયનની સાંદ્રતા વધારવામાં આવે તો તે તેનાથી વિરુદ્ધ ભારવાળા આયન સાથે સંયોજાય અને જ્યાં સુધી  $K_{sp} = Q_{sp}$  નહિ થાય ત્યાં સુધી ક્ષાર અવક્ષેપિત થશે. એ જ પ્રમાણે, કોઈ પણ આયનની સાંદ્રતા ઘટાડવામાં આવે તો વધારે ક્ષાર ઓગળશે અને બન્ને આયનોની સાંદ્રતા જ્યાં સુધી  $K_{sp} = Q_{sp}$  નહિ થાય ત્યાં સુધી ઓગળશે. આ દ્રાવ્ય ક્ષાર જેવા કે સોડિયમ ક્લોરાઇડને લાગુ પાડી શકાય છે, ફરક એટલો છે કે આયનોની ઊંચી સાંદ્રતાએ આપણે  $Q_{sp}$  અભિકલ્પનામાં મોલારિટીને બદલે સક્રિયતા (activity) ગણીએ છીએ. આમ, જો આપણે સોડિયમ ક્લોરાઇડનું સંતૃપ્ત દ્રાવણ લઈએ અને તેમાંથી HCl વાયુ પસાર કરીએ તો સોડિયમ ક્લોરાઇડ અવક્ષેપિત થશે કારણ કે HClના વિયોજનથી મળતા ક્લોરાઇડ આયનની સાંદ્રતા (સક્રિયતા) વધી જશે. આ રીતે મેળવેલ સોડિયમ ક્લોરાઇડ ખૂબ જ ઊંચી શુદ્ધતા ધરાવે છે અને આપણે સોડિયમ અને મેગ્નેશિયમ સલ્ફેટ જેવી અશુદ્ધિઓને દૂર કરી શકીએ છીએ. સમાન આયન અસરનો ઉપયોગ ભારમાપક પૃથક્કરણ માટે દ્રાવ્યતા ગુણાકારનું મૂલ્ય ઘણું ઓછું હોય તેવા આયનનું સંપૂર્ણ અવક્ષેપન તેના અલ્પદ્રાવ્ય ક્ષારને મેળવવામાં થાય છે. આથી આપણે સિલ્વર આયનને સિલ્વર ક્લોરાઇડ તરીકે, ફેરિક આયનને તેના હાઇડ્રોક્સાઇડ (અથવા જલયુક્ત ફેરિક ઓક્સાઇડ) અને બેરિયમ આયનને તેના સલ્ફેટ સ્વરૂપે જથ્થાત્મક પૃથક્કરણમાં અવક્ષેપિત કરી શકીએ છીએ.

#### કોયડો 7.28

$Ni(OH)_2$ ની 0.10 M NaOHમાં મોલર દ્રાવ્યતા ગણો.  
 $Ni(OH)_2$ નો આયનીય ગુણાકાર  $2.0 \times 10^{-15}$  છે.

ઉકેલ :

ધારો કે  $Ni(OH)_2$  ની દ્રાવ્યતા S છે. S mol/L  $Ni(OH)_2$ ના વિલયન માટે S mol/L  $Ni^{2+}$  અને 2S mol/L  $OH^-$ ની જરૂર

પડશે. પણ  $OH^-$ ની કુલ સાંદ્રતા  $(0.10 + 2S)$  mol/L, કારણ કે દ્રાવણ 0.10 mol/L  $OH^-$  તો NaOHમાંથી હાજર છે જ.

$$K_{sp} = 2.0 \times 10^{-15} = [Ni^{2+}] [OH^-]^2$$

$$= (S) (0.10 + 2S)^2$$

$K_{sp}$  નું મૂલ્ય ઓછું છે.  $2S \ll 0.10$ ,

આમ,  $(0.10 + 2S) \approx 0.10$

આથી,

$$2.0 \times 10^{-15} = S (0.10)^2$$

$$S = 2.0 \times 10^{-13} \text{ M} = [Ni^{2+}]$$

નિર્બળ એસિડના ક્ષાર જેવા કે ફોસ્ફેટની દ્રાવ્યતા નીચા pH મૂલ્યે વધે છે. આનું કારણ એ છે કે નીચા pH મૂલ્યે ઋણાયનની સાંદ્રતા પ્રોટોનેશનને (પ્રોટોન સાથે જોડાવું) કારણે ઘટે છે અને પરિણામે ક્ષારની દ્રાવ્યતા વધે છે જેથી  $K_{sp} = Q_{sp}$  થશે. આપણે બે સંતુલનો એક સાથે સંતોષવા પડશે. એટલ કે,

$$K_{sp} = [M^+] [X^-],$$



$$K_a = \frac{[H^+(aq)] [X^-(aq)]}{[HX(aq)]}$$

$$[X^-] / [HX] = K_a / [H^+]$$

બન્ને બાજુનું વ્યસ્ત લઈને 1 ઉમેરતાં,

$$\frac{[HX]}{[X^-]} + 1 = \frac{[H^+]}{K_a} + 1$$

$$\frac{[HX] + [H^+]}{[X^-]} = \frac{[H^+] + K_a}{K_a}$$

હવે ફરીથી વ્યસ્ત લેતાં, આપણને મળશે.

$[X^-] / \{[X^-] + [HX]\} = f = K_a / (K_a + [H^+])$  અને એ સ્પષ્ટ થાય છે pH ઘટે છે તેમ 'f' ઘટે છે. જો આપેલ pH મૂલ્યે ક્ષારની દ્રાવ્યતા S હોય તો,

$$K_{sp} = [S] [f S] = S^2 \{K_a / (K_a + [H^+])\}$$
 અને
$$S = \{K_{sp} ([H^+] + K_a) / K_a\}^{1/2} \quad (7.42)$$

આમ  $[H^+]$  માં વધારાથી અથવા pH મૂલ્યમાં ઘટાડાથી દ્રાવ્યતા Sમાં વધારો થશે.

## સારાંશ

જ્યારે પ્રવાહી સ્વરૂપમાંથી નીકળી બાષ્પ સ્વરૂપમાં જતાં અણુઓની સંખ્યા તથા બાષ્પ સ્વરૂપમાંથી પ્રવાહી સ્વરૂપમાં જતાં અણુઓની સંખ્યા સરખી થાય ત્યારે સંતુલન પ્રાપ્ત થયું છે તેમ કહેવાય છે અને તે સ્વભાવે ગતિશીલ હોય છે. સંતુલન ભૌતિક અને રાસાયણિક બંને પ્રક્રમો માટે પ્રાપ્ત કરી શકાય છે અને આ તબક્કે પુરોગામી અને પ્રતિગામી પ્રક્રિયાના દર (વેગ) સરખાં થાય છે. **સંતુલન અચળાંક**  $K_c$ ને દર્શાવવા માટે નીપજોની સાંદ્રતાના ગુણાકારને પ્રક્રિયાકોની સાંદ્રતાના ગુણાકાર વડે ભાગવામાં આવે છે અને પર્યાયને તત્ત્વયોગમિતિય ગુણાંકના ઘાતાંકમાં મૂકવામાં આવે છે.



$$\text{માટે } K_c = \frac{[C]^c[D]^d}{[A]^a[B]^b}$$

સંતુલન અચળાંક નિશ્ચિત કરેલા તાપમાને અચળ મૂલ્ય હોય છે અને આ તબક્કે બધા જ સ્થૂળદર્શીય ગુણધર્મો જેવાં કે સાંદ્રતા, દબાણ વગેરે અચળ થાય છે. વાયુમય પ્રક્રિયા માટે સંતુલન અચળાંક  $K_p$  વડે દર્શાવાય છે અને તેને  $K_c$  માટે દર્શાવેલા સાંદ્રતા પર્યાયોની સાથે આંશિક દબાણના પર્યાયોથી દર્શાવાય છે. પ્રક્રિયાની દિશા પ્રક્રિયા ભાગફળ (Quotient)  $Q_c$ ના પ્રાક્કથનથી નક્કી કરી શકાય છે. ભાગફળનું મૂલ્ય સંતુલને  $K_c$  જેટલું હોય છે. **લ શેટેલિયરનો સિદ્ધાંત** નિવેદિત કરે છે કે જ્યારે તાપમાન, દબાણ કે સાંદ્રતા જેવા પરિબળમાં ફેરફાર કરવામાં આવે તો પ્રક્રિયા સંતુલનને એવી દિશામાં ધકેલે છે કે જેથી અસરનો સામનો કરે (counteract) અથવા ઘટાડે. તેનો ઉપયોગ સંતુલનની દિશા પર સાંદ્રતા, દબાણ, તાપમાન, ઉદ્દીપક કે નિષ્ક્રિય વાયુઓની અસરના અભ્યાસ માટે ઉપયોગ કરી શકાય. તે આ પ્રક્રિયા મિશ્રણના ઘટાડાને અસર કરતું નથી, પરંતુ **ઉદ્દીપક** પ્રક્રિયાકોમાંથી નીપજો મેળવવામાં અથવા નીપજોમાંથી પ્રક્રિયાકો મેળવવા માટે નવા વધુ નીચી ઊર્જાવાળા માર્ગો પ્રાપ્ત કરી આપી શકે છે.

બધા જ પદાર્થો જે જલીય દ્રાવણોમાં વિદ્યુતનું વહન કરે છે તેને **વિદ્યુતવિભાજ્યો** કહે છે. એસિડ, બેઈઝ અને ક્ષાર વિદ્યુતવિભાજ્યો છે અને તેમના જલીય દ્રાવણો દ્વારા વિદ્યુતનું વહન **વિદ્યુતવિભાજ્યોનું જલીય દ્રાવણમાં વિયોજન અથવા આયનીકરણ**ને લીધે ઉત્પન્ન થતા ધનાયન અને ઋણાયનને કારણે હોય છે. પ્રબળ વિદ્યુતવિભાજ્યો સંપૂર્ણ વિયોજિત થાય છે. નિર્બળ વિદ્યુતવિભાજ્યોમાં આયનો અને અવિયોજિત વિદ્યુતવિભાજ્ય અણુઓ વચ્ચે સંતુલન હોય છે. **આર્હેનિયસના** મત પ્રમાણે **એસિડ** તેમના જલીય દ્રાવણમાં હાઈડ્રોજન આયન અને બેઈઝ તેમના જલીય દ્રાવણમાં હાઈડ્રોક્સિલ આયન આપે છે, જ્યારે બીજી બાજુ **બ્રોન્સ્ટેડ-લોરી** વાદ એસિડને પ્રોટોનદાતા અને બેઈઝને પ્રોટોનગ્રાહી (સ્વીકારનાર) કહે છે, જ્યારે બ્રોન્સ્ટેડ-લોરી એસિડ બેઈઝ સાથે પ્રક્રિયા કરે છે ત્યારે સંયુગ્મ બેઈઝ અને જે બેઈઝ સાથે પ્રક્રિયા કરે છે તેને અનુરૂપ સંયુગ્મ એસિડ ઉત્પન્ન કરે છે. આમ **એસિડ-બેઈઝની સંયુગ્મ જોડ** માત્ર પ્રોટોનનો તફાવત ધરાવે છે. **લુઈસે** આગળ ઉપર વ્યાખ્યાનું સામાન્યીકરણ કર્યું અને જણાવ્યું કે એસિડ એટલે ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ સ્વીકારનાર અને બેઈઝ એટલે ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મદાતા. નિર્બળ એસિડ અને નિર્બળ બેઈઝના આયનીકરણ અચળાંક (સંતુલન અચળાંક) અનુક્રમે ( $K_a$ ) અને ( $K_b$ ) આર્હેનિયસની વ્યાખ્યાનો ઉપયોગ કરી ઉપજાવ્યા. આયનીકરણ અંશ અને તેની સાંદ્રતા પર તથા સમાન આયનની અસરની ચર્ચા કરી. હાઈડ્રોજન આયનની સાંદ્રતા અથવા સક્રિયતા માટે **pH માપકમ** ( $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$ ) દાખલ કર્યો અને તેના ઉપયોગ અન્ય જથ્થાઓ ( $\text{pOH} = -\log[\text{OH}^-]$ );  $\text{pK}_a = -\log[\text{K}_a]$ ;  $\text{pK}_b = -\log[\text{K}_b]$  અને  $\text{pK}_w = -\log[\text{K}_w]$  વગેરે) માટે વિકસાવ્યો. પાણીના આયનીકરણને પણ ધ્યાનમાં લેવાયું અને આપણે જાણીએ છીએ કે  $\text{pH} + \text{pOH} = \text{pK}_w$  હંમેશાં સંતોષાય છે. પ્રબળ એસિડ અને નિર્બળ બેઈઝનો ક્ષાર, નિર્બળ એસિડ અને પ્રબળ બેઈઝનો ક્ષાર તથા નિર્બળ એસિડ અને નિર્બળ બેઈઝનો ક્ષાર જલીય દ્રાવણમાં જળવિભાજન પ્રક્રિયા કરે છે. **બફર દ્રાવણો**ની વ્યાખ્યા અને તેમની અગત્ય ટૂંકમાં ચર્ચા છે. અલ્પદ્રાવ્ય ક્ષારોના દ્રાવ્યતા સંતુલનની ચર્ચા પણ કરેલી છે અને સંતુલન અચળાંકને દ્રાવ્યતા ગુણાકાર અચળાંક ( $K_{sp}$ ) તરીકે સમજાવેલ છે.  $K_{sp}$ નો દ્રાવ્યતા સાથે સંબંધ પણ પ્રસ્થાપિત કરવામાં આવ્યો છે. ક્ષારોને તેમના દ્રાવણમાંથી અવક્ષેપિત કરવા માટેની શરતો અથવા તેમના પાણીમાં દ્રાવ્યતા અંગે પણ ગણતરીઓ દર્શાવાયેલ છે. સમાન આયનની અસર અલ્પદ્રાવ્ય ક્ષારોની દ્રાવ્યતા અંગે પણ ચર્ચા કરવામાં આવી છે.

### વિદ્યાર્થીઓ માટે આ એકમને લગતી સૂચિત પ્રવૃત્તિઓ

- વિદ્યાર્થી pH પેપરના ઉપયોગ પ્રાપ્ય જુદા જુદા શાકભાજી અને ફળો, તાજા જ્યુસ, ઠંડાપીણા, શરીરમાંના દ્રવ અને પાણીના નમૂનાઓની pH માપવા માટે કરી શકે છે.
- pH પેપરનો ઉપયોગ કરી જુદા જુદા ક્ષારના દ્રાવણોની pH નક્કી કરી શકે છે અને તેમાંથી તે/તેણી નક્કી કરી શકે છે કે આ ક્ષાર પ્રબળ/નિર્બળ એસિડ અને પ્રબળ / નિર્બળ બેઈઝમાંથી બન્યા છે.
- વિદ્યાર્થીઓ એસિટિક એસિડ અને સોડિયમ એસિટેટના દ્રાવણોને મિશ્ર કરીને કેટલાક બફર દ્રાવણો બનાવી શકે છે અને તેનો ઉપયોગ pH પેપર વડે તેમની pH માપવા માટે કરી શકે છે.
- તેમને જુદા જુદા સૂચકો આપવા જોઈએ જેથી તેઓ જુદી જુદી pH વાળા દ્રાવણોમાં મળતાં રંગનું અવલોકન કરી શકે.
- તેઓ સૂચક વાપરીને કેટલાક એસિડ-બેઈઝ અનુમાપન પણ કરી શકે છે.
- તે અલ્પદ્રાવ્ય ક્ષારોની દ્રાવ્યતા પર સમાન આયનની અસરના અવલોકન કરી શકે છે.
- જો તેમની શાળામાં pH મીટર પ્રાપ્ય હોય તો કેટલાક દ્રાવણની pH તેનાથી માપે અને મળેલા મૂલ્યોને pH પેપરના ઉપયોગથી મેળવેલ મૂલ્યો સાથે સરખાવે.

### સ્વાધ્યાય

- એક પ્રવાહી નિશ્ચિત તાપમાને એક સીલ કરેલ (sealed) પાત્રમાં તેની બાષ્પ સાથે સંતુલનમાં છે. પાત્રનું કદ એકદમ જ વધી ગયું.
  - બાષ્પદબાણ પર આ ફેરફારની શું પ્રારંભિક અસર હશે ?
  - બાષ્પીભવન અને સંઘનનના દર પ્રારંભિક રીતે બદલાશે ?
  - જો અંતે સંતુલન પુનઃસ્થાપિત થાય તો અંતિમ બાષ્પદબાણ કેટલું હશે ?
- નીચેના સંતુલન માટે  $K_c$  નું મૂલ્ય કેટલું થશે, જ્યારે દરેક પદાર્થની સંતુલન સાંદ્રતા નીચે પ્રમાણે છે :  
 $[SO_2] = 0.60M$ ,  $[O_2] = 0.82M$  અને  $[SO_3] = 1.90M$  ?  

$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$$
- અમુક તાપમાને અને કુલ દબાણ  $10^5 Pa$  એ આયોડિન બાષ્પની સાંદ્રતા કદથી 40 % I પરમાણુ ધરાવે છે.  

$$I_2(g) \rightleftharpoons 2I(g)$$
 સંતુલન માટે  $K_p$  ગણો.
- નીચેની દરેક પ્રક્રિયા માટે સંતુલન અચળાંક  $K_c$  માટેના સૂત્રો દર્શાવો :
  - $2NOCl(g) \rightleftharpoons 2NO(g) + Cl_2(g)$
  - $2Cu(NO_3)_2(s) \rightleftharpoons 2CuO(s) + 4NO_2(g) + O_2(g)$
  - $CH_3COOC_2H_5(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons CH_3COOH(aq) + C_2H_5OH(aq)$
  - $Fe^{3+}(aq) + 3OH^-(aq) \rightleftharpoons Fe(OH)_3(s)$
  - $I_2(s) + 5F_2 \rightleftharpoons 2IF_5$
- નીચેની દરેક પ્રક્રિયા માટે  $K_p$  ના મૂલ્યમાંથી  $K_c$  નું મૂલ્ય મેળવો :
  - $2NOCl(g) \rightleftharpoons 2NO(g) + Cl_2(g)$ ;  $K_p = 1.8 \times 10^{-2}$ ; 500 K તાપમાને
  - $CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2(g)$ ;  $K_p = 167$ ; 1073 K તાપમાને
- નીચેની પ્રક્રિયા માટે સંતુલન અચળાંક  $K_c = 6.3 \times 10^{14}$ ; 1000 K તાપમાને છે.  

$$NO(g) + O_3(g) \rightleftharpoons NO_2(g) + O_2(g)$$
 બન્ને પુરોગામી અને પ્રતિગામી પ્રક્રિયાઓ સંતુલનમાં પ્રાથમિક રીતે (elementary) દ્વિઆણ્વીય છે. પ્રતિગામી પ્રક્રિયા માટે  $K_c$  કેટલો હશે ?
- સંતુલન અચળાંકની રજૂઆત લખતી વખતે શા માટે શુદ્ધ પ્રવાહી અને ઘનને (અચળ) અવગણવામાં આવે છે ?

- 7.8  $N_2$  અને  $O_2$  વચ્ચે નીચે પ્રમાણે પ્રક્રિયા થાય છે :  $2N_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2N_2O(g)$   
જો 0.482 mol  $N_2$  અને 0.933 mol  $O_2$  ના મિશ્રણને 10 L ના પ્રક્રિયા પાત્રમાં લેવામાં આવે અને તેમાંથી  $N_2O$  બનવા દેવામાં આવે એ તાપમાને કે જ્યારે તેના  $K_p$  નું મૂલ્ય  $2.0 \times 10^{-37}$  છે. સંતુલન મિશ્રણનું ઘટક પ્રમાણ નક્કી કરો.
- 7.9 નાઈટ્રિક ઓક્સાઈડ  $Br_2$  સાથે પ્રક્રિયા કરે છે અને નીચે આપેલી પ્રક્રિયા પ્રમાણે નાઈટ્રોસીલ બ્રોમાઈડ આપે છે :  $2NO(g) + Br_2(g) \rightleftharpoons 2NOBr(g)$   
જ્યારે 0.087 mol NO અને 0.0437 mol  $Br_2$  ને એક બંધ પાત્રમાં અચળ તાપમાને મિશ્ર કરવામાં આવે છે, ત્યારે 0.0518 mol NOBr સંતુલને મળે છે. NO અને  $Br_2$ ના સંતુલન જથ્થા (amount) નક્કી કરો.
- 7.10 આપેલ પ્રક્રિયા માટે સંતુલન સમયે 450K તાપમાને  $K_p = 2.0 \times 10^{10}/\text{bar}$  છે.  
 $2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$   
આ તાપમાને  $K_c$  કેટલો હશે ?
- 7.11 HI(g)ના એક નમૂનાને ફ્લાસ્કમાં 0.2 atm દબાણે લેવામાં આવેલ છે. સંતુલને HI(g)નું આંશિક દબાણ 0.04 atm છે. આપેલ સંતુલન માટે  $K_p$  કેટલો થશે ?  
 $2HI(g) \rightleftharpoons H_2(g) + I_2(g)$
- 7.12 500 K તાપમાને 1.57 mol  $N_2$ , 1.92 mol  $H_2$  અને 8.13 mol  $NH_3$  ના મિશ્રણને 20 L ના પ્રક્રિયા પાત્રમાં દાખલ કરવામાં આવ્યા. આ તાપમાને સંતુલન અચળાંક  $K_c$ ,  $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$  પ્રક્રિયા માટે  $1.7 \times 10^2$  છે. પ્રક્રિયા મિશ્રણ સંતુલનમાં છે ? જો ના તો ચોખ્ખી (net) પ્રક્રિયાની દિશા કઈ હશે ?
- 7.13 વાયુમય પ્રક્રિયા માટે સંતુલન અચળાંકનું સૂત્ર છે :  $K_c = \frac{[NH_3]^4 [O_2]^5}{[NO]^4 [H_2O]^6}$   
આ સૂત્રને અનુરૂપ સંતુલિત રાસાયણિક સમીકરણ લખો.
- 7.14 એક મોલ  $H_2O$  એક મોલ CO, 10 L પાત્રમાં લેવામાં આવેલ છે અને 725 K તાપમાને ગરમ કરવામાં આવેલ છે. સંતુલને 40 % પાણી (દળથી) CO સાથે નીચેની પ્રક્રિયા પ્રમાણે પ્રક્રિયા કરે છે :  
 $H_2O(g) + CO(g) \rightleftharpoons H_2(g) + CO_2(g)$   
પ્રક્રિયા માટે સંતુલન અચળાંક ગણો.
- 7.15 700 K તાપમાને,  $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$   
પ્રક્રિયા માટે સંતુલન અચળાંક 54.8 છે. જો 0.5 mol  $L^{-1}$  HI(g) 700 K તાપમાને સંતુલનમાં હાજર છે.  $H_2(g)$  અને  $I_2(g)$ ની સાંદ્રતા કેટલી હશે. જો આપણે એમ ધારીએ કે 700 K તાપમાને HI(g)થી શરૂઆત કરી હતી.
- 7.16 જો ICl ની પ્રારંભિક સાંદ્રતા 0.78 M હોય ત્યારે સંતુલને દરેક પદાર્થની સંતુલન સાંદ્રતા કેટલી હશે ?  
 $2ICl(g) \rightleftharpoons I_2(g) + Cl_2(g); K_c = 0.14$
- 7.17 નીચે દર્શાવ્યા પ્રમાણેના સંતુલન માટે સંતુલન અચળાંક 899 K તાપમાને  $K_p = 0.04$  atm છે. જો તેને 4.0 atm દબાણે એક ફ્લાસ્કમાં લેવામાં આવે અને સંતુલન પ્રાપ્તિ માટે રાખવામાં આવે તો,  $C_2H_6$ ની સંતુલન સાંદ્રતા કેટલી હશે ?  
 $C_2H_6(g) \rightleftharpoons C_2H_4(g) + H_2(g)$
- 7.18 ઈથેનોલ અને એસિટિક એસિડ વચ્ચે પ્રક્રિયા થવાથી ઈથાઈલ એસિટેટ બને છે અને તેના સંતુલનને નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય :  
 $CH_3COOH(l) + C_2H_5OH(l) \rightleftharpoons CH_3COOC_2H_5(l) + H_2O(l)$   
(i) આ પ્રક્રિયા માટે સાંદ્રતા ગુણોત્તર (પ્રક્રિયા ભાગફળ  $Q_c$ ) લખો. (નોંધ : પાણી વધુ પ્રમાણમાં નથી અને તે પ્રક્રિયામાં દ્રાવક પણ નથી.)

- (ii) 293 K તાપમાને કોઈ વ્યક્તિ 1.00 mol એસિટિક એસિડ અને 0.18 mol ઈથેનોલ લઈને પ્રક્રિયા શરૂ કરે છે. અંતિમ સંતુલન મિશ્રણમાં 0.171 mol ઈથાઈલ એસિટેટ છે. સંતુલન અચળાંક ગણો.
- (iii) 0.5 mol ઈથેનોલ અને 1.0 mol એસિટિક એસિડ લઈને શરૂઆત કરતાં અને તાપમાન 293 K જાળવી રાખતા થોડા સમય પછી 0.214 mol ઈથાઈલ એસિટેટ મળ્યો. શું સંતુલન પ્રાપ્ત થયું હશે ?
- 7.19 શુદ્ધ  $\text{PCl}_5$ નો એક નમૂનો શૂન્યાવકાશ કરેલા પાત્રમાં 473 K તાપમાને દાખલ કરવામાં આવ્યો. સંતુલન પ્રાપ્ત થયા બાદ  $\text{PCl}_5$ ની સાંદ્રતા  $0.5 \times 10^{-1} \text{ mol L}^{-1}$  જાણવા મળી. જો  $K_c$ નું મૂલ્ય  $8.3 \times 10^{-3}$  હોય તો સંતુલને  $\text{PCl}_3$  અને  $\text{Cl}_2$  ની સાંદ્રતા કેટલી હશે ?
- $$\text{PCl}_5(\text{g}) \rightleftharpoons \text{PCl}_3(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$$
- 7.20 આયર્નના અચસ્કમાંથી આયર્નના ઉત્પાદનની એક પદ્ધતિમાં આયર્ન(II)નું કાર્બન મોનોક્સાઈડ વડે રિડક્શન કરવામાં આવે છે, જેથી આયર્ન ધાતુ અને  $\text{CO}_2$  મળે છે.
- $$\text{FeO}(\text{s}) + \text{CO}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g}); K_p = 0.265 \text{ atm at } 1050\text{K}$$
- $\text{CO}$  અને  $\text{CO}_2$ ના સંતુલને આંશિક દબાણ 1050 K તાપમાને કેટલા હશે ?
- પ્રારંભિક આંશિક દબાણ છે :  $p_{\text{CO}} = 1.4 \text{ atm}$  અને  $p_{\text{CO}_2} = 0.80 \text{ atm}$ ?
- 7.21 પ્રક્રિયા  $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$  માટે સંતુલિત અચળાંક 500 K તાપમાને  $K_c = 0.061$ . કોઈ એક સમયે પૃથક્કરણ દર્શાવે છે કે સંઘટન મિશ્રણનું પ્રમાણ  $3.0 \text{ mol L}^{-1} \text{ N}_2$ ,  $2.0 \text{ mol L}^{-1} \text{ H}_2$  અને  $0.5 \text{ mol L}^{-1} \text{ NH}_3$  છે. શું પ્રક્રિયા સંતુલનમાં છે ? જો ના હોય તો પ્રક્રિયા કઈ દિશામાં જવાનું વલણ દર્શાવશે જેથી સંતુલને પહોંચી શકાય.
- 7.22 બ્રોમિન મોનોક્લોરાઈડ,  $\text{BrCl}$  બ્રોમિન અને ક્લોરિનમાં સંતુલન પ્રાપ્ત કરે છે.
- $$2\text{BrCl}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{Br}_2(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$$
- તેને માટે 500 K તાપમાને  $K_c = 32$  જો શરૂઆતમાં શુદ્ધ  $\text{BrCl}$  હાજર હોય અને તેની સાંદ્રતા  $3.3 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$  હોય તો તેની સંતુલને મિશ્રણમાં સાંદ્રતા કેટલી હશે ?
- 7.23 1127 K તાપમાને અને 1 atm દબાણે  $\text{CO}$  અને  $\text{CO}_2$  નું મિશ્રણ ઘન કાર્બન સાથે જેમાં દળથી 90.55%  $\text{CO}$  છે. તેની સાથે સંતુલનમાં છે.
- $$\text{C}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CO}(\text{g})$$
- ઉપરના તાપમાને પ્રક્રિયા માટે  $K_c$  ગણો.
- 7.24 298 K તાપમાને  $\text{NO}$  અને  $\text{O}_2$  માંથી  $\text{NO}_2$  ના સર્જન માટે (a)  $\Delta G^\circ$  અને (b) સંતુલન અચળાંક ગણો.
- $$\text{NO}(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{NO}_2(\text{g})$$
- જ્યાં,  $\Delta_f G^\circ (\text{NO}_2) = 52.0 \text{ kJ/mol}$ ;  $\Delta_f G^\circ (\text{NO}) = 87.0 \text{ kJ/mol}$ ;  $\Delta_f G^\circ (\text{O}_2) = 0 \text{ kJ/mol}$
- 7.25 નીચેના સંતુલનો માટે કદમાં વધારો કરી દબાણમાં ઘટાડો કરવામાં આવ્યો તો પ્રક્રિયા નીપજના મોલની સંખ્યા વધશે, ઘટશે કે સરખી જ રહેશે (બદલાશે નહિ).
- (a)  $\text{PCl}_5(\text{g}) \rightleftharpoons \text{PCl}_3(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$       (b)  $\text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CaCO}_3(\text{s})$
- (c)  $3\text{Fe}(\text{s}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{Fe}_3\text{O}_4(\text{s}) + 4\text{H}_2(\text{g})$
- 7.26 નીચેનામાંથી કઈ પ્રક્રિયા પર દબાણના વધારાની અસર પડશે ? એ પણ જણાવો કે ફેરફારને લીધે પ્રક્રિયા પુરોગામી કે પ્રતિગામી દિશામાં થશે ?
- (i)  $\text{COCl}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$       (ii)  $\text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{S}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CS}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{S}(\text{g})$
- (iii)  $\text{CO}_2(\text{g}) + \text{C}(\text{s}) \rightleftharpoons 2\text{CO}(\text{g})$       (iv)  $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{CO}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$
- (v)  $\text{CaCO}_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$       (vi)  $4\text{NH}_3(\text{g}) + 5\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 4\text{NO}(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{g})$
- 7.27 નીચેની પ્રક્રિયા માટે 1024 K તાપમાને સંતુલન અચળાંક  $1.6 \times 10^5$  છે.
- $$\text{H}_2(\text{g}) + \text{Br}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HBr}(\text{g})$$
- 1024 K તાપમાને જો સીલ કરેલા પાત્રમાં 10.0 bar દબાણે  $\text{HBr}$  ને દાખલ કરવામાં આવે તો બધા જ વાયુઓના સંતુલન દબાણ શોધો.

- 7.28 નીચેની ઉષ્માશોષક પ્રક્રિયા પ્રમાણે કુદરતી વાયુના અંશતઃ ઓક્સિડેશનથી ડાયહાઇડ્રોજન વાયુ મળ્યો છે :
- $$\text{CH}_4(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g})$$
- (a) ઉપરની પ્રક્રિયા માટે  $K_p$  નું સૂત્ર લખો.  
 (b) જો, (i) દબાણ વધારવામાં આવે. (ii) તાપમાન વધારવામાં આવે. (iii) ઉદ્દીપકનો ઉપયોગ કરવામાં આવે. તો  $K_p$  ના મૂલ્યો અને સંતુલન મિશ્રણના સંઘટન (composition) પર શું અસર થશે ?
- 7.29 નીચેનાની  $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{CO}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$  પ્રક્રિયાના સંતુલન પર અસર વર્ણવો :
- (a)  $\text{H}_2$  ઉમેરવામાં આવે (b)  $\text{CH}_3\text{OH}$  ઉમેરવામાં આવે  
 (c)  $\text{CO}$  દૂર કરવામાં આવે (d)  $\text{CH}_3\text{OH}$  દૂર કરવામાં આવે.
- 7.30 473 K તાપમાને ફોસ્ફરસ પેન્ટાક્લોરાઇડ  $\text{PCl}_5$  ના વિઘટન માટેનો સંતુલન અચળાંક  $K_c = 8.3 \times 10^{-3}$  છે. જો સંતુલન આ પ્રમાણે દર્શાવવામાં આવે તો,
- $$\text{PCl}_5(\text{g}) \rightleftharpoons \text{PCl}_3(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \quad \Delta_r H^\ominus = 124.0 \text{ kJ mol}^{-1}$$
- (a) પ્રક્રિયાના  $K_c$  માટેનું સૂત્ર લખો.  
 (b) સમાન તાપમાને પ્રતિવર્તી પ્રક્રિયાના  $K_c$  નું મૂલ્ય કેટલું હશે ?  
 (c)  $K_c$  ઉપર શું અસર પડશે. જો (i) વધારે  $\text{PCl}_5$  ઉમેરવામાં આવે. (ii) દબાણ વધારવામાં આવે. (iii) તાપમાન વધારવામાં આવે.
- 7.31 હેબર વિધિમાં વપરાતો ડાયહાઇડ્રોજન કુદરતી વાયુમાંના મિથેન વાયુ સાથે ઊંચા તાપમાને વરાળ સાથે પ્રક્રિયા કરી મેળવવામાં આવે છે. બે તબક્કાની પ્રક્રિયામાં પ્રથમ તબક્કો  $\text{CO}$  અને  $\text{H}_2$  ના સર્જનનો સમાવેશ કરે છે અને પ્રક્રિયાનો બીજો તબક્કો પ્રથમ તબક્કામાં બનેલો  $\text{CO}$  જળવાયુમાં વધુ વરાળ સાથે પ્રક્રિયા કરવામાં આવે છે અને પ્રક્રિયા ખસે છે.
- $$\text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$$
- જો  $400^\circ\text{C}$  તાપમાને પ્રક્રિયા પાત્રમાં  $\text{CO}$  અને વરાળના સરખા મોલર મિશ્રણ લેવામાં આવે જેથી  $p_{\text{CO}} = p_{\text{H}_2\text{O}} = 4.0 \text{ bar}$ . સંતુલને  $\text{H}_2$  નું આંશિક દબાણ કેટલું હશે ?  $400^\circ\text{C}$  તાપમાને  $K_p = 10.1$ .
- 7.32 નીચેનામાંથી કઈ પ્રક્રિયામાં પ્રક્રિયકો અને નીપજોની સાંદ્રતા ગણનાપાત્ર (appreciable) હશે ?
- (a)  $\text{Cl}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{Cl}(\text{g}) \quad K_c = 5 \times 10^{-39}$   
 (b)  $\text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{NO}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NOCl}(\text{g}) \quad K_c = 3.7 \times 10^8$   
 (c)  $\text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{NO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2\text{Cl}(\text{g}) \quad K_c = 1.8$
- 7.33  $25^\circ\text{C}$  તાપમાને  $3\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{O}_3(\text{g})$  પ્રક્રિયા માટે  $K_c$  નું મૂલ્ય  $2.0 \times 10^{-50}$  છે. જો હવામાં  $\text{O}_2$  ની સંતુલન સાંદ્રતા  $1.6 \times 10^{-2}$   $25^\circ\text{C}$  તાપમાને હોય તો,  $\text{O}_3$  ની સાંદ્રતા કેટલી હશે ?
- 7.34  $\text{CO}(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_4(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$  પ્રક્રિયા  $1300 \text{ K}$  તાપમાને  $1 \text{ L}$  ના ફ્લાસ્કમાં સંતુલને છે. તે ફ્લાસ્કમાં  $0.30 \text{ mol CO}$ ,  $0.10 \text{ mol H}_2$  અને  $0.02 \text{ mol H}_2\text{O}$  ઉપરાંત  $\text{CH}_4$  નો અજ્ઞાત જથ્થો ધરાવે છે. મિશ્રણમાં  $\text{CH}_4$  ની સાંદ્રતા ગણો. આપેલ તાપમાને પ્રક્રિયાનો સંતુલન અચળાંક  $3.90$  છે.
- 7.35 સંયુગ્મ એસિડ-બેઇઝ યુગ્મ (જોડ)નો અર્થ શું છે ? નીચેની સ્પીસિઝ માટે સંયુગ્મ એસિડ/બેઇઝ શોધો :  $\text{HNO}_2$ ,  $\text{CN}^-$ ,  $\text{HClO}_4$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ , અને  $\text{S}^{2-}$
- 7.36 નીચેનામાંથી કયા લુઇસ એસિડ છે ?  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{BF}_3$ ,  $\text{H}^+$  અને  $\text{NH}_4^+$
- 7.37 બ્રોન્સ્ટેડ એસિડ  $\text{HF}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  અને  $\text{HCO}_3^-$  માટે સંયુગ્મ બેઇઝ શું હશે ?
- 7.38 નીચેના બ્રોન્સ્ટેડ બેઇઝ માટે સંયુગ્મ એસિડ લખો :  $\text{NH}_2^-$ ,  $\text{NH}_3$  અને  $\text{HCOO}^-$ .
- 7.39  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{HSO}_4^-$  અને  $\text{NH}_3$  જેવી સ્પીસિઝ લુઇસ એસિડ અને લુઇસ બેઇઝ તરીકે વર્તી શકે છે. દરેકને માટે અનુરૂપ સંયુગ્મ એસિડ કે બેઇઝ લખો.
- 7.40 નીચેની સ્પીસિઝને લુઇસ એસિડ અને લુઇસ બેઇઝમાં વર્ગીકરણ કરો અને દર્શાવો કે તે કેવી રીતે એસિડ/બેઇઝ તરીકે વર્તે છે : (a)  $\text{OH}^-$  (b)  $\text{F}^-$  (c)  $\text{H}^+$  (d)  $\text{BCl}_3$ .

- 7.41 એક ઠંડા પીણાંનાં નમૂનામાં હાઈડ્રોજન આયનની સાંદ્રતા  $3.8 \times 10^{-3} \text{ M}$  છે, તેની pH કેટલી હશે ?
- 7.42 સરકો(Vinegar)ના નમૂનાનો pH 3.76 છે. તેમાં હાઈડ્રોજન આયનની સાંદ્રતા શોધો.
- 7.43 298 K તાપમાને HF, HCOOH અને HCNના આયનીકરણ અચળાંક અનુક્રમે  $6.8 \times 10^{-4}$ ,  $1.8 \times 10^{-4}$  અને  $4.8 \times 10^{-9}$  છે. તેમના અનુરૂપ સંયુગ્મ બેઈઝના આયનીકરણ અચળાંક ગણો.
- 7.44 ફિનોલનો આયનીકરણ અચળાંક 298 K તાપમાને  $1.0 \times 10^{-10}$  છે. 0.05 M ફિનોલના દ્રાવણમાં ફિનોલેટ આયનની સાંદ્રતા કેટલી હશે ? જો દ્રાવણ 0.01 M સોડિયમ ફિનોલેટનું હોય તો આયનીકરણ અંશ કેટલો હશે ?
- 7.45  $\text{H}_2\text{S}$ નો પ્રથમ આયનીકરણ અચળાંક  $9.1 \times 10^{-8}$  છે. તેના 0.1 M દ્રાવણમાં  $\text{HS}^-$  આયનની સાંદ્રતા ગણો. જો આ દ્રાવણમાં 0.1M HCl હોય તો ગણેલી સાંદ્રતા પર શું અસર પડશે. જો  $\text{H}_2\text{S}$ નો બીજો આયનીકરણ અચળાંક  $1.2 \times 10^{-13}$  હોય તો બન્ને પરિસ્થિતિમાં  $\text{S}^{2-}$  આયનની સાંદ્રતા ગણો.
- 7.46 ઍસિટિક ઍસિડનો આયનીકરણ અચળાંક  $1.74 \times 10^{-5}$  છે. તેના 0.05 M દ્રાવણમાં વિયોજન અંશ ગણો. દ્રાવણમાં ઍસિટેટ આયનની સાંદ્રતા અને તેની pH ગણો.
- 7.47 એવું જાણવા મળ્યું છે કે એક કાર્બનિક ઍસિડની તેના 0.01 M સાંદ્રતાના દ્રાવણની pH 4.15 છે. ઋણાણનની સાંદ્રતા, ઍસિડનો આયનીકરણ અચળાંક અને તેનો  $pK_a$  ગણો.
- 7.48 સંપૂર્ણ વિયોજન થાય છે એમ ધારીને નીચેના દ્રાવણોની pH ગણો :
- (a) 0.003 M HCl (b) 0.005 M NaOH (c) 0.002 M HBr (d) 0.002 M KOH
- 7.49 નીચેના દ્રાવણોની pH ગણો :
- (a) 2 g TIOH પાણીમાં ઓગાળી 2 લિટર દ્રાવણ બનાવ્યું.
- (b) 0.3 g  $\text{Ca(OH)}_2$  પાણીમાં ઓગાળી 500 mL દ્રાવણ બનાવ્યું.
- (c) 0.3 g NaOH પાણીમાં ઓગાળી 200 mL દ્રાવણ બનાવ્યું.
- (d) 13.6 M HClના 1 mLને પાણી વડે મંદ કરી 1 લિટર દ્રાવણ બનાવ્યું.
- 7.50 0.1 M બ્રોમો ઍસિટિક ઍસિડ દ્રાવણનો આયનીકરણ અચળાંક 0.132 છે. બ્રોમો ઍસિટિક ઍસિડ દ્રાવણની pH ગણો અને તેનો  $pK_a$  પણ ગણો.
- 7.51 0.005M કોડિન ( $\text{C}_{18}\text{H}_{21}\text{NO}_3$ ) દ્રાવણની pH 9.95 છે. તેનો આયનીકરણ અચળાંક ગણો અને  $pK_b$  પણ ગણો.
- 7.52 0.001 M ઍનિલિન દ્રાવણની pH કેટલી હશે ? ઍનિલિનનો આયનીકરણ અચળાંક કોષ્ટક 7.7માંથી લઈ શકાય છે. દ્રાવણમાં ઍનિલિનનો આયનીકરણ અંશ ગણો. ઍનિલિનના સંયુગ્મ ઍસિડનો આયનીકરણ અચળાંક પણ ગણો.
- 7.53 જો ઍસિટિક ઍસિડના  $pK_a$  નું મૂલ્ય 4.74 હોય તો 0.05 M ઍસિટિક ઍસિડનો આયનીકરણ અંશ ગણો. જો તેનું દ્રાવણ (a) 0.01M HCl અને (b) 0.1M HCl ધરાવતું હોય તો તેનો વિયોજન અંશ કઈ રીતે અસર પામશે ?
- 7.54 ડાયમિથાઈલ એમાઈનનો આયનીકરણ અચળાંક  $5.4 \times 10^{-4}$  છે. તેના 0.02M દ્રાવણમાં તેનો આયનીકરણ અંશ ગણો. જો દ્રાવણ 0.1 M NaOH ધરાવતું હોય તો ડાયમિથાઈલ એમાઈનનું કેટલા ટકા આયનીકરણ થયું હશે ?
- 7.55 નીચેના જૈવિક દ્રવમાં હાઈડ્રોજન આયનની સાંદ્રતા ગણો જેમના pH આપેલા છે :
- (a) માનવ સ્નાયુ દ્રવ, 6.83 (b) માનવ જઠર દ્રવ, 1.2
- (c) માનવ રુધિર (લોહી) 7.38 (d) માનવ લાળ, 6.4.
- 7.56 દૂધ, કાળી કોફી, ટામેટાનો જ્યૂસ, લીંબુનો જ્યૂસ અને ઈંડાંની સફેદીના pH અનુક્રમે 6.8, 5.0, 4.2, 2.2 અને 7.8 છે. દરેકમાં તેને અનુરૂપ હાઈડ્રોજન આયન સાંદ્રતા ગણો.
- 7.57 જો 0.561 g KOH ને પાણીમાં ઓગાળી 298 K તાપમાને 200 mL દ્રાવણ બનાવવામાં આવ્યું. પોટેશિયમ, હાઈડ્રોજન આયન અને હાઈડ્રોક્સિલ આયનની સાંદ્રતા ગણો. તેની pH કેટલી હશે ?



- 7.58  $\text{Sr}(\text{OH})_2$ ની દ્રાવ્યતા 298 K તાપમાને તેના દ્રાવણમાં 19.23 g/L છે. સ્ટ્રોન્શિયમ અને હાઈડ્રોક્સિલ આયનની સાંદ્રતા ગણો. pH પણ ગણો.
- 7.59 પ્રોપેનોઈક એસિડનો આયનીકરણ અચળાંક  $1.32 \times 10^{-5}$  છે. તેના 0.05 M દ્રાવણમાં એસિડનો આયનીકરણ અંશ ગણો અને pH પણ ગણો. જો દ્રાવણમાં 0.01M HCl પણ હોય તો દ્રાવણનો આયનીકરણ અંશ કેટલો થશે ?
- 7.60 સાયનિક એસિડ (HCNO)ના 0.1 M દ્રાવણની pH 2.34 છે. એસિડનો આયનીકરણ અચળાંક ગણો અને દ્રાવણમાં તેનો આયનીકરણ અંશ ગણો.
- 7.61 નાઈટ્રસ એસિડનો આયનીકરણ અચળાંક  $4.5 \times 10^{-4}$  છે. 0.04 M સોડિયમ નાઈટ્રાઈટ દ્રાવણની pH ગણો અને તેનો જળવિભાજન અંશ પણ ગણો.
- 7.62 પિરીડીનિયમ હાઈડ્રોક્લોરાઈડના 0.02 M દ્રાવણની pH = 3.44 છે. પિરીડીનનો આયનીકરણ અચળાંક ગણો.
- 7.63 નીચેના ક્ષારોના દ્રાવણ તટસ્થ, એસિડિક કે બેઝિક હશે તેનું પ્રાક્ટ્યન કરો :  
NaCl, KBr, NaCN,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ,  $\text{NaNO}_2$  અને KF
- 7.64 ક્લોરોએસિટિક એસિડનો આયનીકરણ અચળાંક  $1.35 \times 10^{-3}$  છે. 0.1 M એસિડની pH કેટલી હશે ? અને તેના 0.1 M સોડિયમ ક્ષારના દ્રાવણમાં pH કેટલી હશે ?
- 7.65 310 K તાપમાને પાણીનો આયનીય ગુણાકાર  $2.7 \times 10^{-14}$  છે. આ તાપમાને તટસ્થ પાણીના દ્રાવણની pH કેટલી હશે ?
- 7.66 નીચેના મિશ્રણોમાં પરિણમતા દ્રાવણની pH ગણો :  
a) 10 mL 0.2M  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  + 25 mL 0.1M HCl  
b) 10 mL 0.01M  $\text{H}_2\text{SO}_4$  + 10 mL 0.01M  $\text{Ca}(\text{OH})_2$   
c) 10 mL 0.1M  $\text{H}_2\text{SO}_4$  + 10 mL 0.1M KOH
- 7.67 298K તાપમાને સિલ્વર કોમેટ, બેરિયમ કોમેટ, ફેરિક હાઈડ્રોક્સાઈડ, લેડ ક્લોરાઈડ અને મરક્યુરસ ક્લોરાઈડની દ્રાવ્યતા કોષ્ટક 7.9માં આપેલ તેમના દ્રાવ્યતા ગુણાકાર અચળાંક પરથી ગણો. વ્યક્તિગત આયનોની મોલારિટી પણ નક્કી કરો.
- 7.68  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$  અને  $\text{AgBr}$ ના દ્રાવ્યતા ગુણાકાર અનુક્રમે  $1.1 \times 10^{-12}$  અને  $5.0 \times 10^{-13}$  છે. તેમના સંતૃપ્ત દ્રાવણોની મોલારિટીનો ગુણોત્તર ગણો.
- 7.69 સોડિયમ આયોડેટ અને ક્યુપ્રિક ક્લોરેટના 0.002 M દ્રાવણોના સરખા કદ ભેગા કરવામાં આવ્યા. તે કોપર આયોડેટના અવક્ષેપન તરફ દોરી જશે (અવક્ષેપન થશે) ? (ક્યુપ્રિક આયોડેટનો  $K_{sp} = 7.4 \times 10^{-8}$ ).
- 7.70 બેન્ઝોઈક એસિડનો આયનીકરણ અચળાંક  $6.46 \times 10^{-5}$  છે. સિલ્વર બેન્ઝોએટ માટે  $K_{sp} = 2.5 \times 10^{-13}$  છે. સિલ્વર બેન્ઝોએટ શુદ્ધ પાણીમાંની દ્રાવ્યતા કરતાં pH 3.19 વાળા બફર દ્રાવણમાં કેટલા ગણો વધારે દ્રાવ્ય થશે ?
- 7.71 ફેરસ સલ્ફેટ અને સોડિયમ સલ્ફાઈડના સરખી મોલારિટીવાળા દ્રાવણોની મહત્તમ સાંદ્રતા કેટલી હોવી જોઈએ કે જેથી ફેરસ સલ્ફાઈડના અવક્ષેપ મળે નહિ ? (આયર્ન સલ્ફાઈડ માટે  $K_{sp} = 6.3 \times 10^{-18}$ ).
- 7.72 298 K તાપમાને 1g કેલ્શિયમ સલ્ફેટને ઓગાળવા માટે પાણીનું ઓછામાં ઓછું કેટલું કદ જોઈશે ? (કેલ્શિયમ સલ્ફેટ માટે  $K_{sp}$  is  $9.1 \times 10^{-6}$ ).
- 7.73 0.1M HClના દ્રાવણમાં હાઈડ્રોજન સલ્ફાઈડ વડે સંતૃપ્ત બનાવ્યા પછી સલ્ફાઈડ આયનની સાંદ્રતા  $1.0 \times 10^{-19}$  M છે. જો આ દ્રાવણના 10 mL નીચેના પદાર્થોના 5 mL 0.04 M દ્રાવણમાં ઉમેરવામાં આવે તો તેમાંના કયા દ્રાવણમાં અવક્ષેપન થશે ?  
 $\text{FeSO}_4$ ,  $\text{MnCl}_2$ ,  $\text{ZnCl}_2$  અને  $\text{CdCl}_2$ .

## પાયાના SI એકમોની વ્યાખ્યાઓ

**મીટર (m) :** મીટર એટલે એક સેકન્ડના  $1/299\,792\,458$  સમયગાળા દરમિયાન શૂન્યાવકાશમાં પ્રકાશ વડે પસાર કરવામાં આવેલા પથની લંબાઈ (17મી CGPM, 1983).

**કિલોગ્રામ (kg) :** કિલોગ્રામ દળનો એકમ છે. તે આંતરરાષ્ટ્રીય આદિરૂપ (Prototype)ના એક કિલોગ્રામના દળ જેટલું દળ છે. (3જી CGPM, 1901).

**સેકન્ડ (s) :** સેકન્ડ એટલે Cs-133 પરમાણુની ધરા અવસ્થાનાં બે અતિસૂક્ષ્મીય (hyperfine) સ્તરો (સપાટી) વચ્ચેની સંક્રાંતિને અનુરૂપ વિકિરણના  $9192631770$  આવર્ત માટે લાગતો સમય. (13મી CGPM, 1967).

**એમ્પિયર (A) :** એ પ્રવાહ છે કે જેને અનંત અંતરે રાખેલા બે સીધા સમાંતર વાહકો જેમના વૃત્તીય આડછેદ નગણ્ય છે અને જેને 1 મીટરના અંતરે શૂન્યાવકાશમાં રાખેલ છે. તેમની વચ્ચે  $2 \times 10^{-7}$  ન્યુટન પ્રતિ લંબાઈના મીટર જેટલું બળ લાગે છે. (9મી CGPM, 1948).

**કેલ્વિન (K) :** કેલ્વિન જે ઉષ્માગતિકીય તાપમાનનો એકમ છે અને તે પાણીના ત્રિબિંદુ તાપમાન ઉષ્માગતિકીય તાપમાનનો  $1/273.16$  મો ભાગ છે. (13મી CGPM, 1967).

**મોલ (mol) :** મોલ પ્રણાલીના પદાર્થનું એ વજન છે જે કાર્બન  $-12$ ના  $0.012$  કિલોગ્રામમાં રહેલા પરમાણુ જેટલા જ બધા જ પ્રાથમિક સ્પીસીઝ ધરાવે છે, જ્યારે મોલનો ઉપયોગ કરીએ છીએ ત્યારે પ્રાથમિક સ્પીસીઝ નિર્દિષ્ટ (specified) કરવા જોઈએ અને તે પરમાણુ, અણુ, આયન, ઇલેક્ટ્રોન, બીજા કણો અથવા આવા કણોના નિર્દિષ્ટ સમૂહો. (14મી CGPM, 1971).

**કેન્ડેલા (Cd) :** કેન્ડેલા એટલે સ્રોત કે જે  $540 \times 10^{12}$  હર્ટ્ઝની આવૃત્તિવાળું એકવર્ણી (monochromatic) વિકિરણનું ઉત્સર્જન છે અને તે વિકિરણ તીવ્રતા  $1/683$  વોટ પ્રતિ સ્ટેરિડિયન (steradian)ની દિશામાં હોય છે. (16મી CGPM, 1979).

(આ સંજ્ઞાઓ આંતરરાષ્ટ્રીય કક્ષાએ સંમત થયેલી છે અને તેમને બીજી કોઈ ભાષા કે લિપિમાં ફેરવવી નહિ.)

## તત્વો, તેમના પરમાણ્વીય-ક્રમાંક અને (મોલર) દળ

તત્વ	સંજ્ઞા	પરમાણ્વીય-ક્રમાંક	મોલરદળ (ગ્રામ મોલ <sup>-1</sup> )	તત્વ	સંજ્ઞા	પરમાણ્વીય-ક્રમાંક	મોલરદળ (ગ્રામ મોલ <sup>-1</sup> )
Actinium	Ac	89	227.03	Mendelevium	Md	101	258.10
Aluminium	Al	13	26.98	Mercury	Hg	80	200.59
Americium	Am	95	(243)	Molybdenum	Mo	42	95.94
Antimony	Sb	51	121.75	Neodymium	Nd	60	144.24
Argon	Ar	18	39.95	Neon	Ne	10	20.18
Arsenic	As	33	74.92	Neptunium	Np	93	(237.05)
Astatine	At	85	210	Nickel	Ni	28	58.71
Barium	Ba	56	137.34	Niobium	Nb	41	92.91
Berkelium	Bk	97	(247)	Nitrogen	N	7	14.0067
Beryllium	Be	4	9.01	Nobelium	No	102	(259)
Bismuth	Bi	83	208.98	Osmium	Os	76	190.2
Bohrium	Bh	107	(264)	Oxygen	O	8	16.00
Boron	B	5	10.81	Palladium	Pd	46	106.4
Bromine	Br	35	79.91	Phosphorus	P	15	30.97
Cadmium	Cd	48	112.40	Platinum	Pt	78	195.09
Caesium	Cs	55	132.91	Plutonium	Pu	94	(244)
Calcium	Ca	20	40.08	Polonium	Po	84	210
Californium	Cf	98	251.08	Potassium	K	19	39.10
Carbon	C	6	12.01	Praseodymium	Pr	59	140.91
Cerium	Ce	58	140.12	Promethium	Pm	61	(145)
Chlorine	Cl	17	35.45	Protactinium	Pa	91	231.04
Chromium	Cr	24	52.00	Radium	Ra	88	(226)
Cobalt	Co	27	58.93	Radon	Rn	86	(222)
Copernicium	Cn	112	285	Rhenium	Re	75	186.2
Copper	Cu	29	63.54	Rhodium	Rh	45	102.91
Curium	Cm	96	247.07	Rubidium	Rb	37	85.47
Darmstadtium	Ds	110	281	Roentgenium	Rg	111	282
Dubnium	Db	105	(263)	Ruthenium	Ru	44	101.07
Dysprosium	Dy	66	162.50	Rutherfordium	Rf	104	(261)
Einsteinium	Es	99	(252)	Samarium	Sm	62	150.35
Erbium	Er	68	167.26	Scandium	Sc	21	44.96
Europium	Eu	63	151.96	Seaborgium	Sg	106	(266)
Fermium	Fm	100	(257.10)	Selenium	Se	34	78.96
Flerovium	Fl	114	289	Silicon	Si	14	28.08
Fluorine	F	9	19.00	Silver	Ag	47	107.87
Francium	Fr	87	(223)	Sodium	Na	11	22.99
Gadolinium	Gd	64	157.25	Strontium	Sr	38	87.62
Gallium	Ga	31	69.72	Sulphur	S	16	32.06
Germanium	Ge	32	72.61	Tantalum	Ta	73	180.95
Gold	Au	79	196.97	Technetium	Tc	43	(98.91)
Hafnium	Hf	72	178.49	Tellurium	Te	52	127.60
Hassium	Hs	108	(269)	Terbium	Tb	65	158.92
Helium	He	2	4.00	Thallium	Tl	81	204.37
Holmium	Ho	67	164.93	Thorium	Th	90	232.04
Hydrogen	H	1	1.0079	Thulium	Tm	69	168.93
Indium	In	49	114.82	Tin	Sn	50	118.69
Iodine	I	53	126.90	Titanium	Ti	22	47.88
Iridium	Ir	77	192.2	Tungsten	W	74	183.85
Iron	Fe	26	55.85	Ununbium	Uub	112	(277)
Krypton	Kr	36	83.80	Ununnilium	Uun	110	(269)
Lanthanum	La	57	138.91	Unununium	Uuu	111	(272)
Lawrencium	Lr	103	(262.1)	Uranium	U	92	238.03
Lead	Pb	82	207.19	Vanadium	V	23	50.94
Lithium	Li	3	6.94	Xenon	Xe	54	131.30
Livermorium	Lv	116	293	Ytterbium	Yb	70	173.04
Lutetium	Lu	71	174.96	Yttrium	Y	39	88.91
Magnesium	Mg	12	24.31	Zinc	Zn	30	65.37
Manganese	Mn	25	54.94	Zirconium	Zr	40	91.22
Meitneium	Mt	109	(268)				

(કોંસમાં દર્શાવેલ મોલરદળનું મૂલ્ય સૌથી વધુ અર્થ આપુલ્ય ધરાવતા સમસ્થાનિકનું છે.)

## પરિશિષ્ટ III

A. કેટલાક પદાર્થોની 298 K તાપમાને અને એક વાતાવરણ દબાણે વિશિષ્ટ અને મોલર ઉષ્માધારિતા		
પદાર્થ	વિશિષ્ટ ઉષ્માધારિતા (J/g)	આણ્વીય ઉષ્માધારિતા (J/mol)
હવા	0.720	20.8
પાણી (પ્રવાહી)	4.184	75.4
એમોનિયા (વાયુ)	2.06	35.1
હાઈડ્રોજન ક્લોરાઈડ	0.797	29.1
હાઈડ્રોજન બ્રોમાઈડ	0.360	29.1
એમોનિયા (પ્રવાહી)	4.70	79.9
ઈથાઈલ આલ્કોહોલ (પ્રવાહી)	2.46	113.16
ઈથીલીન ગ્લાયકોલ (પ્રવાહી)	2.42	152.52
પાણી (ઘન)	2.06	37.08
કાર્બન ટેટ્રાક્લોરાઈડ (પ્રવાહી)	0.861	132.59
ક્લોરોફ્લોરોકાર્બન (CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub> )	0.5980	72.35
ઓઝોન	0.817	39.2
નિયોન	1.03	20.7
ક્લોરિન	0.477	33.8
બ્રોમિન	0.473	75.6
આયર્ન	0.460	25.1
કોપર	0.385	24.7
એલ્યુમિનિયમ	0.902	24.35
ગોલ્ડ	0.128	25.2
ગ્રેફાઈટ	0.720	8.65

B. કેટલાક વાયુઓની મોલર ઉષ્માધારિતા (J/mol)				
વાયુ	$C_p$	$C_v$	$C_p - C_v$	$C_p / C_v$
<b>એકપરમાણ્વીય*</b>				
હિલિયમ	20.9	12.8	8.28	1.63
આર્ગોન	20.8	12.5	8.33	1.66
આયોડિન	20.9	12.6	8.37	1.66
મરક્યુરી	20.8	12.5	8.33	1.66
<b>દ્વિપરમાણ્વીય†</b>				
હાઈડ્રોજન	28.6	20.2	8.33	1.41
ઓક્સિજન	29.1	20.8	8.33	1.39
નાઈટ્રોજન	29.0	20.7	8.30	1.40
હાઈડ્રોજન ક્લોરાઈડ	29.6	21.0	8.60	1.39
કાર્બન મોનોક્સાઈડ	29.0	21.0	8.00	1.41
<b>ત્રિપરમાણ્વીય†</b>				
નાઈટ્રસ ઓક્સાઈડ	39.0	30.5	8.50	1.28
કાર્બન ડાયોક્સાઈડ	37.5	29.0	8.50	1.29
<b>બહુપરમાણ્વીય†</b>				
ઈથેન	53.2	44.6	8.60	1.19

\* માત્ર સ્થાનાંતરીય ગતિજ ઊર્જા

† સ્થાનાંતરીય, કંપનીય અને ભ્રમણીય ઊર્જા

## ભૌતિક અચળાંકો

રાશિ	સંજ્ઞા	રૂઢિગત એકમ	SI-એકમ
ગુરુત્વપ્રવેગ (Acceleration of gravity)	g	980.6 cm s <sup>-2</sup>	9.806 m s <sup>-2</sup>
પરમાણ્વીય દળ એકમ (કાર્બન પરમાણુના 12મા ભાગનું દળ) (Atomic mass unit / 1/12 of the mass of <sup>12</sup> C atom)	amu અથવા u	1.6606 × 10 <sup>-24</sup> g	1.6606 × 10 <sup>-27</sup> kg
એવોગેડ્રો અચળાંક (Avogadro constant)	N <sub>A</sub>	6.022 × 10 <sup>23</sup> particles mol <sup>-1</sup>	6.022 × 10 <sup>23</sup> particles mol <sup>-1</sup>
બોહર ત્રિજ્યા (Bohr radius)	a <sub>0</sub>	0.52918 A <sup>0</sup> 5.2918 × 10 <sup>-9</sup> m	5.2918 × 10 <sup>-11</sup> m
બોલ્ટ્ઝમેન અચળાંક (Boltzman-constant)	k	1.3807 × 10 <sup>-16</sup> ergK <sup>-1</sup>	1.3807 × 10 <sup>-23</sup> JK <sup>-1</sup>
ઇલેક્ટ્રોનના વીજભાર અને દળનો ગુણોત્તર (Charge-to-mass ratio of electron)	e/m	1.7588 × 10 <sup>8</sup> coulomb g <sup>-1</sup>	1.7588 × 10 <sup>11</sup> C kg <sup>-1</sup>
ઇલેક્ટ્રોન વીજભાર (Electron charge)	e	1.60219 × 10 <sup>-19</sup> coulomb 4.8033 × 10 <sup>-19</sup> esu	1.60219 × 10 <sup>-19</sup> C
ઇલેક્ટ્રોનનું દળ (Electron rest mass)	m <sub>e</sub>	9.10952 × 10 <sup>-28</sup> g 0.000548594 u	9.10952 × 10 <sup>-31</sup> kg
ફેરાડે અચળાંક (Faraday constant)	F	96,487 coulombseq <sup>-1</sup> 23.06 kcalvolt <sup>-1</sup> . eq <sup>-1</sup>	96,487 C/mol e <sup>-</sup> 96,487 J/V mol e <sup>-</sup>
વાયુ અચળાંક (Gas constant)	R	0.8206 Latm mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> 1.987 cal mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>	8.3145 k Pa dm <sup>3</sup> mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> 8.3145 J mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
મોલર કદ (સા.ઉ.દ.) (Molar volume)(STP)	V <sub>m</sub>	22.710981 L mol <sup>-1</sup>	22.710981 × 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> mol <sup>-1</sup> 22.710981 × 10 <sup>-3</sup> dm <sup>3</sup> mol <sup>-1</sup>
ન્યુટ્રોનનું દળ (Neutron rest mass)	m <sub>n</sub>	1.67495 × 10 <sup>-24</sup> g 1.008665 u	1.67495 × 10 <sup>-27</sup> kg
પ્લાન્ક અચળાંક (Planck constant)	h	6.6262 × 10 <sup>-27</sup> erg	6.6262 × 10 <sup>-34</sup> Js
પ્રોટોનનું દળ (Proton rest mass)	m <sub>p</sub>	1.6726 × 10 <sup>-24</sup> g 1.007277 u	1.6726 × 10 <sup>-27</sup> kg
રીડબર્ગ અચળાંક (Rydberg constant)	R <sub>H</sub>	3.289 × 10 <sup>15</sup> cycle s <sup>-1</sup> 2.1799 × 10 <sup>-11</sup> erg	1.0974 × 10 <sup>7</sup> m <sup>-1</sup> 2.1799 × 10 <sup>-18</sup> J
પ્રકાશનો વેગ (શૂન્યાવકાશમાં) (Speed of light in vacuum)	C	2.9979 × 10 <sup>10</sup> cm s <sup>-1</sup> (186,281 miles second <sup>-1</sup> )	2.9979 × 10 <sup>8</sup> ms <sup>-1</sup>

$$\pi = 3.1416$$

$$2.303 R = 4.576 \text{ cal mol}^{-1}, K = 19.15 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$e = 2.71828$$

$$2.303 RT \text{ (at } 25^\circ\text{C)} = 1364 \text{ cal mol}^{-1} = 5709 \text{ J mol}^{-1}$$

$$\ln X = 2.303 \log X$$

## કેટલાંક ઉપયોગી રૂપાંતરણ ગુણક

## દળ અને વજનના સામાન્ય એકમો

$$1 \text{ pound} = 453.59 \text{ gram}$$

$$1 \text{ pound} = 453.59 \text{ gram} = 0.45359 \text{ kilogram}$$

$$1 \text{ kilogram} = 1000 \text{ gram} = 2.205 \text{ pound}$$

$$1 \text{ gram} = 10 \text{ decigram} = 100 \text{ centigram} \\ = 1000 \text{ milligram}$$

$$1 \text{ gram} = 6.022 \times 10^{23} \text{ atomic mass unit or u}$$

$$1 \text{ atomic mass unit} = 1.6606 \times 10^{-24} \text{ gram}$$

$$1 \text{ metric ton} = 1000 \text{ kilogram} \\ = 2205 \text{ pound}$$

## કદ માટેના સામાન્ય એકમો

$$1 \text{ quart} = 0.9463 \text{ litre}$$

$$1 \text{ litre} = 1.056 \text{ quarts}$$

$$1 \text{ litre} = 1 \text{ cubic decimetre} = 1000 \text{ cubic} \\ \text{centimeters} = 0.001 \text{ cubic metre}$$

$$1 \text{ millilitre} = 1 \text{ cubic centimetre} = 0.001 \text{ litre} \\ = 1.056 \times 10^{-3} \text{ quart}$$

$$1 \text{ cubic foot} = 28.316 \text{ litre} = 29.902 \text{ quart} \\ = 7.475 \text{ gallon}$$

## ઊર્જાના સામાન્ય એકમો

$$1 \text{ joule} = 1 \times 10^7 \text{ erg}$$

$$1 \text{ thermochemical calorie} = 4.184 \text{ joule} \\ = 4.184 \times 10^7 \text{ erg}$$

$$= 4.129 \times 10^{-2} \text{ litre-atmosphere}$$

$$= 2.612 \times 10^{19} \text{ electron volt}$$

$$1 \text{ erg} = 1 \times 10^{-7} \text{ joule} = 2.3901 \times 10^{-8} \text{ calorie}$$

$$1 \text{ electron volt} = 1.6022 \times 10^{-19} \text{ joule} \\ = 1.6022 \times 10^{-12} \text{ erg} \\ = 96.487 \text{ kJ/mol}$$

$$1 \text{ litre-atmosphere} = 24.217 \text{ calorie} \\ = 101.32 \text{ joule} \\ = 1.0132 \times 10^9 \text{ erg}$$

$$1 \text{ British Thermal Unit} = 1055.06 \text{ joule}$$

$$= 1.05506 \times 10^{10} \text{ erg}$$

$$= 252.2 \text{ calorie}$$

## લંબાઈના સામાન્ય એકમો

$$1 \text{ inch} = 2.54 \text{ centimetres (exactly)}$$

$$1 \text{ mile} = 5280 \text{ feet} = 1.609 \text{ kilometre}$$

$$1 \text{ yard} = 36 \text{ inch} = 0.9144 \text{ metre}$$

$$1 \text{ metre} = 100 \text{ centimetre} = 39.37 \text{ inch} \\ = 3.281 \text{ feet} \\ = 1.094 \text{ yard}$$

$$1 \text{ kilometre} = 1000 \text{ metre} = 1094 \text{ yard} \\ = 0.6215 \text{ mile}$$

$$1 \text{ angstrom} = 1.0 \times 10^{-8} \text{ centimetre} \\ = 0.10 \text{ nanometre}^* \\ = 1.0 \times 10^{-10} \text{ metre} \\ = 3.937 \times 10^{-9} \text{ inch}$$

## દબાણ અને બળ\*ના સામાન્ય એકમો

$$1 \text{ atmosphere} = 760 \text{ millimetre of mercury} \\ = 1.013 \times 10^5 \text{ pascal} \\ = 14.70 \text{ pound per square inch}$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ pascal}$$

$$1 \text{ torr} = 1 \text{ millimetre of mercury}$$

$$1 \text{ pascal} = 1 \text{ kg/ms}^2 = 1 \text{ N/m}^2$$

## તાપમાન (SI) આધારિત એકમ કેલ્વિન (K)

$$^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273.15$$

$$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.15$$

$$^{\circ}\text{F} = 1.8 (^{\circ}\text{C}) + 32$$

$$^{\circ}\text{C} = \frac{^{\circ}\text{F} - 32}{1.8}$$

\* બળ : 1 ન્યુટન (N) = 1 kg m/s<sup>2</sup> એટલે કે 1 કિલોગ્રામ દળને 1 મીટર પ્રતિ સેકન્ડ વેગ આપવા માટે 1 સેકન્ડ માટે લગાડેલું બળ.

\*\* એક ગ્રામ પાણીનું તાપમાન 14.5 °C થી 15.5 °C વધારવા માટે જરૂરી ઉષ્માનો જથ્થો.

† એ નોંધો કે બીજા એકમો પ્રતિકણ છે અન તેમને સરખાવવાયોગ્ય બનાવવા માટે તેમને 6.022 × 10<sup>23</sup> વડે ગુણવા જોઈએ.

## ઉષ્માગતિકીય માહિતી 298 K તાપમાને

## અકાર્બનિક પદાર્થો

પદાર્થ	સર્જન એન્થાલ્પી $\Delta_f H^\ominus / (\text{kJ mol}^{-1})$	ગીબ્સ સર્જન ઊર્જા $\Delta_f G^\ominus / (\text{kJ mol}^{-1})$	એન્ટ્રોપી* $S^\ominus / (\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1})$
<b>એલ્યુમિનિયમ</b>			
Al(s)	0	0	28.33
Al <sup>3+</sup> (aq)	-524.7	-481.2	-321.7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	-1675.7	-1582.3	50.92
Al(OH) <sub>3</sub> (s)	-1276	—	—
AlCl <sub>3</sub> (s)	-704.2	-628.8	110.67
<b>એન્ટિમની</b>			
SbH <sub>3</sub> (g)	145.11	147.75	232.78
SbCl <sub>3</sub> (g)	-313.8	-301.2	337.80
SbCl <sub>5</sub> (g)	-394.34	-334.29	401.94
<b>આર્સેનિક</b>			
As(s), ભૂખરું	0	0	35.1
As <sub>2</sub> S <sub>3</sub> (s)	-169.0	-168.6	163.6
AsO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (aq)	-888.14	-648.41	-162.8
<b>બેરિયમ</b>			
Ba(s)	0	0	62.8
Ba <sup>2+</sup> (aq)	-537.64	-560.77	9.6
BaO(s)	-553.5	-525.1	70.42
BaCO <sub>3</sub> (s)	-1216.3	-1137.6	112.1
BaCO <sub>3</sub> (aq)	-1214.78	-1088.59	-47.3
<b>બોરોન</b>			
B(s)	0	0	5.86
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	-1272.8	-1193.7	53.97
BF <sub>3</sub> (g)	-1137.0	-1120.3	254.12
<b>બ્રોમિન</b>			
Br <sub>2</sub> (l)	0	0	152.23
Br <sub>2</sub> (g)	30.91	3.11	245.46
Br(g)	111.88	82.40	175.02
Br <sup>-</sup> (aq)	-121.55	-103.96	82.4
HBr(g)	-36.40	-53.45	198.70
BrF <sub>3</sub> (g)	-255.60	-229.43	292.53
<b>કેલ્શિયમ</b>			
Ca(s)	0	0	41.42
Ca(g)	178.2	144.3	154.88
Ca <sup>2+</sup> (aq)	-542.83	-553.58	-53.1

(સાલુ)

પદાર્થ	સર્જન એન્થાલ્પી $\Delta_f H^\ominus / (\text{kJ mol}^{-1})$	ગીબ્સ સર્જન ઊર્જા $\Delta_f G^\ominus / (\text{kJ mol}^{-1})$	એન્ટ્રોપી* $S^\ominus / (\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1})$
<b>કેલ્શિયમ (ચાલુ)</b>			
CaO(s)	-635.09	-604.03	39.75
Ca(OH) <sub>2</sub> (s)	-986.09	-898.49	83.39
Ca(OH) <sub>2</sub> (aq)	-1002.82	-868.07	-74.5
CaCO <sub>3</sub> (s), કેલ્સાઈટ	-1206.92	-1128.8	92.9
CaCO <sub>3</sub> (s), એરાગોનાઈટ	-1207.1	-1127.8	88.7
CaCO <sub>3</sub> (aq)	-1219.97	-1081.39	-110.0
CaF <sub>2</sub> (s)	-1219.6	-1167.3	68.87
CaF <sub>2</sub> (aq)	-1208.09	-1111.15	-80.8
CaCl <sub>2</sub> (s)	-795.8	-748.1	104.6
CaCl <sub>2</sub> (aq)	-877.1	-816.0	59.8
CaBr <sub>2</sub> (s)	-682.8	-663.6	130
CaC <sub>2</sub> (s)	-59.8	-64.9	69.96
CaS(s)	-482.4	-477.4	56.5
CaSO <sub>4</sub> (s)	-1434.11	-1321.79	106.7
CaSO <sub>4</sub> (aq)	-1452.10	-1298.10	-33.1
<b>કાર્બન**</b>			
C(s), ગ્રેફાઈટ	0	0	5.740
C(s), હીરો	1.895	2.900	2.377
C(g)	716.68	671.26	158.10
CO(g)	-110.53	-137.17	197.67
CO <sub>2</sub> (g)	-393.51	-394.36	213.74
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (aq)	-677.14	-527.81	-56.9
CCl <sub>4</sub> (l)	-135.44	-65.21	216.40
CS <sub>2</sub> (l)	89.70	65.27	151.34
HCN(g)	135.1	124.7	201.78
HCN(l)	108.87	124.97	112.84
<b>સિરિયમ</b>			
Ce(s)	0	0	72.0
Ce <sup>3+</sup> (aq)	-696.2	-672.0	-205
Ce <sup>4+</sup> (aq)	-537.2	-503.8	-301
<b>ક્લોરિન</b>			
Cl <sub>2</sub> (g)	0	0	223.07
Cl(g)	121.68	105.68	165.20
Cl <sup>-</sup> (aq)	-167.16	-131.23	56.5
HCl(g)	-92.31	-95.30	186.91
HCl(aq)	-167.16	-131.23	56.5
<b>કોપર</b>			
Cu(s)	0	0	33.15
Cu <sup>+</sup> (aq)	71.67	49.98	40.6
Cu <sup>2+</sup> (aq)	64.77	65.49	-99.6
Cu <sub>2</sub> O(aq)	-168.6	-146.0	93.14
CuO(s)	-157.3	-129.7	42.63
CuSO <sub>4</sub> (s)	-771.36	-661.8	109
CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O(s)	-2279.7	-1879.7	300.4

\*\* કાર્બનિક સંયોજનો માટે અલગ કોષ્ટક સાથે જ આપેલ છે.

(ચાલુ)



પદાર્થ	સર્જન એન્થાલ્પી $\Delta_f H^\ominus / (\text{kJ mol}^{-1})$	ગીબ્સ સર્જન ઊર્જા $\Delta_f G^\ominus / (\text{kJ mol}^{-1})$	એન્ટ્રોપી* $S^\ominus / (\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1})$
<b>ડ્યુટેરિયમ</b>			
D <sub>2</sub> (g)	0	0	144.96
D <sub>2</sub> O(g)	-249.20	-234.54	198.34
D <sub>2</sub> O(l)	-294.60	-243.44	75.94
<b>ફ્લોરિન</b>			
F <sub>2</sub> (g)	0	0	202.78
F <sup>-</sup> (aq)	-332.63	-278.79	-13.8
HF(g)	-271.1	-273.2	173.78
HF(aq)	-332.63	-278.79	-13.8
<b>હાઈડ્રોજન (ડ્યુટેરિયમ પણ જુઓ)</b>			
H <sub>2</sub> (g)	0	0	130.68
H(g)	217.97	203.25	114.71
H <sup>+</sup> (aq)	0	0	0
H <sub>2</sub> O(l)	-285.83	-237.13	69.91
H <sub>2</sub> O(g)	-241.82	-228.57	188.83
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (l)	-187.78	-120.35	109.6
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (aq)	-191.17	-134.03	143.9
<b>આયોડિન</b>			
I <sub>2</sub> (s)	0	0	116.14
I <sub>2</sub> (g)	62.44	19.33	260.69
I <sup>-</sup> (aq)	-55.19	-51.57	111.3
HI(g)	26.48	1.70	206.59
<b>આયર્ન</b>			
Fe(s)	0	0	27.28
Fe <sup>2+</sup> (aq)	-89.1	-78.90	-137.7
Fe <sup>3+</sup> (aq)	-48.5	-4.7	-315.9
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (s), મેગ્નેટાઈટ	-1118.4	-1015.4	146.4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s), હેમેટાઈટ	-824.2	-742.2	87.40
FeS(s,o)	-100.0	-100.4	60.29
FeS(aq)	—	6.9	—
FeS <sub>2</sub> (s)	-178.2	-166.9	52.93
<b>લૅડ</b>			
Pb(s)	0	0	64.81
Pb <sup>2+</sup> (aq)	-1.7	-24.43	10.5
PbO <sub>2</sub> (s)	-277.4	-217.33	68.6
PbSO <sub>4</sub> (s)	-919.94	-813.14	148.57
PbBr <sub>2</sub> (s)	-278.7	-261.92	161.5
PbBr <sub>2</sub> (aq)	-244.8	-232.34	175.3
<b>મેગ્નેશિયમ</b>			
Mg(s)	0	0	32.68
Mg(g)	147.70	113.10	148.65
Mg <sup>2+</sup> (aq)	-466.85	-454.8	-138.1
MgO(s)	-601.70	-569.43	26.94
MgCO <sub>3</sub> (s)	-1095.8	-1012.1	65.7
MgBr <sub>2</sub> (s)	-524.3	-503.8	117.2

(ચાલુ)

પદાર્થ	સર્જન એન્થાલ્પી $\Delta_f H^\ominus / (\text{kJ mol}^{-1})$	ગીબ્સ સર્જન ઊર્જા $\Delta_f G^\ominus / (\text{kJ mol}^{-1})$	એન્ટ્રોપી* $S^\ominus / (\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1})$
<b>મરક્યુરિ</b>			
Hg(l)	0	0	76.02
Hg(g)	61.32	31.82	174.96
HgO(s)	-90.83	-58.54	70.29
Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> (s)	-265.22	-210.75	192.5
<b>નાઈટ્રોજન</b>			
N <sub>2</sub> (g)	0	0	191.61
NO(g)	90.25	86.55	210.76
N <sub>2</sub> O(g)	82.05	104.20	219.85
NO <sub>2</sub> (g)	33.18	51.31	240.06
N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (g)	9.16	97.89	304.29
HNO <sub>3</sub> (l)	-174.10	-80.71	155.60
HNO <sub>3</sub> (aq)	-207.36	-111.25	146.4
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (aq)	-205.0	-108.74	146.4
NH <sub>3</sub> (g)	-46.11	-16.45	192.45
NH <sub>3</sub> (aq)	-80.29	-26.50	111.3
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (aq)	-132.51	-79.31	113.4
NH <sub>2</sub> OH(s)	-114.2	—	—
HN <sub>3</sub> (g)	294.1	328.1	238.97
N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (l)	50.63	149.34	121.21
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> (s)	-365.56	-183.87	151.08
NH <sub>4</sub> Cl(s)	-314.43	-202.87	94.6
NH <sub>4</sub> ClO <sub>4</sub> (s)	-295.31	-88.75	186.2
<b>ઑક્સિજન</b>			
O <sub>2</sub> (g)	0	0	205.14
O <sub>3</sub> (g)	142.7	163.2	238.93
OH <sup>-</sup> (aq)	-229.99	-157.24	-10.75
<b>ફોસ્ફરસ</b>			
P(s), સફેદ	0	0	41.09
P <sub>4</sub> (g)	58.91	24.44	279.98
PH <sub>3</sub> (g)	5.4	13.4	210.23
P <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (s)	-2984.0	-2697.0	228.86
H <sub>3</sub> PO <sub>3</sub> (aq)	-964.8	—	—
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (l)	-1266.9	—	—
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (aq)	-1277.4	-1018.7	—
PCl <sub>3</sub> (l)	-319.7	-272.3	217.18
PCl <sub>3</sub> (g)	-287.0	-267.8	311.78
PCl <sub>5</sub> (g)	-374.9	-305.0	364.6
<b>પોટેશિયમ</b>			
K(s)	0	0	64.18
K(g)	89.24	60.59	160.34
K <sup>+</sup> (aq)	-252.38	-283.27	102.5
KOH(s)	-424.76	-379.08	78.9
KOH(aq)	-482.37	-440.50	91.6
KF(s)	-567.27	-537.75	66.57

(સાલુ)

પદાર્થ	સર્જન એન્થાલ્પી $\Delta_f H^\ominus / (\text{kJ mol}^{-1})$	ગીબ્સ સર્જન ઊર્જા $\Delta_f G^\ominus / (\text{kJ mol}^{-1})$	એન્ટ્રોપી* $S^\ominus / (\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1})$
<b>પોટેશિયમ (ચાલુ)</b>			
KCl(s)	-436.75	-409.14	82.59
KBr(s)	-393.80	-380.66	95.90
KI(s)	-327.90	-324.89	106.32
KClO <sub>3</sub> (s)	-397.73	-296.25	143.1
KClO <sub>4</sub> (s)	-432.75	-303.09	151.0
K <sub>2</sub> S(s)	-380.7	-364.0	105
K <sub>2</sub> S(aq)	-471.5	-480.7	190.4
<b>સિલિકોન</b>			
Si(s)	0	0	18.83
SiO <sub>2</sub> (s,o)	-910.94	-856.64	41.84
<b>સિલ્વર</b>			
Ag(s)	0	0	42.55
Ag <sup>+</sup> (aq)	105.58	77.11	72.68
Ag <sub>2</sub> O(s)	-31.05	-11.20	121.3
AgBr(s)	-100.37	-96.90	107.1
AgBr(aq)	-15.98	-26.86	155.2
AgCl(s)	-127.07	-109.79	96.2
AgCl(aq)	-61.58	-54.12	129.3
AgI(s)	-61.84	-66.19	115.5
AgI(aq)	50.38	25.52	184.1
AgNO <sub>3</sub> (s)	-124.39	-33.41	140.92
<b>સોડિયમ</b>			
Na(s)	0	0	51.21
Na(g)	107.32	76.76	153.71
Na <sup>+</sup> (aq)	-240.12	-261.91	59.0
NaOH(s)	-425.61	-379.49	64.46
NaOH(aq)	-470.11	-419.15	48.1
NaCl(s)	-411.15	-384.14	72.13
NaCl(aq)	-407.3	-393.1	115.5
NaBr(s)	-361.06	-348.98	86.82
NaI(s)	-287.78	-286.06	98.53
NaHCO <sub>3</sub> (s)	-947.7	-851.9	102.1
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (s)	-1130.9	-1047.7	136.0
<b>સલ્ફર</b>			
S(s), રૂબીડિયમિક	0	0	31.80
S(s), મોનોક્લિનિક	0.33	0.1	32.6
S <sup>2-</sup> (aq)	33.1	85.8	-14.6
SO <sub>2</sub> (g)	-296.83	-300.19	248.22
SO <sub>3</sub> (g)	-395.72	-371.06	256.76
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (l)	-813.99	-690.00	156.90
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (aq)	-909.27	-744.53	20.1
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (aq)	-909.27	-744.53	20.1
H <sub>2</sub> S(g)	-20.63	-33.56	205.79
H <sub>2</sub> S(aq)	-39.7	-27.83	121
SF <sub>6</sub> (g)	-1209	-1105.3	291.82

(ચાલુ)

પદાર્થ	સર્જન એન્થાલ્પી $\Delta_f H^\ominus / (\text{kJ mol}^{-1})$	ગીબ્સ સર્જન ઊર્જા $\Delta_f G^\ominus / (\text{kJ mol}^{-1})$	એન્ટ્રોપી* $S^\ominus / (\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1})$
<b>ટિન</b>			
Sn(s), સફેદ	0	0	51.55
Sn(s), ભૂખરો	-2.09	0.13	44.14
SnO(s)	-285.8	-256.9	56.5
SnO <sub>2</sub> (s)	-580.7	-519.6	52.3
<b>ઝિંક</b>			
Zn(s)	0	0	41.63
Zn <sup>2+</sup> (aq)	-153.89	-147.06	-112.1
ZnO(s)	-348.28	-318.30	43.64
Zn(g)	+130.73	+95.14	160.93

\* દ્રાવણમાં વ્યક્તિગત આયનોની એન્ટ્રોપી પાણીમાં H<sup>+</sup>ની એન્ટ્રોપી 0 (શૂન્ય) ગણીને આ મૂલ્યની સાપેક્ષમાં બીજા બધા આયનોની એન્ટ્રોપી નક્કી કરવામાં આવે છે. આથી ઋણ એન્ટ્રોપી એ છે જે H<sup>+</sup>ની પાણીમાં એન્ટ્રોપી કરતાં ઓછી છે.

### કાર્બનિક સંયોજનો

પદાર્થ	દહન એન્થાલ્પી $\Delta_c H^\ominus / (\text{kJ mol}^{-1})$	સર્જન એન્થાલ્પી $\Delta_f H^\ominus / (\text{kJ mol}^{-1})$	ગીબ્સ સર્જન ઊર્જા $\Delta_f G^\ominus / (\text{kJ mol}^{-1})$	એન્ટ્રોપી $S^\ominus / (\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1})$
<b>હાઇડ્રોકાર્બન</b>				
CH <sub>4</sub> (g), મિથેન	-890	-74.81	-50.72	186.26
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (g), ઇથાઇન (એસિટિલિન)	-1300	226.73	209.20	200.94
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (g), ઇથિન (ઇથીલીન)	-1411	52.26	68.15	219.56
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (g), ઇથેન	-1560	-84.68	-32.82	229.60
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> (g), પ્રોપીન (પ્રોપીલીન)	-2058	20.42	62.78	266.6
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> (g), સાયક્લોપ્રોપેન	-2091	53.30	104.45	237.4
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> (g), પ્રોપેન	-2220	-103.85	-23.49	270.2
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> (g), બ્યુટેન	-2878	-126.15	-17.03	310.1
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> (g), પેન્ટેન	-3537	-146.44	-8.20	349
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> (l), બેન્ઝીન	-3268	49.0	124.3	173.3
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> (g)	-3302	—	—	—
C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> (l), ટોલ્યુઇન	-3910	12.0	113.8	221.0
C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> (g)	-3953	—	—	—
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> (l), સાયક્લોહેક્ઝેન	-3920	-156.4	26.7	204.4
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> (g)	-3953	—	—	—
C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> (l), ઓક્ટેન	-5471	-249.9	6.4	358
<b>આલ્કોહોલ અને ફિનોલ</b>				
CH <sub>3</sub> OH(l), મિથેનોલ	-726	-238.86	-166.27	126.8
CH <sub>3</sub> OH(g)	-764	-200.66	-161.96	239.81
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH(l), ઇથેનોલ	-1368	-277.69	-174.78	160.7
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH(g)	-1409	-235.10	-168.49	282.70
C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH(s), ફિનોલ	-3054	-164.6	-50.42	144.0

(ચાલુ)

પદાર્થ	દહન એન્થાલ્પી $\Delta_c H^\ominus / (\text{kJ mol}^{-1})$	સર્જન એન્થાલ્પી $\Delta_f H^\ominus / (\text{kJ mol}^{-1})$	ગીબ્સ સર્જન ઊર્જા $\Delta_f G^\ominus / (\text{kJ mol}^{-1})$	એન્ટ્રોપી $S^\ominus / (\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1})$
<b>કાર્બોક્સિલિક એસિડ</b>				
HCOOH(l), ફોર્મિક એસિડ	-255	-424.72	-361.35	128.95
CH <sub>3</sub> COOH(l), એસિટિક એસિડ	-875	-484.5	-389.9	159.8
CH <sub>3</sub> COOH (aq)	—	-485.76	-396.64	86.6
(COOH) <sub>2</sub> (s), ઓક્ઝેલિક એસિડ	-254	-827.2	-697.9	120
C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> COOH(s), બેન્ઝોઈક એસિડ	-3227	-385.1	-245.3	167.6
<b>આલ્ડીહાઈડ અને કીટોન</b>				
HCHO(g), મિથેનાલ (ફોર્માલ્ડીહાઈડ)	-571	-108.57	-102.53	218.77
CH <sub>3</sub> CHO(l), ઇથેનાલ (એસીટાલ્ડીહાઈડ)	-1166	-192.30	-128.12	160.2
CH <sub>3</sub> CHO(g)	-1192	-166.19	-128.86	250.3
CH <sub>3</sub> COCH <sub>3</sub> (l), પ્રોપેનોન (એસિટોન)	-1790	-248.1	-155.4	200
<b>સુગર</b>				
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> (s), ગ્લુકોઝ	-2808	-1268	-910	212
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> (aq)	—	—	-917	—
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> (s), ફ્રુક્ટોઝ	-2810	-1266	—	—
C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> (s), સુક્રોઝ	-5645	-2222	-1545	360
<b>નાઈટ્રોજન સંયોજનો</b>				
CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> (s), યુરિયા	-632	-333.51	-197.33	104.60
C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> NH <sub>2</sub> (l), એનિલિન	-3393	31.6	149.1	191.3
NH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> COOH(s), ગ્લાયસીન	-969	-532.9	-373.4	103.51
CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub> (g), મિથાઈલ અમાઈન	-1085	-22.97	32.16	243.41

## 298 K तापमाने प्रमाणित पोटेन्शियल विद्युतरसायणिक कभमां

रिडक्शन-अर्ध प्रक्रिया	E°/V	रिडक्शन-अर्ध प्रक्रिया	E°/V
$H_4XeO_6 + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow XeO_3 + 3H_2O$	+3.0	$Cu^+ + e^- \longrightarrow Cu$	+0.52
$F_2 + 2e^- \longrightarrow 2F^-$	+2.87	$NiOOH + H_2O + e^- \longrightarrow Ni(OH)_2 + OH^-$	+0.49
$O_3 + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow O_2 + H_2O$	+2.07	$Ag_2CrO_4 + 2e^- \longrightarrow 2Ag + CrO_4^{2-}$	+0.45
$S_2O_8^{2-} + 2e^- \longrightarrow 2SO_4^{2-}$	+2.05	$O_2 + 2H_2O + 4e^- \longrightarrow 4OH^-$	+0.40
$Ag^+ + e^- \longrightarrow Ag$	+1.98	$ClO_4^- + H_2O + 2e^- \longrightarrow ClO_3^- + 2OH^-$	+0.36
$Co^{3+} + e^- \longrightarrow Co^{2+}$	+1.81	$[Fe(CN)_6]^{3-} + e^- \longrightarrow [Fe(CN)_6]^{4-}$	+0.36
$H_2O_2 + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow 2H_2O$	+1.78	$Cu^{2+} + 2e^- \longrightarrow Cu$	+0.34
$Au^+ + e^- \longrightarrow Au$	+1.69	$Hg_2Cl_2 + 2e^- \longrightarrow 2Hg + 2Cl^-$	+0.27
$Pb^{4+} + 2e^- \longrightarrow Pb^{2+}$	+1.67	$AgCl + e^- \longrightarrow Ag + Cl^-$	+0.27
$2HClO + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow Cl_2 + 2H_2O$	+1.63	$Bi^{3+} + 3e^- \longrightarrow Bi$	+0.20
$Ce^{4+} + e^- \longrightarrow Ce^{3+}$	+1.61	$SO_4^{2-} + 4H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2SO_3 + H_2O$	+0.17
$2HBrO + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow Br_2 + 2H_2O$	+1.60	$Cu^{2+} + e^- \longrightarrow Cu^+$	+0.16
$MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \longrightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$	+1.51	$Sn^{4+} + 2e^- \longrightarrow Sn^{2+}$	+0.15
$Mn^{3+} + e^- \longrightarrow Mn^{2+}$	+1.51	$AgBr + e^- \longrightarrow Ag + Br^-$	+0.07
$Au^{3+} + 3e^- \longrightarrow Au$	+1.40	$Ti^{4+} + e^- \longrightarrow Ti^{3+}$	0.00
$Cl_2 + 2e^- \longrightarrow 2Cl^-$	+1.36	$2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2$	0.0
$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \longrightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$	+1.33		व्याख्या प्रमाणे
$O_3 + H_2O + 2e^- \longrightarrow O_2 + 2OH^-$	+1.24	$Fe^{3+} + 3e^- \longrightarrow Fe$	-0.04
$O_2 + 4H^+ + 4e^- \longrightarrow 2H_2O$	+1.23	$O_2 + H_2O + 2e^- \longrightarrow HO_2^- + OH^-$	-0.08
$ClO_4^- + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow ClO_3^- + 2H_2O$	+1.23	$Pb^{2+} + 2e^- \longrightarrow Pb$	-0.13
$MnO_2 + 4H^+ + 2e^- \longrightarrow Mn^{2+} + 2H_2O$	+1.23	$In^+ + e^- \longrightarrow In$	-0.14
$Pt^{2+} + 2e^- \longrightarrow Pt$	+1.20	$Sn^{2+} + 2e^- \longrightarrow Sn$	-0.14
$Br_2 + 2e^- \longrightarrow 2Br^-$	+1.09	$AgI + e^- \longrightarrow Ag + I^-$	-0.15
$Pu^{4+} + e^- \longrightarrow Pu^{3+}$	+0.97	$Ni^{2+} + 2e^- \longrightarrow Ni$	-0.23
$NO_3^- + 4H^+ + 3e^- \longrightarrow NO + 2H_2O$	+0.96	$V^{3+} + e^- \longrightarrow V^{2+}$	-0.26
$2Hg^{2+} + 2e^- \longrightarrow Hg_2^{2+}$	+0.92	$Co^{2+} + 2e^- \longrightarrow Co$	-0.28
$ClO^- + H_2O + 2e^- \longrightarrow Cl^- + 2OH^-$	+0.89	$In^{3+} + 3e^- \longrightarrow In$	-0.34
$Hg^{2+} + 2e^- \longrightarrow Hg$	+0.86	$Tl^+ + e^- \longrightarrow Tl$	-0.34
$NO_3^- + 2H^+ + e^- \longrightarrow NO_2 + H_2O$	+0.80	$PbSO_4 + 2e^- \longrightarrow Pb + SO_4^{2-}$	-0.36
$Ag^+ + e^- \longrightarrow Ag$	+0.80	$Ti^{3+} + e^- \longrightarrow Ti^{2+}$	-0.37
$Hg_2^{2+} + 2e^- \longrightarrow 2Hg$	+0.79	$Cd^{2+} + 2e^- \longrightarrow Cd$	-0.40
$Fe^{3+} + e^- \longrightarrow Fe^{2+}$	+0.77	$In^{2+} + e^- \longrightarrow In^+$	-0.40
$BrO^- + H_2O + 2e^- \longrightarrow Br^- + 2OH^-$	+0.76	$Cr^{3+} + e^- \longrightarrow Cr^{2+}$	-0.41
$Hg_2SO_4 + 2e^- \longrightarrow 2Hg + SO_4^{2-}$	+0.62	$Fe^{2+} + 2e^- \longrightarrow Fe$	-0.44
$MnO_4^{2-} + 2H_2O + 2e^- \longrightarrow MnO_2 + 4OH^-$	+0.60	$In^{3+} + 2e^- \longrightarrow In^+$	-0.44
$MnO_4^- + e^- \longrightarrow MnO_4^{2-}$	+0.56	$S + 2e^- \longrightarrow S^{2-}$	-0.48
$I_2 + 2e^- \longrightarrow 2I^-$	+0.54	$In^{3+} + e^- \longrightarrow In^{2+}$	-0.49
$I_3^- + 2e^- \longrightarrow 3I^-$	+0.53	$U^{4+} + e^- \longrightarrow U^{3+}$	-0.61
		$Cr^{3+} + 3e^- \longrightarrow Cr$	-0.74
		$Zn^{2+} + 2e^- \longrightarrow Zn$	-0.76

(राद्यु)

रिडक्शन-अर्ध प्रक्रिया	$E^\ominus/V$	रिडक्शन-अर्ध प्रक्रिया	$E^\ominus/V$
$Cd(OH)_2 + 2e^- \longrightarrow Cd + 2OH^-$	-0.81	$La^{3+} + 3e^- \longrightarrow La$	-2.52
$2H_2O + 2e^- \longrightarrow H_2 + 2OH^-$	-0.83	$Na^+ + e^- \longrightarrow Na$	-2.71
$Cr^{2+} + 2e^- \longrightarrow Cr$	-0.91	$Ca^{2+} + 2e^- \longrightarrow Ca$	-2.87
$Mn^{2+} + 2e^- \longrightarrow Mn$	-1.18	$Sr^{2+} + 2e^- \longrightarrow Sr$	-2.89
$V^{2+} + 2e^- \longrightarrow V$	-1.19	$Ba^{2+} + 2e^- \longrightarrow Ba$	-2.91
$Ti^{2+} + 2e^- \longrightarrow Ti$	-1.63	$Ra^{2+} + 2e^- \longrightarrow Ra$	-2.92
$Al^{3+} + 3e^- \longrightarrow Al$	-1.66	$Cs^+ + e^- \longrightarrow Cs$	-2.92
$U^{3+} + 3e^- \longrightarrow U$	-1.79	$Rb^+ + e^- \longrightarrow Rb$	-2.93
$Sc^{3+} + 3e^- \longrightarrow Sc$	-2.09	$K^+ + e^- \longrightarrow K$	-2.93
$Mg^{2+} + 2e^- \longrightarrow Mg$	-2.36	$Li^+ + e^- \longrightarrow Li$	-3.05
$Ce^{3+} + 3e^- \longrightarrow Ce$	-2.48		

## કેટલાક પસંદ કરેલા કોયડાના જવાબ

## એકમ 1

- 1.17  $\sim 15 \times 10^{-4} \text{ g}$ ,  $1.25 \times 10^{-4} \text{ m}$
- 1.18 (i)  $4.8 \times 10^{-3}$  (ii)  $2.34 \times 10^5$  (iii)  $8.008 \times 10^3$  (iv)  $5.000 \times 10^2$   
(v) 6.0012
- 1.19 (i) 2 (ii) 3 (iii) 4 (iv) 3  
(v) 4 (vi) 5
- 1.20 (i) 34.2 (ii) 10.4 (iii) 0.0460 (iv) 2810
- 1.21 (a) ગુણક પ્રમાણનો નિયમ (b) (i) જવાબ : ( $10^6 \text{ mm}$ ,  $10^{15} \text{ pm}$ )  
(ii) જવાબ : ( $10^{-6} \text{ kg}$ ,  $10^6 \text{ ng}$ )  
(iii) જવાબ : ( $10^{-3} \text{ L}$ ,  $10^{-3} \text{ dm}^3$ )
- 1.22  $6.00 \times 10^{-1} \text{ m} = 0.600 \text{ m}$
- 1.23 (i) B સીમિત છે. (ii) A સીમિત છે.  
(iii) તત્ત્વયોગમિતીય મિશ્રણ - ના (iv) B સીમિત છે.  
(v) A સીમિત છે.
- 1.24 (i)  $2.43 \times 10^3 \text{ g}$  (ii) હા  
(iii) પ્રક્રિયા થયા વગર હાઈડ્રોજન રહેશે;  $5.72 \times 10^2 \text{ g}$
- 1.26 10 કદ
- 1.27 (i)  $2.87 \times 10^{-11} \text{ m}$  (ii)  $1.515 \times 10^{-11} \text{ m}$  (iii)  $2.5365 \times 10^{-2} \text{ kg}$
- 1.30  $1.99265 \times 10^{-23} \text{ g}$
- 1.31 (i) 3 (ii) 4 (iii) 4
- 1.32  $39.948 \text{ g mol}^{-1}$
- 1.33 (i)  $3.131 \times 10^{25}$  પરમાણુ (ii) 13 પરમાણુ (iii)  $7.8286 \times 10^{24}$  પરમાણુ
- 1.34 પ્રમાણસૂચક સૂત્ર CH, મોલર દળ  $26.0 \text{ g mol}^{-1}$ , આણ્વીય સૂત્ર  $\text{C}_2\text{H}_2$
- 1.35  $0.94 \text{ g CaCO}_3$
- 1.36  $8.40 \text{ g HCl}$

## એકમ 2

- 2.1 (i)  $1.099 \times 10^{27}$  ઈલેક્ટ્રોન (ii)  $5.48 \times 10^{-7} \text{ kg}$ ,  $9.65 \times 10^4 \text{ C}$
- 2.2 (i)  $6.022 \times 10^{24}$  ઈલેક્ટ્રોન  
(ii) (a)  $2.4088 \times 10^{21}$  ન્યૂટ્રોન (b)  $4.0347 \times 10^{-6} \text{ kg}$   
(iii) (a)  $1.2044 \times 10^{22}$  પ્રોટોન (b)  $2.015 \times 10^{-5} \text{ kg}$
- 2.3 7,6: 8,8: 12,12: 30,26: 50, 38
- 2.4 (i) Cl (ii) U (iii) Be
- 2.5  $5.17 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$ ,  $1.72 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$



- 2.6 (i)  $1.988 \times 10^{-18} \text{ J}$  (ii)  $3.98 \times 10^{-15} \text{ J}$
- 2.7  $6.0 \times 10^{-2} \text{ m}$ ,  $5.0 \times 10^9 \text{ s}^{-1}$  અને  $16.66 \text{ m}^{-1}$
- 2.8  $2.012 \times 10^{16}$  ફોટોન
- 2.9 (i)  $4.97 \times 10^{-19} \text{ J}$  (3.10 eV); (ii) 0.97 eV (iii)  $5.84 \times 10^5 \text{ m s}^{-1}$
- 2.10  $494 \text{ kJ mol}^{-1}$
- 2.11  $7.18 \times 10^{19} \text{ s}^{-1}$
- 2.12  $4.41 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$ ,  $2.91 \times 10^{-19} \text{ J}$
- 2.13 486 nm
- 2.14  $8.72 \times 10^{-20} \text{ J}$
- 2.15 15 ઉત્સર્જન રેખાઓ
- 2.16 (i)  $8.72 \times 10^{-20} \text{ J}$  (ii) 1.3225 nm
- 2.17  $1.523 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$
- 2.18  $2.08 \times 10^{-11} \text{ અર્ગ}$ , 950 Å
- 2.19 3647 Å
- 2.20  $3.55 \times 10^{-11} \text{ m}$
- 2.21 8967 Å
- 2.22  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ; Ar,  $\text{S}^{2-}$  અને  $\text{K}^+$
- 2.23 (i) (a)  $1s^2$  (b)  $1s^2 2s^2 2p^6$ ; (c)  $1s^2 2s^2 2p^6$  (d)  $1s^2 2s^2 2p^6$
- 2.24  $n = 5$
- 2.25  $n = 3$ ;  $l = 2$ ;  $m_l = -2, -1, 0, +1, +2$  (કોઈ પણ એક મૂલ્ય)
- 2.26 (i) 29 ફોટોન
- 2.27 1, 2, 15
- 2.28 (i)  $l$   $m_l$   
 0 0  
 1 -1, 0, +1  
 2 -2, -1, 0, +1, +2  
 (ii)  $l = 2$ ;  $m_l = -2, -1, 0, +1, +2$   
 (iii)  $2s, 2p$
- 2.29 (a)  $1s$ , (b)  $3p$ , (c)  $4d$  અને (d)  $4f$
- 2.30 (a), (c) અને (e) શક્ય નથી.
- 2.31 (a) 16 ઈલેક્ટ્રોન (b) 2 ઈલેક્ટ્રોન
- 2.33  $n = 2$  થી  $n = 1$
- 2.34  $8.72 \times 10^{-18} \text{ J}$  પ્રતિ પરમાણુ
- 2.35  $1.33 \times 10^9$
- 2.36 0.06 nm
- 2.37 (a)  $1.3 \times 10^2 \text{ pm}$  (b)  $6.15 \times 10^7$  પરમાણુ
- 2.38 1563
- 2.39 8

- 2.40 હલકા પરમાણુના કેન્દ્ર નાના હોય છે, તેથી વધારે સંખ્યામાં  $\alpha$ -કણો પસાર થશે, હલકા કેન્દ્રો કરતાં ધન ભાર સંખ્યા ઓછી હોય છે. તેથી આલ્ફા કણોનું વિચલન થશે.
- 2.41 આપેલ તત્ત્વ માટે સમસ્થાનિકોમાં પ્રોટોન સંખ્યા સરખી હોય છે, જ્યારે દળ-ક્રમાંક અલગ હોઈ શકે છે.
- 2.42  ${}_{35}^{81}\text{Br}$
- 2.43  ${}_{17}^{37}\text{Cl}^{-1}$
- 2.44  ${}_{26}^{56}\text{Fe}^{3+}$
- 2.45 કોસ્મિક કિરણો > X-કિરણો > અંબર (amber) રંગ > માઈકોવેવ > FM
- 2.46  $3.3 \times 10^6 \text{ J}$
- 2.47 (a)  $4.87 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$  (b)  $9.0 \times 10^9 \text{ m}$  (c)  $32.27 \times 10^{-20} \text{ J}$  (d)  $6.2 \times 10^{18}$
- 2.48 10
- 2.49  $8.28 \times 10^{-10} \text{ J}$
- 2.50  $3.45 \times 10^{-22} \text{ J}$
- 2.51 (a) દેહલી તરંગલંબાઈ 652.46 nm (b) વિકિરણની દેહલી આવૃત્તિ  $4.598 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$   
(c) ઉત્સર્જિત ફોટોઈલેક્ટ્રોનની ગતિજ ઊર્જા =  $9.29 \times 10^{-20} \text{ J}$ ,  
ફોટોઈલેક્ટ્રોનનો વેગ =  $4.516 \times 10^5 \text{ ms}^{-1}$
- 2.53 4.48 eV                      2.54  $7.6 \times 10^3 \text{ eV}$                       2.55 ઈન્ફ્રારેડ, 5
- 2.56 434 nm                      2.57 455 pm                      2.58  $494.5 \text{ ms}^{-1}$
- 2.59 332 pm                      2.60  $1.516 \times 10^{-38} \text{ m}$
- 2.61 વ્યાખ્યાયિત કરી શકાય નહિ કારણ કે ખરેખર માત્રા અનિશ્ચિતતા કરતાં ઓછી છે.
- 2.62 (v) < (ii) = (iv) < (vi) = (iii) < (i)
- 2.63 4p
- 2.64 (i) 2s      (ii) 4d      (iii) 3p
- 2.65 Si
- 2.66 (a) 3      (b) 2      (c) 6      (d) 4      (e) શૂન્ય
- 2.67 16

### એકમ 5

- 5.1 2.5 bar                      5.2 0.8 bar                      5.4 70 g/mol
- 5.5  $M_B = 4M_A$                       5.6 203.2 mL                      5.7  $8.314 \times 10^4 \text{ Pa}$
- 5.8 1.8 bar                      5.9 3g/dm<sup>3</sup>                      5.10 1247.8 g mol<sup>-1</sup>
- 5.11 3/5                      5.12 50 K                      5.13  $4.2154 \times 10^{23}$  ઈલેક્ટ્રોન
- 5.14  $1.90956 \times 10^6$  વર્ષ                      5.15 56.025 bar                      5.16 3811.1 kg
- 5.17 5.05 L                      5.18 40 g mol<sup>-1</sup>                      5.19 0.8 bar

### એકમ 6

- 6.1 (ii)                      6.2 (iii)                      6.3 (ii)
- 6.4 (iii)                      6.5 (i)                      6.6 (iv)
- 6.7  $q = + 701 \text{ J}$   
 $w = - 394 \text{ J}$ , કારણ કે પ્રણાલી વડે કાર્ય થયેલ છે.  
 $\Delta U = 307 \text{ J}$

- 6.8  $-743.939 \text{ kJ}$       6.9  $1.067 \text{ kJ}$       6.10  $\Delta H = -7.151 \text{ kJ mol}^{-1}$   
 6.11  $-314.8 \text{ kJ}$       6.12  $\Delta_r H = -778 \text{ kJ}$       6.13  $-46.2 \text{ kJ mol}^{-1}$   
 6.14  $-239 \text{ kJ mol}^{-1}$       6.15  $326 \text{ kJ mol}^{-1}$       6.16  $\Delta S > 0$   
 6.17  $2000 \text{ K}$   
 6.18  $\Delta H$  ઋણ છે (બંધ ઊર્જા મુક્ત થઈ છે)  $\Delta S$  ઋણ છે (પરમાણુ કરતાં અણુમાં અસ્તવ્યસ્તતા ઓછી છે.)  
 6.19  $0.164 \text{ kJ}$ , પ્રક્રિયા સ્વયંસ્ફુરિત નથી.  
 6.20  $-5.744 \text{ kJ mol}^{-1}$   
 6.21  $\text{NO(g)}$  અસ્થાયી છે, પણ  $\text{NO}_2(\text{g})$  બને છે.  
 6.22  $q_{\text{surr}} = +286 \text{ kJ mol}^{-1}$   
 $\Delta S_{\text{surr}} = 959.73 \text{ J K}^{-1}$

## એકમ 7

- 7.2  $12.229 \text{ molL}^{-1}$       7.3  $2.67 \times 10^4$   
 7.5 (i)  $4.23 \times 10^{-4}$  (ii)  $1.90$       7.6  $1.59 \times 10^{-15}$   
 7.8  $[\text{N}_2] = 0.0482 \text{ molL}^{-1}$ ,  $[\text{O}_2] = 0.0933 \text{ molL}^{-1}$ ,  $[\text{N}_2\text{O}] = 6.6 \times 10^{-21} \text{ molL}^{-1}$   
 7.9  $\text{NO}$ ના  $0.0352 \text{ mol}$  અને  $\text{Br}_2$   $0.0178 \text{ mol}$   
 7.10  $7.47 \times 10^{11} \text{ M}^{-1}$       7.11  $4.0$   
 7.12  $Q_c = 2.379 \times 10^3$ . ના, પ્રક્રિયા સંતુલનમાં નથી.  
 7.14  $0.44$       7.15  $\text{H}_2$  અને  $\text{I}_2$  પ્રત્યેકના  $0.068 \text{ molL}^{-1}$   
 7.16  $[\text{I}_2] = [\text{Cl}_2] = 0.167 \text{ M}$ ,  $[\text{ICl}] = 0.446 \text{ M}$   
 7.17  $[\text{C}_2\text{H}_6]_{\text{eq}} = 3.62 \text{ atm}$   
 7.18 (i)  $[\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5][\text{H}_2\text{O}] / [\text{CH}_3\text{COOH}][\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}]$   
 (ii)  $3.92$  (iii)  $Q_c$  નું મૂલ્ય  $K_c$  કરતાં ઓછું છે માટે સંતુલન પ્રાપ્ત થશે નહિ.  
 7.19 બંને માટે  $0.02 \text{ molL}^{-1}$       7.20  $[\text{P}_{\text{CO}}] = 1.739 \text{ atm}$ ,  $[\text{P}_{\text{CO}_2}] = 0.461 \text{ atm}$ .  
 7.21 ના, પ્રક્રિયા વધુ નીપજ બનવા તરફ આગળ વધે છે.  
 7.22  $3 \times 10^{-4} \text{ molL}^{-1}$       7.23  $0.149$   
 7.24 (a)  $-35.0 \text{ kJ}$ , (b)  $1.365 \times 10^6$   
 7.27  $[\text{P}_{\text{H}_2}]_{\text{eq}} = [\text{P}_{\text{Br}_2}]_{\text{eq}} = 2.5 \times 10^{-2} \text{ bar}$ ,  $[\text{P}_{\text{HBr}}] = 10.0 \text{ bar}$   
 7.30 (b)  $120.48$       7.31  $[\text{H}_2]_{\text{eq}} = 0.96 \text{ bar}$   
 7.33  $2.86 \times 10^{-28} \text{ M}$       7.34  $5.85 \times 10^{-2}$   
 7.35  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{HCN}$ ,  $\text{ClO}_4^-$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{HS}^-$   
 7.36  $\text{BF}_3$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$       7.37  $\text{F}^-$ ,  $\text{HSO}_4^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$   
 7.38  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{HCOOH}$       7.41  $2.42$   
 7.42  $1.7 \times 10^{-4} \text{ M}$   
 7.43  $\text{F}^- = 1.5 \times 10^{-11}$ ,  $\text{HCOO}^- = 5.6 \times 10^{-11}$ ,  $\text{CN}^- = 2.08 \times 10^{-6}$   
 7.44 [ફિનોલેટ આયન] =  $2.2 \times 10^{-6}$ ,  $\alpha = 4.47 \times 10^{-5}$ , સોડિયમ ફિનોલેટના દ્રાવણમાં  $\alpha = 10^{-8}$

- 7.45  $[\text{HS}^-] = 9.54 \times 10^{-5}$ , 0.1M HCl માં  $[\text{HS}^-] = 9.1 \times 10^{-8}\text{M}$ ,  $[\text{S}^{2-}] = 1.2 \times 10^{-13}\text{M}$ ,  
0.1M HCl માં  $[\text{S}^{2-}] = 1.09 \times 10^{-19}\text{M}$
- 7.46  $[\text{Ac}^-] = 0.00093$ , pH = 3.03
- 7.47  $[\text{A}^-] = 7.08 \times 10^{-5}\text{M}$ ,  $K_a = 5.08 \times 10^{-7}$ ,  $\text{p}K_a = 6.29$
- 7.48 (a) 2.52 (b) 11.70 (c) 2.70 (d) 11.30
- 7.49 (a) 11.65 (b) 12.21 (c) 12.57 (d) 1.87
- 7.50 pH = 1.88,  $\text{p}K_a = 2.70$
- 7.51  $K_b = 1.6 \times 10^{-6}$ ,  $\text{p}K_b = 5.8$
- 7.52  $\alpha = 6.53 \times 10^{-4}$ ,  $K_a = 2.35 \times 10^{-5}$
- 7.53 (a) 0.0018 (b) 0.00018
- 7.54  $\alpha = 0.0054$
- 7.55 (a)  $1.48 \times 10^{-7}\text{M}$ , (b) 0.063 (c)  $4.17 \times 10^{-8}\text{M}$  (d)  $3.98 \times 10^{-7}$
- 7.56 (a)  $1.5 \times 10^{-7}\text{M}$ , (b)  $10^{-5}\text{M}$ , (c)  $6.31 \times 10^{-5}\text{M}$  (d)  $6.31 \times 10^{-3}\text{M}$
- 7.57  $[\text{K}^+] = [\text{OH}^-] = 0.05\text{M}$ ,  $[\text{H}^+] = 2.0 \times 10^{-13}\text{M}$
- 7.58  $[\text{Sr}^{2+}] = 0.1581\text{M}$ ,  $[\text{OH}^-] = 0.3162\text{M}$ , pH = 13.50
- 7.59  $\alpha = 1.63 \times 10^{-2}$ , pH = 3.09. 0.01M HClની હાજરીમાં  $\alpha = 1.32 \times 10^{-3}$
- 7.60  $K_a = 2.09 \times 10^{-4}$  અને આયનીકરણ અંશ = 0.0457
- 7.61 pH = 7.97. જળવિભાજનનો અંશ =  $2.36 \times 10^{-5}$
- 7.62  $K_b = 1.5 \times 10^{-9}$
- 7.63 NaCl, KBr ના દ્રાવણ તટસ્થ, NaCN,  $\text{NaNO}_2$  અને KF ના દ્રાવણ બેઝિક અને  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  નું દ્રાવણ એસિડિક છે.
- 7.64 (a) એસિડ દ્રાવણની pH = 1.9 (b) ક્ષારના દ્રાવણની pH = 7.9
- 7.65 pH = 6.78
- 7.66 (a) 12.6 (b) 7.00 (c) 1.3
- 7.67 સિલ્વર ક્રોમેટ S =  $0.65 \times 10^{-4}\text{M}$ ;  $\text{Ag}^+$ ની મોલારિટી =  $1.30 \times 10^{-4}\text{M}$   
 $\text{CrO}_4^{2-}$ ની મોલારિટી =  $0.65 \times 10^{-4}\text{M}$ ; બેરિયમ ક્રોમેટ S =  $1.1 \times 10^{-5}\text{M}$ ;  
 $\text{Ba}^{2+}$  અને  $\text{CrO}_4^{2-}$  પ્રત્યેકની મોલારિટી  $1.1 \times 10^{-5}\text{M}$ ; ફેરિક હાઈડ્રોક્સાઈડ S =  $1.39 \times 10^{-10}\text{M}$ ;  
 $\text{Fe}^{3+}$ ની મોલારિટી =  $1.39 \times 10^{-10}\text{M}$ ;  $[\text{OH}^-]$ ની મોલારિટી =  $4.17 \times 10^{-10}\text{M}$   
લેડ ક્લોરાઈડ S =  $1.59 \times 10^{-2}\text{M}$ ;  $\text{Pb}^{2+}$ ની મોલારિટી =  $1.59 \times 10^{-2}\text{M}$   
Clની મોલારિટી =  $3.18 \times 10^{-2}\text{M}$ ; મરક્યુરસ આયોડાઈડ S =  $2.24 \times 10^{-10}\text{M}$ ;  
 $\text{Hg}_2^{2+}$ ની મોલારિટી =  $2.24 \times 10^{-10}\text{M}$  અને  $\Gamma$ ની મોલારિટી =  $4.48 \times 10^{-10}\text{M}$
- 7.68 સિલ્વર ક્રોમેટ વધારે દ્રાવ્ય છે અને તેમની મોલારિટીનો ગુણોત્તર = 91.9
- 7.69 અવક્ષેપ નહિ થાય.
- 7.70 સિલ્વર બેન્ઝોએટ નીચી pH એ 3.317 ગણું વધારે દ્રાવ્ય છે.
- 7.71 દ્રાવણ માટે સૌથી ઊંચી મોલારિટી  $2.5 \times 10^{-9}\text{M}$  છે.
- 7.72 2.43 લિટર પાણી
- 7.73 કેડમિયમ ક્લોરાઈડ દ્રાવણમાં અવક્ષેપન થશે.

## પારિભાષિક શબ્દો

### A

Absolute zero	નિરપેક્ષ શૂન્ય
Accuracy	ચોકસાઈ
Actinide series	એક્ટિનાઈડ શ્રેણી
Adiabatic	સમોષ્મી (રૂઘોષ્મી)
Alpha ( $\alpha$ ) particle scattering experiment	આલ્ફા ( $\alpha$ ) કણ પ્રકીર્ણન પ્રયોગ
Anion	એનાયન (ઋણાયન)
Aqueous tension	જલીય તાણ
Arrhenius acids and bases	આર્હેનિયસ એસિડ અને બેઈઝ
Atom	પરમાણુ
Atomic mass	પરમાણ્વીય દળ
Atomic mass unit	પરમાણ્વીય દળ એકમ
Atomic models	પરમાણ્વીય નમૂના
Atomic number	પરમાણ્વીય-ક્રમાંક
Atomic orbitals	પરમાણ્વીય કક્ષકો
Atomic radius	પરમાણ્વીય ત્રિજ્યા
Atomic spectra	પરમાણ્વીય વર્ણવટ
Aufbau principle	આઉફબાઉ સિદ્ધાંત
Average atomic mass	સરેરાશ પરમાણ્વીય દળ
Avogadro constant	એવોગેડ્રો અચળાંક
Avogadro Law	એવોગેડ્રો નિયમ
Azimuthal quantum number	ગૌણ ક્વૉન્ટમ આંક

### B

Balmer series	બામર શ્રેણી
Base physical quantities	પાયાની ભૌતિક રાશિઓ
Bohr model of atom	પરમાણુનો બોહ્ર નમૂનો
Bohr radius	બોહ્ર ત્રિજ્યા
Bond angle	બંધ કોણ
Bond dissociation energy	બંધ વિયોજન ઊર્જા
Bond enthalpy	બંધ એન્થાલ્પી
Bond length	બંધ લંબાઈ
Bond order	બંધ ક્રમાંક
Born-Haber cycle	બોર્ન-હેબર ચક્ર
Boundary surface diagrams	સીમા સપાટી આરેખ
Boyle's law	બોઈલનો નિયમ
Boyle point	બોઈલ બિંદુ
Boyle temperature	બોઈલ તાપમાન
Bronsted -Lowry acids and bases	બોન્સ્ટ્રેડ-લોરી એસિડ અને બેઈઝ
Buffer solution	બફર દ્રાવણ

### C

Canal rays	કેનાલ કિરણો
Cathode rays	કેથોડ કિરણો
Cathode ray tube	કેથોડ કિરણ નળી
Cation	કેટાયન (ધનાયન)
Charles' law	ચાર્લ્સનો નિયમ
Chalcogens	ચાલ્કોજન
Chemical equilibrium	રાસાયણિક સંતુલન
Chemical properties	રાસાયણિક ગુણધર્મો
Chemical reactivity	રાસાયણિક પ્રતિક્રિયાત્મકતા
Combined gas law	સંયુક્ત વાયુ નિયમ
Common ion effect	સમાન આયન અસર
Compound	સંયોજન
Conjugate acid -base pair	સંયુગ્મ એસિડ-બેઈઝ જોડ (યુગ્મ)
Continuous spectrum	સતત વર્ણપટ
Covalent bond	સહસંયોજક બંધ
Covalent radius	સહસંયોજક ત્રિજ્યા
Critical pressure	ક્રાંતિક દબાણ
Critical temperature	ક્રાંતિક તાપમાન
Critical volume	ક્રાંતિક કદ
Closed system	બંધ પ્રણાલી

### D

Dalton's Atomic theory	ડાલ્ટનનો પરમાણ્વીય સિદ્ધાંત
Dalton's law of partial pressure	ડાલ્ટનનો આંશિક (વિભાગીય) દબાણનો નિયમ
Density	ઘનતા
Deuterium	ડ્યુટેરિયમ
Deviation from ideal gas behaviour	આદર્શ વાયુ વર્તણૂકમાંથી વિચલન
Diagonal relationship	વિકર્ણિય સંબંધ
Diatomic molecules	દ્વિપરમાણ્વીય અણુ
Dimensional analysis	પરિમાણાત્મક પૃથક્કરણ
Dipole moment	દ્વિ-ધ્રુવ ચાકમાત્રા
Dipole-dipole force	દ્વિધ્રુવ-દ્વિધ્રુવ-બળ
Dipole induced dipole forces	દ્વિધ્રુવ પ્રેરિત દ્વિધ્રુવ બળ
Dispersion force	વિસર્જન બળ
Dual behaviour of matter	દ્રવ્યનો દ્વૈત સ્વભાવ
Dynamic equilibrium	ગતિશીલ સંતુલન

### E

Effective nuclear charge	અસરકારક કેન્દ્રીય ભાર
Electron	ઈલેક્ટ્રોન

Element	તત્ત્વ	Hess's law	હેસનો નિયમ
Electronegativity	વિદ્યુતઋણતા	Heterogeneous equilibria	વિષમંગ સંતુલન
Electron gain enthalpy	ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્તિ એન્થાલ્પી	Homogeneous equilibria	સમંગ સંતુલન
Electromagnetic radiation	વિદ્યુતચુંબકીય વિકિરણ	Hund's rule of maximum multiplicity	હુન્ડનો મહત્તમ ગુણકતાનો નિયમ
Electromagnetic spectrum	વિદ્યુતચુંબકીય વર્ણપટ	Hybridisation	સંકરણ
Electronic configuration	ઇલેક્ટ્રોનીય રચના	Hydrogen bonding	હાઇડ્રોજન બંધન
Elements <i>d</i> -block	<i>d</i> -વિભાગના તત્ત્વો	Hydrogen spectrum	હાઇડ્રોજન વર્ણપટ
Elements <i>p</i> -block	<i>p</i> -વિભાગના તત્ત્વો	Hydronium ion	હાઇડ્રોનિયમ આયન
Elements <i>f</i> -block	<i>f</i> -વિભાગના તત્ત્વો	<b>I</b>	
Elements <i>s</i> -block	<i>s</i> -વિભાગના તત્ત્વો	Ideal gas equation	આદર્શ વાયુ સમીકરણ
Empirical formula	પ્રમાણસૂચક સૂત્ર	Intermolecular forces	આંતર આણ્વીય બળો
Emission spectrum	ઉત્સર્જન વર્ણપટ	Internal energy	આંતરિક ઊર્જા
Enthalpy	એન્થાલ્પી	Intensive property	વિશિષ્ટ ગુણધર્મો
Enthalpy change during phase transformation	કલા રૂપાંતરણ દરમિયાન એન્થાલ્પી ફેરફેર	Ionic bond	આયનીય બંધ
Enthalpy of atomization	પરમાણ્વીયકરણ એન્થાલ્પી	Ionic equilibrium	આયનીય સંતુલન
Enthalpy of combustion	દહન એન્થાલ્પી	Ionic product of water	પાણીનો આયનીય ગુણાકાર
Enthalpy of solution	દ્રાવણની એન્થાલ્પી	Ionic radius	આયનીય ત્રિજ્યા
Entropy	એન્ટ્રોપી	Ionization constant	આયનીકરણ અચળાંક
Equation of state	અવસ્થા સમીકરણ	Ionization enthalpy	આયનીકરણ એન્થાલ્પી
Equilibrium constant	સંતુલન અચળાંક	Ionization of acids and bases	એસિડ અને બેઇઝનું આયનીકરણ
Equilibrium equation	સંતુલન સમીકરણ	Isobar	સમભારક
Equilibrium mixture	સંતુલન મિશ્રણ	Isocore	આઇસોકોર
Equilibrium vapour pressure	સંતુલન બાષ્પ દબાણ	Isoelectronic species	સમઇલેક્ટ્રોનીય સ્પીસિઝ
Exchange energy	વિનિમય ઊર્જા	Isolated system	નિરાળી પ્રણાલી
Excited state of atom	પરમાણુની ઉત્તેજિત અવસ્થા	Isotherm	સમતાપ
Extensive property	માત્રાત્મક ગુણધર્મ	Isotopes	સમસ્થાનિક
<b>F</b>		<b>K</b>	
Fajan's rule	ફજાનનો નિયમ	Kelvin temperature scale	કેલ્વિન તાપમાન માપકમ
First law of thermodynamics	ઉષ્માગતિશાસ્ત્રનો પ્રથમ નિયમ	Kössel –Lewis approach	કોસેલ-લુઇસ અભિગમ
Formal charge	નિયમનિષ્ઠ ભાર	<b>L</b>	
Formula mass	સૂત્રદળ	Lanthanide series	લેન્થેનાઇડ શ્રેણી
<b>G</b>		Lattice enthalpy	લેટિસ એન્થાલ્પી
Gas	વાયુ	Law of chemical equilibrium	રાસાયણિક સંતુલનનો નિયમ
Gas laws	વાયુ નિયમો	Law of conservation of mass	દળસંચયનો નિયમ
Gay-Lussac's law of gaseous volume	ગે લ્યુસેકનો વાયુમય કદનો નિયમ	Law of definite proportion	નિશ્ચિત પ્રમાણનો નિયમ
Gay-Lussac's law, pressure temperature relationship	ગે લ્યુસેકનો નિયમ, દબાણ-તાપમાન સંબંધ	Law of multiple proportions	ગુણક પ્રમાણનો નિયમ
Gibbs energy	ગીબ્સ ઊર્જા	Law of Octaves	અષ્ટકનો નિયમ
Ground state of atom	પરમાણુની ધરા (ભૂમિ) અવસ્થા	Law of Triads	ત્રિપુટીનો નિયમ
<b>H</b>		Le Chatelier's principle	લ શેટેલિયરનો સિદ્ધાંત
Halogens	હેલોજન	Lewis acids and bases	લુઇસ એસિડ અને બેઇઝ
Heisenberg's uncertainty principle	હાઇઝનબર્ગનો અનિશ્ચિતતાનો સિદ્ધાંત	Lewis dot structure	લુઇસ બિંદુ રચના

Lewis symbols	લુઇસ સંજ્ઞાઓ
Limiting reagent	સીમિત પ્રક્રિયક
Line spectrum	રેખા વર્ણપટ
Linear combination of atomic orbitals (LCAO)	પરમાણ્વીય કક્ષકોનું રૈખિક સંગઠન (LCAO)
Liquid	પ્રવાહી
Liquid state	પ્રવાહી અવસ્થા
Liquid-vapour equilibrium	પ્રવાહી-બાષ્પ સંતુલન
Liquifaction of gases	વાયુઓનું પ્રવાહીકરણ
London force	લંડન બળ

**M**

Magnetic orbital quantum number	ચુંબકીય કક્ષકીય ક્વોન્ટમ આંક
Mass	દળ
Mass number	દળ ક્રમાંક
Mass per cent	દળ ટકા
Matter	દ્રવ્ય
Measurement, English system	માપન, ઈંગ્લિશ પદ્ધતિ
Measurement, Metric system	માપન, મેટ્રિક પદ્ધતિ
Measurement, Volume	માપન, કદ
Mendeleev's periodic law	મેન્ડેલીફનો આવર્ત નિયમ
Metallic radius	ધાત્વીય ત્રિજ્યા
Metalloids	અર્ધધાતુઓ
Metals	ધાતુઓ
Mixture	મિશ્રણ
Mixture heterogeneous	મિશ્રણ વિષમાંગ
Mixture homogeneous	મિશ્રણ સમાંગ
Modern periodic law	આધુનિક આવર્ત નિયમ
Molality	મોલાલિટી
Molar enthalpy of fusion	મોલર ગલન એન્થાલ્પી
Molar enthalpy of vaporization	મોલર બાષ્પન એન્થાલ્પી
Molar mass	મોલર દળ
Molarity	મોલારિટી
Mole	મોલ
Mole fraction	મોલ અંશ
Molecular formula	આણ્વીય સૂત્ર
Molecular mass	આણ્વીય દળ
Molecular orbital theory	આણ્વીય કક્ષક વાદ
Molecule	અણુ

**N**

National standards of measurements	માપનના રાષ્ટ્રીય માનાંકો (પ્રમાણિત)
------------------------------------	-------------------------------------

Neutron	ન્યુટ્રોન
Noble gases	ઉમદા (નિષ્ક્રિય) વાયુઓ
Nodes	નોડ
Non-metals	અધાતુ
Nucleons	ન્યુક્લિયોન
Nucleus	કેન્દ્ર (ન્યુક્લિયસ, નાભિ)

**O**

Octet rule	અષ્ટક નિયમ
Open system	ખુલ્લી પ્રણાલી
Orbit	કક્ષા
Orbitals	કક્ષકો
Orbital overlap	કક્ષકીય સંમિશ્રણ
Oxidation state	ઓક્સિડેશન અવસ્થા

**P**

Particle nature	કણ સ્વભાવ
Pauli's exclusion principle	પૌલીનો નિષેધ (બાકાતી) સિદ્ધાંત
Percentage composition	ટકાવાર સંઘટન
Periodic groups	આવર્તનીય સમૂહ
Periodic table long form	આવર્તકોષ્ટક દીર્ઘ રૂપ
Periodic table periods	આવર્તકોષ્ટક હરોળ
Periodicity of valence	સંયોજકતાની આવર્તનીયતા
pH scale	pH માપકમ
Photoelectric effect	ફોટોઇલેક્ટ્રિક અસર
Physical properties	ભૌતિક ગુણધર્મો
$\pi$ (pi) bond	$\pi$ (પાઈ) બંધ
Planck's quantum theory	પ્લાન્કનો ક્વોન્ટમ વાદ
Polyatomic molecules	બહુપરમાણ્વીય અણુ
Precision	પરિશુદ્ધતા
Principal quantum number	મુખ્ય ક્વોન્ટમ આંક
Protium	પ્રોટિયમ
Proton	પ્રોટોન
Pure substance	શુદ્ધ પદાર્થ

**Q**

Quantum	ક્વોન્ટમ
Quantum mechanics	ક્વોન્ટમ યંત્રશાસ્ત્ર

**R**

Radioactive elements	રેડિયોસક્રિય તત્ત્વો
Radioactivity	રેડિયોસક્રિયતા
Reaction quotient	પ્રક્રિયા ભાગફળ
Reference standard	સંદર્ભ માનાંક
Representative elements	પ્રતિનિધિ તત્ત્વો

Resonance structures	સસ્પંદન રચના
Rutherford model of atom	પરમાણુનો રૂથરફોર્ડનો નમૂનો
Rydberg constant	રીડબર્ગ અચળાંક

**S**

Schrödinger wave equation	શ્રોડિંજર તરંગ સમીકરણ
Scientific notation	વૈજ્ઞાનિક સંકેત
Screening effect	સ્ક્રીનિંગ (આવરણ) અસર
Semi-metals	અર્ધ ધાતુઓ
Shell	કોશ
Shielding effect	શીલ્ડિંગ (પરિરક્ષણ) અસર
Shielding of electrons	ઇલેક્ટ્રોનનું શીલ્ડિંગ (પરિરક્ષણ)
SI base units	પાયાના SI એકમો
$\sigma$ (Sigma) bond	$\sigma$ (સિગ્મા) બંધ
Significant figures	અર્થસૂચક (સાર્થક) અંક
SI system of units	એકમની SI પદ્ધતિ
SI system prefixes	SI પદ્ધતિ પૂર્વગો
SI unit of density	ઘનતાનો SI એકમ
SI unit of mass	દળનો SI એકમ
SI unit of temperature	તાપમાનનો SI એકમ
SI unit of volume	કદનો SI એકમ
Solid	ઘન
Solid-gas equilibrium	ઘન-વાયુ સંતુલન
Solid-liquid equilibrium	ઘન-પ્રવાહી સંતુલન
Solubility product constant	દ્રાવ્યતા ગુણાકાર અચળાંક
Spectroscopy	સ્પેક્ટ્રોસ્કોપી (સ્પેક્ટ્રોમિત્રી)
Spectrum	વર્ણપટ
Speed of light	પ્રકાશની ઝડપ
Spin quantum number	ભ્રમણ ક્વોન્ટમ આંક
Spontaneous process	સ્વયંસ્ફુરિત (સ્વયંભૂ) પ્રક્રમ
Standard ambient temperature and pressure	પ્રમાણિત પરિવેશી તાપમાન અને દબાણ
Standard enthalpy of combustion	દહનની પ્રમાણિત એન્થાલ્પી
Standard enthalpy of formation	સર્જનની પ્રમાણિત એન્થાલ્પી
State functions	અવસ્થા વિધેય

State variables	અવસ્થા ચલ
Stoichiometry	તત્ત્વયોગમિત્રિ
Subatomic particles	અવપરમાણ્વીય કણ
Sublevel	ઉપસ્તર (ઉપસપાટી)
Subshell	ઉપકોશ (પેટાકોશ)
Surface tension	પૃષ્ઠતાણ
Surroundings	પર્યાવરણ
System	પ્રણાલી

**T**

Temperature scales	તાપમાન માપકમ
Thermal energy	ઉષ્મીય ઊર્જા
Thermal interactions	ઉષ્મીય પારસ્પારિક ક્રિયાઓ
Thermochemical equations	ઉષ્માગતિકીય રાસાયણિક સમીકરણ
Thermodynamic scale	ઉષ્માગતિય માપકમ
Thermodynamic state	ઉષ્માગતિય અવસ્થા
Thomson model	થોમસન નમૂનો
Threshold frequency	દેહલી આવૃત્તિ
Transition series	સંક્રાંતિ શ્રેણી
Tritium	ટ્રીટિયમ

**U**

Unified mass	એકીકૃત દળ
Universal gas constant	સાર્વત્રિક વાયુ અચળાંક

**V**

Valance bond theory	સંયોજકતા બંધનવાદ
Valence electron	સંયોજકતા ઇલેક્ટ્રોન
van der Waals forces	વાન વાલ્સ બળ
Vapour pressure	બાષ્પ દબાણ
Viscosity	સ્નિગ્ધતા
Visible light	દૃશ્ય પ્રકાશ
VSEPR theory	VSEPR સિદ્ધાંત

**W**

Wave number	તરંગ સંખ્યા
Weight	વજન



# રસાયણવિજ્ઞાન

## ભાગ II

### ધોરણ XI



### પ્રતિજ્ઞાપત્ર

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



રાષ્ટ્રીય શૈક્ષિક અનુસંધાન ઓર પ્રશિક્ષણ પરિષદ  
NATIONAL COUNCIL OF EDUCATIONAL RESEARCH AND TRAINING



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

© NCERT, નવી 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 શકાશે નહિ.

### અનુવાદ

ડૉ. આઈ. એમ. ભટ્ટ  
ડૉ. મયૂર સી. શાહ

### સમીક્ષા

પ્રો. જાબાલી જે. વોરા  
ડૉ. દશરથ પી. પટેલ  
ડૉ. દેવાંગ આર. પંડ્યા  
શ્રી સી. આઈ. પટેલ  
શ્રી મુકેશ બી. પટેલ  
શ્રી કિરણ કે. પુરોહિત  
શ્રી શેખર બી. ગોર  
શ્રી નિરવ એન. શાહ  
શ્રી મિતેષ એચ. પંચોલી

### ભાષાશુદ્ધિ

શ્રી મનીષ કે. પંચાલ

### સંયોજન

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

### નિર્માણ-સંયોજન

શ્રી આશિષ એચ. બોરીસાગર  
(નાયબ નિયામક : શૈક્ષણિક)

### મુદ્રણ-આયોજન

શ્રી હરેશ એસ. લીમ્બાયીયા  
(નાયબ નિયામક : ઉત્પાદન)

### પ્રસ્તાવના

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

આ પાઠ્યપુસ્તકનો અનુવાદ તથા તેની સમીક્ષા નિષ્ણાત પ્રાધ્યાપકો અને શિક્ષકો પાસે કરાવવામાં આવ્યા છે અને સમીક્ષકોનાં સૂચનો અનુસાર હસ્તપ્રતમાં યોગ્ય સુધારા-વધારા કર્યા પછી આ પાઠ્યપુસ્તક પ્રસિદ્ધ કરતાં પહેલા આ પાઠ્યપુસ્તકની મંજૂરી માટે એક સ્ટેટ લેવલની કમિટીની રચના કરવામાં આવી. આ કમિટીની સાથે NCERTના પ્રતિનિધિ તરીકે RIE, ભોપાલથી ઉપસ્થિત રહેલા નિષ્ણાતોની સાથે એક ત્રિદિવસીય કાર્યશિબિરનું આયોજન કરવામાં આવ્યું અને પાઠ્યપુસ્તકને અંતિમ સ્વરૂપ આપવામાં આવ્યું. જેમાં, ડૉ. એસ. કે. મકવાણા (RIE, ભોપાલ), ડૉ. કલ્પના મસ્કી (RIE, ભોપાલ), ડૉ. આઈ. એમ. ભટ્ટ, પ્રો.(ડૉ.) જાબાલી જે. વોરા, શ્રી સી. આઈ. પટેલ અને શ્રી શેખર બી. ગોરે ઉપસ્થિત રહી પોતાના કીમતી સૂચનો અને માર્ગદર્શન પૂરા પાડ્યા છે.

પ્રસ્તુત પાઠ્યપુસ્તકને રસપ્રદ, ઉપયોગી અને ક્ષતિરહિત બનાવવા માટે માન. અગ્રસચિવશ્રી (શિક્ષણ) દ્વારા અંગત રસ લઈને જરૂરી માર્ગદર્શન આપવામાં આવ્યું છે. 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.

ડૉ. એમ. આઈ. જોષી

નિયામક

તા. 26-10-2017

ડૉ. નીતિન પેથાણી

કાર્યવાહક પ્રમુખ

ગાંધીનગર

પ્રથમ આવૃત્તિ : 2018

પ્રકાશક : ગુજરાત રાજ્ય શાળા પાઠ્યપુસ્તક મંડળ, 'વિદ્યાયન', સેક્ટર 10-એ, ગાંધીનગર વતી, ડૉ. એમ. આઈ. જોષી, નિયામક  
મુદ્રક :

(iii)

## 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. We are especially grateful to the members of the National Monitoring Committee, appointed by the Department of Secondary and Higher Education, Ministry of Human Resource Development under the Chairpersonship of Professor Mrinal Miri and Professor G.P. Deshpande, for their valuable time and contribution. 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 December 2005

*Director*  
National Council of Educational  
Research and Training

(iv)

## TEXTBOOK DEVELOPMENT COMMITTEE

### CHAIRPERSON, ADVISORY GROUP FOR TEXTBOOKS IN SCIENCE AND MATHEMATICS

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

### CHIEF ADVISOR

B.L. Khandelwal, *Professor (Retd.)*, *Emeritus Scientist*, CSIR; *Emeritus Fellow*, AICTE and formerly *Chairman*, Department of Chemistry, Indian Institute of Technology, New Delhi

### MEMBERS

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

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

H.O. Gupta, *Professor*, DESM, NCERT, New Delhi

I.P. Aggarwal, *Professor*, Regional Institute of Education, NCERT, Bhopal

Jaishree Sharma, *Professor*, DESM, NCERT, New Delhi

M. Chandra, *Professor*, DESM, NCERT, New Delhi

Poonam Sawhney, *PGT (Chemistry)*, Kendriya Vidyalaya, Vikas Puri, New Delhi

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

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

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

Sadhna Bhargava, *PGT (Chemistry)*, Sardar Patel Vidyalaya, Lodhi Estate, New Delhi

Shubha Keshwan, *Headmistress*, Demonstration School, Regional Institute of Education, NCERT, Mysore

Sukhvir Singh, *Reader*, DESM, NCERT, New Delhi

Sunita Malhotra, *Professor*, School of Sciences, IGNOU, Maidan Garhi, New Delhi

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

V.P. Gupta, *Reader*, Regional Institute of Education, NCERT, Bhopal

### MEMBER-COORDINATOR

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

## ACKNOWLEDGEMENTS

The National Council of Educational Research and Training acknowledges the valuable contributions of the individuals and organisations involved in the development of Chemistry textbook for Class XI. It also acknowledges that some useful material from the reprint editions (2005) of Chemistry textbooks has been utilised in the development of the present textbook. The following academics contributed very effectively for editing, reviewing, refining and finalisation of the manuscript of this book: G.T. Bhandage, *Professor*, RIE, Mysore; N. Ram, *Professor*, IIT, New Delhi; R. Sindhu, *Reader*, RIE (NCERT), Bhopal; Sanjeev Kumar, *Reader*, Desh Bandhu College, Kalkaji, New Delhi; Shampa Bhattacharya, *Reader*, Hans Raj College, Delhi; Vijay Sarda, *Reader*, Zakir Husain College, New Delhi. K.K. Arora, *Reader*, Zakir Husain College, New Delhi; Shashi Saxena, *Reader*, Hans Raj College, Delhi; Anuradha Sen, Apeejay School, Sheikh Sarai, New Delhi; C. Shrinivas, *PGT*, Kendriya Vidyalaya, Pushp Vihar, New Delhi; D.L. Bharti, *PGT*, Ramjas School, Sector IV, R.K. Puram, New Delhi; Ila Sharma, *PGT*, Delhi Public School, Dwarka, Sector-B, New Delhi; Raj Lakshmi Karthikeyan, *Head (Science)*, Mothers' International School, Sri Aurobindo Marg, New Delhi; Sushma Kiran Setia, *Principal*, Sarvodaya Kanya Vidyalaya, Hari Nagar (CT), New Delhi; Nidhi Chaudray, *PGT*, CRPF Public School, Rohini, Delhi; and Veena Suri, *PGT*, Bluebells School, Kailash, New Delhi. We are thankful to them.

Special thanks are due to M. Chandra, *Professor and Head*, DESM, NCERT for her support.

The Council also gratefully acknowledges the contribution of Surendra Kumar, *DTP Operator*; Subhash Saluja, Ramendra Kumar Sharma and Abhimanyu Mohanty, *Proof Readers*; Bhavna Saxena, *Copy Editor* and Deepak Kapoor, *Incharge*, Computer Station, in shaping this book. The contributions of the Publication Department in bringing out this book are also duly acknowledged.

### રસાયણવિજ્ઞાન ભાગ Iની અનુક્રમણિકા

એકમ 1	રસાયણવિજ્ઞાનની કેટલીક પાયાની સંકલ્પનાઓ	1
એકમ 2	પરમાણુનું બંધારણ	26
એકમ 3	તત્ત્વોનું વર્ગીકરણ અને ગુણધર્મોમાં આવર્તિતા	70
એકમ 4	રાસાયણિક બંધન અને આણ્વીય રચના	96
એકમ 5	દ્રવ્યની અવસ્થાઓ	132
એકમ 6	ઉષ્માગતિશાસ્ત્ર	155
એકમ 7	સંતુલન	186
	પરિશિષ્ટ	232
	જવાબો	246
	પારિભાષિક શબ્દો	251

## અનુક્રમશિકા

	<b>Foreword</b>	<b>iii</b>
<b>એકમ 8</b>	<b>રેડોક્ષ પ્રક્રિયાઓ</b>	<b>255</b>
	8.1 રેડોક્ષ પ્રક્રિયાઓનો ચિરસંમત ખ્યાલ – ઓક્સિડેશન અને રિડક્શન પ્રક્રિયાઓ	255
	8.2 ઇલેક્ટ્રોન વિનિમય પ્રક્રિયાઓના સ્વરૂપમાં રેડોક્ષ પ્રક્રિયાઓ	257
	8.3 ઓક્સિડેશન આંક	259
	8.4 રેડોક્ષ પ્રક્રિયાઓ અને વિદ્યુતધ્રુવ પ્રક્રમ	269
<b>એકમ 9</b>	<b>હાઈડ્રોજન</b>	<b>276</b>
	9.1 આવર્તકોષ્ટકમાં હાઈડ્રોજનનું સ્થાન	276
	9.2 હાયડ્રોજન, H <sub>2</sub>	277
	9.3 હાયડ્રોજનની બનાવટ, H <sub>2</sub>	278
	9.4 હાયડ્રોજનના ગુણધર્મો	278
	9.5 હાઈડ્રાઈડ	280
	9.6 પાણી	281
	9.7 હાઈડ્રોજન પેરોક્સાઈડ (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	285
	9.8 ભારે પાણી, D <sub>2</sub> O	286
	9.9 ઈંધણ તરીકે હાયડ્રોજન	286
<b>એકમ 10</b>	<b>s-વિભાગના તત્ત્વો</b>	<b>291</b>
	10.1 સમૂહ 1ના તત્ત્વો : આલ્કલી ધાતુઓ	292
	10.2 આલ્કલી ધાતુઓના સંયોજનોની સામાન્ય લાક્ષણિકતાઓ	295
	10.3 લિથિયમના અનિયમિત ગુણધર્મો	296
	10.4 સોડિયમના કેટલાક અગત્યના સંયોજનો	296
	10.5 સોડિયમ અને પોટેશિયમનું જૈવિક અગત્ય	298
	10.6 સમૂહ 2ના તત્ત્વો : આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓ	298
	10.7 આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓના સંયોજનોની સામાન્ય લાક્ષણિકતાઓ	301
	10.8 બેરિલિયમની અનિયમિત વર્તણૂક	302
	10.9 કેલ્શિયમના કેટલાક અગત્યના સંયોજનો	302
	10.10 મેગ્નેશિયમ અને કેલ્શિયમનું જૈવિક અગત્ય	304
<b>એકમ 11</b>	<b>p-વિભાગના તત્ત્વો</b>	<b>307</b>
	11.1 સમૂહ 13ના તત્ત્વો : બોરોન પરિવાર	309
	11.2 બોરોનના અગત્યના વલણો અને અનિયમિત ગુણધર્મો	312
	11.3 બોરોનના અગત્યના કેટલાક સંયોજનો	312
	11.4 બોરોન અને એલ્યુમિનિયમ તથા તેઓના સંયોજનોના ઉપયોગો	314

(viii)

11.5	સમૂહ 14ના તત્ત્વો : કાર્બન પરિવાર	314
11.6	કાર્બનના અગત્યના વલણો અને અનિયમિત વર્તણૂક	317
11.7	કાર્બનના અપરરૂપો	317
11.8	કાર્બન અને સિલિકોનના કેટલાક અગત્યના સંયોજનો	319
<b>એકમ 12</b>	<b>કાર્બનિક રસાયણવિજ્ઞાન – કેટલાક પાયાના સિદ્ધાંતો અને પદ્ધતિઓ</b>	<b>326</b>
12.1	સામાન્ય પ્રસ્તાવના	326
12.2	કાર્બનની ચતુર્સંયોજકતા : કાર્બનિક સંયોજનોના આકાર	327
12.3	કાર્બનિક સંયોજનોનું બંધારણીય નિરૂપણ	328
12.4	કાર્બનિક સંયોજનોનું વર્ગીકરણ	331
12.5	કાર્બનિક સંયોજનોનું નામકરણ	332
12.6	સમઘટકતા	340
12.7	કાર્બનિક પ્રક્રિયાની ક્રિયાવિધિમાં મૂળભૂત સંકલ્પનાઓ	341
12.8	કાર્બનિક સંયોજનોના શુદ્ધીકરણની પદ્ધતિઓ	348
12.9	કાર્બનિક સંયોજનોનું ગુણાત્મક પૃથક્કરણ	354
12.10	જથ્થાત્મક પૃથક્કરણ	355
<b>એકમ 13</b>	<b>હાઈડ્રોકાર્બન</b>	<b>365</b>
13.1	વર્ગીકરણ	365
13.2	આલ્કેન	366
13.3	આલ્કીન	376
13.4	આલ્કાઈન	384
13.5	એરોમેટિક હાઈડ્રોકાર્બન	388
13.6	કેન્સરજન્યતા અને વિષાલુતા	395
<b>એકમ 14</b>	<b>પર્યાવરણીય રસાયણવિજ્ઞાન</b>	<b>398</b>
14.1	પર્યાવરણીય પ્રદૂષણ	398
14.2	વાતાવરણીય પ્રદૂષણ	399
14.3	જળ પ્રદૂષણ	406
14.4	જમીનનું પ્રદૂષણ	408
14.5	ઔદ્યોગિક કચરો	409
14.6	પર્યાવરણીય પ્રદૂષણ-નિયંત્રણના પગલાં	410
14.7	હરિયાણું રસાયણવિજ્ઞાન	410
	<b>જવાબો</b>	<b>414</b>
	<b>પારિભાષિક શબ્દો</b>	<b>418</b>



## રેડોક્ષ પ્રક્રિયાઓ (Redox Reactions)

### હેતુઓ :

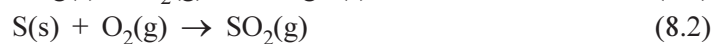
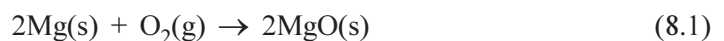
- આ એકમના અભ્યાસ પછી તમે...
- રેડોક્ષ પ્રક્રિયાઓને એક વર્ગ તરીકે ઓળખી શકશો કે જેમાં ઓક્સિડેશન અને રિડક્શન પ્રક્રિયાઓ એકસાથે થાય છે.
- ઓક્સિડેશન, રિડક્શન, ઓક્સિડેશનકર્તા (ઓક્સિડન્ટ), રિડક્શનકર્તા (રિડક્ટન્ટ) શબ્દોને વ્યાખ્યાયિત કરી શકશો.
- રેડોક્ષ પ્રક્રિયાની ક્રિયાવિધિને ઇલેક્ટ્રોન વિનિમય પ્રક્રિયા દ્વારા સમજાવી શકશો.
- ઓક્સિડેશન આંકની સંકલ્પનાનો ઉપયોગ કરી પ્રક્રિયામાં રહેલા ઓક્સિડેશનકર્તા અને રિડક્શનકર્તાને ઓળખી શકશો.
- રેડોક્ષ પ્રક્રિયાને સંયોજીકરણ પ્રક્રિયા (સંશ્લેષણ), વિઘટન પ્રક્રિયા, વિસ્થાપન પ્રક્રિયા અને વિષમીકરણ પ્રક્રિયામાં વર્ગીકૃત કરી શકશો.
- વિભિન્ન રિડક્શનકર્તા અને ઓક્સિડેશનકર્તાઓના સાપેક્ષ ક્રમ સૂચવી શકશો.
- (i) ઓક્સિડેશન આંક (ii) અર્ધપ્રક્રિયા પદ્ધતિ દ્વારા રાસાયણિક સમીકરણોને સમતોલિત કરી શકશો.
- રેડોક્ષ પ્રક્રિયાઓની સંકલ્પના વિદ્યુતપ્રુવ પ્રક્રિયા સ્વરૂપે શીખી શકશો.

જ્યાં ઓક્સિડેશન છે ત્યાં હંમેશાં રિડક્શન હોય છે, રસાયણવિજ્ઞાન રેડોક્ષ પ્રણાલીના અભ્યાસનું વિજ્ઞાન છે.

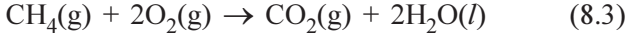
વિભિન્ન પદાર્થોના અભ્યાસને અને એક પદાર્થના બીજા પદાર્થમાં રૂપાંતરણના અભ્યાસને રસાયણવિજ્ઞાન કહે છે. આ રૂપાંતરણ વિવિધ પ્રક્રિયાઓ દ્વારા થાય છે. રેડોક્ષ પ્રક્રિયાઓ આવી પ્રક્રિયાઓનો મહત્વનો વર્ગ છે. અનેક ભૌતિક અને જૈવિક પરિઘટનાઓ (phenomena) રેડોક્ષ પ્રક્રિયા સાથે સંબંધિત છે. આ પ્રક્રિયાઓનો વ્યાપક રીતે ઔષધવિજ્ઞાનમાં, જીવવિજ્ઞાનમાં, ઔદ્યોગિક ક્ષેત્રે, ધાતુકર્મવિજ્ઞાનમાં અને કૃષિવિજ્ઞાનમાં ઉપયોગ થાય છે. તેનું મહત્ત્વ તે વાતથી સ્પષ્ટ છે કે તેમનો ઉપયોગ નીચેના ક્ષેત્રોની રેડોક્ષ પ્રક્રિયાઓમાં જેવી કે ઘરેલું, પરિવહન તથા વ્યાવસાયિક ક્ષેત્રોમાં અનેક પ્રકારના ઈંધણના દહનથી ઊર્જા પ્રાપ્ત કરવા માટે, અતિક્રિયાશીલ ધાતુઓ અને અધાતુઓના નિષ્કર્ષણ માટે વિદ્યુત-રાસાયણિક પ્રક્રિયામાં, કોસ્ટિક સોડા જેવા રસાયણોના ઉત્પાદનમાં, શુષ્ક અને ભીની બેટરીને કાર્યરત કરવામાં, ધાતુ ક્ષારણમાં થાય છે. હાલમાં હાઈડ્રોજન અર્થવ્યવસ્થા (ઈંધણ તરીકે પ્રવાહી હાઈડ્રોજનનો ઉપયોગ) અને ‘ઓઝોન સ્તરમાં ગાબડું’ વગેરે જેવા પર્યાવરણના વિષયોમાં પણ રેડોક્ષ પ્રક્રિયા જોવા મળે છે.

### 8.1 રેડોક્ષ પ્રક્રિયાઓનો ચિરસંમત ખ્યાલ – ઓક્સિડેશન અને રિડક્શન પ્રક્રિયાઓ (Classical Idea of Redox Reactions - Oxidation and Reduction Reactions)

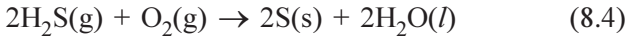
મૂળ રીતે, તત્ત્વ કે સંયોજનમાં ઓક્સિજનના ઉમેરણને વર્ણવવા માટે ઓક્સિડેશન શબ્દ વપરાતો હતો. વાતાવરણમાં ડાયઓક્સિજનની (~20 %) હાજરીને કારણે તેની સાથે ઘણા તત્ત્વો જોડાય છે અને આ જ કારણે પૃથ્વી પર તત્ત્વ સામાન્ય રીતે તેમના ઓક્સાઈડ સ્વરૂપે જ પ્રાપ્ત થાય છે. ઓક્સિડેશનની આ મર્યાદિત વ્યાખ્યા મુજબ ઓક્સિડેશન પ્રક્રિયાને નીચે દર્શાવેલા સમીકરણ દ્વારા રજૂ કરી શકાય છે :



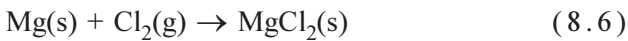
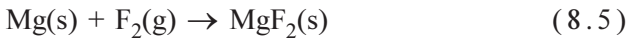
પ્રક્રિયાઓ (8.1) અને (8.2)માં મેંગનેશિયમ અને સલ્ફર તત્ત્વો ઓક્સિજનના ઉમેરાવાના કારણે ઓક્સિડેશન પામે છે. તેવી જ રીતે મિથેન પણ પોતાનામાં ઓક્સિજન ઉમેરાવાના કારણે ઓક્સિડેશન પામે છે.



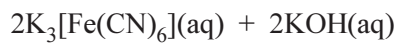
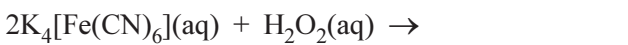
જો પ્રક્રિયા (8.3)નું ધ્યાનપૂર્વક અવલોકન કરવામાં આવે તો મિથેનમાં હાઈડ્રોજનનું સ્થાન ઓક્સિજન દ્વારા લેવાયું છે. જેથી રસાયણવિજ્ઞાનીઓને પ્રેરણા મળી કે હાઈડ્રોજન દૂર થવાની પ્રક્રિયાને ઓક્સિડેશન કહી શકાય. આ રીતે ઓક્સિડેશન શબ્દને વિસ્તૃત રીતે પદાર્થમાંથી હાઈડ્રોજન દૂર થવાની ક્રિયાને ઓક્સિડેશન કહેવામાં આવ્યું. નીચે દર્શાવેલા ઉદાહરણમાં હાઈડ્રોજન દૂર થઈને ઓક્સિડેશન થતું હોય તેવી પ્રક્રિયા છે :



રસાયણવિજ્ઞાનીઓના જ્ઞાનમાં જેમજેમ વૃદ્ધિ થતી ગઈ તેમતેમ એવી પ્રક્રિયાઓ જેમાં (8.1) થી (8.4)ની જેમ ઓક્સિજન સિવાય અન્ય વિદ્યુતઋણમય તત્ત્વોનો સમાવેશ થતો હોય તેને ઓક્સિડેશન કહેવા લાગ્યા. મેંગનેશિયમનું ફ્લોરિન, ક્લોરિન અને સલ્ફર દ્વારા થતું ઓક્સિડેશન નીચેની પ્રક્રિયાઓમાં દર્શાવેલું છે :



ઓક્સિડેશન પ્રક્રિયાઓના સમૂહમાં ઉપરોક્ત પ્રક્રિયાઓને (8.5 થી 8.7) સમાવતા રસાયણવિજ્ઞાનીઓને ઓક્સિડેશન માટે માત્ર હાઈડ્રોજન દૂર થવું એટલું જ નહિ, પરંતુ કોઈ પણ વિદ્યુતધનમય તત્ત્વ દૂર થવાને ઓક્સિડેશન કહેવા માટેનું પ્રોત્સાહન મળ્યું. આમ, આ પ્રક્રિયામાં,

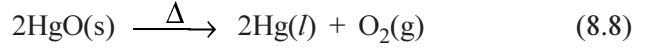


પોટેશિયમ ફેરોસાયનાઈડમાં રૂપાંતર પામે તે પહેલા પોટેશિયમ ફેરોસાયનાઈડમાંથી પોટેશિયમ દૂર થવાની પ્રક્રિયાને ઓક્સિડેશન કહે છે. ટૂંકમાં ઓક્સિડેશન શબ્દને તે મુજબ વ્યાખ્યાયિત કરવામાં આવ્યો કે કોઈ પદાર્થમાં ઓક્સિજન/વિદ્યુતઋણમય તત્ત્વના ઉમેરાવાની અથવા હાઈડ્રોજન/વિદ્યુતધનમય તત્ત્વના દૂર થવાની પ્રક્રિયાને ઓક્સિડેશન કહે છે.

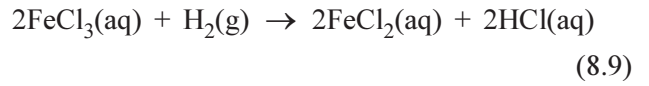
શરૂઆતમાં સંયોજનમાંથી ઓક્સિજનના દૂર થવાની પ્રક્રિયાને રિડક્શન તરીકે ગણવામાં આવતી હતી, પરંતુ હાલમાં રિડક્શન શબ્દને વિસ્તૃત રીતે પદાર્થમાંથી ઓક્સિજન/વિદ્યુતઋણમય તત્ત્વના દૂર થવાની અથવા

હાઈડ્રોજન/વિદ્યુતધનમય તત્ત્વના ઉમેરાવાની પ્રક્રિયાને રિડક્શન કહે છે.

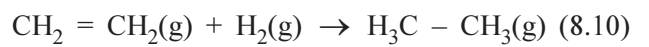
ઉપર જણાવેલ વ્યાખ્યા અનુસાર નીચે દર્શાવેલી પ્રક્રિયાઓ રિડક્શન પ્રક્રિયાઓના ઉદાહરણ છે :



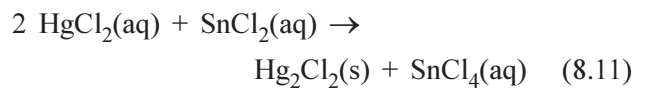
(મરક્યુરિક ઓક્સાઈડમાંથી ઓક્સિજનનું દૂર થવું)



(ફેરિક ક્લોરાઈડમાંથી વિદ્યુતઋણમય તત્ત્વ ક્લોરિનનું દૂર થવું.)



(હાઈડ્રોજનનું ઉમેરણ)

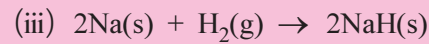
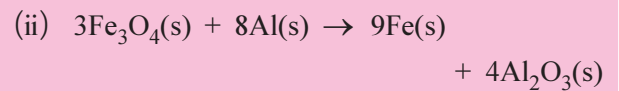
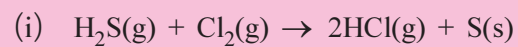


(મરક્યુરિક ક્લોરાઈડમાં મરક્યુરિનું ઉમેરણ)

પ્રક્રિયા (8.11)માં સાથેસાથે સ્ટેનસ ક્લોરાઈડમાં વિદ્યુતઋણમય તત્ત્વ ક્લોરિનના ઉમેરણના કારણે તેનું ઓક્સિડેશન થઈ સ્ટેનિક ક્લોરાઈડ પણ બને છે. આ પરથી આપણને તરત જ ખ્યાલ આવે છે કે ઓક્સિડેશન અને રિડક્શન પ્રક્રિયાઓ હંમેશાં એક સાથે જ થાય છે (આ બાબત તમે ઉપર જણાવેલી બધી પ્રક્રિયાઓના પુનઃઅભ્યાસ કરવાથી જોઈ શકશો.) આથી આવી રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ માટે ‘રેડોક્ષ’ શબ્દ આપવામાં આવ્યો છે.

### કોયડો 8.1

નીચે દર્શાવેલી પ્રક્રિયાઓમાં તમે ઓળખી બતાવો કે કોનું ઓક્સિડેશન થાય છે અને કોનું રિડક્શન થાય છે.



ઉકેલ :

(i)  $\text{H}_2\text{S}$ નું ઓક્સિડેશન થાય છે કારણ કે વધુ વિદ્યુતઋણમય ક્લોરિન પરમાણુ હાઈડ્રોજનમાં ઉમેરાય છે (અથવા S પાસેથી વધુ વિદ્યુતધનમય હાઈડ્રોજન પરમાણુ દૂર થાય છે) ક્લોરિનમાં હાઈડ્રોજન પરમાણુ ઉમેરાવાના કારણે ક્લોરિનનું રિડક્શન થાય છે.

(ii) એલ્યુમિનિયમનું ઓક્સિડેશન થાય છે કારણ કે ઓક્સિજન પરમાણુ તેમાં ઉમેરાય છે. ફેરસફેરિક ઓક્સાઈડ

(Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)નું રિડક્શન થાય છે કારણ કે તેમાંથી ઓક્સિજન દૂર થાય છે.

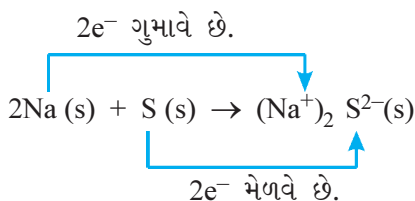
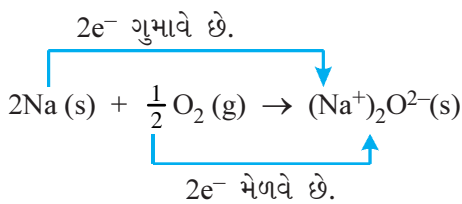
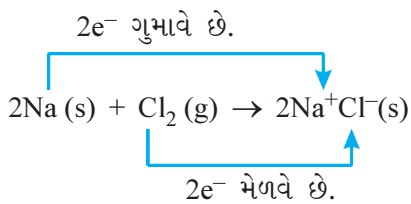
- (iii) માત્ર વિદ્યુતઋણતાની સંકલ્પનાના કાળજીપૂર્વકના ઉપયોગથી આપણે તારણ કાઢી શકીએ કે સોડિયમનું ઓક્સિડેશન અને હાઇડ્રોજનનું રિડક્શન થાય છે. રેડોક્ષ પ્રક્રિયાને અલગ રીતે વ્યાખ્યાયિત કરવા માટે પ્રક્રિયા (iii)ને અહીં પસંદ કરવામાં આવી છે.

## 8.2 ઇલેક્ટ્રોન વિનિમય પ્રક્રિયાઓના સ્વરૂપમાં રેડોક્ષ પ્રક્રિયાઓ (Redox Reactions in Terms of Electron Transfer Reactions)

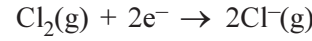
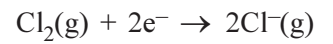
આપણે શીખ્યા તે મુજબ નીચે દર્શાવેલી પ્રક્રિયાઓ રેડોક્ષ પ્રક્રિયાઓ છે.



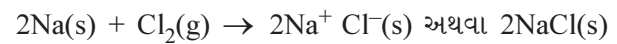
કારણ કે બધી પ્રક્રિયાઓમાં સોડિયમ પરમાણુ સાથે ઓક્સિજન અથવા વધુ વિદ્યુતઋણતામય તત્ત્વ ઉમેરાય છે તેથી સોડિયમનું ઓક્સિડેશન થાય છે. સાથે સાથે ક્લોરિન, ઓક્સિજન અને સલ્ફર સાથે વિદ્યુતધનમય તત્ત્વ સોડિયમ ઉમેરાવાથી તેમનું રિડક્શન થાય છે. આપણે રાસાયણિક બંધનના જ્ઞાનના આધારે જાણીએ છીએ કે સોડિયમ ક્લોરાઇડ, સોડિયમ ઓક્સાઇડ અને સોડિયમ સલ્ફાઇડ આયનીય સંયોજનો છે. તેઓને વધુ સ્પષ્ટ રીતે Na<sup>+</sup>Cl<sup>-</sup>(s), (Na<sup>+</sup>)<sub>2</sub>O<sup>2-</sup>(s) અને (Na<sup>+</sup>)<sub>2</sub>S<sup>2-</sup>(s) સ્વરૂપે લખી શકાય છે. સ્પીસિઝ પર વીજભાર ઉત્પન્ન થવાના કારણે પ્રક્રિયાઓ (8.12 થી 8.14)ને પુનઃ નીચે મુજબ લખી શકાય :



અનુકૂળતા માટે ઉપરોક્ત પ્રક્રિયાઓને બે જુદા તબક્કાઓમાં લખી શકાય છે. એકમાં ઇલેક્ટ્રોનનું દૂર થવું અને બીજામાં ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્તિ હોય છે. ઉદાહરણ તરીકે સોડિયમ ક્લોરાઇડની બનાવટ પ્રક્રિયાને વિસ્તૃત રીતે આ પ્રમાણે લખી શકાય છે :



ઉપરોક્ત બધા તબક્કાઓને અર્ધપ્રક્રિયા કહે છે. જેમાં ઇલેક્ટ્રોન સમાવિષ્ટ થયેલા જણાય છે. બે અર્ધપ્રક્રિયાઓનો સરવાળો એકંદર પ્રક્રિયા આપે છે.



પ્રક્રિયાઓ 8.12 થી 8.14 સૂચવે છે કે ઇલેક્ટ્રોન ગુમાવનાર અર્ધપ્રક્રિયાને ઓક્સિડેશન પ્રક્રિયા અને તેવી જ રીતે ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્ત કરનાર અર્ધપ્રક્રિયાને રિડક્શન પ્રક્રિયા કહે છે.

અત્રે તે જણાવવું અસ્થાને નહિ ગણાય કે ચિરસંમત ખ્યાલ મુજબ સ્પીસિઝની વર્તણૂક અને તેઓના ઇલેક્ટ્રોન વિનિમય ફેરફાર વચ્ચેના સહસંબંધ દ્વારા ઓક્સિડેશન અને રિડક્શનની નવી વ્યાખ્યા પ્રાપ્ત થઈ છે. પ્રક્રિયાઓ (8.12 થી 8.14)માં સોડિયમ જેનું ઓક્સિડેશન થાય છે તે રિડક્શનકર્તા તરીકે વર્તે છે, કારણ કે તે તેના સંપર્કમાં આવતા દરેક પરમાણુને ઇલેક્ટ્રોનનું દાન કરે છે અને તેમનું રિડક્શન કરવામાં મદદરૂપ થાય છે. ક્લોરિન, ઓક્સિજન અને સલ્ફર રિડક્શન પામે છે અને ઓક્સિડેશનકર્તા તરીકે વર્તે છે, કારણ કે તેઓ સોડિયમ તરફથી મળતા ઇલેક્ટ્રોનને સ્વીકારે છે. ટૂંકમાં આપણે નીચે મુજબ કહી શકીએ :

**ઓક્સિડેશન :** કોઈ સ્પીસિઝ દ્વારા ઇલેક્ટ્રોન ગુમાવવા

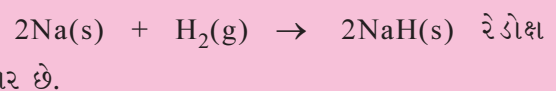
**રિડક્શન :** કોઈ સ્પીસિઝ દ્વારા ઇલેક્ટ્રોન મેળવવા

**ઓક્સિડેશનકર્તા :** ઇલેક્ટ્રોનગ્રાહી

**રિડક્શનકર્તા :** ઇલેક્ટ્રોનદાતા

### કોયડો 8.2

નીચે દર્શાવેલી પ્રક્રિયાનું વાજબીપણું જણાવો :

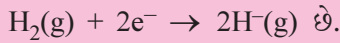


**ઉકેલ :**

ઉપરની પ્રક્રિયામાં બનતી નીપજ આયનીય સંયોજન છે, જેને Na<sup>+</sup>H<sup>-</sup>(s) વડે દર્શાવી શકાય છે. જે સૂચવે છે કે આ પ્રક્રિયામાં થતી એક અર્ધપ્રક્રિયા



અને બીજી અર્ધપ્રક્રિયા

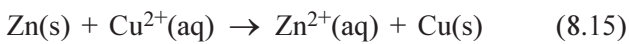


આપેલી પ્રક્રિયાનું બે અર્ધપ્રક્રિયામાં થતું વિભાજન સૂચવે છે કે સોડિયમનું ઓક્સિડેશન અને હાઈડ્રોજનનું રિડક્શન થાય છે. તેથી સંપૂર્ણ પ્રક્રિયાને રેડોક્ષ ફેરફાર કહે છે.

### 8.2.1 સ્પર્ધાત્મક ઇલેક્ટ્રોન વિનિમય પ્રક્રિયાઓ (Competitive Electron Transfer Reactions)

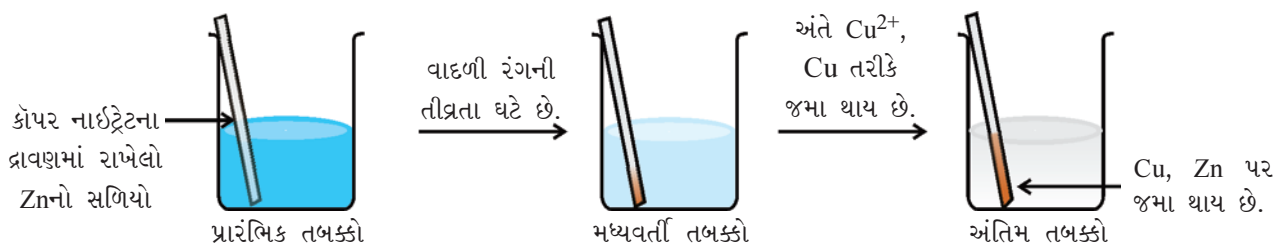
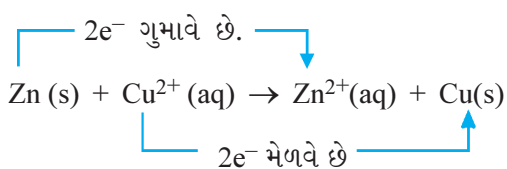
આકૃતિ 8.1માં દર્શાવ્યા મુજબ કોપર નાઈટ્રેટના જલીય દ્રાવણમાં ઝિંક ધાતુના સળિયાને (પટ્ટી) આશરે એક કલાક માટે મૂકી રાખો. તેનું અવલોકન કરતા જોવા મળશે કે ઝિંક ધાતુના સળિયા પર લાલાશ પડતી કોપર ધાતુનું સ્તર ચઢેલ છે અને દ્રાવણનો વાદળી રંગ દૂર થયેલો છે. જ્યારે  $\text{Cu}^{2+}$ ના કારણે વાદળી રંગ ધરાવતું દ્રાવણ રંગવિહીન બને છે ત્યારે તેમાં  $\text{Zn}^{2+}$  આયન બન્યાની ખાતરી આપે છે. જો  $\text{Zn}^{2+}$  વાળા રંગવિહીન દ્રાવણમાં હાઈડ્રોજન સલ્ફાઈડ વાયુને પસાર કરવામાં આવે તો તેમાં બનતો સફેદ રંગનો ઝિંક સલ્ફાઈડ ( $\text{ZnS}$ ) તે દ્રાવણને એમોનિયા દ્વારા આલ્કલાઈન બનાવવાથી જોવા મળે છે.

ઝિંક ધાતુ અને કોપર નાઈટ્રેટના જલીય દ્રાવણ વચ્ચે થતી પ્રક્રિયા :



પ્રક્રિયા (8.15)માં ઝિંક ઇલેક્ટ્રોન ગુમાવીને  $\text{Zn}^{2+}$  બનાવે છે, તેથી ઝિંકનું ઓક્સિડેશન થાય છે. અહીં સ્પષ્ટ છે કે જો ઇલેક્ટ્રોન ગુમાવીને ઝિંકનું ઓક્સિડેશન થાય છે તો આ ઇલેક્ટ્રોનને સ્વીકારીને અન્ય કોઈનું રિડક્શન પણ થતું હશે. કોપર આયન ઝિંકે ગુમાવેલા ઇલેક્ટ્રોનને સ્વીકારીને રિડક્શન પામે છે.

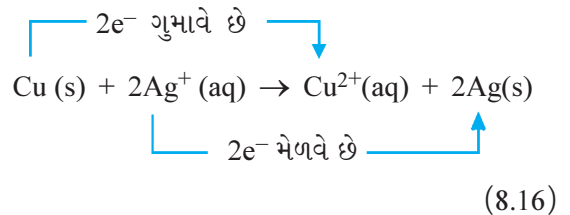
પ્રક્રિયા (8.15)ને પુનઃ આ રીતે લખી શકાય :



આકૃતિ 8.1 : બીકરમાં રાખેલા કોપર નાઈટ્રેટના જલીય દ્રાવણ અને ઝિંક વચ્ચે થતી રેડોક્ષ પ્રક્રિયા

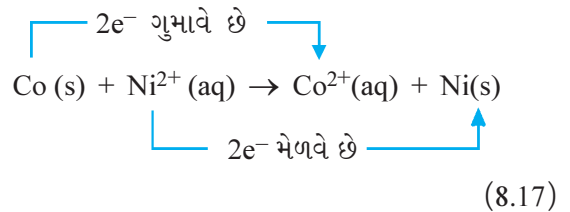
હવે આપણે સમીકરણ 8.15 દ્વારા દર્શાવાયેલી પ્રક્રિયાની સંતુલન અવસ્થાનો અભ્યાસ કરીશું. આ માટે આપણે કોપર ધાતુના સળિયાને ઝિંક સલ્ફેટના દ્રાવણમાં મૂકીશું. થોડા સમય બાદ પણ કોઈ પ્રક્રિયા થયાનો સંકેત જોવા મળતો નથી કે  $\text{Cu}^{2+}$  આયનની તે કસોટી સફળ થતી નથી, જેમાં દ્રાવણમાં  $\text{H}_2\text{S}$  વાયુને પસાર કરવાથી ક્યુપ્રિક સલ્ફાઈડ ( $\text{CuS}$ )ના કારણે તે કાળા રંગનું બને છે. ક્યુપ્રિક સલ્ફાઈડ ઓછી દ્રાવ્યતા ધરાવતો હોવાથી, આ કસોટી ખૂબ જ સંવેદનશીલ છે, તેમ છતાં  $\text{Cu}^{2+}$  બન્યાનું જાણવા મળતું નથી. આ પરથી આપણે તારણ કાઢી શકીએ કે પ્રક્રિયા 8.15ની સંતુલન અવસ્થા પ્રક્રિયા કરતા નીપજોની વધુ તરફેણ કરે છે.

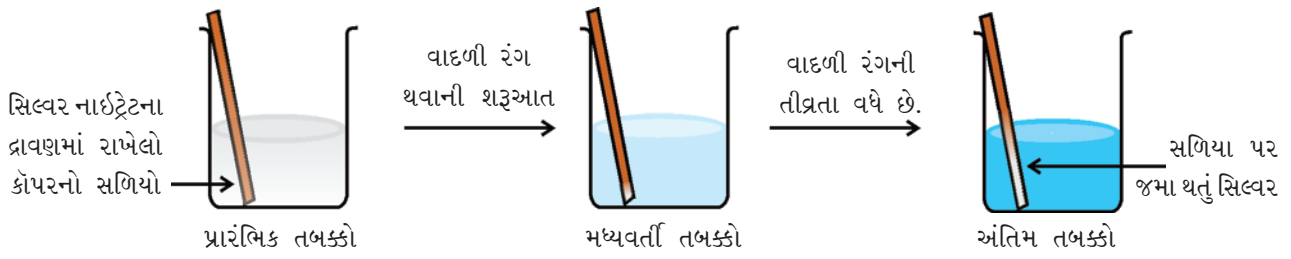
ચાલો હવે આપણે ઇલેક્ટ્રોન વિનિમય પ્રક્રિયાને આગળ વિસ્તારવા આકૃતિ 8.2માં દર્શાવ્યા મુજબ સિલ્વર નાઈટ્રેટના જલીય દ્રાવણમાં કોપર ધાતુના સળિયાને મૂકીએ. દ્રાવણમાં નીચે દર્શાવેલી પ્રક્રિયા મુજબ  $\text{Cu}^{2+}$  આયન બનવાના કારણે દ્રાવણનો રંગ વાદળી થાય છે.



અહીં  $\text{Cu}(\text{s})$ નું ઓક્સિડેશન થઈ  $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$  બને છે અને  $\text{Ag}^+(\text{aq})$ નું રિડક્શન થઈ  $\text{Ag}(\text{s})$  બને છે. પ્રક્રિયાનું સંતુલન નીપજો  $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$  અને  $\text{Ag}(\text{s})$ ની તરફેણ કરે છે.

ચાલો હવે અલગ રીતે કોબાલ્ટ ધાતુને નિકલ સલ્ફેટના દ્રાવણમાં રાખીને તેમનો તુલનાત્મક અભ્યાસ કરીએ. અહીં નીચે દર્શાવેલી પ્રક્રિયા થાય છે.





**આકૃતિ 8.2** બીકરમાં રાખેલા સિલ્વર નાઈટ્રેટના જલીય દ્રાવણ અને કોપર વચ્ચે થતી રેડોક્ષ પ્રક્રિયા

રાસાયણિક કસોટીના પરિણામો જણાવે છે કે સંતુલન  $\text{Ni}^{2+}(\text{aq})$  અને  $\text{Co}^{2+}(\text{aq})$ ની હાજરી મધ્યમ સાંદ્રતાએ જોવા મળે છે. આ કિસ્સામાં સંતુલન પ્રક્રિયાકો  $[\text{Co}(\text{s})$  અને  $\text{Ni}^{2+}(\text{aq})]$  કે નીપજો  $[\text{Co}^{2+}(\text{aq})$  અને  $\text{Ni}(\text{s})]$ ની તરફેણ કરતું નથી.

ઇલેક્ટ્રોન ગ્રહણ કરવા માટેની સ્પર્ધા આપણને ઍસિડ અણુઓ વચ્ચે થતી પ્રોટોન મુક્ત કરવાની સ્પર્ધાની યાદ અપાવે છે. આ સામ્યતા સૂચવે છે કે ઇલેક્ટ્રોન ગુમાવાની પ્રવૃત્તિ આધારિત ધાતુઓ અને તેમના આયનોની એક યાદી એવી રીતે તૈયાર કરી શકાય કે જે રીતે ઍસિડની પ્રબળતાની યાદી તૈયાર કરવામાં આવે છે. વાસ્તવમાં આપણે આવી કેટલીક તુલનાઓ પણ કરી છે. આપણે જાણ્યું છે કે ઝિંક કોપરને તથા કોપર સિલ્વરને ઇલેક્ટ્રોન આપે છે. તેથી ઇલેક્ટ્રોન ગુમાવવાની વૃત્તિનો ક્રમ  $\text{Zn} > \text{Cu} > \text{Ag}$  થશે. જો આપણે આ ક્રમને વિસ્તૃત કરવા ઈચ્છીશું તો ધાતુ સક્રિયતા શ્રેણી અથવા વિદ્યુતરાસાયણિક શ્રેણી બનાવી શકીશું. વિભિન્ન ધાતુ વચ્ચે થતી ઇલેક્ટ્રોનની સ્પર્ધાની મદદથી આપણે એવા કોષ બનાવી શકીએ કે જે વિદ્યુતઊર્જાના સ્રોત હોય. આ કોષને ગેલ્વેનિક કોષ કહે છે. આ વિશે આપણે ધોરણ 12માં વિસ્તારથી શીખીશું.

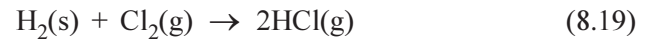
### 8.3 ઓક્સિડેશન આંક (Oxidation Number)

જ્યારે હાઈડ્રોજન ઓક્સિજન સાથે સંયોજાઈને પાણી બનાવે છે ત્યારે તે નીચે દર્શાવ્યા મુજબની ઓછી સ્પષ્ટ ઇલેક્ટ્રોન વિનિમય પ્રક્રિયાનું ઉદાહરણ બને છે.



જો કે આ એક સરળ અભિગમ તો નથી જ, તો પણ આપણે વિચારી શકીએ કે  $\text{H}_2$  માં H પરમાણુ તટસ્થ (શૂન્ય) અવસ્થામાંથી  $\text{H}_2\text{O}$ માં ધન અવસ્થા પ્રાપ્ત કરે છે. O પરમાણુ  $\text{O}_2$ માં શૂન્ય અવસ્થાથી  $\text{H}_2\text{O}$ માં દ્વિઋણ અવસ્થા પ્રાપ્ત કરે છે. અહીં એવું અનુમાન છે કે H થી O તરફ ઇલેક્ટ્રોનનો વિનિમય થયો છે, એટલે  $\text{H}_2$ નું ઓક્સિડેશન અને  $\text{O}_2$ નું રિડક્શન થયું છે. જો કે આપણને પછીથી જોવા મળશે કે આ વીજભાર વિનિમય માત્ર આંશિક રીતે જ થાય છે. તેથી તેને માત્ર ઇલેક્ટ્રોન વિનિમય રીતે દર્શાવવું જોઈએ, નહિ કે H દ્વારા ઇલેક્ટ્રોન સંપૂર્ણપણે

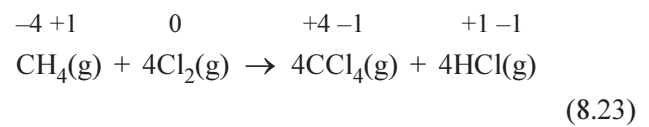
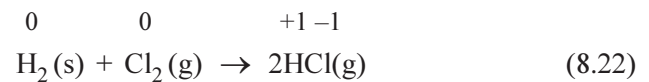
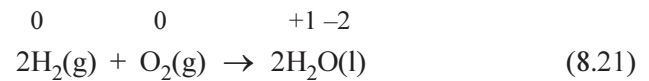
ગુમાવ્યો અને O દ્વારા ઇલેક્ટ્રોન સંપૂર્ણપણે મેળવ્યો. અહીં સમીકરણ (8.18) માટે જે કહેવામાં આવ્યું છે તે અન્ય સહસંયોજક સંયોજનોની અન્ય પ્રક્રિયા માટે પણ સાચું ઠરી શકે છે. આ પ્રકારના બે ઉદાહરણો :



અને



સહસંયોજક સંયોજનોની બનાવટની પ્રક્રિયાઓમાં ઇલેક્ટ્રોન વિનિમયને ધ્યાનમાં રાખીને વધુ વ્યાવહારિક પદ્ધતિ - ઓક્સિડેશન આંક પદ્ધતિનો વિકાસ કરવામાં આવ્યો છે. આ પદ્ધતિમાં એમ માનવામાં આવે છે કે ઇલેક્ટ્રોન ઓછા વિદ્યુતઋણમય પરમાણુ પરથી વધુ વિદ્યુતઋણમય પરમાણુ તરફ સંપૂર્ણપણે સ્થાનાંતર પામે છે. આપણે ઉદાહરણ સ્વરૂપે સમીકરણને (8.18 થી 8.20) તેમાંના બધા પરમાણુઓને વીજભાર સહિત પુનઃ નીચે મુજબ લખી શકીએ :



આપણે એ વાત પર ભાર મૂકવો જોઈએ કે ઇલેક્ટ્રોન વિનિમયની ધારણા માત્ર લેણદેણને ધ્યાને રાખવા માટે છે. આ એકમમાં આગળ સ્પષ્ટ થશે કે આ બાબત રેડોક્ષ પ્રક્રિયા માટે સરળતા દર્શાવનાર છે.

કોઈ સંયોજનમાં તત્વનો ઓક્સિડેશન આંક તેની ઓક્સિડેશન અવસ્થા દર્શાવે છે. જેને તે નિયમના આધારે નક્કી કરવામાં આવે છે કે સહસંયોજકબંધમાં ઇલેક્ટ્રોન માત્ર વધુ વિદ્યુતઋણમય તત્વના હોય છે.

સંયોજન/આયનમાં રહેલું કયું તત્વ વધુ વિદ્યુતઋણમય છે તે યાદ રાખવું કે જાણવું હંમેશાં શક્ય નથી. તેથી સંયોજન/

આયનમાં રહેલા કોઈ તત્વના ઓક્સિડેશન આંકનું મૂલ્ય નક્કી કરવાના કેટલાક નિયમો બનાવવામાં આવ્યા છે. જો કોઈ અણુ/આયનમાં કોઈ તત્વના બે અથવા બેથી વધુ પરમાણુઓ હાજર હોય તો (જેમકે  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3/\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ) તે તત્વનો ઓક્સિડેશન આંક તેના બધા પરમાણુઓના ઓક્સિડેશન આંકના સરેરાશ મૂલ્ય જેટલો હોય છે. ઓક્સિડેશન આંકની ગણતરી માટેના નિયમો નીચે જણાવ્યા મુજબના છે :

1. મુક્ત અવસ્થામાં અથવા બિનસંયોજિત પરમાણુનો ઓક્સિડેશન આંક શૂન્ય હોય છે.  $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{P}_4$ ,  $\text{S}_8$ ,  $\text{Na}$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{Al}$  માં દરેક પરમાણુનો ઓક્સિડેશન આંક શૂન્ય હોય છે.
2. એક પરમાણ્વીય આયનનો ઓક્સિડેશન આંક તેના પર રહેલા વીજભાર જેટલો હોય છે. તેથી  $\text{Na}^+$  આયનનો ઓક્સિડેશન આંક +1,  $\text{Mg}^{2+}$  આયનનો +2,  $\text{Fe}^{3+}$  આયનનો +3,  $\text{Cl}^-$  આયનનો (-1) તથા  $\text{O}^{2-}$  આયનનો (-2) છે. બધી આલ્કલી ધાતુઓના તેના સંયોજનોમાં ઓક્સિડેશન આંક +1 અને બધી આલ્કલાઈન અર્થધાતુઓના તેના સંયોજનોમાં ઓક્સિડેશન આંક +2 હોય છે. એલ્યુમિનિયમનો તેના બધા સંયોજનોમાં ઓક્સિડેશન આંક +3 હોય છે.
3. મોટા ભાગના સંયોજનોમાં ઓક્સિજનનો ઓક્સિડેશન આંક -2 હોય છે. જો કે તેમાં આપણને બે પ્રકારના અપવાદ જોવા મળે છે. પહેલો અપવાદ પેરોક્સાઈડ અને સુપરઓક્સાઈડ તથા એવા સંયોજનો જેમાં ઓક્સિજન પરમાણુઓ એકબીજા સાથે જોડાયેલા હોય તેમાં જોવા મળે છે. પેરોક્સાઈડમાં (દા.ત.,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}_2$ ) દરેક ઓક્સિજનનો ઓક્સિડેશન આંક -1 હોય છે. સુપરઓક્સાઈડમાં (દા.ત.,  $\text{KO}_2$ ,  $\text{RbO}_2$ ) દરેક ઓક્સિજનનો ઓક્સિડેશન આંક  $-\frac{1}{2}$  હોય છે. બીજો અપવાદ ભાગ્યે જ જોવા મળે છે. આ અપવાદ જ્યારે ઓક્સિજન, ફ્લોરિન સાથે જોડાય છે ત્યારે જોવા મળે છે. દા.ત., ઓક્સિજન ડાયફ્લોરાઈડ ( $\text{OF}_2$ ) અને ડાયઓક્સિજન ડાયફ્લોરાઈડ ( $\text{O}_2\text{F}_2$ ) જેવા સંયોજનોમાં ઓક્સિજનનો ઓક્સિડેશન આંક અનુક્રમે +2 અને +1 હોય છે. આ આંક ઓક્સિજનની બંધન સ્થિતિ પર આધારિત હોય છે, પરંતુ આ મૂલ્ય હંમેશાં ધન સંખ્યા હોય છે.

4. હાઈડ્રોજન પરમાણુનો ઓક્સિડેશન આંક +1 હોય છે, પરંતુ તે જ્યારે ધાતુઓ સાથે જોડાઈને દ્વિઅંગી સંયોજન (એવું સંયોજન કે જેમાં બે તત્વો જ હોય) બનાવે છે, તેમાં અપવાદ તરીકે હાઈડ્રોજનનો ઓક્સિડેશન આંક -1 હોય છે. દા.ત.,  $\text{LiH}$ ,  $\text{NaH}$  અને  $\text{CaH}_2$ માં Hનો ઓક્સિડેશન આંક -1 છે.
5. બધા સંયોજનોમાં ફ્લોરિનનો ઓક્સિડેશન આંક -1 હોય છે. અન્ય હેલોજન તત્વો ( $\text{Cl}$ ,  $\text{Br}$  અને  $\text{I}$ ) જે સંયોજનોમાં હેલાઈડ આયન તરીકે હોય છે તેવા કિસ્સામાં આ હેલોજન તત્વોનો ઓક્સિડેશન આંક પણ -1 હોય છે. જ્યારે ક્લોરિન, બ્રોમિન અને આયોડિન ઓક્સિજન સાથે જોડાય છે ત્યારે તેઓનો ઓક્સિડેશન આંક ધન સંખ્યા હોય છે, દા.ત., ઓક્સો એસિડ અને ઓક્સો એનાયન.
6. સંયોજનમાં રહેલા બધા પરમાણુઓના ઓક્સિડેશન આંકનો બૈજિક સરવાળો શૂન્ય થાય છે. બહુપરમાણ્વીય આયનમાં બધા પરમાણુઓના ઓક્સિડેશન આંકનો બૈજિક સરવાળો તેના પર રહેલા વીજભાર જેટલો હોય છે. આમ, કાર્બોનેટ આયન ( $\text{CO}_3^{2-}$ )માં રહેલા ત્રણ ઓક્સિજન પરમાણુઓ અને એક કાર્બન પરમાણુનાં ઓક્સિડેશન આંકનો બૈજિક સરવાળો -2 થાય છે.

ઉપરોક્ત નિયમોના ઉપયોગથી આપણે અણુ અથવા આયનમાં રહેલા ઈચ્છિત પરમાણુના ઓક્સિડેશન આંક નક્કી કરી શકીએ છીએ. અહીં એક બાબત સ્પષ્ટ છે કે ધાતુ પરમાણુઓના ઓક્સિડેશન આંક ધન સંખ્યા અને અધાતુ પરમાણુઓના ઓક્સિડેશન આંક ઋણ સંખ્યા હોય છે. સંક્રાંતિ ધાતુ પરમાણુઓ સામાન્ય રીતે અનેક ધન ઓક્સિડેશન આંક ધરાવે છે. પ્રતિનિધિ તત્વો પૈકીના પ્રથમ બે સમૂહોના તત્વો માટે ઉચ્ચતમ ઓક્સિડેશન આંક તેઓનાં સમૂહનો ક્રમ થાય છે, તથા બાકીના અન્ય સમૂહના તત્વો માટે ઉચ્ચતમ ઓક્સિડેશન આંક તેઓના સમૂહ ક્રમમાંથી 10 બાદ કરવાથી મળતી સંખ્યા થશે (આવર્તકોષ્ટકના વિસ્તૃતસ્વરૂપ મુજબ). આમ, પરમાણુના ઉચ્ચતમ ઓક્સિડેશન આંક આવર્તકોષ્ટકમાં આવર્તની ડાબી બાજુથી જમણી બાજુ તરફ જતાં વધે છે. ત્રીજા આવર્તમાં ઓક્સિડેશન આંક 1 થી 7 સુધી વધે છે, જેમકે નીચે કોષ્ટકમાં દર્શાવેલા સંયોજનોના તત્વોમાં જોવા મળે છે.

કેટલીકવાર ઓક્સિડેશન આંકના બદલે ઓક્સિડેશન અવસ્થા શબ્દનો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે. આ રીતે  $\text{CO}_2$ માં કાર્બનની ઓક્સિડેશન અવસ્થા +4 છે, જે તેનો ઓક્સિડેશન આંક પણ છે. તેવી જ રીતે ઓક્સિજનની ઓક્સિડેશન અવસ્થા અને

સમૂહ	1	2	13	14	15	16	17
તત્વ	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl
સંયોજન	NaCl	MgSO <sub>4</sub>	AlF <sub>3</sub>	SiCl <sub>4</sub>	P <sub>4</sub> O <sub>10</sub>	SF <sub>6</sub>	HClO <sub>4</sub>
સમૂહના તત્વનો ઉચ્ચતમ ઓક્સિડેશન આંક	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7

ઓક્સિડેશન આંક -2 છે. આનો અર્થ એ થાય કે તત્વનો ઓક્સિડેશન આંક તેની ઓક્સિડેશન અવસ્થા દર્શાવે છે. કેટલીકવાર સંયોજનમાં ધાતુઓના ઓક્સિડેશન આંકને જર્મન રસાયણવિજ્ઞાની આલફ્રેડ સ્ટોક (Alfred Stock) દ્વારા સૂચવેલ સંકેત પદ્ધતિ પ્રમાણે દર્શાવાય છે. જે સ્ટોક સંકેત પદ્ધતિ દ્વારા પ્રચલિત છે. આ પદ્ધતિ મુજબ આણ્વીય સૂત્રમાં ધાતુની સંજ્ઞા પછી કૉંસમાં તે ધાતુનો ઓક્સિડેશન આંક રોમન લિપિમાં લખવામાં આવે છે. આ રીતે ઓરસ ક્લોરાઇડ અને ઓરિક ક્લોરાઇડને અનુક્રમે Au (I) Cl અને Au (III)Cl<sub>3</sub> મુજબ લખી શકાય છે. તેવી જ રીતે સ્ટેનસ ક્લોરાઇડ અને સ્ટેનિક ક્લોરાઇડને અનુક્રમે Sn(II)Cl<sub>2</sub> અને Sn(IV)Cl<sub>4</sub> મુજબ લખી શકાય છે. ઓક્સિડેશન આંકમાં થતાં ફેરફારને ઓક્સિડેશન અવસ્થામાં થતાં ફેરફાર સ્વરૂપે માનવામાં આવે છે. તે સ્પીસિઝ ઓક્સિડેશન પામેલ છે કે રિડક્શન પામેલ છે તેની જાણકારી મેળવવામાં મદદરૂપ થાય છે. આ રીતે Hg(II)Cl<sub>2</sub>નું રિડક્શન પામેલ સ્વરૂપ Hg<sub>2</sub>(I)Cl<sub>2</sub> છે.

### કોયડો 8.3

નીચે જણાવેલા સંયોજનોને સ્ટોક સંકેત પદ્ધતિ દ્વારા દર્શાવો :

HAuCl<sub>4</sub>, Tl<sub>2</sub>O, FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CuI, CuO, MnO અને MnO<sub>2</sub>

ઉકેલ :

ઓક્સિડેશન આંકની ગણતરી માટેના નિયમોનો ઉપયોગ કરીને આપેલા સંયોજનોમાં રહેલા ધાતુ તત્વના ઓક્સિડેશન આંક નીચે દર્શાવ્યા મુજબ છે :



તેથી આ સંયોજનોને આ પ્રમાણે દર્શાવી શકાય :

HAu(III)Cl<sub>4</sub>, Tl<sub>2</sub>(I)O, Fe(II)O, Fe<sub>2</sub>(III)O<sub>3</sub>, Cu(I)I, Cu(II)O, Mn(II)O, Mn(IV)O<sub>2</sub>

ઓક્સિડેશન આંકના ખ્યાલનો ઉપયોગ ઓક્સિડેશન, રિડક્શન, ઓક્સિડેશનકર્તા (ઓક્સિડન્ટ), રિડક્શનકર્તા (રિડક્ટન્ટ) અને રેડોક્ષ પ્રક્રિયાને વ્યાખ્યાયિત કરવા માટે થાય છે. ટૂંકમાં આપણે કહી શકીએ કે :

**ઓક્સિડેશન :** આપેલા પદાર્થમાં તત્વના ઓક્સિડેશન આંકમાં થતો વધારો.

**રિડક્શન :** આપેલા પદાર્થમાં તત્વના ઓક્સિડેશન આંકમાં થતો ઘટાડો.

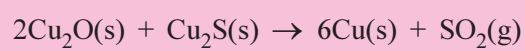
**ઓક્સિડેશનકર્તા :** જે પ્રક્રિયક આપેલા પદાર્થમાં રહેલા તત્વના ઓક્સિડેશન આંકમાં વધારો કરે તેને ઓક્સિડેશનકર્તા કહે છે.

**રિડક્શનકર્તા :** જે પ્રક્રિયક આપેલા પદાર્થમાં રહેલા તત્વના ઓક્સિડેશન આંકમાં ઘટાડો કરે તેને રિડક્શનકર્તા કહે છે.

**રેડોક્ષ પ્રક્રિયા :** પારસ્પરિક ક્રિયા કરતી સ્પીસિઝના ઓક્સિડેશન આંકમાં થતો ફેરફાર દર્શાવતી પ્રક્રિયા.

### કોયડો 8.4

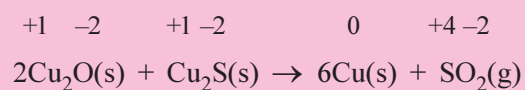
આપેલી પ્રક્રિયા રેડોક્ષ પ્રક્રિયા છે તેનું વાજબીપણું જણાવો :



ઓક્સિડેશન/રિડક્શન પામેલી સ્પીસિઝ, કઈ સ્પીસિઝ ઓક્સિડેશનકર્તા તરીકે વર્તે છે અને કઈ સ્પીસિઝ રિડક્શનકર્તા તરીકે વર્તે છે તે ઓળખી બતાવો.

ઉકેલ :

ચાલો આપણે આપેલી પ્રક્રિયાની દરેક સ્પીસિઝના ઓક્સિડેશન આંક લખીએ,



આથી આપણે તે તારણ કાઢી શકીએ કે કૉપરનું +1 ઓક્સિડેશન અવસ્થાથી 0 ઓક્સિડેશન અવસ્થામાં રિડક્શન થાય છે અને સલ્ફરનું -2 ઓક્સિડેશન અવસ્થામાંથી +4 ઓક્સિડેશન અવસ્થામાં ઓક્સિડેશન થાય છે. તેથી આપેલી પ્રક્રિયા રેડોક્ષ પ્રક્રિયા છે.

વિશેષમાં,  $\text{Cu}_2\text{S}$  માં રહેલા સલ્ફરને તેનો ઓક્સિડેશન આંક વધારવામાં  $\text{Cu}_2\text{O}$  મદદરૂપ થાય છે. તેથી  $\text{Cu(I)}$  ઓક્સિડેશનકર્તા છે તથા  $\text{Cu}_2\text{S}$  નો સલ્ફર સ્વયં  $\text{Cu}_2\text{S}$  અને  $\text{Cu}_2\text{O}$  માં રહેલા  $\text{Cu}$  ના ઓક્સિડેશન આંકમાં ઘટાડો કરે છે, તેથી  $\text{Cu}_2\text{S}$  માં રહેલો સલ્ફર રિડક્શનકર્તા છે.

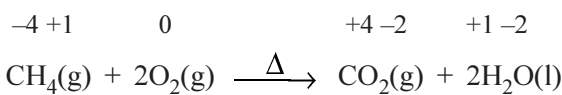
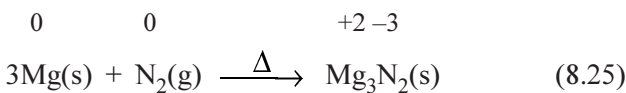
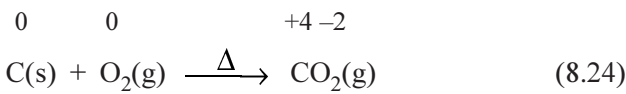
### 8.3.1 રેડોક્ષ પ્રક્રિયાઓના પ્રકારો (Types of Redox Reactions)

#### 1. સંયોગીકરણ પ્રક્રિયાઓ

સંયોગીકરણ પ્રક્રિયાને આ પ્રમાણે લખી શકાય છે :

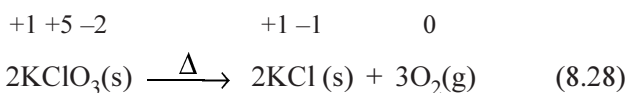
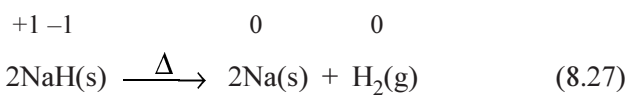
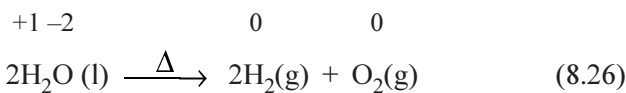


આ પ્રક્રિયાને રેડોક્ષ પ્રક્રિયા બનવા માટે A અથવા Bમાંથી એક, કે A અને B બંને તત્ત્વ સ્વરૂપમાં હોવા જોઈએ. બધી જ દહન પ્રક્રિયાઓમાં તત્ત્વરૂપ ડાયઑક્સિજનનો ઉપયોગ થાય છે, તે જ પ્રમાણે ડાયઑક્સિજન સિવાયની અન્ય તત્ત્વો ધરાવતી અન્ય પ્રક્રિયાઓ રેડોક્ષ પ્રક્રિયા છે. આ પ્રકારની કેટલીક અગત્યની પ્રક્રિયાઓ :



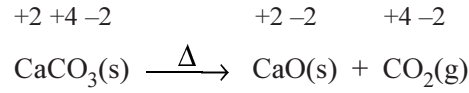
#### 2. વિઘટન પ્રક્રિયાઓ

વિઘટન પ્રક્રિયા સંયોગીકરણની વિરુદ્ધ પ્રક્રિયા છે. ચોક્કસાઈપૂર્વક કહીએ તો વિઘટન પ્રક્રિયામાં સંયોજન તૂટીને બે કે તેથી વધુ ઘટકોમાં વિભાજિત થાય છે, તે પૈકીનો ઓછામાં ઓછો એક ઘટક તત્ત્વ અવસ્થામાં હોવો જોઈએ. આવી પ્રક્રિયાઓના ઉદાહરણો :



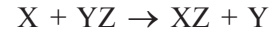
ખૂબ જ કાળજીપૂર્વક નોંધવું જોઈએ કે મિથેનની સંયોગીકરણ પ્રક્રિયામાં હાઈડ્રોજનના ઓક્સિડેશન આંકમાં અને

પ્રક્રિયા 8.28માં પોટેશિયમ ક્લોરેટના પોટેશિયમના ઓક્સિડેશન આંકમાં ફેરફાર થતો નથી. અત્રે તે પણ નોંધવું જોઈએ કે બધી જ વિઘટન પ્રક્રિયાઓ રેડોક્ષ પ્રક્રિયા હોતી નથી. દા.ત., કેલ્શિયમ કાર્બોનેટની વિઘટન પ્રક્રિયા રેડોક્ષ પ્રક્રિયા નથી.



#### 3. વિસ્થાપન પ્રક્રિયાઓ

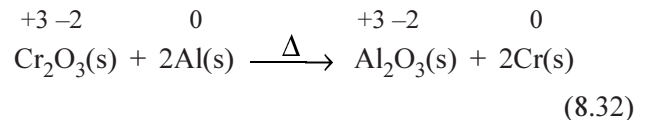
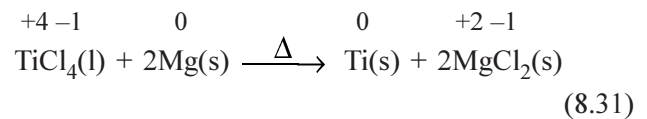
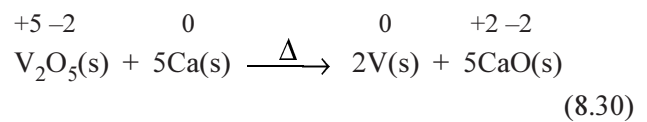
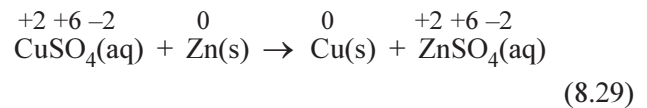
વિસ્થાપન પ્રક્રિયામાં સંયોજનના આયન (અથવા પરમાણુ) બીજા તત્ત્વના આયન (અથવા પરમાણુ) દ્વારા વિસ્થાપિત થાય છે. તેને આ પ્રમાણે દર્શાવી શકાય :



વિસ્થાપન પ્રક્રિયા બે પ્રકારે જોવા મળે છે : ધાતુ વિસ્થાપન અને અધાતુ વિસ્થાપન.

##### (a) ધાતુ વિસ્થાપન :

સંયોજનમાં એક ધાતુ બીજી ધાતુને બિનસંયોજિત સ્વરૂપમાં વિસ્થાપિત કરી શકે છે. આપણે આ પ્રકારની પ્રક્રિયાઓની ચર્ચા અગાઉ 8.2.1માં કરી ચૂક્યા છીએ. ધાતુ વિસ્થાપન પ્રક્રિયાનો વધુ ઉપયોગ ધાતુકર્મમાં ખનીજોમાંના સંયોજનમાંથી શુદ્ધ ધાતુને મેળવવા માટે થાય છે. આવા કેટલાક ઉદાહરણો :



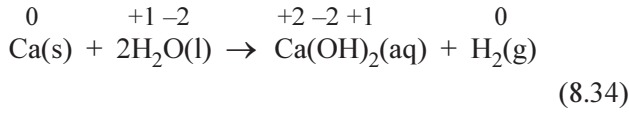
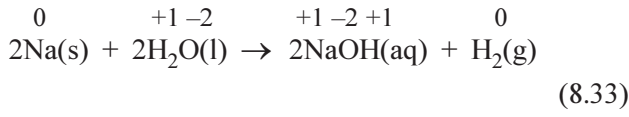
આ બધા કિસ્સામાં રિડક્શન કરનાર ધાતુ રિડક્શન પામેલી ધાતુ કરતા ઉત્તમ રિડક્શનકર્તા છે, જેની ઇલેક્ટ્રોન ગુમાવવાની ક્ષમતા રિડક્શન પામેલી ધાતુ કરતા વધુ છે.

##### (b) અધાતુ વિસ્થાપન :

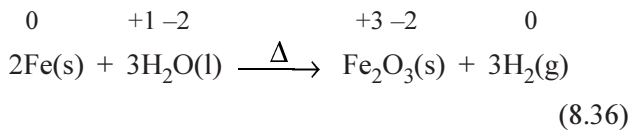
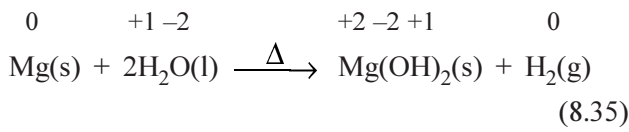
અધાતુ વિસ્થાપન રેડોક્ષ પ્રક્રિયાઓમાં હાઈડ્રોજન વિસ્થાપન પ્રક્રિયા અને જવલ્લે થતી ઓક્સિજન વિસ્થાપન પ્રક્રિયાઓનો સમાવેશ થાય છે.



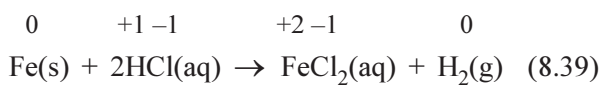
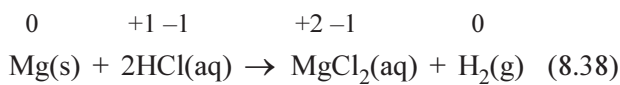
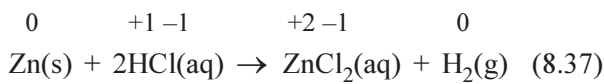
બધી આલ્કલી ધાતુઓ અને કેટલીક આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓ (Ca, Sr અને Ba) ખૂબ સારી રિડક્શનકર્તા ધાતુઓ છે, તેઓ ઠંડા પાણીમાંથી હાઈડ્રોજનનું વિસ્થાપન કરે છે.



ઓછી સક્રિય ધાતુઓ જેવી કે મેગ્નેશિયમ અને લોખંડ પાણીની વરાળ સાથે પ્રક્રિયા કરી ડાયહાઈડ્રોજન વાયુ બનાવે છે.



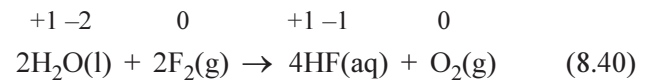
ઠંડા પાણી સાથે પ્રક્રિયા ન કરી શકતી હોય તેવી ઘણી ધાતુઓ એસિડમાંથી હાઈડ્રોજનનું વિસ્થાપન કરવાની ક્ષમતા ધરાવે છે. જે ધાતુઓ પાણીની વરાળ સાથે પ્રક્રિયા કરી શકતી નથી. તેઓ એસિડમાંથી ડાયહાઈડ્રોજન વાયુ ઉત્પન્ન કરી શકે છે. કેડમિયમ અને ટીન આ પ્રકારની ધાતુઓ છે. એસિડમાંથી હાઈડ્રોજનનું વિસ્થાપન થતું હોય તેવી પ્રક્રિયાઓના કેટલાક ઉદાહરણો :



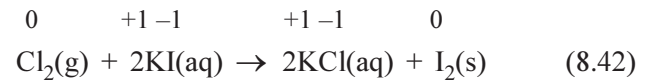
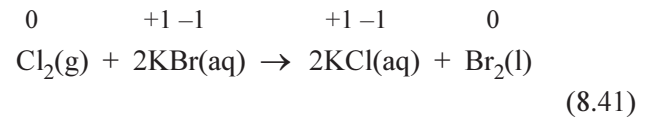
પ્રક્રિયાઓ (8.37 થી 8.39)નો ઉપયોગ પ્રયોગશાળામાં ડાયહાઈડ્રોજન વાયુ બનાવવામાં થાય છે. હાઈડ્રોજન વાયુ ઉત્પન્ન થવાનો વેગ જે-તે ધાતુની પ્રતિક્રિયાત્મકતા દર્શાવે છે. Fe જેવી ઓછી સક્રિય ધાતુ ધીમા વેગે, Mg જેવી વધુ સક્રિય ધાતુ ઝડપી વેગે હાઈડ્રોક્લોરિક એસિડ સાથે પ્રક્રિયા આપે છે, અતિ ઓછી સક્રિય ધાતુઓ જેવી કે સિલ્વર (Ag) અને સોનું (Au) કે જે મૂળ અવસ્થામાં પ્રાપ્ય હોય છે તે હાઈડ્રોક્લોરિક એસિડ સાથે પ્રક્રિયા કરતી નથી.

મુદ્દા ક્રમાંક 8.2.1માં આપણે ચર્ચા કરી છે તે મુજબ ઝિંક (Zn), કોપર (Cu) અને સિલ્વર (Ag) ધાતુઓની

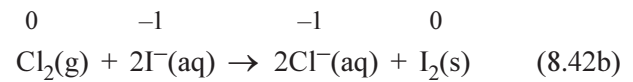
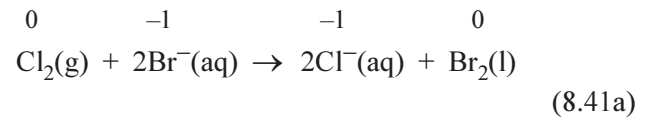
ઈલેક્ટ્રોન ગુમાવવાની વૃત્તિ તેમની રિડક્શન સક્રિયતાનો ક્રમ  $\text{Zn} > \text{Cu} > \text{Ag}$  દર્શાવે છે. ધાતુઓની જેમ હેલોજન તત્ત્વોની સક્રિયતા શ્રેણી અસ્તિત્વ ધરાવે છે. આવર્તકોષ્ટકમાં સમૂહ 17માં ફ્લોરિનથી આયોડિન સુધી નીચે તરફ જતા ઓક્સિડેશનકર્તા તરીકેની સક્રિયતા ઘટતી જાય છે. તેનો અર્થ એ થયો કે ફ્લોરિન એટલી પ્રતિક્રિયાત્મક છે કે તે દ્રાવણમાંથી ક્લોરાઈડ, બ્રોમાઈડ કે આયોડાઈડ આયનને વિસ્થાપિત કરી શકે છે. વાસ્તવમાં ફ્લોરિનની સક્રિયતા એટલી વધારે છે કે તે પાણી સાથે પ્રક્રિયા કરીને તેમાંથી ઓક્સિજનનું વિસ્થાપન કરી શકે છે.



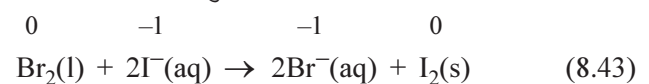
આ કારણે જ જલીય માધ્યમમાં ફ્લોરિન દ્વારા ક્લોરિન, બ્રોમિન અને આયોડિનની વિસ્થાપન પ્રક્રિયા થતી નથી. બીજી તરફ ક્લોરિન જલીય માધ્યમમાં નીચે દર્શાવ્યા મુજબ બ્રોમાઈડ અને આયોડાઈડનું વિસ્થાપન કરી શકે છે :



$\text{Br}_2$  અને  $\text{I}_2$  રંગીન અને  $\text{CCl}_4$  માં દ્રાવ્ય હોય છે, તેથી દ્રાવણના રંગ પરથી તેઓને સરળતાથી ઓળખી શકાય છે. ઉપર જણાવેલ પ્રક્રિયાઓને આયનીય સ્વરૂપે નીચે મુજબ લખી શકાય છે :



પ્રક્રિયા 8.41 અને 8.42ના આધારે પ્રયોગશાળામાં કરવામાં આવતી  $\text{Br}^-$  અને  $\text{I}^-$  ની પરખ માટેની કસોટી 'સ્તર કસોટી' (Layer test)ના નામથી પ્રચલિત છે. અહીં તે જણાવવું અપ્રાસંગિક નહિ લાગે કે આ રીતે દ્રાવણમાંથી બ્રોમિન આયોડાઈડ આયનનું વિસ્થાપન કરી શકે છે.



હેલોજન વિસ્થાપન પ્રક્રિયાનો સીધો ઉપયોગ ઔદ્યોગિક ક્ષેત્રે થાય છે. હેલાઈડ સંયોજનોમાંથી હેલોજનને મેળવવા માટે ઓક્સિડેશન પદ્ધતિ આવશ્યક છે, જેને નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય.

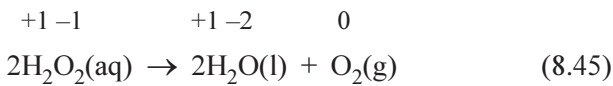


અહીં X હેલોજન તત્ત્વ માટે વપરાયેલ છે. જો કે રાસાયણિક માર્ગો દ્વારા  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$  અને  $\text{I}^-$ ના ઓક્સિડેશન કરવા માટે પ્રબળ

ઓક્સિડેશનકર્તા ફ્લોરિન વપરાય છે.  $F^-$  આયનને  $F_2$  માં ફેરવવા માટે કોઈ પણ રાસાયણિક માર્ગ સંભવ નથી.  $F^-$  ને  $F_2$  માં ફેરવવા માટે માત્ર વિદ્યુતવિઘટન દ્વારા ઓક્સિડેશન જ એક માર્ગ છે, જેનો અભ્યાસ તમે પછીના તબક્કે કરશો.

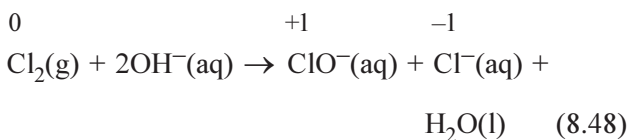
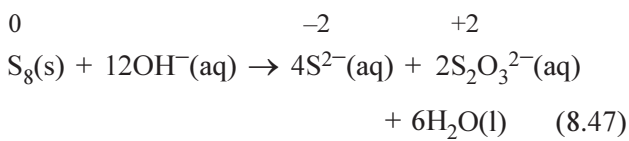
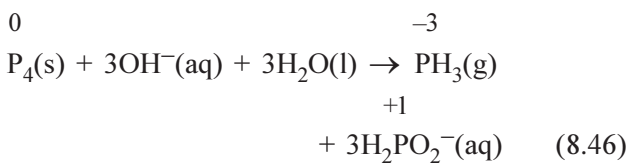
#### 4. વિષમીકરણ પ્રક્રિયાઓ

વિષમીકરણ પ્રક્રિયા વિશિષ્ટ રેડોક્ષ પ્રક્રિયા છે. વિષમીકરણ પ્રક્રિયામાં એક ઓક્સિડેશન અવસ્થામાં રહેલું તત્ત્વ એક સાથે ઓક્સિડેશન અને રિડક્શન પામે છે. પ્રક્રિયકોનું એક તત્ત્વ ઓછામાં ઓછી ત્રણ ઓક્સિડેશન અવસ્થા પ્રાપ્ત કરી શકે છે. પ્રક્રિયકો સ્વરૂપે રહેલું તત્ત્વ મધ્યવર્તી ઓક્સિડેશન અવસ્થામાં હોય છે તથા રાસાયણિક પ્રક્રિયામાં તે ઉચ્ચતર અને નિમ્નતર એમ બંને ઓક્સિડેશન અવસ્થામાં હોય છે. હાઈડ્રોજન પેરોક્સાઈડનું વિઘટન એક જાણીતું ઉદાહરણ છે, જ્યાં ઓક્સિજન તત્ત્વનું વિષમીકરણ થાય છે.



અહીં પેરોક્સાઈડમાં રહેલો ઓક્સિજન  $-1$  અવસ્થા ધરાવે છે, જે શૂન્ય અવસ્થાવાળા  $O_2$ માં અને  $-2$  ઓક્સિડેશન અવસ્થાવાળા  $H_2O$ માં ફેરવાય છે.

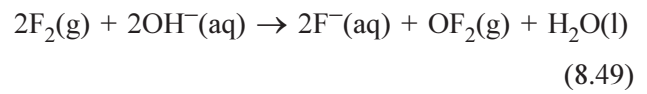
ફોસ્ફરસ, સલ્ફર અને ક્લોરિન નીચે દર્શાવ્યા મુજબ આલ્કલાઈન માધ્યમમાં વિષમીકરણ પામે છે.



પ્રક્રિયા 8.48 ઘરેલું બ્લીચિંગ પ્રક્રિયક બનતું હોવાનું સૂચવે છે. હાઈપોક્લોરાઈટ ( $ClO^-$ ) આયન રંગીન ડાઘાઓનું ઓક્સિડેશન કરીને રંગવિહીન સંયોજન બનાવે છે.

અહીં તે જણાવવું યોગ્ય જણાશે કે બ્રોમિન અને આયોડિન દ્વારા એવું વલણ દર્શાવાય છે કે જેવું વલણ ક્લોરિન દ્વારા પ્રક્રિયા 8.48માં દર્શાવાય છે, પરંતુ ફ્લોરિન જ્યારે આલ્કલી

સાથે પ્રક્રિયા કરે છે ત્યારે તે આ વલણમાંથી વિચલન દર્શાવે છે. આ પ્રક્રિયા નીચે દર્શાવેલી છે :



(અહીં ધ્યાન આપવા જેવી બાબત એ છે કે પ્રક્રિયા 8.49માં કોઈ પણ શંકા વિના ફ્લોરિન પાણી પર હુમલો કરી કેટલોક ઓક્સિજન પણ ઉત્પન્ન કરે છે.) ફ્લોરિન દ્વારા જોવા મળતો આ ભિન્ન વ્યવહાર આશ્ચર્યજનક નથી. કારણ કે આપણે જાણીએ છીએ કે ફ્લોરિન સૌથી વધુ વિદ્યુતઋણમય તત્ત્વ હોવાને લીધે ધન ઓક્સિડેશન અવસ્થા પ્રાપ્ત કરી શકતું નથી. આનો અર્થ એમ થયો કે હેલોજનમાં ફ્લોરિન વિષમીકરણ પ્રક્રિયા દર્શાવતું નથી.

#### કોયડો 8.5

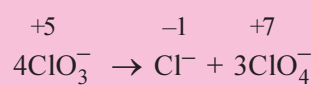
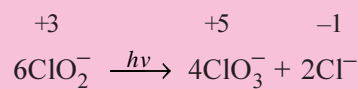
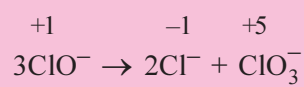
નીચેના પૈકી કઈ સ્પીસિઝ વિષમીકરણ પ્રક્રિયા દર્શાવતી નથી ? શા માટે ?



તથા જે સ્પીસિઝ વિષમીકરણ દર્શાવે છે તે દરેકની પ્રક્રિયાઓ પણ લખો.

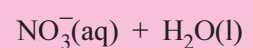
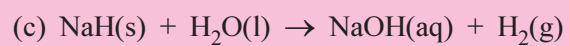
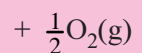
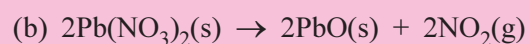
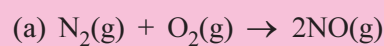
ઉકેલ :

ક્લોરિનના ઉપર દર્શાવેલા ઓક્સો એનાયનમાંથી  $ClO_4^-$  વિષમીકરણ પ્રક્રિયા દર્શાવતું નથી. કારણ કે આ ઓક્સો એનાયનમાં ક્લોરિન તેની ઉચ્ચતમ ઓક્સિડેશન અવસ્થા  $+7$  માં છે. બાકીના ત્રણ ઓક્સો એનાયનની વિષમીકરણ પ્રક્રિયા નીચે મુજબ છે :



#### કોયડો 8.6

નીચે દર્શાવેલી રેડોક્ષ પ્રક્રિયાઓનું વર્ગીકરણ કરો :



ઉકેલ :

પ્રક્રિયા (a)માં તત્વીય પદાર્થ નાઈટ્રોજન અને ઓક્સિજનનાં સંયોગીકરણથી નાઈટ્રિક ઓક્સાઈડ સંયોજન બને છે. તેથી આ પ્રક્રિયા સંયોગીકરણ રેડોક્ષ પ્રક્રિયાનું ઉદાહરણ છે. પ્રક્રિયા (b)માં લેડ નાઈટ્રેટનું ત્રણ ઘટકોમાં વિભાજન થાય છે. તેથી આ પ્રક્રિયાને વિઘટન રેડોક્ષ પ્રક્રિયા

કહે છે. પ્રક્રિયા (c)માં પાણીનો હાઈડ્રોજન, હાઈડ્રાઈડ આયન વડે વિસ્થાપન પામીને ડાયહાઈડ્રોજન વાયુ બનાવે છે. તેથી તેને વિસ્થાપન રેડોક્ષ પ્રક્રિયા કહે છે. પ્રક્રિયા (d)માં  $\text{NO}_2$  (+4 અવસ્થા) વિષમીકરણ થઈને  $\text{NO}_2^-$  (+3 અવસ્થા) અને  $\text{NO}_3^-$  (+5 અવસ્થા) બને છે. તેથી પ્રક્રિયા (d) વિષમીકરણ રેડોક્ષ પ્રક્રિયાનું ઉદાહરણ છે.

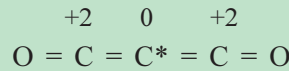
### અપૂર્ણાંક ઓક્સિડેશન આંકનો વિરોધાભાસ

ક્યારેક આપણને એવા સંયોજનો જોવા મળે છે જેમાં કોઈ એક તત્ત્વનો ઓક્સિડેશન આંક અપૂર્ણાંક હોય છે. દા.ત.,  $\text{C}_3\text{O}_2$  [જ્યાં કાર્બનનો ઓક્સિડેશન આંક (4/3) છે.],

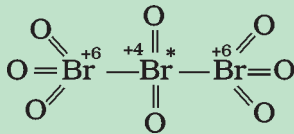
$\text{Br}_3\text{O}_8$  [જ્યાં બ્રોમિનનો ઓક્સિડેશન આંક (16/3) છે.] અને

$\text{Na}_2\text{S}_4\text{O}_6$  [જ્યાં સલ્ફરનો ઓક્સિડેશન આંક 2.5 છે.]

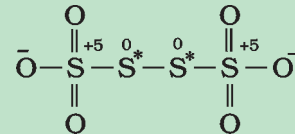
આપણે જાણીએ છીએ કે અપૂર્ણાંક ઓક્સિડેશન આંક સ્વીકાર્ય નથી, કારણ કે સહભાગિતા/સ્થાનાંતર પામનારા ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા અપૂર્ણાંક હોઈ શકે નહિ. વાસ્તવમાં અપૂર્ણાંક ઓક્સિડેશન આંક જે-તે તત્ત્વનો સરેરાશ ઓક્સિડેશન આંક છે. બંધારણીય પ્રાયલોથી જાણવા મળ્યું કે જે તત્ત્વ અપૂર્ણાંક ઓક્સિડેશન આંક ધરાવે છે તે વાસ્તવમાં જુદી જુદી ઓક્સિડેશન અવસ્થામાં હોય છે.  $\text{C}_3\text{O}_2$ ,  $\text{Br}_3\text{O}_8$  અને  $\text{S}_4\text{O}_6^{2-}$  સ્પીસિઝના બંધારણો નીચે જણાવેલ બંધન સ્થિતિઓ દર્શાવે છે.



$\text{C}_3\text{O}_2$ નું બંધારણ (કાર્બન સબઓક્સાઈડ)



$\text{Br}_3\text{O}_8$  નું બંધારણ (ટ્રાયબ્રોમોઓક્ટાઓક્સાઈડ)



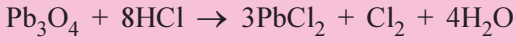
$\text{S}_4\text{O}_6^{2-}$  નું બંધારણ (ટેટ્રાથાયોનેટ આયન)

દરેક સ્પીસિઝમાં કુદડી (\*) વડે દર્શાવેલા પરમાણુ તે જ તત્ત્વના અન્ય પરમાણુઓ કરતા જુદી ઓક્સિડેશન અવસ્થા (ઓક્સિડેશન આંક) દર્શાવે છે. આ સૂચવે છે કે  $\text{C}_3\text{O}_2$  માં બે કાર્બન પરમાણુઓ +2 ઓક્સિડેશન અવસ્થામાં અને ત્રીજો કાર્બન શૂન્ય ઓક્સિડેશન અવસ્થામાં છે. તેમનું સરેરાશ મૂલ્ય 4/3 છે. વાસ્તવમાં છેડે રહેલા બે કાર્બન પરમાણુઓની ઓક્સિડેશન અવસ્થા +2 તથા વચ્ચેના કાર્બનની ઓક્સિડેશન અવસ્થા શૂન્ય છે. તેવી જ રીતે  $\text{Br}_3\text{O}_8$  માં છેડે રહેલા બંને બ્રોમિનની ઓક્સિડેશન અવસ્થા +6 છે, જ્યારે વચ્ચેના બ્રોમિનની ઓક્સિડેશન અવસ્થા +4 છે. ફરીવાર સરેરાશ સંખ્યા 16/3 વાસ્તવિકતાથી દૂર છે. આવી જ રીતે  $\text{S}_4\text{O}_6^{2-}$  માં છેડે રહેલા બે સલ્ફર +5 ઓક્સિડેશન અવસ્થા તથા વચ્ચે રહેલા બંને સલ્ફર પરમાણુઓ શૂન્ય ઓક્સિડેશન અવસ્થા દર્શાવે છે. ચારેય સલ્ફર પરમાણુઓના ઓક્સિડેશન આંકની સરેરાશ 5/2 થશે, જ્યારે વાસ્તવમાં દરેક સલ્ફર પરમાણુઓના ઓક્સિડેશન આંક +5, 0, 0, +5 છે.

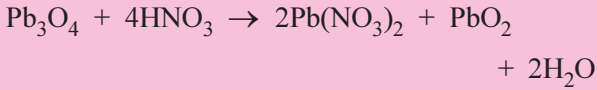
આ પરથી આપણે એવું તારણ કાઢી શકીએ કે અપૂર્ણાંક ઓક્સિડેશન આંકના ખ્યાલને આપણે કાળજીપૂર્વક લેવો જોઈએ તથા વાસ્તવિક ઓક્સિડેશન આંક તેના બંધારણથી જ જાણી શકાય છે. વધુમાં જ્યારે આપણને કોઈ તત્ત્વની અપૂર્ણાંક ઓક્સિડેશન અવસ્થા જોવા મળે ત્યારે આપણે સમજવાનું કે તે માત્ર સરેરાશ ઓક્સિડેશન અવસ્થા છે. વાસ્તવમાં આ સ્પીસિઝમાં રહેલ તત્ત્વ એક કરતા વધુ પૂર્ણાંક ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓ ધરાવે છે (જે માત્ર બંધારણ દ્વારા દર્શાવી શકાય છે.).  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{Mn}_3\text{O}_4$ ,  $\text{Pb}_3\text{O}_4$  મિશ્ર ઓક્સાઈડ સંયોજનો છે. જેમાં દરેક ધાતુ અપૂર્ણાંક ઓક્સિડેશન અવસ્થા ધરાવે છે.  $\text{O}_2^+$  અને  $\text{O}_2^-$  માં અપૂર્ણાંક ઓક્સિડેશન અવસ્થા જોવા મળે છે જે અનુક્રમે  $+\frac{1}{2}$  અને  $-\frac{1}{2}$  છે.

**કોયડો 8.7**

નીચે દર્શાવેલી પ્રક્રિયાઓ શા માટે જુદી જુદી રીતે થાય છે ?

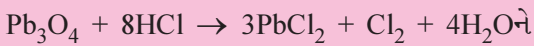


અને

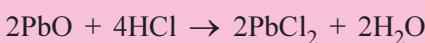


ઉકેલ :

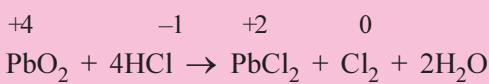
વાસ્તવમાં  $\text{Pb}_3\text{O}_4$  2 મોલ  $\text{PbO}$  અને 1 મોલ  $\text{PbO}_2$  નું તત્વયોગમિતિ મિશ્રણ છે.  $\text{PbO}_2$  માં લેડ +4 ઓક્સિડેશન અવસ્થામાં છે. પરંતુ  $\text{PbO}$  માં લેડની સ્થાયી ઓક્સિડેશન અવસ્થા +2 છે. આમ,  $\text{PbO}_2$  ઓક્સિડેશનકર્તા તરીકે વર્તે છે. તેથી  $\text{HCl}$  માં રહેલ  $\text{Cl}^-$  આયન ક્લોરિનમાં ઓક્સિડેશન પામે છે. આપણે એ બાબતનું ધ્યાન રાખવું જોઈએ કે  $\text{PbO}$  બેઝિક ઓક્સાઈડ છે તેથી આ પ્રક્રિયા,



બે પ્રક્રિયાઓમાં વિભાજિત કરી શકાય, જેમ કે

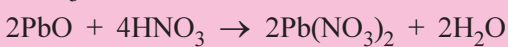


(એસિડ-બેઈઝ પ્રક્રિયા)



(રેડોક્ષ પ્રક્રિયા)

જોકે  $\text{HNO}_3$  સ્વયં ઓક્સિડેશનકર્તા છે, તેથી  $\text{PbO}_2$  અને  $\text{HNO}_3$  વચ્ચે પ્રક્રિયા થતી નથી. તેમ છતાં  $\text{PbO}$  અને  $\text{HNO}_3$  વચ્ચે એસિડ-બેઈઝ પ્રક્રિયા થાય છે.



આ પ્રક્રિયામાં  $\text{PbO}_2$ ની  $\text{HNO}_3$  પ્રત્યે નિષ્ક્રિયતાના કારણે તે  $\text{HCl}$  થી થતી પ્રક્રિયાથી જુદી પડે છે.

### 8.3.2 રેડોક્ષ પ્રક્રિયાઓનું સમતોલન (Balancing of Redox Reactions)

રેડોક્ષ પ્રક્રિયાઓના રાસાયણિક સમીકરણોને સમતોલિત કરવા બે પદ્ધતિઓ વપરાય છે. તે પૈકીની એક પદ્ધતિ રિડક્શનકર્તા અને ઓક્સિડેશનકર્તાના ઓક્સિડેશન આંકમાં થતા ફેરફાર પર આધારિત હોય છે. જ્યારે બીજી પદ્ધતિમાં રેડોક્ષ પ્રક્રિયાને બે અડધા ભાગમાં વિભાજિત કરવામાં આવે છે. એક ભાગમાં ઓક્સિડેશન અને બીજા ભાગમાં રિડક્શન થાય છે. આ બંને પદ્ધતિઓ પ્રચલિત છે, પરંતુ વ્યક્તિ પોતાની ઈચ્છાનુસાર તેમનો ઉપયોગ કરે છે.

(a) ઓક્સિડેશન આંક પદ્ધતિ : અન્ય પ્રક્રિયાઓની જેમ ઓક્સિડેશન-રિડક્શન પ્રક્રિયાઓ માટે ભાગ લેનાર પદાર્થ તથા બનનાર નીપજોના સંઘટન (compositions) અને સૂત્રોની જાણકારી હોવી જરૂરી છે. ઓક્સિડેશન આંક પદ્ધતિને નીચેના સોપાનો દ્વારા સારી રીતે સમજાવી શકાય છે.

**સોપાન 1 :** દરેક પ્રક્રિયક અને નીપજના સાચા સૂત્રો લખો.

**સોપાન 2 :** પ્રક્રિયામાં દરેક તત્વના પરમાણુઓનો ઓક્સિડેશન આંક લખી, જે પરમાણુઓના ઓક્સિડેશન આંકમાં ફેરફાર થતો હોય તેમને શોધો.

**સોપાન 3 :** દરેક પરમાણુ તથા પૂર્ણાણુ/આયનના ઓક્સિડેશન આંકમાં થતાં વધારા કે ઘટાડાની ગણતરી કરો. જો તેમાં સમાનતા ન હોય તો યોગ્ય ગુણક વડે ગુણીને સમાન કરો. (જો તમને લાગે કે બે પદાર્થોનું રિડક્શન થાય છે અને કોઈનું ઓક્સિડેશન થતું નથી અથવા તેનાથી ઊલટું થાય તો સમજવું કે કોઈ સ્થાને ભૂલ છે. ક્યાં તો પ્રક્રિયક અથવા નીપજના સૂત્રો ખોટા લખ્યા હોય અથવા ઓક્સિડેશન આંક યોગ્ય રીતે ન લખ્યા હોય).

**સોપાન 4 :** જો પ્રક્રિયા જલીય માધ્યમમાં થતી હોય તો પ્રક્રિયામાં પ્રક્રિયકો અને નીપજોના વીજભારને સમાન કરવા માટે  $\text{H}^+$  કે  $\text{OH}^-$  આયનને યોગ્ય બાજુ ઉમેરો. જો પ્રક્રિયા એસિડિક માધ્યમમાં થતી હોય તો  $\text{H}^+$  આયનનો ઉપયોગ કરો. જો પ્રક્રિયા બેઝિક માધ્યમમાં થતી હોય તો  $\text{OH}^-$  આયનનો ઉપયોગ કરો.

**સોપાન 5 :** પ્રક્રિયાની બંને બાજુ હાઈડ્રોજન પરમાણુની સંખ્યા સમાન કરવા માટે પ્રક્રિયકો અથવા નીપજોની બાજુ પાણીનાં ( $\text{H}_2\text{O}$ ) અણુઓ ઉમેરો. હવે પ્રક્રિયકો અને નીપજોમાં રહેલા ઓક્સિજન પરમાણુઓની સંખ્યાને પણ તપાસો. જો તે સમાન હોય તો આ સમીકરણ સમતોલિત રેડોક્ષ પ્રક્રિયા છે તેમ દર્શાવે છે.

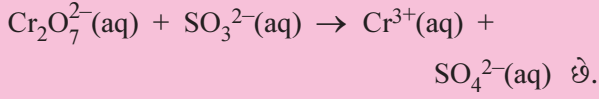
ચાલો આપણે નીચે દર્શાવેલા કેટલાક કોયડા દ્વારા આ સોપાનોને સમજાવે.

**કોયડો 8.8**

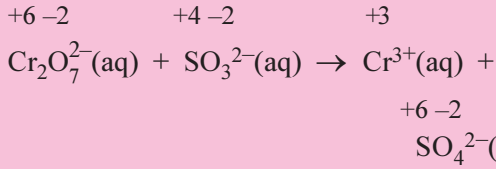
પોટેશિયમ ડાયક્રોમેટ (VI) ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ )ની સોડિયમ સલ્ફાઈટ ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) સાથેની એસિડિક માધ્યમમાં થતી પ્રક્રિયાથી બનતા કોબિયમ (III) આયન અને સલ્ફેટ આયનને ચોખ્ખા (net) આયનીય સમીકરણ સ્વરૂપે લખો.

ઉકેલ :

સોપાન 1 : મૂળ આયનીય પ્રક્રિયા

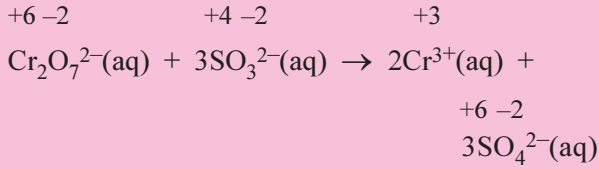


સોપાન 2 : Cr અને Sના ઓક્સિડેશન આંક નક્કી કરો.

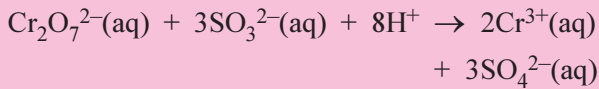


આ સૂચવે છે કે ડાયક્રોમેટ આયન ઓક્સિડેશનકર્તા અને સલ્ફાઇટ આયન રિડક્શનકર્તા છે.

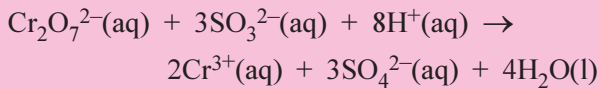
સોપાન 3 : ઓક્સિડેશન આંકમાં થતાં વધારા કે ઘટાડાની ગણતરી કરો અને તેમને સમાન બનાવો.



સોપાન 4 : પ્રક્રિયા એસિડિક માધ્યમમાં થતી હોવાથી તથા બંને બાજુ આયનીય વીજભાર સમાન ન હોવાથી આયનીય વીજભારને સમાન બનાવવા ડાબી બાજુ  $8\text{H}^+$  ઉમેરો.



સોપાન 5 : અંતમાં, હાઇડ્રોજન પરમાણુની ગણતરી કરો. જમણી બાજુ જરૂરી પાણીના અણુઓ (એટલે  $4\text{H}_2\text{O}$ ) ઉમેરીને સમતોલિત રેડોક્ષ પ્રક્રિયા મેળવો.



### કોયડો 8.9

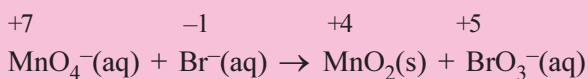
પરમેંગેનેટ આયન બ્રોમાઇડ આયન સાથે બેજિક માધ્યમમાં પ્રક્રિયા કરી મેંગેનીઝ ડાયોક્સાઇડ અને બ્રોમેટ આયન બનાવે છે. આ પ્રક્રિયા માટે સમતોલિત આયન સમીકરણ લખો.

ઉકેલ :

સોપાન 1 : મૂળ આયનીય પ્રક્રિયા

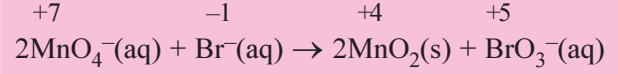


સોપાન 2 : Mn અને Brના ઓક્સિડેશન આંક નક્કી કરો.

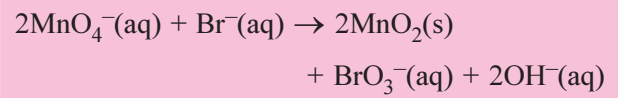


આ સૂચવે છે કે પરમેંગેનેટ આયન ઓક્સિડેશનકર્તા અને બ્રોમાઇડ આયન રિડક્શનકર્તા છે.

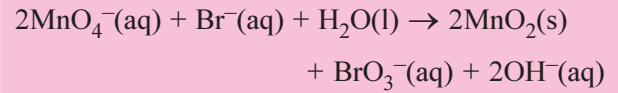
સોપાન 3 : ઓક્સિડેશન આંકમાં થતાં વધારા કે ઘટાડાની ગણતરી કરો તથા વધારા-ઘટાડાને સમાન બનાવો.



સોપાન 4 : પ્રક્રિયા બેજિક માધ્યમમાં થતી હોવાથી તથા બંને બાજુ આયનીય વીજભાર સમાન ન હોવાથી આયનીય વીજભારને સમાન બનાવવા જમણી બાજુ  $2\text{OH}^-$  ઉમેરો.



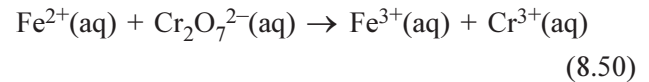
સોપાન 5 : અંતમાં, હાઇડ્રોજન પરમાણુની ગણતરી કરો. ડાબી બાજુ જરૂરી પાણીના અણુઓ (એટલે કે એક  $\text{H}_2\text{O}$  અણુ) ઉમેરીને સમતોલિત રેડોક્ષ પ્રક્રિયા મેળવો.



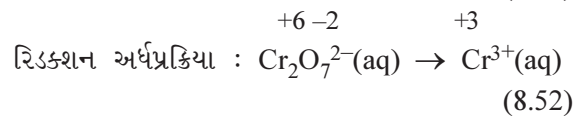
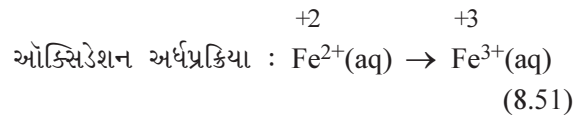
(b) અર્ધ પ્રક્રિયા પદ્ધતિ : આ પદ્ધતિમાં બે અર્ધ પ્રક્રિયાઓનાં સમીકરણોને અલગથી સમતોલ કરવામાં આવે છે અને ત્યારબાદ બંનેનો સરવાળો કરવાથી સમતોલિત સમીકરણ મળે છે.

ધારો કે આપણે  $\text{Fe}^{2+}$  આયનનું  $\text{Fe}^{3+}$  આયનમાં ઓક્સિડેશન થતું હોય તેવી ડાયક્રોમેટ આયન ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ) દ્વારા એસિડિક માધ્યમમાં થતી પ્રક્રિયા, જેમાં  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  આયનનું  $\text{Cr}^{3+}$  આયનમાં રિડક્શન થાય છે, તેને સમતોલ કરવી છે. આ માટે નીચેના સોપાનોને અનુસરવામાં આવે છે.

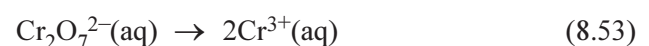
સોપાન 1 : પ્રક્રિયાના અસમતોલિત સમીકરણને આયનીય સ્વરૂપમાં લખો.



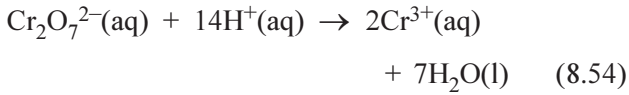
સોપાન 2 : સમીકરણને અર્ધપ્રક્રિયાઓ સ્વરૂપે અલગ પાડો.



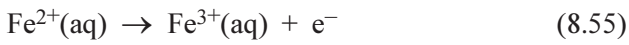
સોપાન 3 : બંને અર્ધપ્રક્રિયામાં રહેલા O અને H સિવાયના પરમાણુઓનું સમતોલન કરો. અહીં ઓક્સિડેશન પ્રક્રિયામાં Fe પરમાણુઓ પહેલેથી જ સમતોલનમાં છે. રિડક્શન પ્રક્રિયામાં Cr પરમાણુઓને સમતોલ કરવા  $\text{Cr}^{3+}$ ને 2 વડે ગુણવામાં આવે છે.



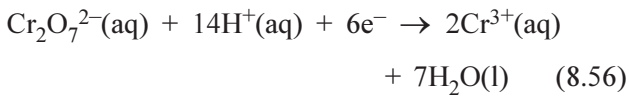
**સોપાન 4 :** પ્રક્રિયા એસિડિક માધ્યમમાં થતી હોવાથી O પરમાણુઓને સમતોલ કરવા H<sub>2</sub>O અને H પરમાણુઓને સમતોલ કરવા H<sup>+</sup> ઉમેરો. તેથી આપણને નીચેનું સમીકરણ મળશે.



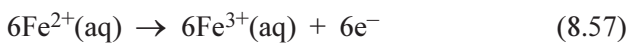
**સોપાન 5 :** વીજભારને સમતોલ કરવા અર્ધપ્રક્રિયાની એક બાજુએ ઇલેક્ટ્રોન ઉમેરો. બંને અર્ધપ્રક્રિયામાં ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા સરખી કરવા માટે જરૂરિયાત મુજબ કોઈ એક અથવા બંને અર્ધપ્રક્રિયાઓને યોગ્ય ગુણક વડે ગુણો. ઓક્સિડેશન અર્ધપ્રક્રિયાના વીજભારને સમતોલ કરી પ્રક્રિયાને પુનઃ આ પ્રમાણે લખી શકાય.



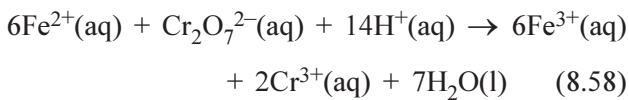
રિડક્શન અર્ધપ્રક્રિયામાં ડાબી બાજુ ચોખ્ખો 12 ધન વીજભાર છે, જ્યારે જમણી બાજુ માત્ર છ ધનવીજભાર છે. તેથી આપણે ડાબી બાજુ 6 ઇલેક્ટ્રોન ઉમેરીએ છીએ.



બંને અર્ધપ્રક્રિયાઓમાં ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યાને સમાન કરવા આપણે ઓક્સિડેશન અર્ધપ્રક્રિયાને 6 વડે ગુણી તેને નીચે મુજબ લખી શકાય :



**સોપાન 6 :** બંને અર્ધપ્રક્રિયાઓનો સરવાળો કરતા આપણને એકંદર પ્રક્રિયા મળશે તથા બંને બાજુના ઇલેક્ટ્રોન રદ થશે, જેથી નીચે મુજબનું ચોખ્ખું આયનીય સમીકરણ મળે છે.



**સોપાન 7 :** ચકાસી જુઓ કે સમીકરણની બંને બાજુએ સમાન પરમાણુઓની સંખ્યા તથા વીજભાર સમાન છે? આ છેલ્લી ચકાસણી દર્શાવે છે કે સમીકરણમાં પરમાણુઓની સંખ્યા તથા વીજભાર સંપૂર્ણપણે સમતોલિત છે.

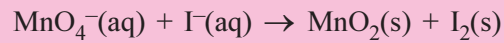
બેઝિક માધ્યમ માટે પ્રક્રિયાને પ્રથમ તે પ્રમાણે સમતોલ કરો કે જે પ્રમાણે એસિડિક માધ્યમ માટે કરો છો, ત્યારબાદ સમીકરણમાં બંને બાજુ H<sup>+</sup> આયનની સંખ્યા જેટલા OH<sup>-</sup> આયન ઉમેરો. સમીકરણમાં જ્યાં H<sup>+</sup> અને OH<sup>-</sup> એક સાથે છે ત્યાં તેઓને જોડીને H<sub>2</sub>O લખી દો.

### કોયડો 8.10

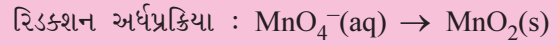
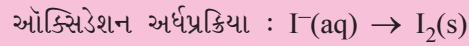
પરમેંગેનેટ (VII) આયન (MnO<sub>4</sub><sup>-</sup>) બેઝિક માધ્યમમાં આયોડાઈડ આયન (I<sup>-</sup>)નું ઓક્સિડેશન કરી આયોડિનનો અણુ (I<sub>2</sub>) અને મેંગેનીઝ (IV) ઓક્સાઈડ (MnO<sub>2</sub>) બનાવે છે. આ રેડોક્ષ પ્રક્રિયાને દર્શાવતું સમતોલિત આયનીય સમીકરણ લખો.

ઉકેલ :

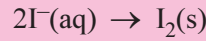
**સોપાન 1 :** સૌપ્રથમ આપણે મૂળ આયનીય સમીકરણ લખીએ.



**સોપાન 2 :** બે અર્ધપ્રક્રિયાઓ,



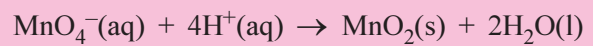
**સોપાન 3 :** ઓક્સિડેશન અર્ધપ્રક્રિયામાં I પરમાણુઓને સમતોલ કરી સમીકરણને પુનઃ નીચે પ્રમાણે લખી શકાય.



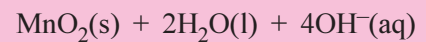
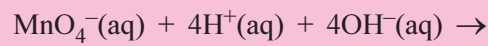
**સોપાન 4 :** રિડક્શન અર્ધપ્રક્રિયામાં O પરમાણુઓને સમતોલ કરવા આપણે જમણી બાજુ પાણીના બે અણુઓ ઉમેરીએ,



H પરમાણુઓને સમતોલ કરવા આપણે ડાબી બાજુ ચાર H<sup>+</sup> આયનો ઉમેરીએ,



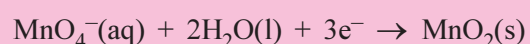
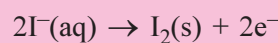
આ પ્રક્રિયા બેઝિક માધ્યમમાં થાય છે તેથી ચાર H<sup>+</sup> આયનો માટે આપણે સમીકરણની બંને બાજુ ચાર OH<sup>-</sup> આયન ઉમેરીએ,



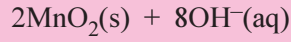
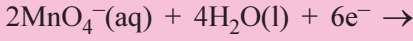
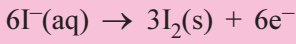
H<sup>+</sup> અને OH<sup>-</sup> આયનના સરવાળાને સ્થાને પાણીનો અણુ મૂકવાથી મળતું સમીકરણ :



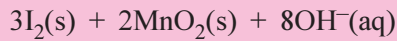
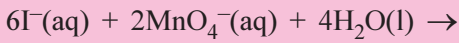
**સોપાન 5 :** આ સોપાનમાં આપણે બે અર્ધપ્રક્રિયાઓના વીજભારને નીચે મુજબ સમતોલ કરી શકીએ.



હવે આપણે ઈલેક્ટ્રોનની સંખ્યાને સમતોલ કરવા ઓક્સિડેશન અર્ધપ્રક્રિયાને 3 વડે અને રિડક્શન અર્ધપ્રક્રિયાને 2 વડે ગુણીએ,



**સોપાન 6 :** બંને અર્ધપ્રક્રિયાઓનો સરવાળો કરતાં બંને બાજુના ઈલેક્ટ્રોન રદ થઈ મળતી ચોખ્ખી પ્રક્રિયા :



**સોપાન 7 :** અંતિમ ચકાસણી દર્શાવે છે કે સમીકરણની બંને બાજુએ રહેલા પરમાણુઓની સંખ્યા અને વીજભારની દૃષ્ટિએ મેળવેલ ઉપરોક્ત સમીકરણ સમતોલિત છે.

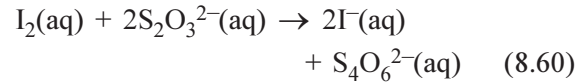
### 8.3.3 રેડોક્ષ પ્રક્રિયાઓ પર આધારિત અનુમાપનો (Redox Reactions as the Basis for Titrations)

એસિડ-બેઈઝ પ્રણાલીમાં આપણે એવી અનુમાપન પદ્ધતિના સંપર્કમાં આવીએ છીએ કે જેમાં એક દ્રાવણની પ્રબળતા બીજા દ્રાવણની મદદથી pH સંવેદનશીલ સૂચકના ઉપયોગથી નક્કી કરવામાં આવે છે. તેવી જ રીતે રેડોક્ષ પ્રણાલીમાં પણ રિડક્શનકર્તા/ ઓક્સિડેશનકર્તાની પ્રબળતા નક્કી કરવા રેડોક્ષ સંવેદનશીલ સૂચકનો ઉપયોગ કરી અનુમાપન પદ્ધતિ અપનાવી શકાય છે. સૂચકોના ઉપયોગને નીચે મુજબ સમજાવી શકાય છે :

- જો કોઈ પ્રક્રિયક સ્વયં ઘેરા રંગનો હોય તો તે સ્વયંસૂચક તરીકે વર્તે છે. દા.ત., પરમેંગેનેટ આયન ( $\text{MnO}_4^{-}$ ). જ્યારે રિડક્શનકર્તાનો ( $\text{Fe}^{2+}$  અથવા  $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ ) અંતિમ ભાગ ઓક્સિડેશન પામ્યો હશે ત્યારે દૃશ્યમાન અંતિમ બિંદુ પ્રાપ્ત થાય છે.  $\text{MnO}_4^{-}$  આયનની સાંદ્રતા  $10^{-6} \text{ mol dm}^{-3}$  ( $10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$ ) થી ઓછી હોય તો પણ ગુલાબી રંગની પ્રબળ સ્થાયી ઝલક જોવા મળે છે. જેથી સમતુલ્યબિંદુ કે જ્યાં રિડક્શનકર્તા અને ઓક્સિડેશનકર્તાની મોલ તત્વયોગમિતિ સમાન હોય છે ત્યારે રંગ ન્યૂનતમથી અતિશય બની જાય છે.
- જેવું  $\text{MnO}_4^{-}$ ના અનુમાપનમાં થાય છે તેવું નાટકીય રીતે સ્વયં રંગ પરિવર્તન જોવા મળતું ન હોય ત્યારે એવા સૂચક પણ જોવા મળે છે કે જે રિડક્શનકર્તાનો અંતિમ ભાગ વપરાઈ ગયા બાદ પોતાનું ઓક્સિડેશન કરી નાટકીય રીતે રંગ પરિવર્તન દર્શાવે છે. તેનું સર્વોત્તમ ઉદાહરણ  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  છે. જે સ્વયંસૂચક નથી. પરંતુ સમતુલ્યબિંદુ પછી તરત જ તે ડાયફિનાઈલએમાઈન સૂચકનું ઓક્સિડેશન કરી દ્રાવણને ઘેરા વાદળી રંગનું બનાવે છે. આ રીતે અંતિમ બિંદુ નક્કી થાય છે.

- અન્ય એક પદ્ધતિ પણ છે જે રસપ્રદ અને સામાન્ય છે. આ પદ્ધતિનો ઉપયોગ માત્ર એવા પ્રક્રિયકો માટે સીમિત છે કે જે  $\text{I}^{-}$  આયનોનું ઓક્સિડેશન કરી શકે છે. દા.ત.,  $\text{Cu}(\text{II})$  :  $2\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 4\text{I}^{-}(\text{aq}) \rightarrow \text{Cu}_2\text{I}_2(\text{s}) + \text{I}_2(\text{aq})$  (8.59)

આ પદ્ધતિનો આધાર આયોડિનની સ્ટાર્ચ સાથે ઘેરા વાદળી રંગ આપવાની પ્રક્રિયા તથા આયોડિનની થાયોસલ્ફેટ આયન ( $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ ) સાથેની વિશેષ પ્રક્રિયા કે જે રેડોક્ષ પ્રક્રિયા છે તેના પર છે.



જોકે  $\text{I}_2$  પાણીમાં અદ્રાવ્ય હોય છે, વધેલા  $\text{KI}$ ના દ્રાવણમાં  $\text{KI}_3$  સ્વરૂપે હોય છે.

જ્યારે આયોડાઈડ આયન સાથે  $\text{Cu}^{2+}$  આયનની પ્રક્રિયા થાય છે ત્યારે ઉત્પન્ન થયેલા આયોડિન બાદ ઉમેરવામાં આવતો સ્ટાર્ચ ઘેરો વાદળી રંગ આપે છે. થાયોસલ્ફેટ દ્વારા આયોડિન વપરાવાના કારણે ઉત્પન્ન થતો આ રંગ શક્ય તેટલી ઝડપથી અદૃશ્ય થાય છે. આ રીતે અંતિમ બિંદુને સરળતાથી જાણી શકાય છે. જ્યારે બાકીનો ભાગ માત્ર તત્વયોગમિતિય ગણતરી હોય છે.

### 8.3.4 ઓક્સિડેશન આંકની સંકલ્પનાની મર્યાદાઓ (Limitations of Concept of Oxidation Number)

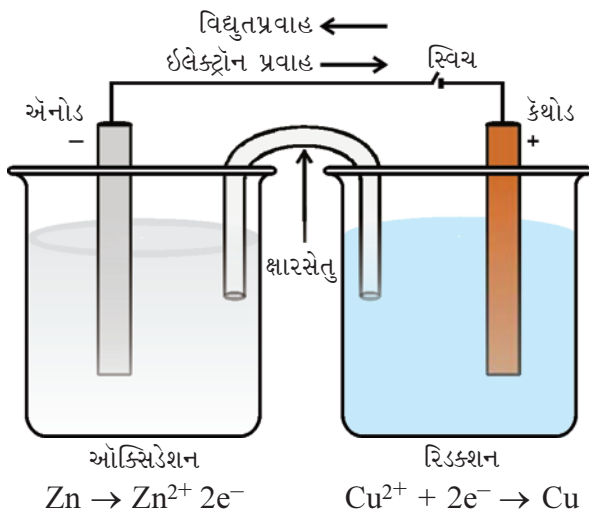
ઉપરોક્ત ચર્ચાના આધારે તમે જાણી ગયા હશો કે રેડોક્ષ પ્રક્રિયાની સંકલ્પનાનો વિકાસ સમય સાથે થતો ગયો છે. આ પદ્ધતિનો વિકાસ હાલમાં પણ ચાલુ છે. વાસ્તવમાં થોડા સમય પહેલા ઓક્સિડેશન પ્રક્રિયાને પ્રક્રિયામાં સમાવિષ્ટ પરમાણુની આસપાસ ઈલેક્ટ્રોન ઘનતામાં થતા ઘટાડા સ્વરૂપે અને રિડક્શન પ્રક્રિયાને ઈલેક્ટ્રોન ઘનતામાં થતા વધારા સ્વરૂપે જોવામાં આવતું હતું.

## 8.4 રેડોક્ષ પ્રક્રિયાઓ અને વિદ્યુતધ્રુવ પ્રક્રમો (Redox Reactions and Electrode Processes)

જો ઝિંકના સળિયાને કોપર સલ્ફેટના દ્રાવણમાં ડુબાડવામાં આવે તો પ્રક્રિયા(8.15)ને અનુરૂપ પ્રયોગ જોવા મળે છે. આ રેડોક્ષ પ્રક્રિયા દરમિયાન ઝિંકથી કોપર તરફના ઈલેક્ટ્રોનના પ્રત્યક્ષ સ્થાનાંતરને કારણે ઝિંક ધાતુનું ઓક્સિડેશન થઈ ઝિંક આયન તથા કોપર આયનનું રિડક્શન થઈ કોપર ધાતુ બને છે. આ પ્રક્રિયા દરમિયાન ઉષ્માનું ઉત્સર્જન થાય છે. આ જ પ્રક્રિયા માટે આ પ્રયોગમાં થોડો ફેરફાર તે મુજબ કરવામાં આવે કે જેથી ઈલેક્ટ્રોનનું થતું સ્થાનાંતર અપ્રત્યક્ષ રીતે થાય. આ માટે કોપર

સલ્ફેટના દ્રાવણમાંથી ઝિંક ધાતુને અલગ કરવી આવશ્યક થઈ જાય છે. હવે આપણે એક બીકરમાં કોપર સલ્ફેટનું દ્રાવણ લઈ તેમાં કોપરના સળિયાને મૂકીએ તથા બીજા બીકરમાં ઝિંક સલ્ફેટનું દ્રાવણ લઈ ઝિંકના સળિયાને મૂકીએ. તેથી બંને બીકરોમાં ધાતુ અને તેના ક્ષારના દ્રાવણના આંતરપૃષ્ઠ પર એક જ પ્રકારના રસાયણના રિડક્શન પામેલા અને ઓક્સિડેશન પામેલા સ્વરૂપો એક સાથે હાજર હોય છે. જે ઓક્સિડેશન અને રિડક્શન અર્ધપ્રક્રિયાઓમાં રહેલી સ્પીસિઝને દર્શાવે છે. ઓક્સિડેશન અને રિડક્શન પ્રક્રિયાઓમાં ભાગ લેતા પદાર્થોના ઓક્સિડેશન પામેલા અને રિડક્શન પામેલા સ્વરૂપોની એક સાથે હાજરીને રેડોક્ષ યુગ્મ (redox couple) કહેવામાં આવે છે.

આ ઓક્સિડેશન પામેલા સ્વરૂપને રિડક્શન પામેલા સ્વરૂપથી અલગ પાડવા સીધી કે ત્રાંસી લીટીનો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે (દા.ત., ઘન/દ્રાવણ). આ ઉદાહરણમાં બે રેડોક્ષ યુગ્મોને  $Zn^{2+}/Zn$  અને  $Cu^{2+}/Cu$  વડે દર્શાવાય છે. બંને કિસ્સામાં ઓક્સિડેશન પામેલા સ્વરૂપને રિડક્શન પામેલા સ્વરૂપની પહેલા મૂકાય છે. હવે આપણે કોપર સલ્ફેટ દ્રાવણવાળા બીકરને ઝિંક સલ્ફેટવાળા બીકરની બાજુમાં રાખીએ (આકૃતિ 8.3). હવે આપણે આ બે બીકરને ક્ષારસેતુ વડે જોડીએ (પોટેશિયમ ક્લોરાઇડ અથવા એમોનિયમ નાઇટ્રેટને અગાર-અગાર સાથે ઉકાળીને U આકારની



**આકૃતિ 8.3 :** ડેનિયલ કોષની ગોઠવણી. ઝેનોડ પર Znના ઓક્સિડેશનથી ઉત્પન્ન થયેલા ઇલેક્ટ્રોન બાહ્યપરિપથ દ્વારા કેથોડ સુધી પહોંચે છે જ્યાં કોપર આયનનું રિડક્શન કરે છે. કોષની અંદરનો પરિપથ ક્ષારસેતુમાં રહેલા આયનોના સ્થાનાંતર દ્વારા પૂર્ણ થાય છે. એ નોંધવું જોઈએ કે વિદ્યુતપ્રવાહની દિશા ઇલેક્ટ્રોન પ્રવાહની દિશાની વિરુદ્ધ હોય છે.

નળીમાં ભરી, ઠુંડું પાડી જેલી જેવું સ્વરૂપ બનાવવામાં આવે છે). આ બંને દ્રાવણોને એકબીજામાં મિશ્ર કર્યા વિના વિદ્યુત સંપર્ક આપવામાં આવે છે. ઝિંક અને કોપરના સળિયાઓને એમીટર તથા સ્વિચ દ્વારા ધાતુના તારથી જોડવામાં આવે છે. આકૃતિ 8.3માં દર્શાવ્યા મુજબની ગોઠવણીને ડેનિયલ કોષ કહે છે. સ્વિચ બંધ હોય ત્યારે કોઈ પણ બીકરમાં કોઈ પ્રક્રિયા થતી નથી અને ધાતુના તારમાં વિદ્યુતપ્રવાહ પસાર થતો નથી. સ્વિચને ચાલુ કરવાથી આપણને નીચેના અવલોકનો જોવા મળે છે.

1. Znથી  $Cu^{2+}$  તરફ ઇલેક્ટ્રોનનું સ્થાનાંતર પ્રત્યક્ષ રીતે થતું નથી, પરંતુ બે સળિયાને જોડનાર ધાતુ તાર દ્વારા થાય છે. જેને તીર દ્વારા વિદ્યુતપ્રવાહના સ્વરૂપે દર્શાવેલું છે.
2. એક બીકરમાં રાખેલા દ્રાવણથી બીજા બીકરમાં રાખેલા દ્રાવણ તરફ આયનોનું સ્થાનાંતર ક્ષાર સેતુ દ્વારા થાય છે. આપણે જાણીએ છીએ કે કોપર અને ઝિંકના સળિયાઓ જે વિદ્યુતધ્રુવો તરીકે ઓળખાય છે, તેમની વચ્ચેના પોટેન્શિયલના તફાવતના કારણે વિદ્યુતપ્રવાહ ઉત્પન્ન થાય છે.

દરેક વિદ્યુતધ્રુવના પોટેન્શિયલને વિદ્યુતધ્રુવ પોટેન્શિયલ કહે છે. જો વિદ્યુતધ્રુવની પ્રક્રિયામાં ભાગ લેતી પ્રત્યેક સ્પીસિઝ એકમ સાંદ્રતા ધરાવતી હોય (જો વિદ્યુતધ્રુવની પ્રક્રિયામાં કોઈ વાયુ ઉત્પન્ન થતો હોય તો તે એક વાતાવરણ દબાણે હોવો જોઈએ.) અને પ્રક્રિયા 298 K તાપમાને થતી હોય તો દરેક વિદ્યુતધ્રુવના પોટેન્શિયલને પ્રમાણિત વિદ્યુતધ્રુવ પોટેન્શિયલ કહે છે. સામાન્ય રીતે એમ માનવામાં આવે છે કે પ્રમાણિત હાઇડ્રોજન વિદ્યુતધ્રુવનો પોટેન્શિયલ 0.0 વોલ્ટ છે. દરેક વિદ્યુતધ્રુવ પ્રક્રિયા માટે વિદ્યુતધ્રુવ પોટેન્શિયલનું મૂલ્ય સક્રિય સ્પીસિઝના ઓક્સિડેશન પામેલા / રિડક્શન પામેલા સ્વરૂપોના સાપેક્ષ વલણનું માપ છે.  $E^{\ominus}$ ના ઋણ મૂલ્યનો અર્થ થાય છે કે રેડોક્ષ યુગ્મ,  $H^+/H_2$  યુગ્મની સરખામણીમાં પ્રબળ રિડક્શનકર્તા છે.  $E^{\ominus}$ ના ધન મૂલ્યનો અર્થ થાય છે કે રેડોક્ષ યુગ્મ,  $H^+/H_2$  યુગ્મની સરખામણીમાં નિર્બળ રિડક્શનકર્તા છે. પ્રમાણિત વિદ્યુતધ્રુવ પોટેન્શિયલ બહુ જ મહત્વપૂર્ણ છે. તેનાથી આપણને બહુ જ ઉપયોગી અન્ય જાણકારી પણ મળે છે. કેટલીક પસંદગીયુક્ત વિદ્યુતધ્રુવ પ્રક્રિયાઓ (રિડક્શન પ્રક્રિયાઓ)ના પ્રમાણિત વિદ્યુતધ્રુવ પોટેન્શિયલના મૂલ્યોને કોષ્ટક 8.1માં દર્શાવ્યા છે. તમે વિદ્યુતધ્રુવ પ્રક્રિયાઓ અને કોષો વિશે વધુ ઊંડાણમાં ધોરણ 12માં શીખશો.



કોષ્ટક 8.1 પ્રમાણિત વિદ્યુતધ્રુવ પોટેન્શિયલ (298 K)  
આયન જલીય સ્પીસિઝ સ્વરૂપે અને H<sub>2</sub>O પ્રવાહી સ્વરૂપે હાજર છે;  
વાયુ અને ઘનને અનુક્રમે g અને s દ્વારા દર્શાવવામાં આવ્યું છે.

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

ઓક્સિડેશનકર્તાની પ્રબળતા વધે છે.

રિડક્શનકર્તાની પ્રબળતા વધે છે.

1. ઋણ E<sup>o</sup> એટલે કે રેડોક્ષ યુગ્મ, H<sup>+</sup>/H<sub>2</sub> યુગ્મની સરખામણીમાં પ્રબળ રિડક્શનકર્તા છે.
2. ધન E<sup>o</sup> એટલે કે રેડોક્ષ યુગ્મ, H<sup>+</sup>/H<sub>2</sub> યુગ્મની સરખામણીમાં નિર્બળ રિડક્શનકર્તા છે.

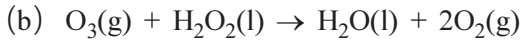
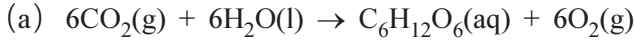
## સારાંશ

પ્રક્રિયાઓનો એક મહત્વનો વર્ગ રેડોક્ષ પ્રક્રિયા છે, જેમાં ઓક્સિડેશન તથા રિડક્શન એકસાથે થાય છે. આ એકમમાં ત્રણ પ્રકારની સંકલ્પનાઓ ઊંડાણથી આપવામાં આવી છે. જેવી કે ચિરસંમત, ઇલેક્ટ્રોનીય અને ઓક્સિડેશન આંક. દરેક સંકલ્પનાઓના આધારે ઓક્સિડેશન, રિડક્શન, ઓક્સિડેશનકર્તા (ઓક્સિડન્ટ) અને રિડક્શનકર્તાને (રિડક્ટન્ટ) સમજાવવામાં આવ્યા છે. ચોક્કસ નિયમોને આધારે ઓક્સિડેશન આંક નક્કી કરવામાં આવે છે. ઓક્સિડેશન આંક અને આયન-ઇલેક્ટ્રોન પદ્ધતિ રેડોક્ષ પ્રક્રિયાના સમીકરણ લખવામાં ઉપયોગી છે. રેડોક્ષ પ્રક્રિયાઓને ચાર ભાગમાં વિભાજિત કરવામાં આવે છે : સંયોજીકરણ પ્રક્રિયા, વિઘટન પ્રક્રિયા, વિસ્થાપન પ્રક્રિયા અને વિષમીકરણ પ્રક્રિયા. રેડોક્ષ યુગ્મ અને વિદ્યુતધ્રુવ પ્રક્રિયાની સંકલ્પનાને પણ સમાવવામાં આવ્યા છે. રેડોક્ષ પ્રક્રિયાઓનો વિદ્યુતધ્રુવ પ્રક્રમ તથા કોષના અભ્યાસ માટે વ્યાપક ઉપયોગ થાય છે.

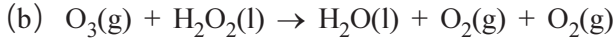
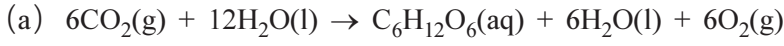
## સ્વાધ્યાય

- 8.1 નીચે દર્શાવેલી સ્પીસિઝમાં લીટી દોરેલા દરેક તત્વના ઓક્સિડેશન આંક નક્કી કરો :
- (a)  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$                       (b)  $\text{NaHSO}_4$                       (c)  $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$                       (d)  $\text{K}_2\text{MnO}_4$   
 (e)  $\text{CaO}_2$                               (f)  $\text{NaBH}_4$                               (g)  $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7$                       (h)  $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$
- 8.2 નીચે દર્શાવેલા સંયોજનોમાં લીટી દોરેલા દરેક તત્વના ઓક્સિડેશન આંક શું હશે ? તમે પરિણામો કેવી રીતે મેળવ્યા તે સમજાવો :
- (a)  $\text{KI}_3$                       (b)  $\text{H}_2\text{S}_4\text{O}_6$                       (c)  $\text{Fe}_3\text{O}_4$                       (d)  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$                       (e)  $\text{CH}_3\text{COOH}$
- 8.3 નીચે દર્શાવેલી પ્રક્રિયાઓ રેડોક્ષ પ્રક્રિયાઓ છે, તેનું વાજબીપણું પુરવાર કરો :
- (a)  $\text{CuO}(\text{s}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{Cu}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$   
 (b)  $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s}) + 3\text{CO}(\text{g}) \rightarrow 2\text{Fe}(\text{s}) + 3\text{CO}_2(\text{g})$   
 (c)  $4\text{BCl}_3(\text{g}) + 3\text{LiAlH}_4(\text{s}) \rightarrow 2\text{B}_2\text{H}_6(\text{g}) + 3\text{LiCl}(\text{s}) + 3\text{AlCl}_3(\text{s})$   
 (d)  $2\text{K}(\text{s}) + \text{F}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{K}^+\text{F}^-(\text{s})$   
 (e)  $4\text{NH}_3(\text{g}) + 5\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 4\text{NO}(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{g})$
- 8.4 ફ્લોરિન બરફ સાથે પ્રક્રિયા કરી નીચે દર્શાવ્યા મુજબનું પરિવર્તન લાવે છે :
- $\text{H}_2\text{O}(\text{s}) + \text{F}_2(\text{g}) \rightarrow \text{HF}(\text{g}) + \text{HOF}(\text{g})$   
 આ પ્રક્રિયા રેડોક્ષ પ્રક્રિયા છે તેનું વાજબીપણું પુરવાર કરો.
- 8.5  $\text{H}_2\text{SO}_5$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  અને  $\text{NO}_3^-$  માં રહેલા સલ્ફર, ક્રોમિયમ અને નાઇટ્રોજન તત્વોના ઓક્સિડેશન આંકની ગણતરી કરો. આ સંયોજનોના બંધારણીય સૂત્રો સૂચવો. ખોટા તર્કને સ્પષ્ટ કરો.
- 8.6 નીચે દર્શાવેલા સંયોજનોના સૂત્રો લખો :
- (a) મરક્યુરી (II) ક્લોરાઇડ                      (b) નિકલ (II) સલ્ફેટ  
 (c) ટીન (IV) ઓક્સાઇડ                      (d) થેલિયમ (I) સલ્ફેટ  
 (e) આયર્ન (III) સલ્ફેટ                      (f) કોમિયમ (III) ઓક્સાઇડ
- 8.7 એવા સંયોજનોની યાદી તૈયાર કરો કે જેમાં કાર્બન પરમાણુ -4 થી +4 સુધીની અને નાઇટ્રોજન પરમાણુ -3 થી +5 સુધીની ઓક્સિડેશન અવસ્થા ધરાવતા હોય.
- 8.8 સલ્ફર ડાયોક્સાઇડ અને હાઇડ્રોજન પેરોક્સાઇડ તેઓની પ્રક્રિયામાં ઓક્સિડેશનકર્તા અને રિડક્શનકર્તા એમ બંને રીતે પ્રક્રિયા કરે છે જ્યારે ઓઝોન અને નાઇટ્રિક એસિડ માત્ર ઓક્સિડેશનકર્તા તરીકે વર્તે છે. શા માટે ?

8.9 નીચેની પ્રક્રિયાઓ અંગે વિચાર કરો :



આ પ્રક્રિયાઓને નીચે મુજબ લખવી શા માટે વધુ ઉચિત છે ?



ઉપરોક્ત રેડોક્ષ પ્રક્રિયા (a) અને (b)ના પથ નક્કી કરવાની પ્રવિધિ પણ સૂચવો.

8.10  $AgF_2$  અસ્થાયી સંયોજન છે. જો તે બની જાય તો આ સંયોજન પ્રબળ ઓક્સિડેશનકર્તા તરીકે વર્તે છે. શા માટે ?

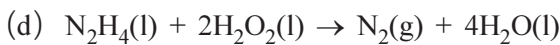
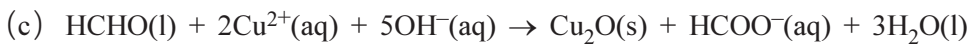
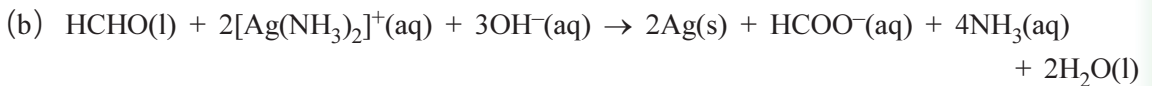
8.11 જ્યારે ઓક્સિડેશનકર્તા અને રિડક્શનકર્તા વચ્ચે પ્રક્રિયા થાય છે ત્યારે જો રિડક્શનકર્તાનું પ્રમાણ વધારે હોય તો નિમ્નતર ઓક્સિડેશન અવસ્થાવાળું સંયોજન બને છે. જ્યારે ઓક્સિડેશનકર્તાનું પ્રમાણ વધારે હોય તો ઉચ્ચતર ઓક્સિડેશન અવસ્થાવાળું સંયોજન બને છે. આ વિધાનનું વાજબીપણું ત્રણ ઉદાહરણો આપીને પુરવાર કરો.

8.12 નીચેના અવલોકનોને કેવી રીતે સમજાવશો ?

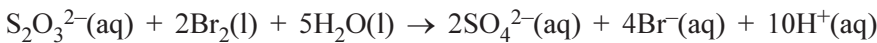
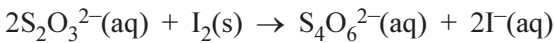
(a) આલ્કલાઇન પોટેશિયમ પરમેંગેનેટ અને એસિડિક પોટેશિયમ પરમેંગેનેટ બંને ઓક્સિડેશનકર્તા છે, તેમ છતાં ટોલ્યુઇનમાંથી બેન્ઝોઇક એસિડ બનાવવા માટે આપણે શા માટે આલ્કોહોલિક પોટેશિયમ પરમેંગેનેટનો ઓક્સિડેશનકર્તા તરીકે ઉપયોગ કરીએ છીએ ? આ પ્રક્રિયા માટેનું સમતોલિત રેડોક્ષ સમીકરણ લખો.

(b) ક્લોરાઇડયુક્ત અકાર્બનિક મિશ્રણમાં સાંદ સલ્ફ્યુરિક એસિડ ઉમેરવામાં આવે છે ત્યારે તીવ્ર વાસવાળો રંગવિહીન HCl વાયુ ઉત્પન્ન થાય છે, પરંતુ જો મિશ્રણમાં બ્રોમાઇડ હોય તો બ્રોમિનની લાલ વરાળ ઉત્પન્ન થાય છે. શા માટે ?

8.13 નીચે દર્શાવેલી પ્રક્રિયાઓમાં ઓક્સિડેશન પામેલ સ્પીસિઝ, રિડક્શન પામેલ સ્પીસિઝ, ઓક્સિડેશનકર્તા અને રિડક્શનકર્તા ઓળખી બતાવો.



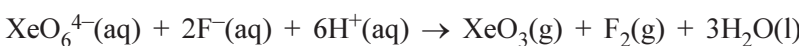
8.14 નીચે દર્શાવેલી પ્રક્રિયાઓનો વિચાર કરો :



ઉપરોક્ત પ્રક્રિયામાં એક જ રિડક્શનકર્તા થાયોસલ્ફેટ આયોડિન અને બ્રોમિન સાથે જુદી જુદી પ્રક્રિયા શા માટે આપે છે ?

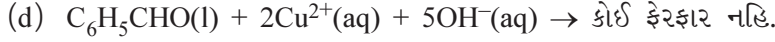
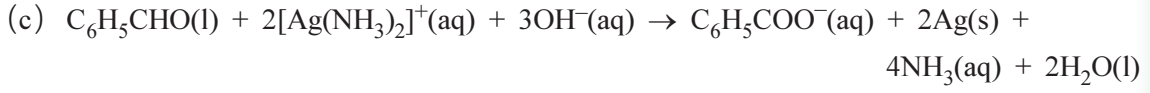
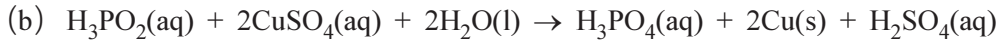
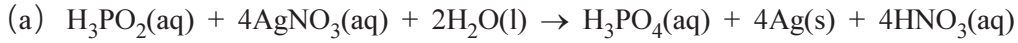
8.15 પ્રક્રિયાઓ આપી વાજબીપણું પુરવાર કરો કે હેલોજનમાં ફ્લોરિન ઉત્તમ ઓક્સિડેશનકર્તા અને હાઇડ્રોહેલિક સંયોજનોમાં હાઇડ્રોઆયોડિક એસિડ ઉત્તમ રિડક્શનકર્તા છે.

8.16 નીચે દર્શાવેલી પ્રક્રિયા શા માટે થાય છે ?



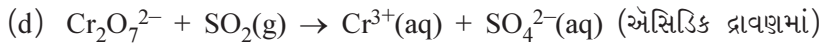
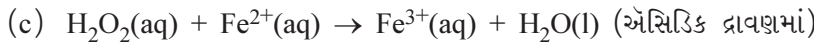
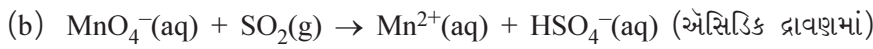
સંયોજન  $Na_4XeO_6$  (જેનો એક ભાગ  $XeO_6^{4-}$  છે) માટે તમે આ પ્રક્રિયાનો શું નિષ્કર્ષ કાઢી શકો છો ?

8.17 નીચેની પ્રક્રિયાઓનો વિચાર કરો :

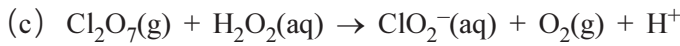
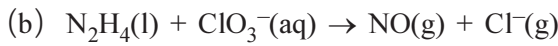
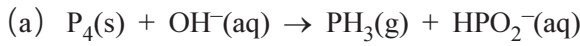


આ પ્રક્રિયાઓના આધારે  $\text{Ag}^+$  અને  $\text{Cu}^{2+}$ ના વ્યવહાર અંગેનું અનુમાન કરો.

8.18 નીચેની રેડોક્ષ પ્રક્રિયાઓને આયન-ઇલેક્ટ્રોન પદ્ધતિ દ્વારા સમતોલ કરો.



8.19 નીચે દર્શાવેલા સમીકરણોને આયન-ઇલેક્ટ્રોન તથા ઓક્સિડેશન આંક પદ્ધતિ દ્વારા સમતોલ કરો (બેઝિક માધ્યમમાં) તથા તેમાં રહેલા ઓક્સિડેશનકર્તા અને રિડક્શનકર્તાને ઓળખી બતાવો :



8.20 નીચે આપેલી પ્રક્રિયાથી કયા પ્રકારની સૂચનાઓ પ્રાપ્ત કરી શકો છો ?



8.21  $\text{Mn}^{3+}$  આયન દ્રાવણમાં અસ્થાયી હોય છે તથા વિષમીકરણ દ્વારા  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{MnO}_2$  અને  $\text{H}^+$  આયન આપે છે. આ પ્રક્રિયા માટે સમતોલિત આયનીય સમીકરણ લખો.

8.22 નીચેના તત્ત્વોને ધ્યાને રાખી ઉત્તર આપો :

Cs, Ne, I અને F

(a) એવું તત્ત્વ ઓળખી બતાવો કે જે માત્ર ઋણ ઓક્સિડેશન અવસ્થા દર્શાવે છે.

(b) એવું તત્ત્વ ઓળખી બતાવો કે જે માત્ર ધન ઓક્સિડેશન અવસ્થા દર્શાવે છે.

(c) એવું તત્ત્વ ઓળખી બતાવો કે જે ધન અને ઋણ એમ બંને ઓક્સિડેશન અવસ્થા દર્શાવે છે.

(d) એવું તત્ત્વ ઓળખી બતાવો કે જે ન ધન કે ન ઋણ ઓક્સિડેશન અવસ્થા દર્શાવે છે.

8.23 પીવાના પાણીના શુદ્ધીકરણમાં ક્લોરિનનો ઉપયોગ થાય છે. ક્લોરિનનું વધુ પ્રમાણ હાનિકારક છે. વધારાના ક્લોરિનને સલ્ફર ડાયોક્સાઇડ વડે દૂર કરવામાં આવે છે. પાણીમાં થતા આ રેડોક્ષ ફેરફાર માટે સમતોલિત સમીકરણ લખો.

8.24 તમારા પાઠ્યપુસ્તકમાં આપેલા આવર્તકોષ્ટકનો અભ્યાસ કરો અને નીચેના પ્રશ્નોના ઉત્તર આપો :

(a) વિષમીકરણ પ્રક્રિયા દર્શાવી શકે તેવી સંભવિત અધાતુઓને પસંદ કરો.

(b) વિષમીકરણ પ્રક્રિયા દર્શાવી શકે તેવી ત્રણ ધાતુઓને પસંદ કરો.

8.25 ઓસ્વાલ્ડ પદ્ધતિ દ્વારા નાઈટ્રિક એસિડના ઉત્પાદનના પ્રથમ તબક્કામાં ઓક્સિજન વાયુ દ્વારા એમોનિયા વાયુના ઓક્સિડેશનથી નાઈટ્રિક ઓક્સાઇડ અને પાણીની વરાળ બને છે. 10 g એમોનિયા અને 20 g ઓક્સિજન દ્વારા નાઈટ્રિક ઓક્સાઇડનો મહત્તમ કેટલો જથ્થો પ્રાપ્ત થશે ?

- 8.26 કોષ્ટક 8.1માં આપેલા પ્રમાણિત વિદ્યુતપ્રેરણ પોટેન્શિયલનો ઉપયોગ કરી અનુમાન કરો કે નીચે દર્શાવેલા પ્રક્રિયકો વચ્ચે પ્રક્રિયા સંભવ છે ?
- $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$  અને  $\text{I}^{-}(\text{aq})$
  - $\text{Ag}^{+}(\text{aq})$  અને  $\text{Cu}(\text{s})$
  - $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$  અને  $\text{Cu}(\text{s})$
  - $\text{Ag}(\text{s})$  અને  $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$
  - $\text{Br}_2(\text{aq})$  અને  $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$
- 8.27 નીચે દર્શાવેલા દરેકના વિદ્યુતવિભાજનથી મળતી નીપજોનું અનુમાન કરો :
- $\text{AgNO}_3$ ના જલીય દ્રાવણમાં સિલ્વર વિદ્યુતપ્રેરણ
  - $\text{AgNO}_3$ ના જલીય દ્રાવણમાં પ્લેટિનમ વિદ્યુતપ્રેરણ
  - મંદ  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ના જલીય દ્રાવણમાં પ્લેટિનમ વિદ્યુતપ્રેરણ
  - મંદ  $\text{CuCl}_2$ ના દ્રાવણમાં પ્લેટિનમ વિદ્યુતપ્રેરણ
- 8.28 નીચે દર્શાવેલી ધાતુઓને તેમના ક્ષારના દ્રાવણોમાંથી એકબીજાનું વિસ્થાપન કરવાની ક્ષમતાના આધારે ક્રમમાં ગોઠવો :
- Al, Cu, Fe, Mg તથા Zn
- 8.29 નીચે પ્રમાણિત વિદ્યુતપ્રેરણ પોટેન્શિયલ આપવામાં આવ્યા છે :
- $\text{K}^{+}/\text{K} = -2.93\text{V}$ ,  $\text{Ag}^{+}/\text{Ag} = 0.80\text{V}$
- $\text{Hg}^{2+}/\text{Hg} = 0.79\text{V}$
- $\text{Mg}^{2+}/\text{Mg} = -2.37\text{V}$ ,  $\text{Cr}^{3+}/\text{Cr} = -0.74\text{V}$
- આ ધાતુઓને તેમની રિડક્શન કરવાની ક્ષમતાના ચઢતાક્રમમાં ગોઠવો.
- 8.30  $\text{Zn}(\text{s}) + 2\text{Ag}^{+}(\text{aq}) \rightarrow \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{Ag}(\text{s})$  પ્રક્રિયા થતી હોય તેવો ગેલ્વેનિક કોષ દોરો અને જણાવો કે...
- કયો વિદ્યુતપ્રેરણ ઋણ વીજભારિત છે ?
  - કોષમાં વિદ્યુતપ્રવાહના વાહક કોણ છે ?
  - દરેક વિદ્યુતપ્રેરણ પર થતી પ્રક્રિયાઓ કઈ છે ?

## હાઈડ્રોજન (Hydrogen)

### હેતુઓ :

આ એકમના અભ્યાસ પછી તમે...

- આવર્તકોષ્ટકમાં હાઈડ્રોજનના સ્થાન માટેની જ્ઞાત ધારણાઓ કરી શકશો.
- ડાયહાઈડ્રોજનના સ્રોતના સ્વરૂપો અને તેના નાના પાયે તથા વ્યાપારિક ધોરણે બનાવટની પદ્ધતિઓ જણાવી શકશો તથા હાઈડ્રોજનના સમસ્થાનિકો વર્ણવી શકશો.
- હાઈડ્રોજન કેવી રીતે વિભિન્ન તત્ત્વો સાથે જોડાઈને આયનીય, આણ્વીય અને બિનતત્ત્વયોગમિતિય સંયોજનો બનાવી શકે છે તે સમજાવી શકશો.
- તેના ગુણધર્મોની સમજના આધારે ઉપયોગી પદાર્થો તથા નવી ટેકનોલોજીના ઉત્પાદનનું વર્ણન કરી શકશો.
- પાણીનું બંધારણ સમજી શકશો અને તે જ્ઞાનના આધારે પાણીના ભૌતિક અને રાસાયણિક ગુણધર્મો સમજાવી શકશો.
- વાતાવરણીય પાણીની ગુણવત્તા કેવી રીતે વિભિન્ન ઓગળેલા પદાર્થો પર આધારિત છે તે સમજાવી શકશો. કઠિન અને નરમ પાણી વચ્ચેનો તફાવત કહી શકશો તથા પાણીને નરમ કરવાનું શીખી શકશો.
- ભારે પાણી અને તેના મહત્ત્વ સંબંધિત જ્ઞાન મેળવી શકશો.
- હાઈડ્રોજન પેરોક્સાઈડનું બંધારણ સમજી શકશો. તેની બનાવટની પદ્ધતિઓ અને તેના ગુણધર્મોના આધારે ઉપયોગી રસાયણોના ઉત્પાદન અને પર્યાવરણની સ્વચ્છતાને સમજી શકશો.
- ઈલેક્ટ્રોન ઊણપ, ઈલેક્ટ્રોન પરિશુદ્ધ, ઈલેક્ટ્રોન ધનિક, હાઈડ્રોજન અર્થવ્યવસ્થા અને હાઈડ્રોજનીકરણ વગેરે શબ્દો સમજી શકશો અને તેનો ઉપયોગ કરી શકશો.

“હાઈડ્રોજન બ્રહ્માંડમાં વિપુલ પ્રમાણમાં મળી આવતું તત્ત્વ છે. તે પૃથ્વીની સપાટી પર ત્રીજા ક્રમે વિપુલ પ્રમાણમાં મળી આવે છે. તે ભવિષ્યમાં ઊર્જાના મુખ્ય સ્રોત તરીકે જોવા મળશે.”

કુદરતમાં આપણી આસપાસ રહેલા બધા તત્ત્વો પૈકી હાઈડ્રોજન તત્ત્વનું પરમાણ્વીય બંધારણ અતિ સાદું છે. તેના પરમાણુમાં એક પ્રોટોન અને એક ઈલેક્ટ્રોન હોય છે. જોકે તત્ત્વીય હાઈડ્રોજનનું અસ્તિત્વ દ્વિપરમાણ્વીય અણુ ( $H_2$ ) સ્વરૂપે હોય છે. જેને ડાયહાઈડ્રોજન ( $H_2$ ) કહે છે. અન્ય તત્ત્વોની સરખામણીમાં હાઈડ્રોજન તત્ત્વ વધારે સંયોજનો બનાવે છે. શું તમે જાણો છો ? કે હાઈડ્રોજનનો ઉપયોગ ઊર્જાના સ્રોત તરીકે કરીને વૈશ્વિક સ્તરે ઊર્જાની પૂર્તિ કરી શકાય. આ એકમમાં તમે હાઈડ્રોજનના ઔદ્યોગિક મહત્ત્વ વિશે અભ્યાસ કરી શકશો.

### 9.1 આવર્તકોષ્ટકમાં હાઈડ્રોજનનું સ્થાન (Position of Hydrogen in the Periodic Table)

હાઈડ્રોજન આવર્તકોષ્ટકનું પ્રથમ તત્ત્વ છે. તેમ છતાં આવર્તકોષ્ટકમાં તેનું સ્થાન ચર્ચાનો વિષય બની રહ્યો હતો. તમે જાણો છો તે મુજબ હાલમાં આવર્તકોષ્ટકમાં તત્ત્વોને તેની ઈલેક્ટ્રોનીય રચના મુજબ ગોઠવવામાં આવે છે.

હાઈડ્રોજનની ઈલેક્ટ્રોનીય રચના  $1s^1$  છે. એક બાજુ તેની ઈલેક્ટ્રોનીય રચના આલ્કલી ધાતુઓ કે જે પ્રથમ સમૂહના તત્ત્વો છે. તેની બાહ્યતમ ઈલેક્ટ્રોનીય રચના ( $ns^1$ )ને સમાન છે. બીજી બાજુ હાઈડ્રોજનમાં હેલોજનની જેમ (આવર્તકોષ્ટકમાં સત્તરમા સમૂહના તત્ત્વોની ઈલેક્ટ્રોનીય રચના  $ns^2np^5$ ) હિલિયમ ઉમદા વાયુ તત્ત્વની ઈલેક્ટ્રોન રચના ( $1s^2$ ) કરતાં એક ઈલેક્ટ્રોન ઓછો છે. તેથી હાઈડ્રોજન આલ્કલી ધાતુઓની જેમ એક ઈલેક્ટ્રોન ગુમાવીને એક ધનવીજભારિત આયન બનાવે છે, સાથે સાથે હેલોજન તત્ત્વોની જેમ એક ઈલેક્ટ્રોન મેળવીને એક ઋણવીજભારિત આયન બનાવે છે. આલ્કલી ધાતુની જેમ હાઈડ્રોજન ઓક્સાઈડ, હેલાઈડ અને સલ્ફાઈડ બનાવે છે. આલ્કલી ધાતુઓની વિરુદ્ધ અતિ ઊંચી આયનીકરણ એન્ટાલ્પી ધરાવે છે અને સામાન્ય સ્થિતિમાં ધાત્વીય લાક્ષણિકતા ધરાવતો નથી. વાસ્તવમાં આયનીકરણ એન્ટાલ્પીના સંદર્ભમાં હાઈડ્રોજન હેલોજન સાથે વધુ સામ્યતા દર્શાવે છે. Liની  $\Delta_f H$ નું મૂલ્ય  $520 \text{ kJ mol}^{-1}$ , Fનું મૂલ્ય  $1680 \text{ kJ mol}^{-1}$  અને Hનું મૂલ્ય  $1312 \text{ kJ mol}^{-1}$  છે. હેલોજનની જેમ તે દ્વિપરમાણ્વીય અણુ

બનાવે છે. તે વિભિન્ન તત્ત્વો સાથે જોડાઈને હાઈડ્રાઈડ અને અનેક સહસંયોજક સંયોજનો બનાવે છે. તેમ છતાં હાઈડ્રોજનની પ્રતિક્રિયાત્મકતા હેલોજન કરતાં ઘણી ઓછી છે.

કેટલીક હદ સુધી હાઈડ્રોજન આલ્કલી ધાતુઓ અને હેલોજન સાથે સમાનતા દર્શાવતો હોવા છતાં તેમની સાથે અસમાનતા પણ દર્શાવે છે. હવે પ્રાસંગિક પ્રશ્ન એ છે કે તેને આવર્તકોષ્ટકમાં ક્યાં મૂકવો જોઈએ ? હાઈડ્રોજન પરમાણુમાંથી એક ઈલેક્ટ્રોન દૂર થવાથી કેન્દ્ર ( $H^+$ )નું કદ  $\sim 1.5 \times 10^{-3}$  pm જેટલું થાય છે. તે સામાન્ય પરમાણ્વીય અને આયનીય કદ 50થી 200 pm કરતાં અતિ નાનું છે. પરિણામે  $H^+$  મુક્તપણે અસ્તિત્વ ધરાવતો નથી, પરંતુ તે હંમેશાં અન્ય પરમાણુઓ કે અણુઓ સાથે જોડાયેલો હોય છે. આમ તેની વર્તણૂક અદ્વિતીય હોવાથી તેને આવર્તકોષ્ટકમાં (એકમ 3) અલગ રીતે દર્શાવાય છે.

## 9.2 ડાયહાઈડ્રોજન (Dihydrogen) ( $H_2$ )

### 9.2.1 પ્રાપ્તિ (Occurrence)

ડાયહાઈડ્રોજન બ્રહ્માંડમાં વિપુલ પ્રમાણમાં મળી આવતું તત્ત્વ છે (બ્રહ્માંડના કુલ દળના 70 %) તથા સૌર વાતાવરણનું મુખ્ય તત્ત્વ છે. મોટા ગ્રહો ગુરુ અને શનિમાં હાઈડ્રોજન વધુ પ્રમાણમાં હોય છે, પરંતુ તેની વજનમાં હલકી પ્રકૃતિના કારણે તે પૃથ્વીના વાતાવરણમાં બહુ જ ઓછા પ્રમાણમાં (દળના 0.15 %) હોય છે. તે સંયોજિત અવસ્થામાં પૃથ્વીના પોપડા અને મહાસાગરના 15.4 % જેટલા ભાગનું નિર્માણ કરે છે. તે પાણી ઉપરાંત વનસ્પતિ અને પ્રાણી

પેશીઓ, કાર્બોહિદ્રત પદાર્થો, પ્રોટીન, હાઈડ્રાઈડ, હાઈડ્રોકાર્બન અને ઘણા અન્ય સંયોજનોમાં સંયોજિત અવસ્થા સ્વરૂપે મળે છે.

### 9.2.2 હાઈડ્રોજનના સમસ્થાનિકો (Isotopes of Hydrogen)

હાઈડ્રોજનના ત્રણ સમસ્થાનિકો પ્રોટિયમ ( $^1_1H$ ), ડ્યુટેરિયમ ( $^2_1H$  અથવા D) અને ટ્રિટિયમ ( $^3_1H$  અથવા T) છે. શું તમે અનુમાન લગાવી શકો છો કે આ સમસ્થાનિકો એકબીજાથી કેવી રીતે જુદા પડે છે ? આ ત્રણ સમસ્થાનિકો ન્યુટ્રોનની સંખ્યાના આધારે એકબીજાથી જુદા પડે છે. સામાન્ય હાઈડ્રોજનના (પ્રોટિયમ) કેન્દ્રમાં કોઈ ન્યુટ્રોન હોતા નથી, ડ્યુટેરિયમના (ભારે હાઈડ્રોજન તરીકે જાણીતો છે) કેન્દ્રમાં એક ન્યુટ્રોન અને ટ્રિટિયમના કેન્દ્રમાં બે ન્યુટ્રોન હોય છે. વર્ષ 1934માં અમેરિકન વૈજ્ઞાનિક હેરોલ્ડ સી. યૂરેને (Harold C. Urey) 2 પરમાણ્વીય દળવાળા હાઈડ્રોજનના સમસ્થાનિકોને ભૌતિક પદ્ધતિઓ વડે અલગ કરવાના કાર્ય માટે નોબેલ પારિતોષિક પ્રાપ્ત થયું હતું.

હાઈડ્રોજનનો મુખ્ય સમસ્થાનિક પ્રોટિયમ છે. પૃથ્વીના હાઈડ્રોજનમાં ડ્યુટેરિયમ 0.0156 % સુધી મુખ્યત્વે HD સ્વરૂપે હોય છે. ટ્રિટિયમની સાંદ્રતા લગભગ  $10^{18}$  પ્રોટિયમ પરમાણુમાં એક ટ્રિટિયમ પરમાણુની છે. આ સમસ્થાનિકોમાંથી માત્ર ટ્રિટિયમ રેડિયોસક્રિય ( $t_{1/2} = 12.33$  વર્ષ) છે તથા તે ઓછી ઊર્જાવાળા  $\beta$  કણોને ઉત્સર્જિત કરે છે.

### કોષ્ટક 9.1 હાઈડ્રોજન પરમાણુના પરમાણ્વીય અને ભૌતિક ગુણધર્મો

ગુણધર્મ	પ્રોટિયમ	ડ્યુટેરિયમ	ટ્રિટિયમ
સાપેક્ષ પ્રચૂરતા (%)	99.985	0.0156	$10^{-15}$
સાપેક્ષ પરમાણ્વીય દળ ( $g\text{mol}^{-1}$ )	1.008	2.014	3.016
ગલનબિંદુ (K)	13.96	18.73	20.62
ઉત્કલનબિંદુ (K)	20.39	23.67	25.0
ઘનતા ( $g\text{L}^{-1}$ )	0.09	0.18	0.27
ગલન એન્થાલ્પી ( $\text{kJ mol}^{-1}$ )	0.117	0.197	—
બાષ્પન એન્થાલ્પી ( $\text{kJ mol}^{-1}$ )	0.904	1.226	—
બંધ વિયોજન એન્થાલ્પી ( $\text{kJ mol}^{-1}$ at 298 K)	435.88	443.35	—
આંતરકેન્દ્રીય અંતર (pm)	74.14	74.14	—
આયનીકરણ એન્થાલ્પી ( $\text{kJ mol}^{-1}$ )	1312	—	—
ઈલેક્ટ્રોન પ્રાપ્તિ એન્થાલ્પી ( $\text{kJ mol}^{-1}$ )	-73	—	—
સહસંયોજક ત્રિજ્યા (pm)	37	—	—
આયનીય ત્રિજ્યા ( $H^-$ )(pm)	208	—	—

સમસ્થાનિકો સમાન ઇલેક્ટ્રોનીય રચના ધરાવે છે તેથી તેમના રાસાયણિક ગુણધર્મો સમાન હોય છે. તેઓમાં મુખ્યત્વે બંધવિયોજન એન્ટાલ્પીમાં (કોષ્ટક 9.1) તફાવતના કારણે માત્ર પ્રક્રિયાના વેગમાં તફાવત જોવા મળે છે. જ્યારે સમસ્થાનિકોના દળના તફાવતના કારણે તેઓના ભૌતિક ગુણધર્મોમાં તફાવત જોવા મળે છે.

### 9.3 ડાયહાઇડ્રોજનની બનાવટ (Preparation of Dihydrogen) (H<sub>2</sub>)

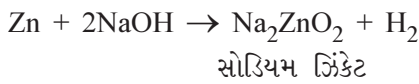
ધાતુઓ અને ધાતુ હાઇડ્રાઇડમાંથી ડાયહાઇડ્રોજન બનાવવાની અનેક પદ્ધતિઓ છે.

#### 9.3.1 પ્રયોગશાળામાં ડાયહાઇડ્રોજનની બનાવટ (Laboratory Preparation of Dihydrogen)

(i) સામાન્ય રીતે દાણાદાર ઝિંકની મંદ હાઇડ્રોક્લોરિક એસિડ સાથેની પ્રક્રિયાથી ડાયહાઇડ્રોજન બનાવી શકાય છે.



(ii) ઝિંકની જલીય આલ્કલી સાથેની પ્રક્રિયાથી પણ ડાયહાઇડ્રોજન બનાવી શકાય છે.

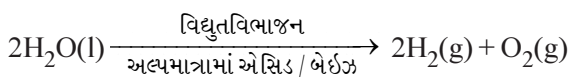


#### 9.3.2 ડાયહાઇડ્રોજનનું વ્યાપારિક ઉત્પાદન

##### (Commercial Production of Dihydrogen)

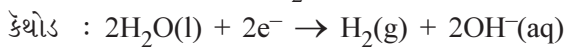
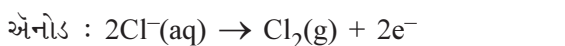
સામાન્ય રીતે ઉપયોગમાં લેવાતી પદ્ધતિઓની રૂપરેખા નીચે દર્શાવેલી છે :

(i) પ્લેટિનમ વિદ્યુતપ્રુવના ઉપયોગથી એસિડિક પાણીનું વિદ્યુતવિભાજન ડાયહાઇડ્રોજન વાયુ બનાવે છે :

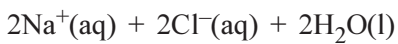


(ii) નિકલ વિદ્યુતપ્રુવો વચ્ચે ગરમ બેરિયમ હાઇડ્રોક્સાઇડના જલીય દ્રાવણના વિદ્યુતવિભાજન દ્વારા અતિશુદ્ધતાવાળો (> 99.95 %) ડાયહાઇડ્રોજન મળે છે.

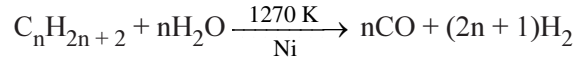
(iii) ક્ષારવાળા પાણીના (દરિયાનું પાણી) (brine) વિદ્યુતવિભાજનથી સોડિયમ હાઇડ્રોક્સાઇડ અને ક્લોરિનના ઉત્પાદન દરમિયાન ઉપપેદાશ તરીકે ડાયહાઇડ્રોજન વાયુ ઉત્પન્ન થાય છે. વિદ્યુતવિભાજન દરમિયાન નીચે દર્શાવેલી પ્રક્રિયાઓ થાય છે.



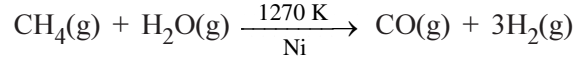
એકંદર પ્રક્રિયા,



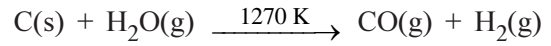
(iv) ઊંચા તાપમાને હાઇડ્રોકાર્બન અથવા કોકની પાણીની વરાળ સાથે ઉદ્દીપકની હાજરીમાં પ્રક્રિયા થવાથી ડાયહાઇડ્રોજન નીપજ મળે છે.



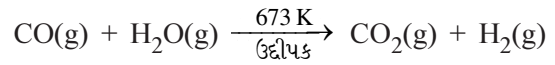
દા.ત.,



CO અને H<sub>2</sub> વાયુના મિશ્રણને જળવાયુ કહે છે. CO અને H<sub>2</sub>નું આ મિશ્રણ મિથેનોલ અને અનેક હાઇડ્રોકાર્બનના સંશ્લેષણમાં ઉપયોગી થાય છે. તેથી તેને સાંશ્લેષિત વાયુ અથવા ‘સિનગેસ (Syngas)’ કહે છે. હાલના સમયમાં સિનગેસ સુએઝ, લાકડાના બારિક ભૂકા, લાકડાના ટુકડા, સમાચારપત્રના કાગળ વગેરેમાંથી બને છે. કોલસામાંથી સિનગેસ બનાવવાની પ્રક્રિયાને ‘કોલગેસિફિકેશન’ કહે છે.



આયર્ન કોમેટ ઉદ્દીપકની હાજરીમાં સિનગેસ મિશ્રણમાંના કાર્બન મોનોક્સાઇડની પાણીની વરાળ સાથે પ્રક્રિયા કરવાથી ડાયહાઇડ્રોજનનું ઉત્પાદન વધારી શકાય છે.



આ પ્રક્રિયાને જળવાયુ સ્થાનાંતર પ્રક્રિયા (Watergas shift reaction) કહે છે. આ જળવાયુને સોડિયમ આર્સેનાઇટના દ્રાવણમાંથી પસાર કરી કાર્બન ડાયોક્સાઇડને દૂર કરવામાં આવે છે.

હાલમાં ~77 % ઔદ્યોગિક ડાયહાઇડ્રોજનનું ઉત્પાદન પેટ્રોરસાયણમાંથી, 18 % કોલસામાંથી, 4 % જલીય દ્રાવણના વિદ્યુતવિભાજનથી અને 1 % અન્ય સ્ત્રોતમાંથી થાય છે.

### 9.4 ડાયહાઇડ્રોજનના ગુણધર્મો (Properties of Dihydrogen)

#### 9.4.1 ભૌતિક ગુણધર્મો (Physical Properties)

ડાયહાઇડ્રોજન રંગવિહીન, વાસવિહીન, સ્વાદવિહીન, દહનશીલ વાયુ છે. તે હવા કરતાં હલકો અને પાણીમાં અદ્રાવ્ય છે. ડાયહાઇડ્રોજન અને ડ્યુટેરિયમના ભૌતિક ગુણધર્મો કોષ્ટક 9.1માં આપેલા છે.

#### 9.4.2 રાસાયણિક ગુણધર્મો (Chemical Properties)

ડાયહાઇડ્રોજનની (કોઈ પણ અણુ) રાસાયણિક વર્તણૂક મોટા ભાગે બંધવિયોજન એન્ટાલ્પી દ્વારા નક્કી કરવામાં આવે છે. H-H બંધવિયોજન એન્ટાલ્પી કોઈ તત્ત્વના બે પરમાણુઓ વચ્ચેના એકલબંધ માટે ઉચ્ચતમ હોય છે. આ તથ્ય પરથી તમે શું તારણ કાઢશો ? આ તે પરિબળના કારણે છે કે ડાયહાઇડ્રોજનનું તેના પરમાણુઓમાં વિયોજન 2000 K



તાપમાને માત્ર લગભગ 0.081 % જ થાય છે, જ્યારે 5000 K તાપમાને તે વધીને 95.5 % સુધી પહોંચી જાય છે. ઊંચી H-H બંધ એન્ટાલ્પીના કારણે તે ઓરડાના તાપમાને સાપેક્ષ રીતે નિષ્ક્રિય હોય છે. આમ, વિદ્યુતચાપ અથવા પારજાંબલી વિકિરણો દ્વારા ઊંચા તાપમાને પરમાણ્વીય હાઈડ્રોજનનું ઉત્પાદન કરવામાં આવે છે. તે અપૂર્ણ ભરાયેલી ઈલેક્ટ્રોનીય રચના  $1s^1$  ધરાવે છે, તેથી તે મોટા ભાગે બધા તત્ત્વો સાથે જોડાઈ શકે છે. ડાયહાઈડ્રોજન પ્રક્રિયાઓમાં (i) એક ઈલેક્ટ્રોન ગુમાવીને  $H^+$  આપે છે. (ii) એક ઈલેક્ટ્રોન મેળવીને  $H^-$  બનાવે છે અને (iii) ઈલેક્ટ્રોનની ભાગીદારી કરીને એકલ સહસંયોજક બંધ બનાવે છે.

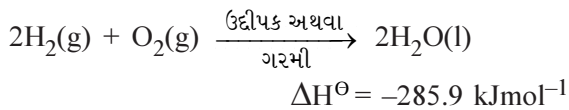
ડાયહાઈડ્રોજનનું રસાયણવિજ્ઞાન નીચે દર્શાવેલી રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ દ્વારા સમજાવી શકાય છે.

**હેલોજન સાથે પ્રક્રિયા :** ડાયહાઈડ્રોજન હેલોજન ( $X_2$ ) સાથે પ્રક્રિયા કરીને હાઈડ્રોજન હેલાઈડ (HX) બનાવે છે.

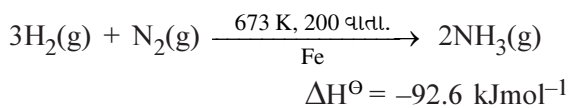


ફ્લોરિન સાથેની પ્રક્રિયા અંધારામાં પણ થઈ શકે છે. આયોડિન સાથેની પ્રક્રિયા માટે ઉદ્દીપકની જરૂર પડે છે.

**ડાયઑક્સિજન સાથે પ્રક્રિયા :** તે ડાયઑક્સિજન સાથે પ્રક્રિયા કરીને પાણી બનાવે છે. આ પ્રક્રિયા પ્રબળ ઉષ્માક્ષેપક છે.

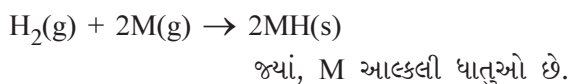


**ડાયનાઈટ્રોજન સાથે પ્રક્રિયા :** તે ડાયનાઈટ્રોજન સાથે પ્રક્રિયા કરીને એમોનિયા બનાવે છે.

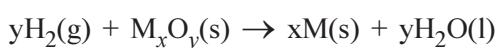
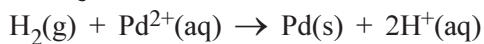


આ પ્રક્રિયા હેબર પદ્ધતિથી એમોનિયાના ઉત્પાદનમાં ઉપયોગમાં લેવાય છે.

**ધાતુ સાથે પ્રક્રિયા :** તે ઊંચા તાપમાને ઘણી ધાતુઓ સાથે સંયોજાઈને ધાતુના અનુવર્તી હાઈડ્રાઈડ બનાવે છે. (મુદ્દા નં. 9.5)



**ધાતુ આયન અને ધાતુ ઓક્સાઈડ સાથે પ્રક્રિયાઓ :** ડાયહાઈડ્રોજન કેટલાક ધાતુ આયનોના જલીય દ્રાવણ અને ધાતુઓના ઓક્સાઈડનું (આયર્ન ધાતુથી ઓછી સક્રિય) તેની અનુવર્તી ધાતુઓમાં રિડક્શન કરે છે.

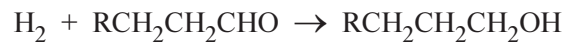


**કાર્બનિક સંયોજનો સાથે પ્રક્રિયા :** ડાયહાઈડ્રોજન ઉદ્દીપકની હાજરીમાં ઘણા કાર્બનિક સંયોજનો સાથે પ્રક્રિયા કરી

ઉપયોગી ઔદ્યોગિક મહત્ત્વ ધરાવતી હાઈડ્રોજનીકૃત નીપજ બનાવે છે. દા.ત.,

(i) વનસ્પતિ તેલનું નિકલ ઉદ્દીપકની હાજરીમાં હાઈડ્રોજનીકરણ (Hydrogenation) કરતાં ખાદ્ય ચરબી (માર્ગરીન અને વનસ્પતિ ઘી) બને છે.

(ii) ઓલીફીનનું હાઈડ્રોફોર્મિલીકરણ (Hydroformylation) કરવાથી આલ્ડિહાઈડ બને છે. જેનું પછીથી રિડક્શન થઈ આલ્કોહોલ બને છે.



### કોયડો 9.1

ડાયહાઈડ્રોજનની નીચે જણાવેલા પ્રક્રિયાઓ સાથેની પ્રક્રિયા અંગેની ટીપ્પણી કરો : (i) ક્લોરિન (ii) સોડિયમ અને (iii) કોપર (II) ઓક્સાઈડ

**ઉકેલ :**

(i) ડાયહાઈડ્રોજન ક્લોરિનનું રિડક્શન ક્લોરાઈડ આયન ( $Cl^-$ )માં કરે છે અને પોતે ક્લોરિન વડે  $H^+$ માં ઓક્સિડેશન પામી હાઈડ્રોજન ક્લોરાઈડ બનાવે છે. H અને Cl વચ્ચે એક ઈલેક્ટ્રોન યુગ્મની ભાગીદારી થઈ એક સહસંયોજક અણુ બને છે.

(ii) ડાયહાઈડ્રોજનનું સોડિયમ વડે રિડક્શન થઈ NaH બને છે. Na માંથી એક ઈલેક્ટ્રોનનું સ્થાનાંતર H પર થઈ આયનીય સંયોજન  $Na^+H^-$  બને છે.

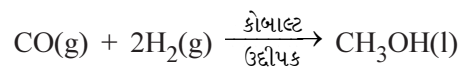
(iii) ડાયહાઈડ્રોજન કોપર (II) ઓક્સાઈડનું શૂન્ય ઓક્સિડેશન અવસ્થાવાળા કોપરમાં રિડક્શન કરે છે અને પોતે ઓક્સિડેશન પામી  $H_2O$  બનાવે છે. જે સહસંયોજક અણુ છે.

### 9.4.3 ડાયહાઈડ્રોજનના ઉપયોગો (Uses of Dihydrogen)

- ડાયહાઈડ્રોજનનો એક મોટો ઉપયોગ એમોનિયાના સંશ્લેષણમાં થાય છે જે નાઈટ્રિક એસિડ અને નાઈટ્રોજનયુક્ત ખાતરોના ઉત્પાદનમાં ઉપયોગી છે.

- ડાયહાઈડ્રોજન સોયાબીન, કપાસના બીજ વગેરેમાંથી મળતા બહુઅસંતૃપ્તિય વનસ્પતિ તેલના હાઈડ્રોજનીકરણથી વનસ્પતિ ચરબીના ઉત્પાદનમાં ઉપયોગમાં આવે છે.

- તે કાર્બનિક સંયોજનોની બનાવટમાં મુખ્યત્વે મિથેનોલના ઉત્પાદનમાં ઉપયોગી છે.



- તેનો ધાતુ હાઈડ્રાઈડના ઉત્પાદનમાં બહોળો ઉપયોગ થાય છે (મુદ્દા નં. 9.5).

- તે વધુ ઉપયોગી રસાયણ હાઈડ્રોજન ક્લોરાઈડની બનાવટમાં ઉપયોગી છે.

- તે ધાતુકર્મ પ્રક્રમમાં ભારે ધાતુ ઓક્સાઇડનું ધાતુમાં રિડક્શન કરવા માટે ઉપયોગી છે.
- પરમાણ્વીય હાઇડ્રોજન અને ઓક્સિહાઇડ્રોજન ટોર્ચ, કાપવાના અને વેલ્ડિંગના કામમાં વપરાય છે. પરમાણ્વીય હાઇડ્રોજન પરમાણુઓના (જે વિદ્યુત ચાપ દ્વારા ડાયહાઇડ્રોજનના વિયોજન દ્વારા ઉત્પન્ન થાય છે.) પુનર્જોડાણથી વેલ્ડિંગ કરવાની ધાતુઓની સપાટી પર લગભગ 4000 K તાપમાન પેદા થાય છે.
- તેનો ઉપયોગ અવકાશ સંશોધનમાં રોકેટના બળતણ તરીકે થાય છે.
- ડાયહાઇડ્રોજનનો ઉપયોગ બળતણકોષમાં વિદ્યુતશક્તિના ઉત્પાદન માટે થાય છે. પરંપરાગત અશ્મિગત ઈંધણ અને વિદ્યુતશક્તિની સરખામણીમાં ડાયહાઇડ્રોજનનો ઈંધણ તરીકેનો ઉપયોગ અનેક લાભ આપે છે. તે કોઈ પણ પ્રકારનું પ્રદૂષણ ફેલાવતું નથી. ડાયહાઇડ્રોજન ગેસોલીન અને અન્ય ઈંધણના એકમ દ્રવ્યમાને ઉત્પન્ન થતી શક્તિની સરખામણીમાં વધુ શક્તિ ઉત્પન્ન કરે છે.

## 9.5 હાઇડ્રાઇડ સંયોજનો (Hydrides)

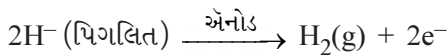
ડાયહાઇડ્રોજન નિશ્ચિત પ્રક્રિયા પરિસ્થિતિમાં ઉમદા વાયુ તત્ત્વો સિવાય લગભગ બધા તત્ત્વો સાથે જોડાઈને દ્વિઅંગી સંયોજન બનાવે છે. જેને હાઇડ્રાઇડ કહે છે. જો તત્ત્વને 'E' વડે દર્શાવીએ તો હાઇડ્રાઇડને  $EH_x$  વડે દર્શાવી શકાય છે. (દા.ત.,  $MgH_2$ ) અથવા  $E_mH_n$  (દા.ત.,  $B_2H_6$ )

હાઇડ્રાઇડને ત્રણ વિભાગમાં વર્ગીકૃત કરી શકાય છે :

- આયનીય અથવા ક્ષારીય હાઇડ્રાઇડ
- સહસંયોજક અથવા આણ્વીય હાઇડ્રાઇડ
- ધાત્વીય અથવા બિનતત્ત્વયોગમિતિય હાઇડ્રાઇડ

### 9.5.1 આયનીય અથવા ક્ષારીય હાઇડ્રાઇડ સંયોજનો (Ionic or Saline Hydrides)

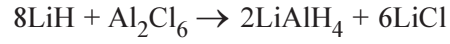
મોટા ભાગના s-વિભાગના તત્ત્વો જે વિદ્યુતધન હોય છે તેઓ ડાયહાઇડ્રોજન સાથે તત્ત્વયોગમિતિય સંયોજન બનાવે છે.  $LiH$ ,  $BeH_2$  અને  $MgH_2$  જેવા હલકા ધાતુ હાઇડ્રાઇડમાં સાર્થક સહસંયોજક લાક્ષણિકતા જોવા મળે છે. વાસ્તવમાં  $BeH_2$  અને  $MgH_2$  પોલિમર જેવા બંધારણ ધરાવે છે. આયનીય હાઇડ્રાઇડ ઘન અવસ્થામાં સ્ફટિકમય, અબાખ્પશીલ અને અવાહક હોય છે. આ હાઇડ્રાઇડ પિગલિત અવસ્થામાં વિદ્યુતનું વહન કરે છે અને વિદ્યુતવિભાજન દરમિયાન એનોડ પર ડાયહાઇડ્રોજન વાયુ મુક્ત કરે છે. જે હાઇડ્રાઇડમાં  $H^-$  આયનની હાજરી પુરવાર કરે છે.



ક્ષારીય હાઇડ્રાઇડ પાણીની સાથે વિસ્ફોટકીય રીતે પ્રક્રિયા કરી ડાયહાઇડ્રોજન વાયુ આપે છે.



લિથિયમ હાઇડ્રાઇડ સામાન્ય તાપમાને  $O_2$  અથવા  $Cl_2$  સાથે અપ્રતિક્રિયાત્મક છે. તેથી તે ઉપયોગી હાઇડ્રાઇડના સંશ્લેષણમાં વપરાય છે. દા.ત.,



### 9.5.2 સહસંયોજક અથવા આણ્વીયહાઇડ્રાઇડ (Covalent or Molecular Hydrides)

ડાયહાઇડ્રોજન મોટા ભાગના p-વિભાગના તત્ત્વો સાથે આણ્વીય સંયોજનો બનાવે છે. આ સંયોજનોના વધુ પ્રચલિત ઉદાહરણો  $CH_4$ ,  $NH_3$ ,  $H_2O$  અને  $HF$  છે. અનુકૂળતા માટે અધાતુ તત્ત્વોના હાઇડ્રોજન સાથેના સંયોજનોને પણ હાઇડ્રાઇડ માનવામાં આવે છે. સહસંયોજક હોવાના કારણે તેઓ બાખ્પશીલ સંયોજનો છે.

આણ્વીય હાઇડ્રાઇડને તેઓના લુઈસ બંધારણમાં રહેલા ઈલેક્ટ્રોનની સાપેક્ષ સંખ્યા અને બંધની સાપેક્ષ સંખ્યા મુજબ પુનઃવર્ગીકૃત કરવામાં આવે છે.

(i) ઈલેક્ટ્રોન ઊણપવાળા હાઇડ્રાઇડ

(ii) ઈલેક્ટ્રોન પરિશુદ્ધ હાઇડ્રાઇડ

(iii) ઈલેક્ટ્રોન ધનિક હાઇડ્રાઇડ

ઈલેક્ટ્રોન ઊણપવાળા હાઇડ્રાઇડનું નામ સૂચવે છે કે તેનું પરંપરાગત લુઈસ બંધારણ લખવામાં ઈલેક્ટ્રોનની સંખ્યા અપૂરતી હશે. તેનું ઉદાહરણ ડાયબોરેન ( $B_2H_6$ ) છે. વાસ્તવમાં સમૂહ 13ના બધા તત્ત્વો ઈલેક્ટ્રોન ઊણપવાળા હાઇડ્રાઇડ બનાવે છે. તમે તેઓની વર્તણૂક સંદર્ભે શું અપેક્ષા રાખો છો ? તેઓ લુઈસ એસિડ તરીકે વર્તે છે એટલે કે ઈલેક્ટ્રોનગ્રાહી તરીકે વર્તે છે.

ઈલેક્ટ્રોન પરિશુદ્ધ હાઇડ્રાઇડના પરંપરાગત લુઈસ બંધારણ લખવા માટે પૂરતા ઈલેક્ટ્રોન હોય છે. સમૂહ 14ના બધા તત્ત્વો આવા સંયોજનો (દા.ત.,  $CH_4$ ) બનાવે છે, જે સમચતુષ્લકીય આકાર ધરાવે છે.

ઈલેક્ટ્રોન ધનિક હાઇડ્રાઇડમાં વધારાના ઈલેક્ટ્રોન હોય છે જે અબંધકારક ઈલેક્ટ્રોન યુગ્મ તરીકે રહેલા હોય છે. સમૂહ 15થી 17ના તત્ત્વો આવા સંયોજનો ( $NH_3$  એક અબંધકારક ઈલેક્ટ્રોન યુગ્મ,  $H_2O$  બે અને  $HF$  ત્રણ અબંધકારક ઈલેક્ટ્રોન યુગ્મો ધરાવે છે) બનાવે છે. તમે આવા સંયોજનોની વર્તણૂક સંદર્ભે કેવી અપેક્ષા રાખો છો ? તેઓ લુઈસ બેઈઝ તરીકે વર્તે છે એટલે કે ઈલેક્ટ્રોનદાતા તરીકે વર્તે છે. હાઇડ્રાઇડ સંયોજનોમાં વધુ વિદ્યુતઋણમય પરમાણુઓ જેવા કે N, O અને F પર રહેલા અબંધકારક ઈલેક્ટ્રોન યુગ્મોને કારણે અણુ-અણુ વચ્ચે હાઇડ્રોજન બંધ રચાય છે જેથી અણુઓનું સુયોજન (association) થાય છે.

#### કોયડો 9.2

તમે એવી અપેક્ષા રાખો છો કે N, O અને Fના હાઇડ્રાઇડના ઉત્કલનબિંદુ તે જ સમૂહના અન્ય સભ્યોના હાઇડ્રાઇડના ઉત્કલનબિંદુથી નીચાં હોય છે ? કારણ આપો.

**ઉકેલ :**

$\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  અને  $\text{HF}$ ના આણ્વીયદળના આધારે કહી શકાય કે તેઓના ઉત્કલનબિંદુ તે જ સમૂહના અન્ય તત્ત્વોના હાઈડ્રાઈડ સંયોજનના ઉત્કલનબિંદુ કરતાં નીચા હોવા જોઈએ, પરંતુ N, O, Fની વધુ વિદ્યુતઋણતાના કારણે તેઓના હાઈડ્રાઈડ સંયોજનોમાં હાઈડ્રોજન બંધ બનાવવાની ક્ષમતા વધારે હોય છે. તેથી  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  અને  $\text{HF}$ ના ઉત્કલનબિંદુ તે જ સમૂહના અન્ય તત્ત્વોના હાઈડ્રાઈડ સંયોજનોના ઉત્કલનબિંદુથી ઊંચા હોય છે.

### 9.5.3 ધાત્વીય અથવા બિનતત્ત્વયોગમિતિય (અથવા આંતરાલીય) હાઈડ્રાઈડ સંયોજનો (Metallic or Non-stoichiometric (or interstitial) Hydrides)

મોટા ભાગે  $d$ -વિભાગ અને  $f$ -વિભાગના તત્ત્વો આવા સંયોજનો બનાવે છે. જોકે સમૂહ 7, 8, 9ના ધાતુ તત્ત્વો હાઈડ્રાઈડ બનાવતા નથી. જ્યારે સમૂહ 6માંથી માત્ર કોમિયમ જ  $\text{CrH}$  સંયોજન બનાવે છે. આ હાઈડ્રાઈડ સંયોજનો ઉષ્મા અને વિદ્યુતનું વહન કરે છે, પરંતુ તેઓની વાહકતા તેઓના જનક ધાતુઓ જેટલી કાર્યક્ષમ હોતી નથી. આ સંયોજનોમાં હાઈડ્રોજનની ઊણપને કારણે ક્ષારીય હાઈડ્રાઈડ વિપરિત તેઓ હંમેશાં બિનતત્ત્વયોગમિતિય સ્વરૂપમાં હોય છે. દા.ત.,  $\text{LaH}_{2.87}$ ,  $\text{YbH}_{2.55}$ ,  $\text{TiH}_{1.5-1.8}$ ,  $\text{ZrH}_{1.3-1.75}$ ,  $\text{VH}_{0.56}$ ,  $\text{NiH}_{0.6-0.7}$ ,  $\text{PdH}_{0.6-0.8}$  વગેરે. આવા હાઈડ્રાઈડ સંયોજનોમાં નિશ્ચિત સંરચનાનો નિયમ પળાતો નથી.

અગાઉ એમ વિચારવામાં આવ્યું હતું કે હાઈડ્રાઈડ સંયોજનોમાં હાઈડ્રોજન ધાતુના સ્ફટિક લેટિસના આંતરાલીય સ્થાનમાં સ્થાન મેળવે છે ત્યારે તેના પ્રકારમાં કોઈ પણ ફેરફાર વિનાની વિકૃતિ ઉત્પન્ન થાય છે. આથી તેઓને આંતરાલીય હાઈડ્રાઈડ કહેવામાં આવે છે. જોકે હાલનો અભ્યાસ દર્શાવે છે કે Ni, Pd, Ce અને Acના હાઈડ્રાઈડ સિવાયના આ વર્ગના અન્ય હાઈડ્રાઈડ તેઓના જનક ધાતુતત્ત્વોથી અલગ સ્ફટિક લેટિસ ધરાવે છે. સંક્રાંતિ ધાતુઓ પર હાઈડ્રોજનના અધિશોષણનો ગુણધર્મ વધુ સંખ્યામાં સંયોજનોની બનાવટ માટેની ઉદ્દીપકીય રિડક્શન/હાઈડ્રોજનીકરણ પ્રક્રિયાઓમાં વધુ ઉપયોગી થાય છે. કેટલીક ધાતુઓ (દા.ત., Pd, Pt) ઘણા મોટા કદના હાઈડ્રોજનને સમાવી શકે છે તેથી તેઓને સંગ્રહ-માધ્યમ તરીકે ઉપયોગમાં લેવામાં આવે છે. આ ગુણધર્મ હાઈડ્રોજન સંગ્રહમાં અને ઊર્જા સ્ત્રોત તરીકે ઉપયોગી થઈ શકે છે.

**કોયડો 9.3**

ફોસ્ફરસ તેની બાહ્યતમ ઈલેક્ટ્રોનીય રચના  $3s^23p^3$  ના આધારે  $\text{PH}_5$  સંયોજન બનાવી શકશે ?

**ઉકેલ :**

ફોસ્ફરસ +3 અને +5 ઓક્સિડેશન અવસ્થા દર્શાવે છે, પરંતુ તે  $\text{PH}_5$  બનાવી શકતો નથી. કેટલાક અન્ય તત્ત્વોને કારણે ડાયહાઈડ્રોજનનું ઊંચું  $\Delta_f H$  મૂલ્ય અને  $\Delta_{\text{e}} H$  મૂલ્ય Pની ઉચ્ચતમ ઓક્સિડેશન અવસ્થા દર્શાવવાનું અને પરિણામસ્વરૂપ  $\text{PH}_5$  બનાવવાનું સમર્થન કરતા નથી.

## 9.6 પાણી (Water)

બધા સજીવોનો એક મોટો ભાગ પાણીનો બનેલો છે. માનવશરીરમાં લગભગ 65 % અને કેટલીક વનસ્પતિઓમાં લગભગ 95 % ભાગ પાણી હોય છે. સજીવોને જીવિત રહેવા માટે પાણી એક અગત્યનું સંયોજન છે. તે અતિ અગત્યનો દ્રાવક છે. પૃથ્વીની સપાટી પર પાણીનું વિતરણ એક સમાન થયેલું હોતું નથી. વિશ્વમાં પાણીનો અંદાજિત પુરવઠો કોષ્ટક 9.2માં દર્શાવેલો છે.

### કોષ્ટક 9.2 વિશ્વમાં પાણીનો અંદાજિત પુરવઠો

સ્ત્રોત	કુલ જથ્થાના ટકા
સમુદ્ર/મહાસાગર	97.33
ક્ષારયુક્ત તળાવ અને ટાપુના દરિયા	0.008
ધ્રુવીય બરફ અને હિમનદીઓ	2.04
ભૌમજળ	0.61
સરોવરો અથવા તળાવ	0.009
જમીનમાંનો ભેજ	0.005
વાતાવરણીય પાણીની બાષ્પ	0.001
નદીઓ	0.0001

### 9.6.1 પાણીના ભૌતિક ગુણધર્મો (Physical Properties of Water)

પાણી રંગવિહીન અને સ્વાદવિહીન પ્રવાહી છે. કોષ્ટક 9.3માં પાણીના અને ભારે પાણીના ભૌતિક ગુણધર્મો દર્શાવેલા છે.

સંઘનિત અવસ્થામાં (પ્રવાહી અને ઘન અવસ્થા) પાણીનો અસામાન્ય ગુણધર્મ પાણીના અણુઓ વચ્ચે રહેલા વિસ્તૃત હાઈડ્રોજન બંધને કારણે હોય છે. આ વર્ગના અન્ય તત્ત્વોના હાઈડ્રાઈડ  $\text{H}_2\text{S}$  અને  $\text{H}_2\text{Se}$ ની સરખામણીમાં પાણીના ઉચ્ચ ઠારબિંદુ, ઉચ્ચ ઉત્કલનબિંદુ, ઉચ્ચ બાષ્પન ઉષ્મા અને ઉચ્ચ ગલન ઉષ્મા પાણીમાં રહેલા હાઈડ્રોજન બંધને આભારી છે. અન્ય પ્રવાહીઓ સાથેની સરખામણીમાં પાણીની વિશિષ્ટ ઉષ્મા, ઉષ્માવાહકતા, પૃષ્ઠતાણ, દ્વિધ્રુવ ચાકમાત્રા અને ડાયઇલેક્ટ્રિક અચળાંક (પરાવૈદ્યુત અચળાંક) વગેરેના મૂલ્યો ઊંચા હોય છે. આ ગુણધર્મોને કારણે જીવાવરણમાં પાણી અગત્યની ભૂમિકા ભજવે છે.

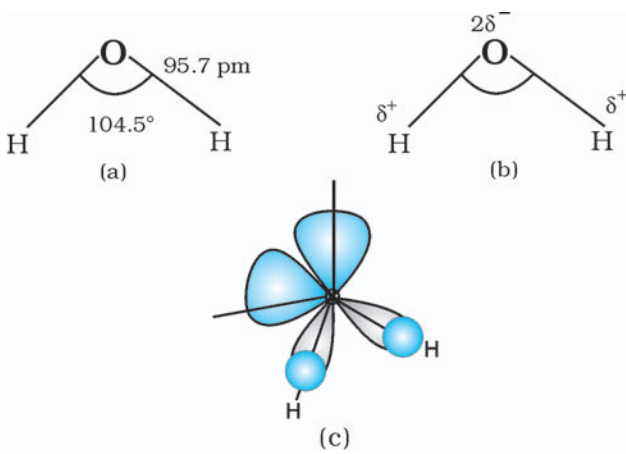
કોષ્ટક 9.3 H<sub>2</sub>O અને D<sub>2</sub>Oના ભૌતિક ગુણધર્મો

ગુણધર્મ	H <sub>2</sub> O	D <sub>2</sub> O
આણ્વિક દળ (g mol <sup>-1</sup> )	18.0151	20.0276
ગલનબિંદુ / K	273.0	276.8
ઉત્કલનબિંદુ / K	373.0	374.4
સર્જન એન્થાલ્પી / kJ mol <sup>-1</sup>	-285.9	-294.6
બાષ્પન એન્થાલ્પી (373 K) / kJ mol <sup>-1</sup>	40.66	41.61
ગલન એન્થાલ્પી / kJ mol <sup>-1</sup>	6.01	-
મહત્તમ ઘનતાનું તાપમાન / K	276.98	284.2
ઘનતા (298 K) / g cm <sup>-3</sup>	1.0000	1.1059
સ્નિગ્ધતા / centipoise	0.8903	1.107
ડાયઇલેક્ટ્રિક અચળાંક / C <sup>2</sup> / N.m <sup>2</sup>	78.39	78.06
વિદ્યુતવાહકતા (293 K/ohm <sup>-1</sup> cm <sup>-1</sup> )	5.7 × 10 <sup>-8</sup>	-

પાણીની ઊંચી બાષ્પન ઉષ્મા અને ઉષ્માધારિતા સજીવોના શરીરના તાપમાન અને વાતાવરણના સામાન્ય તાપમાનને જાળવી રાખે છે. વનસ્પતિ અને પ્રાણીઓની ચયાપચય ક્રિયા માટે જરૂરી આયનો અને અણુઓના પરિવહન માટે પાણી અગત્યના દ્રાવક તરીકે વર્તે છે. પાણી ધ્રુવીય અણુઓ સાથે હાઇડ્રોજન બંધ બનાવે છે, તેથી આલ્કોહોલ અને કાર્બોહાઇડ્રેટ જેવા સહસંયોજક સંયોજનો પાણીમાં દ્રાવ્ય થાય છે.

## 9.6.2 પાણીનું બંધારણ (Structure of Water)

વાયુ અવસ્થામાં પાણી કોણીય આકાર ધરાવે છે. આકૃતિ 9.1(a)માં દર્શાવ્યા મુજબ તેનો બંધકોણ 104.5° અને O-H બંધલંબાઈ 95.7 pm છે.



પાણીનો અણુ

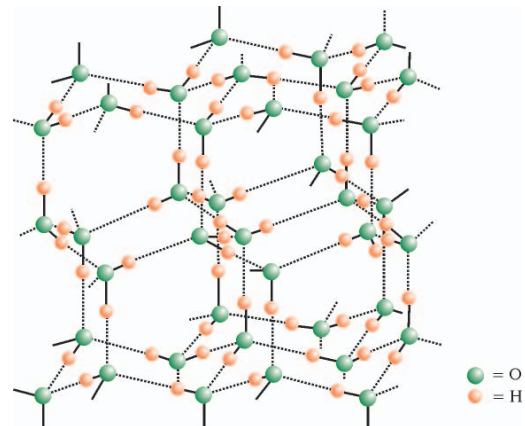
આકૃતિ 9.1 (a) પાણીનું કોણીય બંધારણ (b) દ્વિધ્રુવ તરીકે પાણીનો અણુ (c) પાણીના અણુમાં કક્ષકીય સંમિશ્રણ આકૃતિ

તે અત્યંત ધ્રુવીય અણુ (આકૃતિ 9.1(b)) છે. તેનું કક્ષકીય સંમિશ્રણ આકૃતિ 9.1(c)માં દર્શાવેલું છે. પ્રવાહી અવસ્થામાં પાણીના અણુઓ એકબીજા સાથે હાઇડ્રોજન બંધથી જોડાયેલા હોય છે.

બરફ પાણીનું સ્ફટિકીય સ્વરૂપ છે. વાતાવરણના દબાણે બરફ ષટકોણીય સ્વરૂપે સ્ફટિકીકરણ પામે છે, પરંતુ ખૂબ જ નીચા તાપમાને તે સમઘન સ્વરૂપે સંઘનિત થાય છે. બરફની ઘનતા તે પાણીની ઘનતા કરતાં ઓછી હોવાથી બરફ પાણી પર તરે છે. શિયાળામાં તળાવની સપાટી પર બરફ જામી જાય છે જે ઉષ્મા અવરોધન પ્રદાન કરે છે, જેથી જલીય જીવસૃષ્ટિ સુરક્ષિત રહે છે. ઉપરોક્ત બાબત પરિસ્થિતિકીય દૃષ્ટિએ ખૂબ યથાર્થ છે.

## 9.6.3 બરફનું બંધારણ (Structure of Ice)

બરફ સુવ્યવસ્થિત ત્રિપરિમાણીય હાઇડ્રોજન બંધ ધરાવતું બંધારણ છે, જેને આકૃતિ 9.2માં દર્શાવવામાં આવ્યું છે. X-કિરણો દ્વારા અભ્યાસ કરવાથી માલૂમ પડ્યું કે બરફના



આકૃતિ 9.2 બરફનું બંધારણ

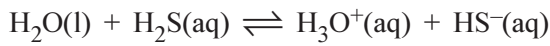
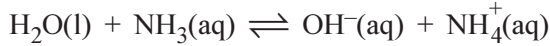
સ્ફટિકમાં ઓક્સિજન પરમાણુ ચાર હાઈડ્રોજન પરમાણુઓથી 276 pm ના અંતરે સમચતુષ્કલકીય સ્વરૂપે ઘેરાયેલો છે.

હાઈડ્રોજન બંધ બરફમાં વિશાળ છિદ્રોવાળું ખુલ્લું બંધારણ બનાવે છે. આ છિદ્રો યોગ્ય કદના કેટલાક અન્ય અણુઓને આંતરાલયમાં સ્થાન આપે છે.

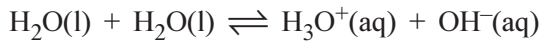
### 9.6.4 પાણીના રાસાયણિક ગુણધર્મો (Chemical Properties of Water)

પાણી અનેક પદાર્થો સાથે પ્રક્રિયા કરે છે. કેટલીક અગત્યની પ્રક્રિયાઓ નીચે દર્શાવેલી છે.

(1) ઉભયધર્મી સ્વભાવ : પાણી એસિડ તેમજ બેઈઝ તરીકે વર્તવાની ક્ષમતા ધરાવે છે. એટલે કે ઉભયધર્મી પદાર્થ છે. બ્રોન્સ્ટેડ સંકલ્પના મુજબ પાણી  $\text{NH}_3$  સાથે એસિડ તરીકે અને  $\text{H}_2\text{S}$  સાથે બેઈઝ તરીકે વર્તે છે.

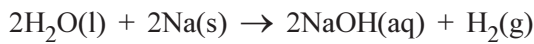


પાણીના સ્વયં પ્રોટોવિભાજનને (auto-protolysis) (સ્વ-આયનીકરણ) નીચે મુજબ દર્શાવી શકાય.



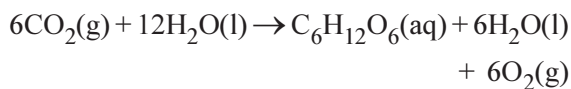
(એસિડ) (બેઈઝ) (સંયુગ્મી એસિડ) (સંયુગ્મી બેઈઝ)

(2) પાણીની રેડોક્ષ પ્રક્રિયા : પાણી વધુ વિદ્યુતધનમય ધાતુ દ્વારા ડાયહાઈડ્રોજનમાં સરળતાથી રિડક્શન પામી શકે છે.



આમ, તે ડાયહાઈડ્રોજનનો મહત્વનો સ્ત્રોત છે.

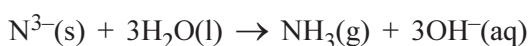
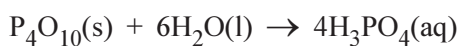
પ્રકાશસંશ્લેષણ દરમિયાન પાણી  $\text{O}_2$ માં ઓક્સિડેશન પામે છે.



ફ્લોરિન સાથે પણ તે  $\text{O}_2$ માં ઓક્સિડેશન પામે છે.

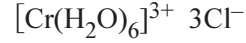


(3) જળવિભાજન પ્રક્રિયા : પાણીના ઊંચા ડાયઇલેક્ટ્રિક અચળાંકના કારણે તે પ્રબળ જલીયકરણ ગુણ ધરાવે છે. તે ઘણા આયનીય સંયોજનોને દ્રાવ્ય કરે છે. આમ કેટલાક સહસંયોજક અને આયનીય સંયોજનો પાણીમાં જળવિભાજન પામે છે.



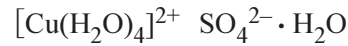
(4) જળયુક્ત સંયોજનોનું નિર્માણ : જલીય દ્રાવણમાંથી ઘણા ક્ષારોનું તેના જળયુક્ત ક્ષાર તરીકે સ્ફટિકિકરણ કરી શકાય છે. પાણીનું આવું જોડાણ જુદા જુદા પ્રકારે જોવા મળે છે. જેમકે,

(i) સવર્ગ સહસંયોજિત પાણી દા.ત.,



(ii) આંતરાલીય પાણી દા.ત.,  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

(iii) હાઈડ્રોજન બંધિત પાણી દા.ત.,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ માં



#### કોયડો 9.4

$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  માં કેટલા પાણીના અણુઓ હાઈડ્રોજન બંધથી જોડાયેલા છે ?

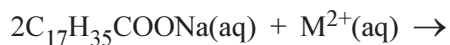
ઉકેલ :

માત્ર પાણીનો એક અણુ. જે મોટા કૌંસની બહાર (સહસંયોજક ક્ષેત્ર) છે તે હાઈડ્રોજન બંધ દ્વારા જોડાયેલો છે. બાકીના ચાર પાણીના અણુઓ સવર્ગ સહસંયોજિત છે.

### 9.6.5 કઠિન અને નરમ પાણી (Hard and Soft Water)

સામાન્ય રીતે વરસાદનું પાણી લગભગ શુદ્ધ હોય છે (વાતાવરણના કેટલાક વાયુઓ ઓગળેલા હોય છે). પાણી ઉત્તમ દ્રાવક હોવાથી જ્યારે તે જમીન પરથી પસાર થાય છે ત્યારે ઘણા ક્ષારો તેમાં ઓગળે છે. પાણીમાં રહેલા કેલ્શિયમ અને મેગ્નેશિયમના હાઈડ્રોજનકાર્બોનેટ, ક્લોરાઇડ અને સલ્ફેટ ક્ષારોના કારણે પાણી કઠિન બને છે. કઠિન પાણી સાબુના દ્રાવણ સાથે ફીણ આપતું નથી. દ્રાવ્ય કેલ્શિયમ અને મેગ્નેશિયમના ક્ષારોથી મુક્ત પાણીને નરમ પાણી કહે છે. તે સાબુના દ્રાવણ સાથે સરળતાથી ફીણ આપે છે.

કઠિન પાણી સાબુ સાથે અવક્ષેપ ઉત્પન્ન કરે છે. સાબુ સોડિયમ સ્ટીઅરેટ ( $\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COONa}$ ) ધરાવે છે તે કઠિન પાણી સાથે પ્રક્રિયા કરી  $\text{Ca/Mg}$  સ્ટીઅરેટના અવક્ષેપ ઉત્પન્ન કરે છે.



જ્યાં,  $\text{M} = \text{Ca/Mg}$

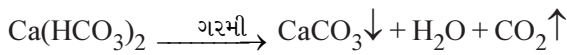
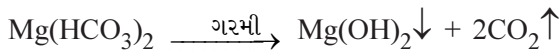
આમ, કઠિન પાણી ધોલાઈ કાર્ય માટે અનુકૂળ હોતું નથી. તે બોઈલર માટે નુકસાનકારક છે, કારણ કે તેનાથી બોઈલરમાં ક્ષારનું સ્તર જામતું જાય છે, જે બોઈલરની ક્ષમતા ઘટાડે છે.

પાણીમાં બે પ્રકારની કઠિનતા જોવા મળે છે : (i) અસ્થાયી કઠિનતા (ii) સ્થાયી કઠિનતા

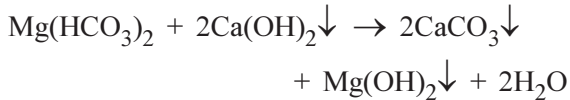
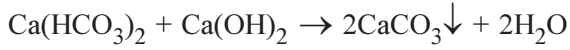
### 9.6.6 અસ્થાયી કઠિનતા (Temporary Hardness)

પાણીમાં અસ્થાયી કઠિનતા કેલ્શિયમ અને મેગ્નેશિયમના હાઇડ્રોજનકાર્બોનેટની હાજરીના કારણે હોય છે. પાણીમાં રહેલી અસ્થાયી કઠિનતા નીચેની રીતો દ્વારા દૂર કરી શકાય છે.

(i) ઉકાળવું : ઉકાળવાની પ્રક્રિયા દરમિયાન દ્રાવ્ય  $Mg(HCO_3)_2$ , અદ્રાવ્ય  $Mg(OH)_2$  માં અને દ્રાવ્ય  $Ca(HCO_3)_2$  અદ્રાવ્ય  $CaCO_3$  માં રૂપાંતર પામે છે.  $MgCO_3$  કરતાં  $Mg(OH)_2$  ના દ્રાવ્યતા ગુણાકારનું મૂલ્ય વધુ હોવાથી  $Mg(OH)_2$  અવક્ષેપિત થાય છે. આ અવક્ષેપને ગાળણક્રિયાથી દૂર કરવામાં આવે છે. મળતું ગાળણ નરમ પાણી હશે.



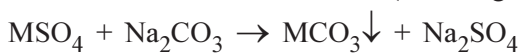
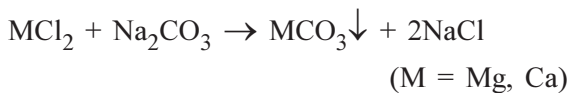
(ii) ક્લાર્ક પદ્ધતિ : આ પદ્ધતિમાં ગણતરી કરેલા જથ્થા મુજબ ફોડેલા ચૂનાને કઠિન પાણીમાં ઉમેરવામાં આવે છે તેથી કેલ્શિયમ કાર્બોનેટ અને મેગ્નેશિયમ હાઇડ્રોક્સાઇડના અવક્ષેપ ઉત્પન્ન થાય છે, જેને ગાળણ દ્વારા દૂર કરવામાં આવે છે.



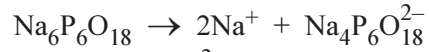
### 9.6.7 કાયમી કઠિનતા (Permanent Hardness)

કાયમી કઠિનતા પાણીમાં રહેલા કેલ્શિયમ અને મેગ્નેશિયમના ક્લોરાઇડ અને સલ્ફેટ સ્વરૂપના દ્રાવ્ય ક્ષારોને કારણે હોય છે. કાયમી કઠિનતાને ઉકાળવાની ક્રિયાથી દૂર કરી શકાતી નથી. તેને નીચે દર્શાવેલી પદ્ધતિઓ દ્વારા દૂર કરી શકાય છે.

(i) ધોવાના સોડાના (સોડિયમ કાર્બોનેટ) ઉપચારથી : ધોવાના સોડા કઠિન પાણીમાં રહેલા દ્રાવ્ય કેલ્શિયમ અને મેગ્નેશિયમના સલ્ફેટ અને ક્લોરાઇડ સાથે પ્રક્રિયા કરી અદ્રાવ્ય કાર્બોનેટ બનાવે છે.



(ii) કાલગોન પદ્ધતિ : સોડિયમ હેક્ઝામેટાફોસ્ફેટ ( $Na_6P_6O_{18}$ ) જેને વ્યાપારિક રીતે 'કાલગોન' કહેવામાં આવે છે. તેને કઠિન પાણીમાં ઉમેરતાં નીચે દર્શાવ્યા પ્રમાણેની પ્રક્રિયાઓ થાય છે.



(M = Mg, Ca)

આ સંકીર્ણ ઋણઆયન  $Mg^{2+}$  અને  $Ca^{2+}$  ને દ્રાવણોમાં રાખે છે.

(iii) આયન વિનિમય પદ્ધતિ : આ પદ્ધતિને ઝીઓલાઇટ/પરમ્યૂટિટ પદ્ધતિ પણ કહે છે. જળયુક્ત સોડિયમ એલ્યુમિનિયમ સિલિકેટને ઝીઓલાઇટ/પરમ્યૂટિટ તરીકે ઓળખવામાં આવે છે. સરળતા માટે સોડિયમ એલ્યુમિનિયમ સિલિકેટને ( $NaAlSiO_4$ )  $NaZ$  તરીકે લખી શકાય છે, જ્યારે આ પદાર્થને કઠિન પાણીમાં ઉમેરવામાં આવે છે ત્યારે વિસ્થાપન પ્રક્રિયા થાય છે.



(M = Mg, Ca)

પરમ્યૂટિટ/ઝીઓલાઇટમાંથી બધો સોડિયમ વપરાઈ જાય છે ત્યારે તે બિનકાર્યક્ષમ બને છે, પરંતુ તેનો જલીય સોડિયમ ક્લોરાઇડના દ્રાવણ દ્વારા ઉપચાર કરવામાં આવે તો તે પુનર્જીવિત એટલે કે ફરીથી કાર્યક્ષમ બની શકે છે.

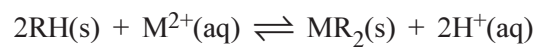


(iv) સાંશ્લેષિત રેઝિન પદ્ધતિ : પ્રવર્તમાન સમયમાં કઠિન પાણીને નરમ બનાવવામાં સાંશ્લેષિત ધનાયન વિનિમયકર્તાનો (Synthetic cation exchanger) ઉપયોગ થાય છે. આ પદ્ધતિ ઝીઓલાઇટ પદ્ધતિ કરતાં વધુ અસરકારક છે. ધનાયન વિનિમય રેઝિન  $-SO_3H$  સમૂહ ધરાવતો મોટો કાર્બનિક અણુ છે, જે પાણીમાં અદ્રાવ્ય હોય છે. આયન વિનિમય રેઝિનની ( $RSO_3H$ ) સોડિયમ ક્લોરાઇડ સાથેની પ્રક્રિયાથી  $RNa$  બને છે. આ રેઝિન કઠિન પાણીમાં રહેલા  $Ca^{2+}$  અને  $Mg^{2+}$  આયનોનું  $Na^+$  વડે વિસ્થાપન કરી પાણીને નરમ બનાવે છે. અહીં R રેઝિન ઋણાયન છે.

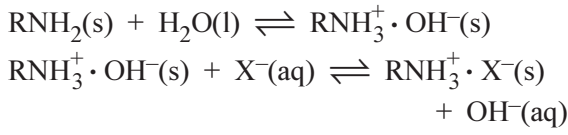


આ રેઝિનને જલીય સોડિયમ ક્લોરાઇડના દ્રાવણની મદદથી પુનઃ કાર્યક્ષમ બનાવી શકાય છે.

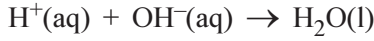
કઠિન પાણીને ક્રમાનુસાર ધનાયન વિનિમય રેઝિન ( $H^+$  સ્વરૂપમાં) અને ઋણાયન વિનિમય રેઝિનમાંથી ( $OH^-$  સ્વરૂપમાં) પસાર કરવાથી પાણીમાં રહેલા બધા દ્રાવ્ય ખનિજ ક્ષારો દૂર થઈ શુદ્ધ વિખનિજિત પાણી (de-mineralised water) અથવા વિઆયનીકૃત પાણી (de-ionized water) મળે છે.



ધનાયન વિનિમય પદ્ધતિમાં  $H^+$  આયનનો વિનિમય પાણીમાં રહેલા  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  અને અન્ય ધનાયનો દ્વારા થાય છે. આમ આ પદ્ધતિમાં પ્રોટોન મુક્ત થાય છે તેથી પાણી એસિડિક બને છે. ઋણાયન વિનિમય પદ્ધતિમાં :



$\text{OH}^-$  આયનનો વિનિમય પાણીમાં રહેલા  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  વગેરે ઋણાયનો દ્વારા થાય છે. આ રીતે ઉત્પન્ન થયેલો  $\text{OH}^-$  ધનાયન વિનિમયથી ઉત્પન્ન થયેલા  $\text{H}^+$  સાથે પ્રક્રિયા કરી પાણીને તટસ્થ બનાવે છે.



આમ બિનકાર્યક્ષમ બનેલા ધનાયન અને ઋણાયન વિનિમય રેઝિનને અનુક્રમે મંદ એસિડ અને મંદ આલ્કલીના દ્રાવણની મદદથી પુનઃકાર્યક્ષમ બનાવી શકાય છે.

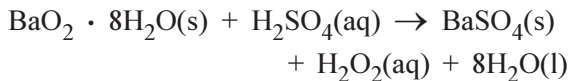
## 9.7 હાઈડ્રોજન પેરોક્સાઈડ (Hydrogen Peroxide) ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )

હાઈડ્રોજન પેરોક્સાઈડ ઘરેલુ અને ઔદ્યોગિક એકમોમાંથી બહાર છોડવામાં આવતા નકામા પ્રવાહીના (effluents) પ્રદૂષણમુક્ત ઉપચારમાં વપરાતું અગત્યનું રસાયણ છે.

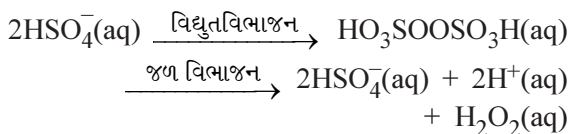
### 9.7.1 બનાવટ (Preparation)

હાઈડ્રોજન પેરોક્સાઈડને નીચેની પદ્ધતિઓ દ્વારા બનાવી શકાય છે :

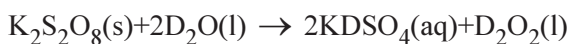
(i) બેરિયમ પેરોક્સાઈડને એસિડિક બનાવી તથા પાણીના વધારાના જથ્થાનું નીચા દબાણે બાષ્પીભવન કરી હાઈડ્રોજન પેરોક્સાઈડ મેળવી શકાય છે.



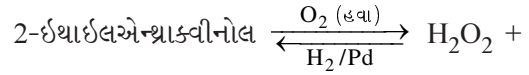
(ii) ઊંચી વિદ્યુતપ્રવાહ ઘનતાએ એસિડિક સલ્ફેટ દ્રાવણનું વિદ્યુતવિઘટનીય ઓક્સિડેશન થઈ પેરોક્સોડાયસલ્ફેટ મળે છે, જેનું જળવિભાજન થઈ હાઈડ્રોજન પેરોક્સાઈડ મળે છે.



હાલમાં પ્રયોગશાળામાં  $\text{D}_2\text{O}_2$  ની બનાવટ માટે આ પદ્ધતિ ઉપયોગમાં લેવાય છે.



(iii) ઔદ્યોગિક રીતે હાઈડ્રોજન પેરોક્સાઈડ 2-આલ્કાઈલ એન્થ્રાક્વીનોલના સ્વનિયંત્રિત ઓક્સિડેશન (autoxidation) દ્વારા બને છે.



(ઓક્સિડેશન પામેલી નીપજ)

આ કિસ્સામાં 1 %  $\text{H}_2\text{O}_2$  બને છે, તેને પાણી સાથે નિષ્કર્ષિત કરવામાં આવે છે. ત્યારબાદ તેને નીચા દબાણે નિસ્યંદન દ્વારા 30 % (દળ પ્રમાણે) સુધી સાંદ્ર બનાવવામાં આવે છે. તેને નીચા દબાણે નિસ્યંદન દ્વારા વધુ કાળજીપૂર્વક 85 % સુધી સાંદ્ર બનાવી શકાય છે. બાકીના પાણીને બરફ બનાવીને શુદ્ધ  $\text{H}_2\text{O}_2$  મેળવી શકાય છે.

### 9.7.2 ભૌતિક ગુણધર્મો (Physical Properties)

શુદ્ધ અવસ્થામાં  $\text{H}_2\text{O}_2$  લગભગ રંગવિહીન (અતિ આછો વાદળી) પ્રવાહી છે. તેના અગત્યના ભૌતિક ગુણધર્મો કોષ્ટક 9.4માં દર્શાવેલા છે.

$\text{H}_2\text{O}_2$  દરેક પ્રમાણમાં પાણી સાથે મિશ્રિત થઈ શકે છે અને જળયુક્ત  $\text{H}_2\text{O}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (ગલનબિંદુ 221 K) બનાવે છે.  $\text{H}_2\text{O}_2$ નું 30 % વાળું દ્રાવણ બજારમાં '100 કદ' તરીકે વેચાય છે. તેનો અર્થ એ થાય કે 30 %  $\text{H}_2\text{O}_2$  વાળા દ્રાવણનું 1 મિલિલિટર જેટલું કદ STP એ 100 V જેટલો ઓક્સિજન આપે છે. વ્યાપારિક ધોરણે જે 10 V તરીકે વેચાય છે તે 3 %  $\text{H}_2\text{O}_2$  સાંદ્રતા ધરાવે છે.

#### કોષ્ટક 9.5

10 કદવાળા હાઈડ્રોજન પેરોક્સાઈડ દ્રાવણની પ્રબળતાની ગણતરી કરો.

ઉકેલ :

10 કદવાળા  $\text{H}_2\text{O}_2$ ના દ્રાવણનો અર્થ STP એ  $\text{H}_2\text{O}_2$ નું 1 L દ્રાવણ 10 L ઓક્સિજન આપે છે.



2 × 34 g STP એ

68 g 22.4 L

STP એ 22.4 L  $\text{O}_2$  68 g  $\text{H}_2\text{O}_2$  માંથી ઉત્પન્ન થાય છે.

STP એ 10 L  $\text{O}_2$   $\frac{68 \times 10}{22.4}$  g  $\text{H}_2\text{O}_2$  માંથી ઉત્પન્ન થાય છે.

$$\text{H}_2\text{O}_2 = \frac{68 \times 10}{22.4} \text{ g} = 30.36 \text{ g}$$

તેથી 10 કદના  $\text{H}_2\text{O}_2$  માં  $\text{H}_2\text{O}_2$  ની પ્રબળતા

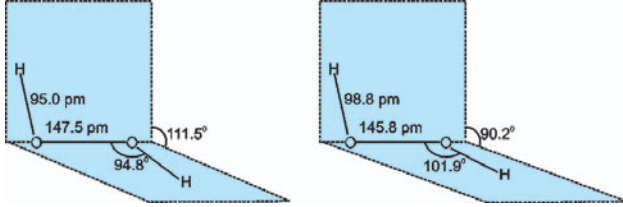
$$= 30.36 \text{ g/L}$$

### કોષ્ટક 9.4 હાઈડ્રોજન પેરોક્સાઈડના ભૌતિક ગુણધર્મો

ગલનબિંદુ / K	272.4	ઘનતા (298 K તાપમાને પ્રવાહી) / $\text{g cm}^{-3}$	1.44
ઉત્કલનબિંદુ (અનુમાનિત) / K	423	સ્નિગ્ધતા (290 K) / centipoise	1.25
બાષ્પદબાણ (298 K) / mmHg	1.9	ડાયઈલેક્ટ્રિક અચળાંક (298 K) / $\text{C}^2 / \text{N m}^2$	70.7
ઘનતા (268.5 K તાપમાને ઘન) / $\text{g cm}^{-3}$	1.64	વિદ્યુતવાહકતા (298 K) / $\Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$	$5.1 \times 10^{-8}$

### 9.7.3 બંધારણ (Structure)

હાઇડ્રોજન પેરોક્સાઇડ અસમતલીય બંધારણ ધરાવે છે. વાયુ અવસ્થા અને ઘન અવસ્થામાં તેના આણ્વીય પરિમાણોને આકૃતિ 9.3માં દર્શાવ્યા છે.



(a) વાયુ અવસ્થા (b) ઘન અવસ્થા

**આકૃતિ 9.3** (a) વાયુ અવસ્થામાં  $H_2O_2$ નું બંધારણ, દ્વિતલ ખૂણો  $111.5^\circ$  છે. (b) ઘન અવસ્થામાં  $H_2O_2$ નું બંધારણ, દ્વિતલ ખૂણો  $90.2^\circ$  છે.

### 9.7.4 રાસાયણિક ગુણધર્મો (Chemical Properties)

હાઇડ્રોજન પેરોક્સાઇડ ઍસિડિક અને બેઝિક બંને માધ્યમમાં ઑક્સિડેશનકર્તા અને રિડક્શનકર્તા તરીકે વર્તે છે. કેટલીક સાદી પ્રક્રિયાઓ નીચે દર્શાવી છે :

- (i) ઍસિડિક માધ્યમમાં ઑક્સિડેશન અસર
- $$2Fe^{2+}(aq) + 2H^+(aq) + H_2O_2(aq) \rightarrow 2Fe^{3+}(aq) + 2H_2O(l)$$
- $$PbS(s) + 4H_2O_2(aq) \rightarrow PbSO_4(s) + 4H_2O(l)$$
- (ii) ઍસિડિક માધ્યમમાં રિડક્શન અસર
- $$2MnO_4^- + 6H^+ + 5H_2O_2 \rightarrow 2Mn^{2+}(aq) + 8H_2O + 5O_2$$
- $$HOCl + H_2O_2 \rightarrow H_3O^+ + Cl^- + O_2$$
- (iii) બેઝિક માધ્યમમાં ઑક્સિડેશન અસર
- $$2Fe^{2+} + H_2O_2 \rightarrow 2Fe^{3+} + 2OH^-$$
- $$Mn^{2+} + H_2O_2 \rightarrow Mn^{4+} + 2OH^-$$
- (iv) બેઝિક માધ્યમમાં રિડક્શન અસર
- $$I_2 + H_2O_2 + 2OH^- \rightarrow 2I^- + 2H_2O + O_2$$
- $$2MnO_4^- + 3H_2O_2 \rightarrow 2MnO_2 + 3O_2 + 2H_2O + 2OH^-$$

### 9.7.5 સંગ્રહ (Storage)

$H_2O_2$  પ્રકાશના સંપર્કમાં આવતા ધીરે ધીરે વિઘટન પામે છે.



ઘાતુની સપાટી અથવા અલ્પમાત્રામાં રહેલા બેઈઝ (કાચના પાત્રમાં રહેલા) ઉપરની પ્રક્રિયાને ઉદ્દીપિત (catalysed) કરે છે. તેથી તેને મીણનું સ્તર ચઢાવેલ કાચ કે પ્લાસ્ટિકના પાત્રમાં અંધારામાં રાખવામાં આવે છે. યુરિયાને

તેમાં સ્થાયીકારક તરીકે ઉમેરવામાં આવે છે. તેને ધૂળના કણોથી દૂર રાખવામાં આવે છે. કારણ કે ધૂળ હાઇડ્રોજન પેરોક્સાઇડના વિસ્ફોટકીય વિઘટનને પ્રેરિત કરે છે.

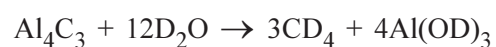
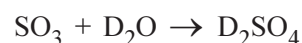
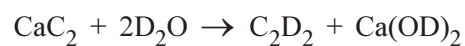
### 9.7.6 ઉપયોગો (Uses)

$H_2O_2$ ના બહોળા ઉપયોગના કારણે તેના ઔદ્યોગિક ઉત્પાદનમાં વધારો થતો રહે છે. તેના કેટલાક ઉપયોગો નીચે દર્શાવ્યા છે :

- રોજિંદા જીવનમાં  $H_2O_2$ નો ઉપયોગ વાળના રંગનાશક (hair bleach) તરીકે અને મંદ સંક્રમણહારક (disinfectant) તરીકે થાય છે. તે જીવાણુનાશી (antiseptic) તરીકે બજારમાં પરહાઇડ્રોલના (perhydrol) નામે વેચાય છે.
- તે સોડિયમ પરબોરેટ અને સોડિયમ પરકાર્બોનેટ જેવા રસાયણોના ઉત્પાદનમાં ઉપયોગી છે. આવા રસાયણો ઊંચી ગુણવત્તાવાળા પ્રક્ષાલકોની બનાવટમાં વપરાય છે.
- તે હાઇડ્રોક્વીનોન, ટાર્ટરિક ઍસિડ અને કેટલાક ખાદ્ય પદાર્થો તથા ઔષધો (સિક્લોસ્પોરિન) વગેરેના સંશ્લેષણમાં ઉપયોગી છે.
- ઉદ્યોગોમાં તેનો ઉપયોગ કાપડ, કાગળનો માવો, ચામડું, તેલ, ચરબી વગેરે માટે રંગનાશક તરીકે થાય છે.
- પ્રવર્તમાન સમયમાં તે પર્યાવરણીય (હરિયાળુ) રસાયણ-વિજ્ઞાનમાં પણ ઉપયોગી બને છે. દા.ત., ઘરેલુ અને ઔદ્યોગિક એકમોમાંથી બહાર છોડવામાં આવતા નકામા પ્રવાહીના પ્રદૂષણમુક્ત ઉપચારમાં, સાયનાઇડ સંયોજનોના ઑક્સિડેશનમાં, સુએઝ કચરામાં જારક પરિસ્થિતિના પુનઃસ્થાપનમાં  $H_2O_2$  ઉપયોગી છે.

### 9.8 ભારે પાણી (Heavy Water) ( $D_2O$ )

ભારે પાણીનો બહોળા પ્રમાણમાં ઉપયોગ ન્યુક્લિયર રિએક્ટરમાં ન્યુટ્રોન મંદક તરીકે અને વિનિમય પ્રક્રિયાઓની ક્રિયાવિધિના અભ્યાસમાં થાય છે. તેનું ઉત્પાદન પાણીના સંપૂર્ણ વિદ્યુતવિભાજન દ્વારા અથવા કેટલાક ખાતરના ઉદ્યોગમાં ઉપપેદાશ તરીકે થાય છે. તેના ભૌતિક ગુણધર્મો કોષ્ટક 9.3માં દર્શાવેલા છે. તે અન્ય ડ્યુટેરિયમ સંયોજનોની બનાવટમાં વપરાય છે. દા.ત.,



### 9.9 ઈંધણ તરીકે ડાયહાઇડ્રોજન (Dihydrogen as a Fuel)

ડાયહાઇડ્રોજન દહન દરમિયાન અધિક માત્રામાં ઉષ્મા ઉત્પન્ન કરે છે. ડાયહાઇડ્રોજન, મિથેન, LPG વગેરે ઈંધણના



સમાન જથ્થાના (મોલમાં, દળમાં અને કદમાં) દહનથી મુક્ત થતી ઊર્જાના મૂલ્યોને કોષ્ટક 9.5માં દર્શાવ્યા છે.

કોષ્ટક 9.5 પરથી સ્પષ્ટ છે કે હાઈડ્રોજન તેને સમાન દ્રવ્યમાનવાળા પેટ્રોલ કરતાં (ત્રણ ગણું) વધારે ઊર્જા મુક્ત કરી શકે છે. વધુમાં હાઈડ્રોજનના દહન દરમિયાન ઉત્પન્ન થતાં પ્રદૂષકોનું પ્રમાણ પેટ્રોલના દહન દરમિયાન ઉત્પન્ન થતા પ્રદૂષકો કરતાં ઓછું હોય છે. હાઈડ્રોજન દ્વારા ઉત્પન્ન થતા પ્રદૂષકમાં માત્ર હાઈડ્રોજનના ઓક્સાઈડ જ હોય છે. (હાઈડ્રોજનની સાથે હાઈડ્રોજનની અશુદ્ધિઓ રહેલી હોય છે.) ગેસના સિલિન્ડરમાં થોડા પ્રમાણમાં પાણીને દાખલ કરવાથી તાપમાન ઘટવાને કારણે હાઈડ્રોજન અને હાઈડ્રોજન વચ્ચે પ્રક્રિયા થતી નથી. જો કે હાઈડ્રોજન વાયુને જે પાત્રમાં રાખવામાં આવે છે તેના દળને ધ્યાનમાં લેવું જોઈએ. સંકોચિત હાઈડ્રોજન વાયુના પાત્રનું વજન સમાન જથ્થામાં ઊર્જા પ્રાપ્ત થાય તેટલા પ્રમાણમાં પેટ્રોલની ટાંકીના વજન કરતાં 30 ગણું વધારે હોય છે. હાઈડ્રોજન વાયુ 20 K તાપમાને ઠંડો પડી પ્રવાહીમાં રૂપાંતર પામે છે. તેથી મોંઘી અવાહક ટાંકીઓની આવશ્યકતા રહે છે.  $\text{NaNi}_5$ ,  $\text{Ti-TiH}_2$ ,  $\text{Mg-MgH}_2$  વગેરે જેવી મિશ્રધાતુઓની બનેલી

ટાંકીઓનો ઉપયોગ હાઈડ્રોજનના ઓછા જથ્થાને સંગ્રહ કરવામાં થાય છે. આ મર્યાદાઓએ સંશોધનકર્તાઓને હાઈડ્રોજનનો કાર્યક્ષમ રીતે ઉપયોગ કરવા માટેના વિકલ્પો શોધવા પ્રોત્સાહિત કર્યાં.

આ સંદર્ભે ભાવિ વિકલ્પ હાઈડ્રોજન અર્થવ્યવસ્થા છે. હાઈડ્રોજન અર્થવ્યવસ્થાનો મૂળ સિદ્ધાંત પ્રવાહી અથવા વાયુ સ્વરૂપના હાઈડ્રોજન સ્વરૂપની ઊર્જાનું પરિવહન અને સંગ્રહ છે. હાઈડ્રોજન અર્થવ્યવસ્થાનો ફાયદો એ છે કે ઊર્જાનું સંચરણ વિદ્યુતઊર્જાના સ્વરૂપે નહીં પણ હાઈડ્રોજન સ્વરૂપે થાય છે. આપણા દેશના ઇતિહાસમાં પહેલી વાર ઓક્ટોબર 2005માં સ્વયંસંચાલિત વાહનોમાં હાઈડ્રોજનનો બળતણ તરીકે ઉપયોગ કરવાનો નાના પાયે પરનો પ્રોજેક્ટ શરૂ કર્યો. શરૂઆતમાં ચાર પૈડાંવાળા વાહનો માટે 5 % હાઈડ્રોજન મિશ્રિત CNGનો ઉપયોગ કરવામાં આવ્યો હતો. ત્યારબાદ હાઈડ્રોજનનું ટકાવાર પ્રમાણ ધીરે ધીરે વધારી અનુકૂળ પ્રમાણ સુધી પહોંચી શકાશે.

પ્રવર્તમાન સમયમાં હાઈડ્રોજનનો ઉપયોગ બળતણ-કોષમાં વિદ્યુતઊર્જાના ઉત્પાદન માટે થાય છે. એવી અપેક્ષા છે કે આવનારા વર્ષોમાં હાઈડ્રોજન આર્થિક રીતે પોષાય તેવું અને સુરક્ષિત ઊર્જા સ્રોત તરીકે ઓળખાશે.

#### કોષ્ટક 9.5 વિભિન્ન ઈંધણના (મોલમાં, દળમાં, કદમાં) દહનથી મુક્ત થતી ઊર્જા

દહનથી મુક્ત થતી ઊર્જા kJ માં	હાઈડ્રોજન (વાયુ અવસ્થામાં)	હાઈડ્રોજન (પ્રવાહી અવસ્થામાં)	LPG	CH <sub>4</sub> વાયુ	ઓક્ટેન (પ્રવાહી અવસ્થામાં)
પ્રતિ મોલ	286	285	2220	880	5511
પ્રતિ ગ્રામ	143	142	50	53	47
પ્રતિ લિટર	12	9968	25590	35	34005

#### સારાંશ

હાઈડ્રોજન માત્ર એક ઇલેક્ટ્રોન ધરાવતો સૌથી હલકો પરમાણુ છે. તે ઇલેક્ટ્રોન ગુમાવીને મૂળભૂત કણ પ્રોટોન બનાવે છે. આ તેનું વિશિષ્ટ લક્ષણ છે. તેના ત્રણ સમસ્થાનિકો પ્રોટિયમ ( $^1_1\text{H}$ ), ડ્યુટેરિયમ (D અથવા  $^2_1\text{H}$ ) અને ટ્રિટિયમ (T અથવા  $^3_1\text{H}$ ) છે. આ ત્રણમાં માત્ર ટ્રિટિયમ રેડિયોસક્રિય છે. આલ્કલી ધાતુઓ અને હેલોજન તત્ત્વો સાથે સામ્યતા હોવા છતાં તેના વિશિષ્ટ ગુણધર્મોના કારણે આવર્તકોષ્ટકમાં તેનું સ્થાન અદ્વિતીય જોવા મળે છે.

બ્રહ્માંડમાં હાઈડ્રોજન વિપુલ પ્રમાણમાં મળી આવતું તત્ત્વ છે. મુક્ત અવસ્થામાં તે પૃથ્વીના વાતાવરણમાં જોવા મળતું નથી, પરંતુ સંયોજિત અવસ્થામાં પૃથ્વીની સપાટી પર વિપુલ પ્રમાણમાં મળી આવતા તત્ત્વોના ક્રમમાં હાઈડ્રોજનનું સ્થાન ત્રીજું છે.

પેટ્રોરસાયણમાંથી જળવાયુ સ્થાનાંતર પ્રક્રિયા દ્વારા હાઈડ્રોજનનું ઔદ્યોગિક ઉત્પાદન કરવામાં આવે છે. તે ક્ષારવાળા પાણીના વિદ્યુતવિભાજનથી ઉપપેદાશ તરીકે ઉત્પન્ન થાય છે.

ડાયહાઇડ્રોજનની H-H બંધ વિયોજન એન્ટાલ્પી ( $435.88 \text{ kJ mol}^{-1}$ ) કોઈ તત્ત્વના બે પરમાણુઓ વચ્ચેના એકલબંધ માટે ઉચ્ચતમ હોય છે. આ ગુણધર્મના આધારે ડાયહાઇડ્રોજનનો ઉપયોગ પરમાણ્વીય ટોર્ચમાં થાય છે. પરિણામે તાપમાન  $\sim 4000 \text{ K}$  સુધી પહોંચે છે જે ઊંચા ગલનબિંદુવાળી ધાતુઓના વેલ્ડિંગ માટે આદર્શ તાપમાન છે.

ઓરડાના તાપમાને ડાયહાઇડ્રોજનની ઘણી ઊંચી ઋણ વિયોજન એન્ટાલ્પીના કારણે તે નિષ્ક્રિય હોય છે. તે અનુકૂળ પરિસ્થિતિમાં લગભગ બધા તત્ત્વો સાથે જોડાઈને હાઈડ્રાઈડ બનાવે છે. બધા હાઈડ્રાઈડને ત્રણ વિભાગમાં વર્ગીકૃત કરી શકાય છે : આયનીય અથવા ક્ષારીય હાઈડ્રાઈડ, સહસંયોજક અથવા આણ્વીય હાઈડ્રાઈડ અને ધાત્વીય અથવા બિનતત્ત્વયોગમિતિય હાઈડ્રાઈડ. અન્ય હાઈડ્રાઈડ સંયોજનો બનાવવા માટે આલ્કલી ધાતુ હાઈડ્રાઈડ ઉપયોગી પ્રક્રિયક છે. આણ્વીય હાઈડ્રાઈડ (દા.ત.,  $\text{B}_2\text{H}_6$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ) રોજિંદા જીવનમાં અતિ મહત્વના સંયોજનો છે. ધાત્વીય હાઈડ્રાઈડનો ઉપયોગ ડાયહાઇડ્રોજનના અતિશુદ્ધીકરણ માટે અને ડાયહાઇડ્રોજનના સંગ્રહ માધ્યમ તરીકે થાય છે.

ડાયહાઇડ્રોજનની અન્ય રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ પૈકી રિડક્શન પ્રક્રિયા દ્વારા હાઈડ્રોજન હેલાઈડ, પાણી, એમોનિયા, મિથેનોલ, વનસ્પતિ ઘી વગેરે અતિ મહત્વના સંયોજનોનું નિર્માણ થાય છે. ધાતુકર્મ પ્રક્રમમાં તે ધાતુ ઓક્સાઈડના રિડક્શન માટે ઉપયોગી છે. અવકાશ કાર્યક્રમોમાં તે રોકેટના બળતણ તરીકે ઉપયોગી છે. ભવિષ્યમાં તે પ્રદૂષણમુક્ત ઈંધણ સ્વરૂપે મહત્વ ધરાવશે (હાઈડ્રોજન અર્થવ્યવસ્થા).

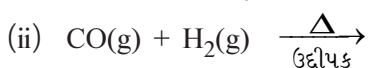
પાણી અતિ સામાન્ય, વિપુલ પ્રમાણમાં મળી આવતો પદાર્થ છે. તે રાસાયણિક અને જૈવિક દૃષ્ટિએ અતિ મહત્વનું છે. પાણીનું પ્રવાહી અવસ્થામાંથી ઘન અવસ્થા તથા પ્રવાહી અવસ્થામાંથી વાયુ અવસ્થામાં સરળતાથી રૂપાંતરણ થાય છે, જે જીવાવરણમાં અગત્યની ભૂમિકા ભજવે છે. પાણીનો અણુ તેના કોણીય બંધારણના કારણે વધુ ધ્રુવીય પ્રકૃતિ ધરાવે છે. આ ગુણધર્મના કારણે બરફમાં મહત્તમ હાઈડ્રોજન બંધ અને પાણીની બાષ્પમાં ન્યૂનતમ હાઈડ્રોજન બંધ હોય છે. પાણીની ધ્રુવીય પ્રકૃતિના કારણે – (a) તે આયનીય અને આંશિક આયનીય સંયોજનો માટે ઉત્તમ દ્રાવક તરીકે વર્તે છે. (b) તે ઊભયધર્મી (એસિડ અને બેઈઝ) પદાર્થ તરીકે વર્તે છે. (c) તે વિભિન્ન પ્રકારના જળયુક્ત સંયોજનો બનાવે છે. પાણીના ઘણા ક્ષારોને ઓગાળવાના ગુણધર્મને કારણે પાણી કઠિન બને છે જે ઉદ્યોગો માટે નુકસાનકારક હોય છે. ઝીઓલાઈટ અને સાંશ્લેષિત આયન વિનિમયકર્તા દ્વારા પાણીની અસ્થાયી અને સ્થાયી કઠિનતાને દૂર કરી શકાય છે.

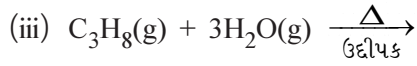
ભારે પાણી ( $\text{D}_2\text{O}$ ) અગત્યનું સંયોજન છે જેનું ઉત્પાદન સામાન્ય પાણીના વિદ્યુતવિઘટન દ્વારા કરવામાં આવે છે. તે આવશ્યક રીતે ન્યુક્લિયર રિએક્ટરમાં ન્યુટ્રોન મંદક તરીકે ઉપયોગી છે.

હાઈડ્રોજન પેરોક્સાઈડ ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) અસમતલીય બંધારણ ધરાવે છે. તે ઔદ્યોગિક રંગનાશક અને ઔષધોમાં તથા ઘરેલુ અને ઔદ્યોગિક એકમો દ્વારા છોડવામાં આવતા નકામા પ્રવાહીના પ્રદૂષણમુક્ત ઉપચારમાં બહોળા પ્રમાણમાં વપરાય છે.

### સ્વાધ્યાય

- 9.1 આવર્તકોષ્ટકમાં હાઈડ્રોજન તત્ત્વના સ્થાનનું વાજબીપણું તેની ઈલેક્ટ્રોનીય રચનાના આધારે નક્કી કરો.
- 9.2 હાઈડ્રોજનના સમસ્થાનિકોના નામ લખો. આ સમસ્થાનિકોના દળ ગુણોત્તર શું છે ?
- 9.3 સામાન્ય સ્થિતિમાં હાઈડ્રોજન એક પરમાણ્વીય સ્વરૂપ કરતાં દ્વિપરમાણ્વીય સ્વરૂપમાં શા માટે જોવા મળે છે?
- 9.4 'કોલ ગેસિફિકેશન' દ્વારા થતું ડાયહાઇડ્રોજનનું ઉત્પાદન કેવી રીતે વધારી શકાય ?
- 9.5 વિદ્યુતવિભાજન પદ્ધતિ દ્વારા મોટા પાયે ડાયહાઇડ્રોજનની બનાવટ વર્ણવો. આ પ્રક્રમમાં વિદ્યુતવિભાજનની શું ભૂમિકા રહેલી છે ?
- 9.6 નીચે જણાવેલી પ્રક્રિયાઓ પૂર્ણ કરો :





- 9.7 ડાયહાઈડ્રોજનની રાસાયણિક પ્રતિક્રિયાત્મકતાના સ્વરૂપે H-H બંધની ઊંચી એન્ટાલ્પીના પરિણામોની ચર્ચા કરો.
- 9.8 હાઈડ્રોજનના (i) ઇલેક્ટ્રોન ઊણપવાળા (ii) ઇલેક્ટ્રોન પરિશુદ્ધ અને (iii) ઇલેક્ટ્રોન ધનિક સંયોજનો અંગે તમારી સમજ શું છે ? તમારા ઉત્તરનું વાજબીપણું યોગ્ય ઉદાહરણ દ્વારા સમજાવો.
- 9.9 ઇલેક્ટ્રોન ઊણપવાળા હાઈડ્રાઈડ સંયોજનોના બંધારણ અને રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓના આધારે તેની લાક્ષણિકતાઓ અંગે તમારી શું અપેક્ષાઓ છે ?
- 9.10 શું તમે એવી અપેક્ષા રાખો છો કે  $C_nH_{2n+2}$  પ્રકારના કાર્બન હાઈડ્રાઈડ સંયોજનો લુઈસ એસિડ કે બેઈઝની જેમ વર્તશે ? તમારા ઉત્તરનું વાજબીપણું જણાવો.
- 9.11 “બિનતત્ત્વયોગમિતિય હાઈડ્રાઈડ” અંગે તમારી સમજ શું છે ? શું તમે એવી અપેક્ષા રાખો છો કે આલ્કલી ધાતુઓ આ પ્રકારના હાઈડ્રાઈડ બનાવી શકે ? તમારા ઉત્તરનું વાજબીપણું આપો.
- 9.12 હાઈડ્રોજન સંગ્રહ માટે ધાત્વીય હાઈડ્રાઈડ કેવી રીતે ઉપયોગી છે ? સમજાવો.
- 9.13 પરમાણ્વીય હાઈડ્રોજન અથવા ઓક્સિ-હાઈડ્રોજન ટોર્ચ કાપવાના અને વેલ્ડિંગના કામમાં કેવી રીતે ઉપયોગી બને છે સમજાવો.
- 9.14 તમે  $NH_3$ ,  $H_2O$  અને  $HF$  પૈકી કોના હાઈડ્રોજન બંધના ઊંચા પરિમાણની અપેક્ષા રાખો છો ? શા માટે ?
- 9.15 ક્ષારીય હાઈડ્રાઈડ પાણી સાથે વિસ્ફોટકીય પ્રક્રિયા કરી આગ ઉત્પન્ન કરે છે. આ કિસ્સામાં અગ્નિશામક તરીકે જાણીતા  $CO_2$ નો ઉપયોગ કરી શકાય ? સમજાવો.
- 9.16 નીચે દર્શાવેલાની ગોઠવણી કરો :
- (i)  $CaH_2$ ,  $BeH_2$  અને  $TiH_2$ ને વિદ્યુત વાહકતાના ચડતા ક્રમમાં ગોઠવો.
- (ii)  $LiH$ ,  $NaH$  અને  $CsH$ ને આયનીય લાક્ષણિકતાના ચડતા ક્રમમાં ગોઠવો.
- (iii) H-H, D-D અને F-Fને બંધવિયોજન એન્ટાલ્પીના ચડતા ક્રમમાં ગોઠવો.
- (iv)  $NaH$ ,  $MgH_2$  અને  $H_2O$ ને રિડક્શન કરવાના ગુણધર્મના ચડતા ક્રમમાં ગોઠવો.
- 9.17  $H_2O$  અને  $H_2O_2$ ના બંધારણોની તુલના કરો.
- 9.18 પાણીના ‘સ્વયં પ્રોટોવિભાજન’ શબ્દ અંગે તમારી સમજ શું છે ? તેની સાર્થકતા શું છે ?
- 9.19 પાણીની  $F_2$  સાથેની પ્રક્રિયાને ધ્યાને લઈ ઓક્સિડેશન અને રિડક્શન સંદર્ભે જણાવો કે કઈ સ્પીસિઝનું ઓક્સિડેશન/રિડક્શન થશે ?
- 9.20 નીચે દર્શાવેલી રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ પૂર્ણ કરો :
- (i)  $PbS(s) + H_2O_2(aq) \rightarrow$
- (ii)  $MnO_4^-(aq) + H_2O_2(aq) \rightarrow$
- (iii)  $CaO(s) + H_2O(g) \rightarrow$
- (iv)  $AlCl_3(g) + H_2O(l) \rightarrow$
- (v)  $Ca_3N_2(s) + H_2O(l) \rightarrow$
- ઉપર દર્શાવેલી પ્રક્રિયાઓને (a) જળવિભાજન (b) રેડોક્ષ અને (c) જલીયકરણ પ્રક્રિયાઓમાં વર્ગીકૃત કરો.
- 9.21 બરફના સામાન્ય સ્વરૂપના બંધારણનું વર્ણન કરો.
- 9.22 કયા કારણોને લીધે પાણી અસ્થાયી અને સ્થાયી કઠિનતા ધરાવે છે ?
- 9.23 સાંશ્લેષિત આયન વિનિમય રેઝિન દ્વારા કઠિન પાણીને નરમ બનાવવાની પદ્ધતિ અને સિદ્ધાંતની ચર્ચા કરો.
- 9.24 પાણીના ઉભયધર્મી સ્વભાવ દર્શાવતી રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ લખો.

- 9.25 હાઈડ્રોજન પેરોક્સાઈડ ઓક્સિડેશનકર્તા અને રિડક્શનકર્તા તરીકે કાર્ય કરે છે તેવું વાજબીપણું દર્શાવતી રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ લખો.
- 9.26 વિખનિજિત પાણી એટલે શું ? તે કેવી રીતે મેળવી શકાય છે ?
- 9.27 શું વિખનિજિત પાણી અથવા નિસ્ચંદિત પાણીનો ઉપયોગ પીવા માટે કરી શકાય ? જો ના, તો તેને પીવાલાયક બનાવવા શું કરવું જોઈએ ?
- 9.28 જીવાવરણ અને જૈવપ્રણાલીમાં પાણીની ઉપયોગિતા વર્ણવો.
- 9.29 પાણીનો કયો ગુણધર્મ તેને દ્રાવક તરીકે ઉપયોગી બનાવે છે ? તે કયા પ્રકારના સંયોજનોને (i) દ્રાવ્ય કરી શકે છે અને (ii) જળવિભાજિત કરી શકે છે ?
- 9.30  $H_2O$  અને  $D_2O$ ના ગુણધર્મો જાણીએ છીએ તે પ્રમાણે શું તમે માનો છો કે  $D_2O$ ને પીવા માટે ઉપયોગમાં લઈ શકાય ?
- 9.31 'જળવિભાજન' અને 'જલીયકરણ' શબ્દો વચ્ચે શું તફાવત રહેલો છે ?
- 9.32 ક્ષારીય હાઈડ્રાઈડ કેવી રીતે કાર્બનિક સંયોજનોમાંથી પાણીની અલ્પમાત્રાને દૂર કરી શકે છે ?
- 9.33 પરમાણ્વીયક્રમાંક 15, 19, 23 અને 44વાળા તત્ત્વો જો ડાયહાઈડ્રોજન સાથે પ્રક્રિયા કરીને હાઈડ્રાઈડ બનાવતા હોય તો તમે તેમની પ્રકૃતિ વિષે શું અપેક્ષા રાખો છો ? પાણી સાથેની તેમની વર્તણૂકની તુલના કરો.
- 9.34 જ્યારે એલ્યુમિનિયમ (III) ક્લોરાઈડ અને પોટેશિયમ ક્લોરાઈડની જુદી જુદી (i) સામાન્ય પાણી (ii) એસિડિક પાણી અને (iii) બેઝિક પાણી સાથે પ્રક્રિયા કરવામાં આવે તો તમે તે દ્રાવણમાં કઈ નીપજોની અપેક્ષા રાખો છો ? જ્યાં જરૂરી લાગે ત્યાં રાસાયણિક સમીકરણો લખો.
- 9.35  $H_2O_2$  કેવી રીતે રંગનાશક તરીકે વર્તે છે ?
- 9.36 નીચે દર્શાવેલા શબ્દો અંગે તમારી સમજ શું છે ?  
 (i) હાઈડ્રોજન અર્થવ્યવસ્થા (ii) હાઈડ્રોજનીકરણ (iii) સિનગેસ (iv) જળવાયુ સ્થાનાંતર પ્રક્રિયા  
 (v) બળતણ કોષ

## s-વિભાગના તત્ત્વો (The s-Block Elements)

હેતુઓ :

આ એકમના અભ્યાસ પછી તમે...

- આલ્કલી ધાતુઓ અને તેમના સંયોજનોની સામાન્ય લાક્ષણિકતાઓને વર્ણવી શકશો.
- આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓ અને તેમના સંયોજનોની સામાન્ય લાક્ષણિકતાઓને સમજાવી શકશો.
- ઔદ્યોગિક રીતે મહત્ત્વ ધરાવતા પોર્ટેલેન્ડ સિમેન્ટ સહિતના સોડિયમ અને કેલ્શિયમના સંયોજનોના ઉત્પાદન, ગુણધર્મો અને ઉપયોગોને વર્ણવી શકશો.
- સોડિયમ, પોટેશિયમ, મેગ્નેશિયમ અને કેલ્શિયમની જૈવિક અગત્યને બિરદાવશો.

“આલ્કલી અને આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુ સમૂહોના પ્રથમ તત્ત્વ આ સમૂહોના અન્ય તત્ત્વોથી ઘણા ગુણધર્મોમાં જુદા પડે છે.”

આવર્તકોષ્ટકમાં s-વિભાગના તત્ત્વો એવા તત્ત્વો છે કે જેમાં છેલ્લો ઇલેક્ટ્રોન સૌથી બહારની s-કક્ષકમાં દાખલ થાય છે. s-કક્ષક માત્ર બે જ ઇલેક્ટ્રોન સમાવી શકે છે. તેથી આવર્તકોષ્ટકના s-વિભાગમાં બે સમૂહો (1 અને 2) આવેલા છે. આવર્તકોષ્ટકના સમૂહ 1માં લિથિયમ, સોડિયમ, પોટેશિયમ, રૂબિડિયમ, સિઝિયમ અને ફ્રાન્સિયમ તત્ત્વો આવેલા છે. સામૂહિક રીતે આ તત્ત્વો આલ્કલી ધાતુઓ તરીકે ઓળખાય છે. આ રીતે ઓળખાવાનું કારણ એ છે કે તેઓ પાણી સાથે પ્રક્રિયા કરી હાઈડ્રોક્સાઈડ બનાવે છે. તે સ્વભાવમાં પ્રબળ આલ્કલાઈન (બેઝિક) હોય છે. સમૂહ 2માં બેરિલિયમ, મેગ્નેશિયમ, કેલ્શિયમ, સ્ટ્રોન્શિયમ, બેરિયમ અને રેડિયમ તત્ત્વો આવેલા છે. આ તત્ત્વો બેરિલિયમના અપવાદ સિવાય સામાન્ય રીતે આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓ તરીકે ઓળખાય છે. કારણ કે તેઓના ઓક્સાઈડ અને હાઈડ્રોક્સાઈડ સ્વભાવમાં આલ્કલાઈન છે. આ ધાતુઓના ઓક્સાઈડ પૃથ્વીના પોપડામાં (crust)\* મળી આવે છે.

આલ્કલી ધાતુઓ પૈકી સોડિયમ અને પોટેશિયમ પૃથ્વીના પોપડામાં વિપુલ પ્રમાણમાં મળી આવે છે. જ્યારે લિથિયમ, રૂબિડિયમ અને સિઝિયમનું પ્રમાણ ઘણું ઓછું છે (કોષ્ટક 10.1). ફ્રાન્સિયમ ખૂબ જ રેડિયોસક્રિય છે. તેનો સૌથી વધુ આયુષ્ય ધરાવતો સમસ્થાનિક  $^{223}\text{Fr}$  નો અર્ધઆયુષ્ય સમય માત્ર 21 મિનિટ છે. આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓમાંની કેલ્શિયમ અને મેગ્નેશિયમનો વિપુલતાક્રમ પૃથ્વીના પોપડામાં અનુક્રમે પાંચમો અને છઠ્ઠો છે, જ્યારે સ્ટ્રોન્શિયમ અને બેરિયમ ખૂબ જ ઓછા પ્રમાણમાં ઉપલબ્ધ હોય છે. બેરિલિયમ વિરલ (rare) તત્ત્વ છે અને રેડિયમ અતિવિરલ છે. તેનું પ્રમાણ અગ્નિકૃત ખડકોના  $10^{-10}$  ટકા જેટલું જ છે (કોષ્ટક 10.2).

s-વિભાગના તત્ત્વોની સામાન્ય ઇલેક્ટ્રોનીય રચનામાં આલ્કલી ધાતુઓ માટે [ઉમદા વાયુ]  $ns^1$  અને આલ્કલાઈન અર્થધાતુઓ માટે [ઉમદા વાયુ]  $ns^2$  છે.

સમૂહ 1 અને સમૂહ 2ના પ્રથમ તત્ત્વો અનુક્રમે લિથિયમ અને બેરિલિયમ કેટલાક એવા ગુણધર્મો દર્શાવે છે કે તે જ સમૂહના અન્ય તત્ત્વો કરતા અલગ પડે છે. આ અનિયમિત ગુણધર્મો ધરાવતા તત્ત્વ તેમની પછીના સમૂહના બીજા ક્રમના તત્ત્વ સાથે સામ્યતા ધરાવે છે. આમ, લિથિયમ મેગ્નેશિયમ સાથે અને

\* પૃથ્વીના પાતળા બાહ્યસ્તરને પોપડો (crust) કહે છે. † મેગ્મા પિગલિત ખડકમાંથી બનેલો એક પ્રકારનો ખડક જે ઠંડો પડેલ છે અને સખત બનેલ છે.

બેરિલિયમ એલ્યુમિનિયમ સાથે તેમના ઘણા ગુણધર્મોમાં સામ્યતા દર્શાવે છે. આવર્તકોષ્ટકમાં આ પ્રકારની વિકર્ણીય સામ્યતાને સામાન્ય રીતે વિકર્ણ સંબંધ તરીકે દર્શાવવામાં આવે છે. આ વિકર્ણ સંબંધ તત્ત્વોના આયનીય કદ અને/અથવા વીજભાર/ત્રિજ્યા ગુણોત્તરને કારણે હોય છે. એક સંયોજક સોડિયમ અને પોટેશિયમ આયનો અને દ્વિસંયોજક મેગ્નેશિયમ અને કેલ્શિયમ આયનો જૈવિક દ્રવમાં (biological fluid) ખૂબ જ પ્રમાણમાં મળે છે. આ આયનો અગત્યના જૈવિક કાર્યો જેવા કે આયન સમતોલનની જાળવણી અને જ્ઞાનતંતુ વલણ વહન (nerve impulse conduction) કરે છે.

## 10.1 સમૂહ 1ના તત્ત્વો : આલ્કલી ધાતુઓ (Group 1 Elements : Alkali Metals)

આલ્કલી ધાતુઓના રાસાયણિક અને ભૌતિક ગુણધર્મોમાં પરમાણ્વીયક્રમાંક વધવાની સાથે નિયમિત વલણો જોવા મળ્યા છે. આલ્કલી ધાતુઓના પરમાણ્વીય, ભૌતિક અને રાસાયણિક ગુણધર્મોની ચર્ચા નીચે કરવામાં આવી છે :

### 10.1.1 ઇલેક્ટ્રોનીય રચના

#### (Electronic Configuration)

બધા આલ્કલી ધાતુ તત્ત્વો એક સંયોજકતા ઇલેક્ટ્રોન  $ns^1$  ધરાવે છે. આ ઇલેક્ટ્રોનીય રચનામાં ઉમદા વાયુ તત્ત્વોની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના સમાયેલી હોય છે. આ તત્ત્વોની બાહ્યતમ સંયોજકતા કક્ષામાં રહેલા ઇલેક્ટ્રોન સરળતાથી ગુમાવી શકાતા હોવાથી તે વધુ વિદ્યુતધન બને છે. તેઓ ઝડપથી ઇલેક્ટ્રોન ગુમાવીને એક સંયોજક  $M^+$  આયન બનાવે છે. આથી, તેઓ કુદરતમાં મુક્ત અવસ્થામાં મળી આવતા નથી.

તત્ત્વ	સંજ્ઞા	ઇલેક્ટ્રોનીય રચના
લિથિયમ	Li	$1s^2 2s^1$
સોડિયમ	Na	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$
પોટેશિયમ	K	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1$
રૂબિડિયમ	Rb	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 5s^1$
સિઝિયમ	Cs	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^{10} 5s^2 5p^6 6s^1$ અથવા $[Xe] 6s^1$
ફ્રાન્સિયમ	Fr	$[Rn] 7s^1$

### 10.1.2 પરમાણ્વીય અને આયનીય ત્રિજ્યા (Atomic and Ionic Radii)

આવર્તકોષ્ટકમાં કોઈ પણ આવર્તમાં આલ્કલી ધાતુઓના પરમાણ્વીય કદ સૌથી મોટા હોય છે. પરમાણ્વીયક્રમાંક વધવાની

સાથે પરમાણુના કદ પણ વધે છે. એક સંયોજક આયનો ( $M^+$ ) તેના જનક પરમાણુઓ કરતા નાના હોય છે. સમૂહમાં ઉપરથી નીચેની તરફ જતા આલ્કલી ધાતુઓની પરમાણ્વીય અને આયનીય ત્રિજ્યા વધતી જાય છે એટલે કે Li થી Cs તરફ જતા પરમાણ્વીય કદ વધે છે.

### 10.1.3 આયનીકરણ એન્થાલ્પી (Ionization Enthalpy)

આલ્કલી ધાતુઓની આયનીકરણ એન્થાલ્પી ઓછી હોય છે અને સમૂહમાં ઉપરથી નીચે Li થી Cs તરફ જતા આયનીકરણ એન્થાલ્પી ઘટે છે. આમ થવાનું કારણ વધતા જતા કેન્દ્રિય વીજભારની સરખામણીમાં વધતા જતા પરમાણ્વીય કદની અસર વધારે હોય છે તથા બાહ્યતમ કક્ષામાં રહેલા ઇલેક્ટ્રોન કેન્દ્રિય વીજભારથી પરિરક્ષિત થયેલા હોય છે.

### 10.1.4 જલીયકરણ એન્થાલ્પી (Hydration Enthalpy)

આલ્કલી ધાતુ આયનોની જલીયકરણ એન્થાલ્પીનું મૂલ્ય આયનીય કદ વધવાની સાથે ઘટે છે.



$Li^+$ નો જલીયકરણ અંશ સૌથી વધારે હોય છે અને આ કારણને લીધે જ લિથિયમ ક્ષારો મુખ્યત્વે જળયુક્ત હોય છે. દા.ત.,  $LiCl \cdot 2H_2O$

### 10.1.5 ભૌતિક ગુણધર્મો (Physical Properties)

બધી જ આલ્કલી ધાતુઓ ચાંદી જેવી સફેદ, નરમ અને વજનમાં હલકી હોય છે. તેમના મોટા કદના કારણે તેમની ઘનતા ઓછી હોય છે, જે સમૂહમાં Li થી Cs તરફ જતાં વધે છે. પોટેશિયમ સોડિયમ કરતાં હલકી ધાતુ છે. તેઓના નીચાં ગલનબિંદુ અને ઉત્કલનબિંદુ દર્શાવે છે કે તેઓમાં એકલ સંયોજકતા ઇલેક્ટ્રોન હોવાના કારણે નિર્બળ ધાત્વીય બંધ રહેલો છે. આલ્કલી ધાતુઓ અને તેના ક્ષારો ઓક્સિડાઇઝીંગ જ્યોતમાં લાક્ષણિક રંગ દર્શાવે છે. આમ થવાનું કારણ એ છે કે જ્યોતની ગરમી તેની બાહ્યતમ કક્ષામાં રહેલા ઇલેક્ટ્રોનને ઊંચા શક્તિ સ્તર પર ઉત્તેજિત કરે છે. જ્યારે ઉત્તેજિત થયેલા ઇલેક્ટ્રોન પાછા ધરાવસ્થામાં પરત આવે છે ત્યારે દૃશ્ય ક્ષેત્રમાં નીચે જણાવ્યા મુજબ વિકિરણ ઉત્સર્જન જોવા મળે છે.

ધાતુ	Li	Na	K	Rb	Cs
રંગ	કિરમજી લાલ	પીળો	જાંબલી	લાલ જાંબલી	વાદળી
$\lambda/nm$	670.8	589.2	766.5	780.0	455.5

તેથી આલ્કલી ધાતુઓને તેની અનુરૂપ જ્યોત કસોટીથી પારખી શકાય છે, જ્યારે તેમની સાંદ્રતાને જ્યોત પ્રકાશમિતિ (flame photometry) અથવા પરમાણ્વીય અવશોષણ વર્ણપટદર્શી (atomic absorption spectroscopy) દ્વારા નક્કી કરી શકાય છે. આ તત્ત્વો પર પ્રકાશ આપાત થાય છે ત્યારે

## કોષ્ટક 10.1 આલ્કલી ધાતુઓના પરમાણ્વીય અને ભૌતિક ગુણધર્મો

ગુણધર્મો	લિથિયમ Li	સોડિયમ Na	પોટેશિયમ K	રૂબિડિયમ Rb	સિઝિયમ Cs	ફ્રાન્સિયમ Fr
પરમાણ્વીયક્રમાંક	3	11	19	37	55	87
પરમાણ્વીયદળ ( $\text{g mol}^{-1}$ )	6.94	22.99	39.10	85.47	132.91	(223)
ઈલેક્ટ્રોનીય રચના	[He] $2s^1$	[Ne] $3s^1$	[Ar] $4s^1$	[Kr] $5s^1$	[Xe] $6s^1$	[Rn] $7s^1$
આયનીકરણ એન્ટાલ્પી / $\text{kJ mol}^{-1}$	520	496	419	403	376	~375
જલીયકરણ એન્ટાલ્પી / $\text{kJ mol}^{-1}$	-506	-406	-330	-310	-276	-
ધાત્વીય ત્રિજ્યા / pm	152	186	227	248	265	-
આયનીય ત્રિજ્યા $M^+$ / pm	76	102	138	152	167	(180)
ગ.ભિ. / K	454	371	336	312	302	-
ઉ.ભિ. / K	1615	1156	1032	961	944	-
ઘનતા / $\text{g cm}^{-3}$	0.53	0.97	0.86	1.53	1.90	-
પ્રમાણિત પોટેશિયલ ( $M^+$ / M) માટે $E^0$ / V	-3.04	-2.714	-2.925	-2.930	-2.927	-
મૃદાવરણમાં પ્રાપ્તિ†	18*	2.27**	1.84**	78-12*	2-6*	~ $10^{-18}$ *

\*ppm (parts per million), \*\* વજનથી ટકાવાર પ્રમાણ; † મૃદાવરણ : પૃથ્વીનું ઉપરનું સ્તર : તેનો પોપડો અને ઉપરના મેન્ટલનો ભાગ

પ્રકાશનું શોષણ થવાના કારણે પરમાણુ ઈલેક્ટ્રોન ગુમાવે છે. આ ગુણધર્મના કારણે સિઝિયમ અને પોટેશિયમનો ઉપયોગ પ્રકાશ વિદ્યુતકોષમાં વિદ્યુતધ્રુવ તરીકે થાય છે.

### 10.1.6 રાસાયણિક ગુણધર્મો (Chemical Properties)

આલ્કલી ધાતુઓ તેમના મોટા કદ અને નીચી આયનીકરણ એન્ટાલ્પીના કારણે ખૂબ જ પ્રતિક્રિયાત્મક છે. આ ધાતુઓની પ્રતિક્રિયાત્મકતા સમૂહમાં નીચે તરફ જતાં વધતી જાય છે.

(i) હવા પ્રત્યે પ્રતિક્રિયાત્મકતા : આલ્કલી ધાતુઓ શુષ્ક હવામાં ઝાંખી પડે છે. કારણ કે તેમના ઓક્સાઇડ બને છે, જે ભેજ સાથે પ્રક્રિયા કરી હાઇડ્રોક્સાઇડ બનાવે છે. તેઓ હવામાં જલદ રીતે સળગે છે અને ઓક્સાઇડ બનાવે છે. લિથિયમ મોનોક્સાઇડ બનાવે છે, સોડિયમ પેરોક્સાઇડ બનાવે છે, અન્ય ધાતુઓ સુપરઓક્સાઇડ બનાવે છે. સુપરઓક્સાઇડ ( $\text{O}_2^-$ ) આયન K, Rb, Cs જેવા મોટા ધનાયનની હાજરીમાં જ સ્થાયી હોય છે.

$$4 \text{Li} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{Li}_2\text{O} \text{ (ઓક્સાઇડ)}$$


આ બધા જ ઓક્સાઇડમાં આલ્કલી ધાતુની ઓક્સિડેશન અવસ્થા +1 છે. લિથિયમ હવામાંના નાઈટ્રોજન સાથે સીધી જ પ્રક્રિયા કરી અપવાદરૂપ વર્તણૂક દર્શાવી લિથિયમ નાઈટ્રાઇડ ( $\text{Li}_3\text{N}$ ) બનાવે છે. આલ્કલી ધાતુઓને તેમની પાણી અને હવા પ્રત્યેની ઊંચી પ્રતિક્રિયાત્મકતાને લીધે કેરોસીનમાં રાખવામાં આવે છે.

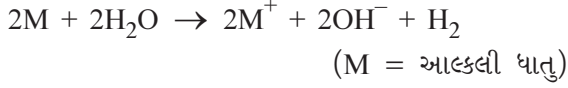
#### કોયડો 10.1

$\text{KO}_2$ માં Kની ઓક્સિડેશન અવસ્થા શું છે ?

ઉકેલ :

સુપરઓક્સાઇડ સ્પીસિઝને  $\text{O}_2^-$  તરીકે દર્શાવવામાં આવે છે. જો કે સંયોજન તટસ્થ છે તેથી પોટેશિયમની ઓક્સિડેશન અવસ્થા +1 છે.

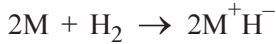
- (ii) પાણી પ્રત્યે પ્રતિક્રિયાત્મકતા : આલ્કલી ધાતુઓ પાણી સાથે પ્રક્રિયા કરી હાઈડ્રોક્સાઈડ અને ડાયહાઈડ્રોજન બનાવે છે.



અત્રે એ નોંધવું જરૂરી છે કે આલ્કલી ધાતુઓમાં લિથિયમના  $E^{\ominus}$ નું મૂલ્ય સૌથી વધુ ઋણ (કોષ્ટક 10.1) હોય છે. જ્યારે સોડિયમના  $E^{\ominus}$ નું મૂલ્ય સૌથી ઓછું ઋણ હોય છે. તેમ છતાં લિથિયમ સોડિયમ કરતાં ઓછી ઉગ્ર રીતે પાણી સાથે પ્રક્રિયા કરે છે. લિથિયમની આ વર્તણૂક તેના નાના કદ અને ઊંચી જલીયકરણ એન્થાલ્પીના કારણે ગણવામાં આવે છે. સમૂહની અન્ય ધાતુઓ પાણી સાથે સ્ફોટક રીતે પ્રક્રિયા કરે છે.

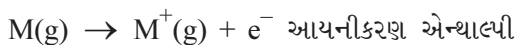
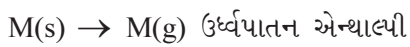
આ ઉપરાંત તેઓ પ્રોટોનદાતા જેવા કે આલ્કોહોલ, વાયુમય એમોનિયા અને આલ્કાઈન સાથે પ્રક્રિયા કરે છે.

- (iii) ડાયહાઈડ્રોજન પ્રત્યે પ્રતિક્રિયાત્મકતા : લગભગ 673 K (લિથિયમ માટે 1073 K) તાપમાને ડાયહાઈડ્રોજન આલ્કલી ધાતુઓ સાથે પ્રક્રિયા કરી હાઈડ્રાઈડ બનાવે છે. બધી આલ્કલી ધાતુઓના હાઈડ્રાઈડ ઘન અને આયનીય હોય છે, જેના ઉત્કલનબિંદુ ઊંચા હોય છે.



- (iv) હેલોજન પ્રત્યે પ્રતિક્રિયાત્મકતા : આલ્કલી ધાતુઓ હેલોજન સાથે ઝડપી ઉગ્ર પ્રક્રિયા કરી આયનીય હેલાઈડ  $M^+X^-$  બનાવે છે. જો કે લિથિયમના હેલાઈડ સંયોજનો અંશતઃ સહસંયોજક છે. આનું કારણ લિથિયમની ઊંચી ધ્રુવીભવન ક્ષમતા છે (ઋણાયનના ઈલેક્ટ્રોન વાદળનું ધનાયન દ્વારા વિકૃત થવાની ક્રિયાને ધ્રુવીભવન કહે છે).  $Li^+$  આયનનું કદ ઘણું નાનું હોય છે, તેથી  $Li^+$  હેલાઈડ ઋણાયનની આસપાસ ઇવાયેલા ઈલેક્ટ્રોન વાદળમાં વિકૃતિ લાવવા માટે વધુ ક્ષમતા ધરાવે છે. તેથી લિથિયમ આયોડાઈડ સૌથી વધુ સહસંયોજક પ્રકૃતિ દર્શાવે છે.

- (v) રિડક્શનકર્તા પ્રકૃતિ : આલ્કલી ધાતુઓ પ્રબળ રિડક્શનકર્તા છે. લિથિયમ સૌથી વધુ અને સોડિયમ સૌથી ઓછી શક્તિશાળી રિડક્શનકર્તા છે (કોષ્ટક 10.1). પ્રમાણિત વિદ્યુતધ્રુવ પોટેન્શિયલ રિડક્શનકર્તા તરીકેની શક્તિનું માપન કરે છે. જે એકંદર ફેરફારને દર્શાવે છે.



$M^+(g) + H_2O \rightarrow M^+(aq)$  જલીયકરણ એન્થાલ્પી  
લિથિયમ આયનનું કદ નાનું હોવાના કારણે તેની જલીયકરણ એન્થાલ્પીનું મૂલ્ય સૌથી વધુ હોય છે. જે

તેનું  $E^{\ominus}$ નું મૂલ્ય વધુ ઋણ હોવાને અને તે વધુ શક્તિશાળી રિડક્શનકર્તા હોવાને અનુમોદન આપે છે.

### કોયડો 10.2

$Cl_2/Cl^-$  માટે  $E^{\ominus}$ નું મૂલ્ય +1.36,  $I_2/I^-$  માટે +0.53,  $Ag^+/Ag$  માટે +0.79,  $Na^+/Na$  માટે -2.71 અને  $Li^+/Li$  માટે -3.04 છે. નીચે દર્શાવેલી આયનીય સ્પીસિઝને રિડક્શનકર્તા તરીકેની પ્રબળતાના ઉતરતા ક્રમમાં ગોઠવો :

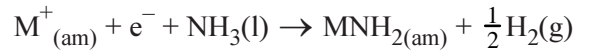
$I^-, Ag, Cl^-, Li, Na$

ઉકેલ :

આ ક્રમ :  $Li > Na > I^- > Ag > Cl^-$

- (vi) પ્રવાહી એમોનિયામાં દ્રાવણ : આલ્કલી ધાતુઓ પ્રવાહી એમોનિયામાં ઓગળે છે અને ઘેરા વાદળી રંગનું દ્રાવણ બનાવે છે, જે સ્વભાવે વિદ્યુતવાહક છે.

$M + (x + y)NH_3 \rightarrow [M(NH_3)_x]^+ + [e(NH_3)_y]^-$   
દ્રાવણનો વાદળી રંગ એમોનિયામય ઈલેક્ટ્રોનને લીધે છે, જે પ્રકાશના દૃશ્ય વિસ્તારમાં શક્તિ શોષે છે અને દ્રાવણને વાદળી રંગ આપે છે. આ દ્રાવણો અનુચુંબકીય છે અને તેમને મૂકી રાખતા ધીમે ધીમે ડાયહાઈડ્રોજન વાયુ મુક્ત કરે છે અને એમાઈડ બનાવે છે.



(જ્યાં 'am' એમોનિયામાં દ્રાવણ સૂચવે છે.) સાંદ્ર દ્રાવણોમાં વાદળી રંગ કાળા-ભૂરા(Bronze)રંગમાં ફેરવાય છે અને પ્રતિચુંબકીય બને છે.

### 10.1.7 ઉપયોગો (Uses)

લિથિયમનો ઉપયોગ અગત્યની મિશ્ર ધાતુઓ બનાવવામાં થાય છે. દા.ત., લેડની સાથે તે 'સફેદ ધાતુ' (white metal) બનાવે છે જેનાથી એન્જિનની બેરિંગ બનાવવામાં આવે છે. એલ્યુમિનિયમ સાથે જે મિશ્ર ધાતુ બનાવે છે તેનો ઉપયોગ વિમાનના ભાગો બનાવવામાં થાય છે. મેગ્નેશિયમ સાથે જે મિશ્ર ધાતુ બનાવે છે તેનો ઉપયોગ કવચ પ્લેટ (armour plates) બનાવવામાં થાય છે. આ પ્લેટનો ઉપયોગ થર્મોન્યુક્લિયર પ્રક્રિયાઓમાં થાય છે. લિથિયમનો ઉપયોગ વિદ્યુતરાસાયણિક કોષ બનાવવામાં પણ થાય છે. સોડિયમ ધાતુનો ઉપયોગ Na/Pb મિશ્ર ધાતુ બનાવવામાં થાય છે. જે  $PbEt_4$  અને  $PbMe_4$  બનાવવામાં જરૂરી છે. આ કાર્બલેડ (organolead) સંયોજનોને અગાઉ પેટ્રોલમાં અપસ્ફોટરોધી (anti knock) તરીકે ઉપયોગમાં લેવાતાં હતાં, પરંતુ હાલમાં વાહનોમાં લેડમુક્ત પેટ્રોલ વપરાય છે. પ્રવાહી સોડિયમનો ઉપયોગ ઝડપી પ્રજનક પરમાણુ ભટ્ટીમાં (fast breeder nuclear reactor)



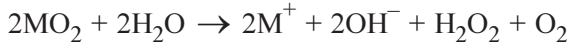
શીતક તરીકે થાય છે. પોટેશિયમ જૈવિક ક્રિયાઓમાં મહત્વની ભૂમિકા ભજવે છે. પોટેશિયમ ક્લોરાઇડ ખાતર તરીકે ઉપયોગી છે. પોટેશિયમ હાઇડ્રોક્સાઇડ નરમ સાબુના ઉત્પાદનમાં અને કાર્બન ડાયોક્સાઇડના અવશોષકના રૂપમાં ઉપયોગી છે. સિલિયમનો ઉપયોગ પ્રકાશવિદ્યુત કોષમાં થાય છે.

## 10.2 આલ્કલી ધાતુઓના સંયોજનોની સામાન્ય લાક્ષણિકતાઓ (General Characteristics of the Compounds of the Alkali Metals)

આલ્કલી ધાતુઓના બધા સામાન્ય સંયોજનો આયનીય પ્રકૃતિ ધરાવે છે. તેઓના કેટલાક સંયોજનોની સામાન્ય લાક્ષણિકતાઓની ચર્ચા અહીં કરવામાં આવી છે.

### 10.2.1 ઓક્સાઇડ અને હાઇડ્રોક્સાઇડ સંયોજનો (Oxides and Hydroxides)

વધુ હવાની હાજરીમાં દહન કરતા લિથિયમ મુખ્યત્વે ઓક્સાઇડ  $\text{Li}_2\text{O}$  (તથા કેટલોક પેરોક્સાઇડ  $\text{Li}_2\text{O}_2$ ), સોડિયમ પેરોક્સાઇડ  $\text{Na}_2\text{O}_2$  (અને કેટલોક સુપરઓક્સાઇડ  $\text{NaO}_2$ ) જ્યારે પોટેશિયમ, રૂબિડિયમ અને સિલિયમ સુપરઓક્સાઇડ  $\text{MO}_2$  બનાવે છે. યોગ્ય પરિસ્થિતિમાં શુદ્ધ સંયોજનો  $\text{M}_2\text{O}$ ,  $\text{M}_2\text{O}_2$  અને  $\text{MO}_2$  બનાવી શકાય છે. ધાતુ આયનોના કદ વધવાની સાથે સાથે પેરોક્સાઇડ અને સુપરઓક્સાઇડના સ્થાયીત્વમાં પણ વધારો થાય છે. તેનું કારણ લેટિસ ઊર્જા અસર દ્વારા મોટા ઋણ આયનોને મોટા ધનાયનો દ્વારા સ્થાયીતા આપવાનું છે. આ ઓક્સાઇડનું પાણી વડે સરળતાથી જળવિભાજન થઈ હાઇડ્રોક્સાઇડ બને છે જેની પ્રક્રિયાઓ નીચે દર્શાવી છે :



શુદ્ધ અવસ્થામાં ઓક્સાઇડ અને પેરોક્સાઇડ સંયોજનો રંગવિહીન હોય છે, પણ સુપરઓક્સાઇડ સંયોજનો પીળા અથવા નારંગી રંગના હોય છે. સુપરઓક્સાઇડ સંયોજનો અનુચુંબકીય પણ હોય છે. અકાર્બનિક રસાયણવિજ્ઞાનમાં સોડિયમ પેરોક્સાઇડનો ઓક્સિડેશનકર્તા તરીકે બહોળા પ્રમાણમાં ઉપયોગ થાય છે.

#### કોયડો 10.3

$\text{KO}_2$  શા માટે અનુચુંબકીય છે ?

ઉકેલ :

સુપરઓક્સાઇડ  $\text{O}_2^-$  અનુચુંબકીય છે. કારણ કે  $\pi^*2p$  આણ્વીયકક્ષકમાં એક અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોન રહેલો હોય છે.

ઓક્સાઇડ સંયોજનોની પાણી સાથેની પ્રક્રિયાથી મળતા હાઇડ્રોક્સાઇડ સંયોજનો બધા બેઈઝમાં સૌથી વધુ પ્રબળ હોય છે અને તેઓ પાણીમાં સરળતાથી દ્રાવ્ય થઈ ખૂબ જ ગરમી ઉત્પન્ન કરે છે. આમ થવાનું કારણ તીવ્ર જલીયકરણ છે.

### 10.2.2 હેલાઈડ સંયોજનો (Halides)

બધા જ આલ્કલી ધાતુ હેલાઈડ સંયોજનો MX (X = F, Cl, Br, I) ઊંચા ગલનબિંદુવાળા રંગવિહીન ઘન સ્ફટિક છે. આ સંયોજનોને યોગ્ય ઓક્સાઇડ, હાઇડ્રોક્સાઇડ અથવા કાર્બોનેટની જલીય હાઇડ્રોલેલિક એસિડ સાથે પ્રક્રિયા કરીને બનાવી શકાય છે. આ બધા હેલાઈડ વધુ ઋણ સર્જન એન્ટાલ્પી ધરાવે છે. આલ્કલી ધાતુના ફ્લોરાઇડના  $\Delta_f H^\ominus$ નું મૂલ્ય સમૂહમાં ઉપરથી નીચે તરફ જતાં ઓછું ઋણ થતું જાય છે, જ્યારે આલ્કલી ધાતુઓના ક્લોરાઇડ, બ્રોમાઇડ અને આયોડાઇડ સંયોજનો માટે  $\Delta_f H^\ominus$ નું મૂલ્ય તેનાથી બરાબર ઊલટું જોવા મળે છે. કોઈ પણ ધાતુ માટે  $\Delta_f H^\ominus$ નું મૂલ્ય ફ્લોરાઇડથી આયોડાઇડ તરફ હંમેશાં ઓછું ઋણ થતું જાય છે.

ગલનબિંદુ અને ઉત્કલનબિંદુનો ક્રમ હંમેશાં ફ્લોરાઇડ > ક્લોરાઇડ > બ્રોમાઇડ > આયોડાઇડ મુજબનો હોય છે. આ બધા હેલાઈડ સંયોજનો પાણીમાં દ્રાવ્ય હોય છે.  $\text{LiF}$ ની પાણીમાં ઓછી દ્રાવ્યતા તેની વધુ લેટિસ એન્ટાલ્પીના કારણે હોય છે તથા  $\text{CsI}$ ની પાણીમાં ઓછી દ્રાવ્યતા તેના બે આયનોની ઓછી જલીયકરણ એન્ટાલ્પીના કારણે હોય છે. લિથિયમના અન્ય હેલાઈડ સંયોજનો ઈથેનોલ, એસિટોન અને ઈથાઈલ એસિટેટમાં દ્રાવ્ય હોય છે.  $\text{LiCl}$  પીરીડીનમાં પણ દ્રાવ્ય છે.

### 10.2.3 ઓક્સો-એસિડના ક્ષારો (Salts of Oxo-acids)

ઓક્સો-એસિડ એવા સંયોજનો છે, જેમાં જે પરમાણુ પર એસિડિક પ્રોટોનવાળો હાઇડ્રોક્સિલ સમૂહ હોય છે તે જ પરમાણુ સાથે ઓક્સો-સમૂહ જોડાયેલો હોય છે. દા.ત., કાર્બોનિક એસિડ  $\text{H}_2\text{CO}_3[\text{OC}(\text{OH})_2]$ , સલ્ફ્યુરિક એસિડ  $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{O}_2\text{S}(\text{OH})_2)$ . આલ્કલી ધાતુઓ બધા ઓક્સો-એસિડ સાથે ક્ષાર બનાવે છે. તેઓ સામાન્ય રીતે પાણીમાં દ્રાવ્ય અને ઉષ્મીય રીતે સ્થાયી હોય છે. તેઓના કાર્બોનેટ ( $\text{M}_2\text{CO}_3$ ) અને મોટા ભાગના કિસ્સામાં હાઇડ્રોજન કાર્બોનેટ ( $\text{MHCO}_3$ ) પણ ઉષ્મીય રીતે વધુ સ્થાયી હોય છે. જેમ વિદ્યુતધન લાક્ષણિકતા સમૂહમાં નીચે તરફ જતા વધે છે તેમ કાર્બોનેટ અને હાઇડ્રોજન કાર્બોનેટની સ્થાયીતા વધે છે. લિથિયમ કાર્બોનેટ ઉષ્માની હાજરીમાં વધુ સ્થાયી નથી હોતો. લિથિયમનું કદ નાનું હોવાના કારણે તે મોટા ઋણ આયનો  $\text{CO}_3^{2-}$  ને ધ્રુવિત કરીને વધારે સ્થાયી  $\text{Li}_2\text{O}$  અને  $\text{CO}_2$  બનાવે છે. તેના હાઇડ્રોજન કાર્બોનેટનું અસ્તિત્વ ઘન અવસ્થામાં નથી હોતું.

### 10.3 લિથિયમના અનિયમિત (વિસંગત) ગુણધર્મો (Anomalous Properties of Lithium)

લિથિયમ નીચેના કારણોસર અનિયમિત વર્તણૂક દર્શાવે છે : (i) અપવાદ તરીકે લિથિયમ પરમાણુ અને તેના આયનનું નાનું કદ (ii) ઊંચી ધ્રુવીભવન શક્તિ (એટલે વીજભાર/ત્રિજ્યા ગુણોત્તર). પરિણામે લિથિયમ સંયોજનોની સહસંયોજક લાક્ષણિકતામાં વધારો થાય છે, જે તેઓની કાર્બનિક દ્રાવકમાં દ્રાવ્યતા માટે જવાબદાર હોય છે. વધુમાં લિથિયમ મેંગ્નેશિયમ સાથે વિકર્ણ સંબંધ દર્શાવે છે, જેની ચર્ચા આગળ ઉપર કરીશું.

#### 10.3.1 લિથિયમ અને અન્ય આલ્કલી ધાતુઓ વચ્ચેના તફાવતના મુદ્દાઓ (Points of Difference Between Lithium and Other Alkali Metals)

- લિથિયમ ઘણું સખત છે. તેના ગલનબિંદુ અને ઉત્કલનબિંદુ અન્ય આલ્કલી ધાતુઓ કરતાં ઊંચા છે.
- લિથિયમ આલ્કલી ધાતુઓમાં સૌથી ઓછું પ્રતિક્રિયાત્મક છે, પરંતુ સૌથી પ્રબળ રિડક્શનકર્તા છે. હવામાં દહન કરતાં તે મુખ્યત્વે મોનોક્સાઈડ  $\text{Li}_2\text{O}$  અને નાઈટ્રાઈડ  $\text{Li}_3\text{N}$  બનાવે છે, જે અન્ય આલ્કલી ધાતુઓમાં બનતું નથી.
- $\text{LiCl}$  જળશોષક છે અને જળયુક્ત ( $\text{LiCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) તરીકે સ્ફટિકીકરણ પામે છે. જ્યારે અન્ય આલ્કલી ધાતુ ક્લોરાઈડ જળયુક્ત સંયોજનો બનાવતા નથી.
- લિથિયમ હાઈડ્રોજન કાર્બોનેટ ઘન સ્વરૂપે મળતો નથી, જ્યારે અન્ય બધા જ તત્ત્વો ઘન હાઈડ્રોજન કાર્બોનેટ બનાવે છે.
- લિથિયમ અન્ય આલ્કલી ધાતુઓથી વિપરિત ઇથાઈન સાથેની પ્રક્રિયાથી ઇથાઈનાઈડ બનાવતો નથી.
- લિથિયમ નાઈટ્રેટને ગરમ કરવાથી લિથિયમ ઓક્સાઈડ ( $\text{Li}_2\text{O}$ ) બને છે, જ્યારે અન્ય આલ્કલી ધાતુઓના નાઈટ્રેટ તેમના અનુવર્તી નાઈટ્રાઈડમાં વિઘટન પામે છે.  

$$4\text{LiNO}_3 \rightarrow 2\text{Li}_2\text{O} + 4\text{NO}_2 + \text{O}_2$$

$$2\text{NaNO}_3 \rightarrow 2\text{NaNO}_2 + \text{O}_2$$
- $\text{LiF}$  અને  $\text{Li}_2\text{O}$  અન્ય આલ્કલી ધાતુઓના અનુવર્તી સંયોજનો કરતાં પાણીમાં ઘણા ઓછા દ્રાવ્ય છે.

#### 10.3.2 લિથિયમ અને મેંગ્નેશિયમ વચ્ચેની સામ્યતાના મુદ્દાઓ (Points of Similarities Between Lithium and Magnesium)

લિથિયમ અને મેંગ્નેશિયમ વચ્ચેની સામ્યતા ખાસ કરીને આશ્ચર્યજનક છે અને તે ઉદ્ભવવાનું કારણ તેઓના સરખાં કદ છે. પરમાણ્વીય ત્રિજ્યા  $\text{Li} = 152 \text{ pm}$ ,  $\text{Mg} = 160 \text{ pm}$ ; આયનીય ત્રિજ્યા  $\text{Li}^+ = 76 \text{ pm}$ ,  $\text{Mg}^{2+} = 72 \text{ pm}$ . સામ્યતાના મુખ્ય મુદ્દાઓ નીચે પ્રમાણે છે :

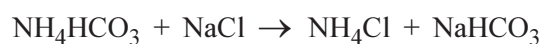
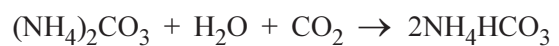
- લિથિયમ અને મેંગ્નેશિયમ તેઓના અનુવર્તી સમૂહોના અન્ય તત્ત્વો કરતાં વધારે સખત અને હલકાં છે.
- લિથિયમ અને મેંગ્નેશિયમ પાણી સાથે ધીમેથી પ્રક્રિયા કરે છે. તેના ઓક્સાઈડ અને હાઈડ્રોક્સાઈડ પાણીમાં ઘણા ઓછા દ્રાવ્ય છે. તેમના હાઈડ્રોક્સાઈડને ગરમ કરતાં વિઘટન પામે છે. લિથિયમ અને મેંગ્નેશિયમ બંને નાઈટ્રોજન સાથે સીધા સંયોજાઈ નાઈટ્રાઈડ ( $\text{Li}_3\text{N}$  અને  $\text{Mg}_3\text{N}_2$ ) આપે છે.
- ઓક્સાઈડ  $\text{Li}_2\text{O}$  અને  $\text{MgO}$  વધુ ઓક્સિજન સાથે સંયોજાઈ કોઈ સુપરઓક્સાઈડ આપતા નથી.
- લિથિયમ અને મેંગ્નેશિયમના કાર્બોનેટને ગરમ કરતાં સહેલાઈથી વિઘટન પામે છે અને ઓક્સાઈડ તથા કાર્બન ડાયોક્સાઈડ આપે છે. લિથિયમ અને મેંગ્નેશિયમ દ્વારા ઘન હાઈડ્રોજન કાર્બોનેટ બનતા નથી.
- $\text{LiCl}$  અને  $\text{MgCl}_2$  બંને ઇથેનોલમાં દ્રાવ્ય છે.
- $\text{LiCl}$  અને  $\text{MgCl}_2$  બંને ભેજગ્રાહી છે અને જલીય દ્રાવણમાંથી  $\text{LiCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  તથા  $\text{MgCl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  તરીકે સ્ફટિકીકરણ પામે છે.

### 10.4 સોડિયમના કેટલાક અગત્યના સંયોજનો (Some Important Compounds of Sodium)

ઔદ્યોગિક રીતે ઉપયોગી સોડિયમના સંયોજનોમાં સોડિયમ કાર્બોનેટ, સોડિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડ, સોડિયમ ક્લોરાઈડ અને સોડિયમ બાયકાર્બોનેટનો સમાવેશ થાય છે. આ સંયોજનોનું મોટા પાયે ઉત્પાદન અને તેઓના ઉપયોગો નીચે વર્ણવ્યા છે :

#### સોડિયમ કાર્બોનેટ (વોશિંગ સોડા) $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ :

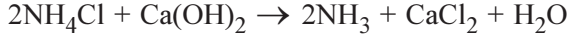
સામાન્ય રીતે સોડિયમ કાર્બોનેટને સોલ્વે પદ્ધતિથી બનાવવામાં આવે છે. આ પ્રક્રિયામાં સોડિયમ હાઈડ્રોજન કાર્બોનેટની ઓછી દ્રાવ્યતાનો લાભ લેવામાં આવે છે. જેથી તે સોડિયમ ક્લોરાઈડની એમોનિયમ હાઈડ્રોજન કાર્બોનેટ સાથેની પ્રક્રિયાથી અવક્ષેપન પામે છે. એમોનિયા વડે સંતૃપ્ત કરવામાં આવેલા સોડિયમ ક્લોરાઈડના સાંદ્ર દ્રાવણમાંથી  $\text{CO}_2$  વાયુ પસાર કરવાથી એમોનિયમ કાર્બોનેટ અને ત્યારબાદ એમોનિયમ હાઈડ્રોજન કાર્બોનેટ બને છે. આ સંપૂર્ણ પ્રક્રિયાને સમીકરણ સ્વરૂપે નીચે મુજબ લખી શકાય છે :



સોડિયમ હાઈડ્રોજન કાર્બોનેટ સ્ફટિકને અલગ કરવામાં આવે છે, તેને ગરમ કરવાથી સોડિયમ કાર્બોનેટ બને છે.

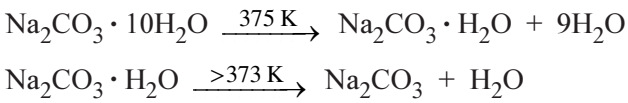


આ પ્રક્રિયામાં  $\text{NH}_4\text{Cl}$  ધરાવતા દ્રાવણમાં  $\text{Ca(OH)}_2$  ઉમેરતાં  $\text{NH}_3$  ને પુનઃપ્રાપ્ત કરી શકાય છે. કેલ્શિયમ ક્લોરાઇડ ઉપનીપજ તરીકે મળે છે.



અત્રે એ નોંધવું જરૂરી છે કે સોલ્વે પ્રક્રિયા પોટેશિયમ કાર્બોનેટના ઉત્પાદન માટે વાપરી શકાય નહિ. કારણ કે પોટેશિયમ હાઇડ્રોજન કાર્બોનેટ એટલો બધો દ્રાવ્ય છે કે પોટેશિયમ ક્લોરાઇડના સંતૃપ્ત દ્રાવણમાં એમોનિયમ હાઇડ્રોજન કાર્બોનેટ ઉમેરવા છતાં પણ તે અવક્ષેપન પામતો નથી.

**ગુણધર્મો :** સોડિયમ કાર્બોનેટ સફેદ સ્ફટિકમય ઘન પદાર્થ છે. જે ડેકાહાઇડ્રેટ ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) તરીકે અસ્તિત્વ ધરાવે છે. તેને ધોવાના સોડા તરીકે પણ ઓળખવામાં આવે છે. તે પાણીમાં સરળતાથી દ્રાવ્ય થાય છે. આ સંયોજનને ગરમ કરતાં ડેકાહાઇડ્રેટમાંથી સ્ફટિકજળ ગુમાવે છે અને મોનોહાઇડ્રેટ બનાવે છે. 373 Kથી ઊંચા તાપમાને મોનોહાઇડ્રેટ સંપૂર્ણપણે નિર્જલીય બને છે અને સફેદ પાઉડરમાં ફેરવાય છે, જેને સોડાએશ કહે છે.



સોડિયમ કાર્બોનેટનો કાર્બોનેટ ભાગ પાણી વડે જળ-વિભાજન પામી દ્રાવણને આલ્કલાઇન બનાવે છે.



**ઉપયોગો :**

- તે કઠિન પાણીને નરમ બનાવવામાં, ધોબી કામમાં અને સ્વચ્છીકરણમાં ઉપયોગી છે.
- તે કાચ, સાબુ, બોરેક્ષ અને કોસ્ટિક સોડા જેવા સંયોજનોના ઉત્પાદનમાં ઉપયોગી છે.
- તે કાગળ, રંગ અને કાપડ ઉદ્યોગોમાં ઉપયોગી છે.
- તે પ્રયોગશાળાના અગત્યના પ્રક્રિયક તરીકે જથ્થાત્મક અને ગુણાત્મક પૃથક્કરણમાં ઉપયોગી છે.

**સોડિયમ ક્લોરાઇડ (NaCl)**

સોડિયમ ક્લોરાઇડનો મુખ્ય સ્ત્રોત સમુદ્રનું પાણી છે, જેમાં તેના દળના લગભગ 2.7થી 2.9 ટકા ક્ષાર હોય છે. આપણા દેશ જેવા દેશોમાં સમુદ્રજળના બાષ્પીભવનથી મીઠું પ્રાપ્ત કરવામાં આવે છે. આપણા દેશમાં દર વર્ષે સૂર્ય દ્વારા બાષ્પીભવનથી લગભગ 50 લાખ ટન મીઠાનું ઉત્પાદન કરવામાં આવે છે. અશુદ્ધ (crude) સોડિયમ ક્લોરાઇડને સામાન્ય રીતે ક્ષારીય દ્રાવણમાંથી સ્ફટિકીકરણ દ્વારા મેળવાય

છે. આ અશુદ્ધ સોડિયમ ક્લોરાઇડમાં સોડિયમ સલ્ફેટ, કેલ્શિયમ સલ્ફેટ, કેલ્શિયમ ક્લોરાઇડ અને મેગ્નેશિયમ ક્લોરાઇડ જેવા સંયોજનો અશુદ્ધિ તરીકે હોય છે. કેલ્શિયમ ક્લોરાઇડ અને મેગ્નેશિયમ ક્લોરાઇડની અશુદ્ધિનું કારણ તેઓનો ભેજશોષક સ્વભાવ છે (વાતાવરણમાંથી ભેજને સહેલાઈથી શોષે છે). શુદ્ધ સોડિયમ ક્લોરાઇડ પ્રાપ્ત કરવા માટે અશુદ્ધ ક્ષારને પાણીની થોડી માત્રામાં ઓગાળવામાં આવે છે અને અદ્રાવ્ય અશુદ્ધિઓને ગાળણ ક્રિયાથી દૂર કરવામાં આવે છે. આ દ્રાવણને હાઇડ્રોજન ક્લોરાઇડ વાયુ વડે સંતૃપ્ત કરવામાં આવે છે જેથી શુદ્ધ સોડિયમ ક્લોરાઇડના સ્ફટિકને અલગ તારવી શકાય છે, જ્યારે કેલ્શિયમ ક્લોરાઇડ અને મેગ્નેશિયમ ક્લોરાઇડ પાણીમાં વધુ દ્રાવ્ય હોવાના કારણે દ્રાવણમાં જ રહે છે.

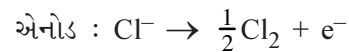
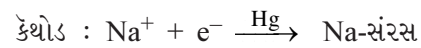
સોડિયમ ક્લોરાઇડ 1081 K તાપમાને પીગળે છે. તેની દ્રાવ્યતા 273 K તાપમાને 100 g પાણીમાં 36 g છે. તાપમાન વધવાની સાથે તેની દ્રાવ્યતામાં વિશેષ વધારો જોવા મળતો નથી.

**ઉપયોગો :**

- તે ઘરેલુ વપરાશમાં સામાન્ય મીઠા તરીકે ઉપયોગી છે.
- તે  $\text{Na}_2\text{O}_2$ ,  $\text{NaOH}$  અને  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ની બનાવટમાં ઉપયોગી છે.

**સોડિયમ હાઇડ્રોક્સાઇડ (કોસ્ટિક સોડા) (NaOH)**

સોડિયમ હાઇડ્રોક્સાઇડનું ઔદ્યોગિક ઉત્પાદન સામાન્ય રીતે કાસ્ટનર કેલનર (Castner-Kellner) કોષમાં સોડિયમ ક્લોરાઇડના વિદ્યુતવિભાજન દ્વારા કરવામાં આવે છે. ક્ષારીય દ્રાવણનું મરક્યુરી કેથોડ અને કાર્બન એનોડ વાપરીને વિદ્યુત-વિભાજન કરવામાં આવે છે. કેથોડ પર મુક્ત થતી સોડિયમ ધાતુ મરક્યુરી સાથે જોડાઈને સોડિયમ સંરસ (amalgam) બનાવે છે અને એનોડ પર ક્લોરિન વાયુ ઉત્પન્ન થાય છે.



આ સંરસની પાણી સાથે પ્રક્રિયા કરવાથી સોડિયમ હાઇડ્રોક્સાઇડ અને ડાયહાઇડ્રોજન વાયુ ઉત્પન્ન થાય છે.



સોડિયમ હાઇડ્રોક્સાઇડ સફેદ પારભાષક (translucent) ઘન પદાર્થ છે. તે 591 K તાપમાને પીગળે છે. તે પાણી સાથે પ્રક્રિયા કરી તેમાં ઓગળે છે અને પ્રબળ આલ્કલાઇન દ્રાવણ બનાવે છે. સોડિયમ હાઇડ્રોક્સાઇડના સ્ફટિકો ભેજશોષક છે. તેના દ્રાવણની સપાટી પર રહેલો સોડિયમ હાઇડ્રોક્સાઇડ વાતાવરણમાંના  $\text{CO}_2$  સાથે પ્રક્રિયા કરીને  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  બનાવે છે.

**ઉપયોગો :** સોડિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડનો ઉપયોગ : (i) સાબુ, કાગળ, કૃત્રિમ રેશમ અને અસંખ્ય રસાયણો બનાવવામાં થાય છે. (ii) પેટ્રોલિયમના શુદ્ધીકરણમાં થાય છે. (iii) બોક્સાઈટના શુદ્ધીકરણમાં થાય છે. (iv) કાપડ ઉદ્યોગમાં સુતરાઉ કાપડને સુંવાળુ બનાવવામાં થાય છે. (v) શુદ્ધ ચરબી અને તેલ બનાવવા માટે થાય છે. (vi) પ્રયોગશાળામાં પ્રક્રિયક તરીકે થાય છે.

### સોડિયમ હાઈડ્રોજન કાર્બોનેટ (બેકિંગ સોડા) $\text{NaHCO}_3$

સોડિયમ હાઈડ્રોજન કાર્બોનેટ બેકિંગ સોડા તરીકે ઓળખાય છે. કારણ કે તેને ગરમ કરતાં તે વિઘટન પામે છે અને મુક્ત થતા કાર્બન ડાયોક્સાઈડના પરપોટા ઉત્પન્ન કરે છે (જેને લીધે કેક અથવા પેસ્ટ્રી જેવા ખાદ્ય પદાર્થોમાં છિદ્રો રચાય છે. તેથી તે હલકા અને પોચા બને છે.)

સોડિયમ હાઈડ્રોજન કાર્બોનેટ બનાવવા માટે સોડિયમ કાર્બોનેટના દ્રાવણને કાર્બન ડાયોક્સાઈડ વડે સંતૃપ્ત કરવામાં આવે છે. પાણીમાં ઓછા દ્રાવ્ય સોડિયમ હાઈડ્રોજન કાર્બોનેટના સફેદ સ્ફટિકોને અલગ તારવવામાં આવે છે.



સોડિયમ હાઈડ્રોજન કાર્બોનેટ ચામડીના રોગોના ચેપ માટે મંદ ચેપનાશક છે. તેનો ઉપયોગ અગ્નિશામકમાં થાય છે.

### 10.5 સોડિયમ અને પોટેશિયમની જૈવિક અગત્ય (Biological Importance of Sodium and Potassium)

70 kg વજન ધરાવતી કોઈ સામાન્ય વ્યક્તિ 90 g Na અને 170 g K ધરાવે છે. જેની સરખામણીમાં 5 g Fe અને 0.06 g Cu ધરાવે છે.

સોડિયમ આયન પ્રાથમિક રીતે રુધિર પ્લાઝ્મામાં રહેલા કોષની બહારની બાજુએ અને આંતરાલીય પ્રવાહી જે કોષની આજુબાજુ હોય છે તેમાં રહેલા હોય છે. આ આયનો જ્ઞાનતંતુ સંદેશાવહન માટે, કોષ પડદાની વચ્ચે પાણીના વહેણના નિયમન માટે, કોષમાં શર્કરા તથા એમિનો એસિડના વહન માટે ભાગ ભજવે છે. સોડિયમ અને પોટેશિયમ આયન રાસાયણિક દૃષ્ટિએ ઘણી જ સામ્યતા ધરાવતા જણાય છે. પરંતુ કોષપટલમાંથી પસાર થવું, તેમની વહન ક્રિયાવિધિ અને તેમની ઉત્સેચકને સક્રિયકૃત કરવાની ક્ષમતામાં તેઓ જથ્થાત્મક રીતે અલગ પડે છે. આમ, પોટેશિયમ આયનો કોષ દ્રવમાં વિપુલ પ્રમાણમાં રહેલા ધનાયન છે જ્યાં તેઓ ઉત્સેચકને સક્રિયકૃત કરે છે અને ગ્લુકોઝના ઓક્સિડેશનથી ATP ઉત્પન્ન કરવા માટે ભાગ ભજવવામાં અને સોડિયમ સાથે જ્ઞાનતંતુ સિગ્નલમાં પ્રસરણ માટે જવાબદાર છે.

કોષપટલની વિરુદ્ધ બાજુઓએ સોડિયમ અને પોટેશિયમ આયનોની સાંદ્રતામાં પ્રમાણમાં નોંધપાત્ર વિચલન જણાય છે.

એક વિશિષ્ટ ઉદાહરણ લઈએ તો, રુધિર પ્લાઝ્મામાંના રક્તકણોમાં સોડિયમ આયનનું સ્તર  $143 \text{ mmolL}^{-1}$  જેટલું હોય છે. જ્યારે પોટેશિયમ આયનનું સ્તર માત્ર  $5 \text{ mmolL}^{-1}$  છે. આ સાંદ્રતાઓ બદલાઈને  $10 \text{ mmolL}^{-1} (\text{Na}^+)$  અને  $105 \text{ mmolL}^{-1} (\text{K}^+)$  થાય છે. આ આયનીય ઉતાર-ચઢાવ એક વિભેદનીય ક્રિયાવિધિનું નિર્દેશન કરે છે. જેને સોડિયમ પોટેશિયમ પંપ કહે છે. આ પંપ પ્રાણી આરામ કરતું હોય ત્યારે એક તૃતીયાંશ ભાગથી વધારે ATPનો વપરાશ કરે છે અને આરામ કરતાં માનવમાં દર 24 કલાકે આશરે 15 kg જેટલું હોય છે.

### 10.6 સમૂહ 2ના તત્ત્વો : આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓ (Group 2 Elements : Alkaline Earth Metals)

સમૂહ 2માં બેરિલિયમ, મેગ્નેશિયમ, કેલ્શિયમ, સ્ટ્રોન્શિયમ, બેરિયમ અને રેડિયમ તત્ત્વોનો સમાવેશ થાય છે. આવર્તકોષ્ટકમાં તેઓ આલ્કલી ધાતુઓ પછીના સમૂહમાં આવે છે. આ તત્ત્વોને (બેરિલિયમ સિવાય) આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓ તરીકે ઓળખવામાં આવે છે. પ્રથમ તત્ત્વ બેરિલિયમ સમૂહના અન્ય તત્ત્વોથી અલગ પડે છે અને એલ્યુમિનિયમ તત્ત્વ સાથે વિકર્ણ સંબંધ દર્શાવે છે. આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓના પરમાણ્વીય અને ભૌતિક ગુણધર્મો કોષ્ટક 10.2માં દર્શાવેલા છે.

#### 10.6.1 ઈલેક્ટ્રોનીય રચના (Electronic Configuration)

આ તત્ત્વોની સંયોજકતા કોષની s-કક્ષકમાં બે ઈલેક્ટ્રોન હોય છે (કોષ્ટક 10.2). તેઓની સામાન્ય ઈલેક્ટ્રોનીય રચના [ઉમદા વાયુ]  $ns^2$  તરીકે દર્શાવી શકાય છે. આલ્કલી ધાતુઓની જેમ આ તત્ત્વોના સંયોજનો મુખ્યત્વે આયનીય પ્રકૃતિ ધરાવે છે.

તત્ત્વ	સંજ્ઞા	ઈલેક્ટ્રોનીય રચના
બેરિલિયમ	Be	$1s^2 2s^2$
મેગ્નેશિયમ	Mg	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$
કેલ્શિયમ	Ca	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2$
સ્ટ્રોન્શિયમ	Sr	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 5s^2$
બેરિયમ	Ba	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^{10} 5s^2 5p^6 6s^2$ or [Xe] $6s^2$
રેડિયમ	Ra	[Rn] $7s^2$

#### 10.6.2 પરમાણ્વીય અને આયનીય ત્રિજ્યા (Atomic and Ionic Radii)

એક જ આવર્તમાં રહેલી આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓની પરમાણ્વીય અને આયનીય ત્રિજ્યા તેને અનુવર્તી આલ્કલી

## કોષ્ટક 10.2 આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓના પરમાણ્વીય અને ભૌતિક ગુણધર્મો

ગુણધર્મો	બેરિલિયમ Be	મેગ્નેશિયમ Mg	કૅલ્શિયમ Ca	સ્ટ્રોન્શિયમ Sr	બેરિયમ Ba	રેડિયમ Ra
પરમાણ્વીય-ક્રમાંક	4	12	20	38	56	88
પરમાણ્વીયદળ (g mol <sup>-1</sup> )	9.01	24.31	40.08	87.62	137.33	226.03
ઈલેક્ટ્રોનીય રચના	[He] 2s <sup>2</sup>	[Ne] 3s <sup>2</sup>	[Ar] 4s <sup>2</sup>	[Kr] 5s <sup>2</sup>	[Xe] 6s <sup>2</sup>	[Rn] 7s <sup>2</sup>
આયનીકરણ એન્ટાલ્પી (I) / kJ mol <sup>-1</sup>	899	737	590	549	503	509
આયનીકરણ એન્ટાલ્પી (II) /kJ mol <sup>-1</sup>	1757	1450	1145	1064	965	979
જલીયકરણ એન્ટાલ્પી (kJ/mol)	- 2494	- 1921	-1577	- 1443	- 1305	-
ધાત્વીય ત્રિજ્યા / pm	111	160	197	215	222	-
આયનીય ત્રિજ્યા M <sup>2+</sup> / pm	31	72	100	118	135	148
ગ.બિં. / K	1560	924	1124	1062	1002	973
ઉ.બિં. / K	2745	1363	1767	1655	2078	(1973)
ઘનતા / g cm <sup>-3</sup>	1.84	1.74	1.55	2.63	3.59	(5.5)
પ્રમાણિત પોટેન્શિયલ (M <sup>2+</sup> / M) માટે E <sup>0</sup> / V	-1.97	-2.36	-2.84	-2.89	- 2.92	-2.92
મૃદાવરણમાં પ્રાપ્તિ	2*	2.76**	4.6**	384*	390 *	10 <sup>-6</sup> *

\*ppm (parts per million); \*\* વજનથી ટકાવાર પ્રમાણ

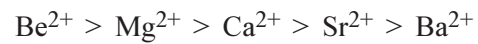
ધાતુઓની પરમાણ્વીય અને આયનીય ત્રિજ્યા કરતાં ઓછી હોય છે. આમ થવાનું કારણ આ તત્ત્વોમાં વધતો જતો કેન્દ્રિય વીજભાર છે, એક જ સમૂહમાં તત્ત્વોનો પરમાણ્વીયક્રમાંક વધવાની સાથે પરમાણ્વીય અને આયનીય ત્રિજ્યા વધે છે.

### 10.6.3 આયનીકરણ એન્ટાલ્પી (Ionization Enthalpies)

આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓની નીચી આયનીકરણ એન્ટાલ્પીનું કારણ પરમાણુઓના કંઈક અંશે મોટા કદ છે. સમૂહમાં ઉપરથી નીચે તરફ જઈએ તેમ પરમાણ્વીય કદ વધવાની સાથે તેમની આયનીકરણ એન્ટાલ્પી ઘટે છે (કોષ્ટક 10.2). આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓની પ્રથમ આયનીકરણ એન્ટાલ્પી તેમને અનુવર્તી સમૂહ-1ની ધાતુઓ કરતાં વધારે છે. આનું કારણ તેમને અનુવર્તી આલ્કલી ધાતુઓની સરખામણીમાં તેમના નાના કદ છે. એ નોંધવું રસપ્રદ છે કે આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓની દ્વિતીય આયનીકરણ એન્ટાલ્પી તેમને અનુવર્તી આલ્કલી ધાતુઓની આયનીકરણ એન્ટાલ્પી કરતાં ઓછી છે.

### 10.6.4 જલીયકરણ એન્ટાલ્પી (Hydration Enthalpies)

આલ્કલી ધાતુ આયનોની જેમ આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુ આયનોની જલીયકરણ એન્ટાલ્પીનું મૂલ્ય સમૂહમાં નીચેની તરફ જતાં આયનીય કદ વધવાની સાથે ઘટે છે.



આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુ આયનોની જલીયકરણ એન્ટાલ્પીનું મૂલ્ય આલ્કલી ધાતુ આયનોની જલીયકરણ એન્ટાલ્પી કરતાં વધારે હોય છે. આથી આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓના સંયોજનો આલ્કલી ધાતુઓના સંયોજનો કરતાં વધુ પ્રમાણમાં જલીયકરણ પામેલા હોય છે. દા.ત., MgCl<sub>2</sub> અને CaCl<sub>2</sub> અનુક્રમે MgCl<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O અને CaCl<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O તરીકે અસ્તિત્વ ધરાવે છે, જ્યારે NaCl અને KCl જળયુક્ત હોતા નથી.

### 10.6.5 ભૌતિક ગુણધર્મો (Physical Properties)

આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓ સામાન્ય રીતે ચાંદી જેવી સફેદ, ચળકતી અને પોચી પણ સાપેક્ષમાં આલ્કલી ધાતુઓ કરતાં કઠણ છે. બેરિલિયમ અને મેગ્નેશિયમ કંઈક અંશે રાખોડી રંગની

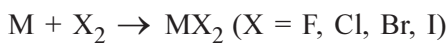
દેખાય છે. આ ધાતુઓના ગલનબિંદુ અને ઉત્કલનબિંદુ તેમને અનુવર્તી આલ્કલી ધાતુઓ કરતાં ઊંચા હોય છે, કારણ કે તેમના કદ નાનાં છે. આ વલણ જો કે નિયમિત નથી. નીચી આયનીકરણ એન્ટાલ્પીને કારણે તેઓ સ્વભાવે પ્રબળ વિદ્યુતધનમય હોય છે. સમૂહમાં Beથી Ba તરફ જતાં વિદ્યુતધનમય લાક્ષણિકતામાં વધારો થાય છે. કેલ્શિયમ, સ્ટ્રોન્શિયમ અને બેરિયમ લાક્ષણિક જ્યોત અનુક્રમે ઈટ જેવી લાલ, કિરમજી લાલ અને આછી લીલી આપે છે. જ્યોતમાં તત્ત્વની બાહ્ય કક્ષાનો ઈલેક્ટ્રોન ઉત્તેજિત થઈ ઊંચા શક્તિસ્તરમાં જાય છે અને ત્યારબાદ તે ધરાસ્થિતિમાં પાછો આવે છે ત્યારે તે દૃશ્યપ્રકાશ સ્વરૂપે શક્તિ ઉત્સર્જિત કરે છે. બેરિલિયમ અને મેંગનેશિયમના ઈલેક્ટ્રોન એટલી પ્રબળ રીતે જોડાયેલા હોય છે કે તે જ્યોતમાં ઉત્તેજિત થઈ કોઈ રંગ દર્શાવી શકતા નથી. Ca, Sr અને Ba તત્ત્વોને ગુણાત્મક પૃથક્કરણમાં જ્યોત ક્સોટી કરી પારખવામાં આવે છે. કેલ્શિયમનું જથ્થાત્મક પૃથક્કરણ જ્યોત પ્રકાશમિતિ દ્વારા કરવામાં આવે છે. આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓ આલ્કલી ધાતુઓની જેમ ઊંચી વિદ્યુતીય અને ઉષ્મીય વાહકતા ધરાવે છે. આ ધાતુઓની આ એક ખાસ લાક્ષણિકતા છે.

### 10.6.6 રાસાયણિક ગુણધર્મો (Chemical Properties)

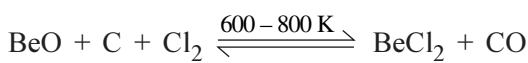
આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓ આલ્કલી ધાતુઓ કરતાં ઓછી પ્રતિક્રિયાત્મક છે. સમૂહમાં નીચે તરફ જતાં આ તત્ત્વોમાં પ્રતિક્રિયાત્મકતા વધતી જાય છે.

(i) હવા અને પાણી પ્રત્યે પ્રતિક્રિયાત્મકતા : બેરિલિયમ અને મેંગનેશિયમ ગતિકીય રીતે ઓક્સિજન અને પાણી પ્રત્યે નિષ્ક્રિય હોય છે, કારણ કે તેઓની સપાટી પર ઓક્સાઈડનું સ્તર બનેલું હોય છે. જોકે પાઉડર કરેલ બેરિલિયમ તેજસ્વી રીતે હવામાં સળગીને BeO અને Be<sub>3</sub>N<sub>2</sub> આપે છે. મેંગનેશિયમ વધારે વિદ્યુતધનમય હોવાથી ઝગારા મારતા પ્રકાશ સાથે તેજસ્વી રીતે હવામાં સળગે છે અને MgO અને Mg<sub>3</sub>N<sub>2</sub> આપે છે. કેલ્શિયમ, સ્ટ્રોન્શિયમ અને બેરિયમ ત્વરાથી હવા વડે અસર પામે છે અને ઓક્સાઈડ તથા નાઈટ્રાઈડ આપે છે. તે પાણી સાથે વધુ તીવ્રતાથી પ્રક્રિયા કરે છે, તે ઠંડા પાણી સાથે પણ પ્રક્રિયા કરી હાઈડ્રોક્સાઈડ બનાવે છે.

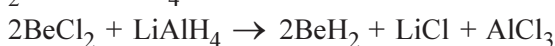
(ii) હેલોજન પ્રત્યે પ્રતિક્રિયાત્મકતા : બધી જ આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓ ઊંચા તાપમાને હેલોજન સાથે સંયોજાઈ તેમના હેલાઈડ સંયોજનો બનાવે છે.



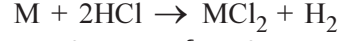
(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>BeF<sub>4</sub> નું ઉષ્મીય વિઘટન BeF<sub>2</sub>ની બનાવટ માટે ઉત્તમ પ્રક્રિયા છે. BeCl<sub>2</sub> તેના ઓક્સાઈડમાંથી સરળતાથી બનાવી શકાય છે.



(iii) હાઈડ્રોજન પ્રત્યે પ્રતિક્રિયાત્મકતા : બેરિલિયમ સિવાયની આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓ ગરમીની હાજરીમાં હાઈડ્રોજન સાથે પ્રક્રિયા કરી હાઈડ્રાઈડ બનાવે છે. જો કે BeH<sub>2</sub>ને BeCl<sub>2</sub> સાથે LiAlH<sub>4</sub>ની પ્રક્રિયા કરવાથી બનાવી શકાય છે.

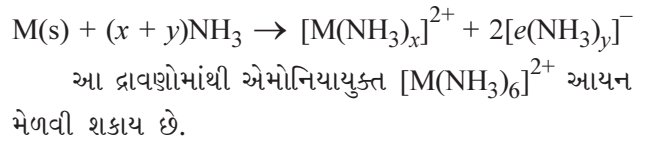


(iv) એસિડ પ્રત્યે પ્રતિક્રિયાત્મકતા : આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓ એસિડ સાથે ઝડપી પ્રક્રિયા કરી ડાયહાઈડ્રોજન વાયુ મુક્ત કરે છે.



(v) રિડક્શનકર્તા પ્રકૃતિ : આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓ આલ્કલી ધાતુઓની જેમ પ્રબળ રિડક્શનકર્તા છે. આ બાબતને તેઓના રિડક્શન પોટેન્શિયલના વધુ ઋણ મૂલ્યો અનુમોદન આપે છે (કોષ્ટક 10.2). જોકે તેઓની રિડક્શનકર્તા તરીકેની શક્તિ તેઓની અનુવર્તી આલ્કલી ધાતુઓ કરતાં ઓછી હોય છે અન્ય આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓની સરખામણીમાં બેરિલિયમનું મૂલ્ય ઓછું ઋણ છે. તેનો રિડક્શનકર્તા સ્વભાવ વધારે જલીયકરણ એન્ટાલ્પી જે તેના Be<sup>2+</sup>ના નાના કદ સાથે સુસંગત છે અને ધાતુ પરમાણ્વીયકરણ એન્ટાલ્પીના ઊંચા મૂલ્યને કારણે છે.

(vi) પ્રવાહી એમોનિયામાં દ્રાવણ : આલ્કલી ધાતુઓની જેમ આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓ પ્રવાહી એમોનિયામાં ઓગળે છે અને એમોનિયાયુક્ત આયન બનાવીને ઘેરું વાદળી દ્રાવણ આપે છે.



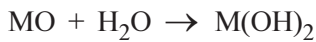
### 10.6.7 ઉપયોગો (Uses)

બેરિલિયમ મિશ્ર ધાતુના ઉત્પાદનમાં વપરાય છે. કોંપર-બેરિલિયમ મિશ્ર ધાતુ વધારે મજબૂતાઈ ધરાવતી સ્પ્રિંગો બનાવવામાં વપરાય છે. Be ધાતુનો ઉપયોગ X-કિરણોની ટ્યૂબની બારીઓ બનાવવામાં થાય છે. મેંગનેશિયમ એલ્યુમિનિયમ, ઝિંક, મેંગેનીઝ અને ટીન ધાતુ સાથે મિશ્ર ધાતુ બનાવે છે. મેંગનેશિયમ-એલ્યુમિનિયમ મિશ્ર ધાતુ વજનમાં હલકી હોવાથી હવાઈ જહાજો બનાવવામાં વપરાય છે. મેંગનેશિયમ (પાઉડર અને પટ્ટી) ફ્લેશ (flash) પાઉડરમાં, બલ્બમાં, ઈન્સિડરી (incidery) બોમ્બ તથા સિગ્નલમાં પણ વપરાય છે. મેંગનેશિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડનું પાણીમાં નિલંબન (suspension) (જે મિલ્ક ઓફ મેંગેશિયા તરીકે ઓળખાય છે) દવાઓમાં એન્ટાસિડ તરીકે વપરાય છે. મેંગેશિયમ કાર્બોનેટ ટ્યૂથપેસ્ટનો એક ઘટક છે. કેલ્શિયમનો ઉપયોગ જે ધાતુઓને તેમના ઓક્સાઈડમાંથી કાર્બન વડે રિડક્શન કરી મેળવી શકાતી નથી, તે મેળવવામાં થાય છે. કેલ્શિયમ અને બેરિયમ ધાતુઓ તેમની ઓક્સિજન અને નાઈટ્રોજન સાથેની ઊંચા તાપમાને પ્રતિક્રિયાત્મકતાને લીધે શૂન્યાવકાશ નળીઓમાંથી હવા દૂર કરવા માટે વપરાય છે. રેડિયમના ક્ષારો રેડિયોથેરાપીમાં (Radiotherapy) વપરાય છે. દા.ત., કેન્સરની સારવારમાં.

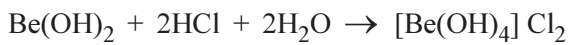
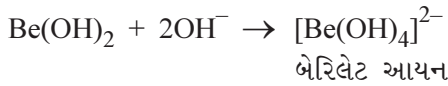
## 10.7 આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓના સંયોજનોની સામાન્ય લાક્ષણિકતાઓ (General Characteristics of the Compounds of the Alkaline Earth Metals)

સમૂહ 2ના તત્ત્વોમાં સંયોજકતા તરીકે દ્વિધન ઓક્સિડેશન અવસ્થા ( $M^{2+}$ ) સવિશેષ જોવા મળે છે. આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુ તત્ત્વો સવિશેષ રીતે આયનીય સંયોજનો બનાવે છે પણ આલ્કલી ધાતુ તત્ત્વોની સરખામણીમાં ઓછા આયનીય સંયોજનો બનાવે છે. આનું કારણ તેઓમાં વધતો જતો કેન્દ્રિય વીજભાર અને નાનું કદ છે. બેરિલિયમ અને મેગ્નેશિયમના ઓક્સાઈડ અને અન્ય સંયોજનો ભારે અને મોટા કદવાળા તત્ત્વો (Ca, Sr, Ba) દ્વારા બનતા સંયોજનો કરતાં વધુ સહસંયોજક હોય છે. આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુ તત્ત્વોના કેટલાક સંયોજનોની લાક્ષણિકતાઓને નીચે વર્ણવી છે.

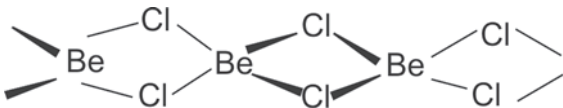
(i) ઓક્સાઈડ અને હાઈડ્રોક્સાઈડ સંયોજનો : આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓ ઓક્સિજનની હાજરીમાં બળીને મોનોક્સાઈડ (MO) બનાવે છે, જેનું બંધારણ BeO સિવાય ખડક-ક્ષાર (rock salt) જેવું હોય છે. BeO આવશ્યક રીતે સહસંયોજક પ્રકૃતિનું હોય છે. આ ઓક્સાઈડ સંયોજનોની સર્જન એન્થાલ્પીનું મૂલ્ય ઊંચું હોય છે. જેના કારણે તેઓ ઉષ્માની હાજરીમાં વધુ સ્થાયી હોય છે. BeO ઊભયધર્મી છે, જ્યારે અન્ય તત્ત્વોના ઓક્સાઈડ આયનીય પ્રકૃતિ દર્શાવે છે. BeO સિવાયના આ બધા ઓક્સાઈડ સંયોજનો બેજિક સ્વભાવ ધરાવે છે અને પાણી સાથે પ્રક્રિયા કરીને અલ્પદ્રાવ્ય હાઈડ્રોક્સાઈડ સંયોજનો બનાવે છે.



આ હાઈડ્રોક્સાઈડ સંયોજનોની દ્રાવ્યતા, ઉષ્મીય સ્થાયીતા અને બેજિક સ્વભાવ  $Mg(OH)_2$  થી  $Ba(OH)_2$  સુધી પરમાણ્વીય-ક્રમાંક વધવાની સાથે વધે છે. આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓના હાઈડ્રોક્સાઈડ આલ્કલી ધાતુઓના હાઈડ્રોક્સાઈડ કરતાં ઓછા બેજિક અને ઓછા સ્થાયી હોય છે. બેરિલિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડ ઊભયધર્મી છે કારણ કે તે એસિડ અને બેઈઝ બંને સાથે પ્રક્રિયા કરે છે.



(ii) હેલાઈડ સંયોજનો : બેરિલિયમ હેલાઈડ સિવાય બાકીની આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓના હેલાઈડ સ્વભાવે આયનીય છે. બેરિલિયમ હેલાઈડ મુખ્યત્વે સહસંયોજક છે અને કાર્બનિક દ્રાવકોમાં દ્રાવ્ય છે. બેરિલિયમ ક્લોરાઈડ ઘન અવસ્થામાં નીચે દર્શાવ્યા મુજબનું સાંકળ જેવું બંધારણ ધરાવે છે.



બાષ્પ અવસ્થામાં  $BeCl_2$  ક્લોરો સેતુ ધરાવતું દ્વિઅણુ બનાવે છે જે 1200 K જેટલા ઊંચા તાપમાને રેખીય એકાકી અણુમાં વિયોજન પામે છે. હેલાઈડ હાઈડ્રેટ બનવાનું વલણ સમૂહમાં નીચે તરફ જતાં ક્રમશઃ ઘટે છે. (દા.ત.,  $MgCl_2 \cdot 8H_2O$ ,  $CaCl_2 \cdot 6H_2O$ ,  $SrCl_2 \cdot 6H_2O$  અને  $BaCl_2 \cdot 2H_2O$ ). Ca, Sr અને Baના જળયુક્ત ક્લોરાઈડ, બ્રોમાઈડ અને આયોડાઈડનું નિર્જલીકરણ તેમને ગરમ કરવાથી થઈ શકે છે, પરંતુ તેને અનુવર્તી Be અને Mgના જળયુક્ત હેલાઈડ જળવિભાજન દર્શાવે છે. ક્લોરાઈડ કરતા ફ્લોરાઈડ સાપેક્ષમાં ઓછા દ્રાવ્ય છે. તેનું કારણ તેમની ઊંચી લેટિસ ઊર્જા છે.

(iii) ઓક્સો એસિડના ક્ષાર : આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓ પણ ઓક્સો એસિડના ક્ષાર બનાવે છે. તે પૈકીના કેટલાક નીચે દર્શાવ્યા છે.

કાર્બોનેટ સંયોજનો : આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓના કાર્બોનેટ પાણીમાં અદ્રાવ્ય છે. તેમના દ્રાવ્ય ક્ષારોના દ્રાવણમાં સોડિયમ કાર્બોનેટ અથવા એમોનિયમ કાર્બોનેટ ઉમેરી તેમનું અવક્ષેપન કરી શકાય છે. ધાતુ આયનોના પરમાણ્વીયક્રમાંક વધવાની સાથે કાર્બોનેટ ક્ષારોની પાણીમાં દ્રાવ્યતા ઘટતી જાય છે. બધા કાર્બોનેટ સંયોજનોને ગરમ કરવાથી તેઓ કાર્બન ડાયોક્સાઈડ અને ઓક્સાઈડમાં વિઘટન પામે છે. બેરિલિયમ કાર્બોનેટ અસ્થાયી છે. જેને માત્ર  $CO_2$ ના વાતાવરણમાં રાખવામાં આવે છે. ધનાયનના કદ વધવાની સાથે કાર્બોનેટ સંયોજનોની ઉષ્મીય સ્થાયીતા વધે છે.

સલ્ફેટ સંયોજનો : આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓના બધા સલ્ફેટ સંયોજનો સફેદ ઘન છે અને ઉષ્માની હાજરીમાં સ્થાયી હોય છે.  $BeSO_4$  અને  $MgSO_4$  પાણીમાં ઝડપથી દ્રાવ્ય થાય છે.  $CaSO_4$  થી  $BaSO_4$  તરફ જતાં દ્રાવ્યતા ઘટે છે.  $Be^{2+}$  અને  $Mg^{2+}$  આયનોની જલીયકરણ એન્થાલ્પી વધારે હોવાથી લેટિસ એન્થાલ્પી પરિબળને વટાવી જાય છે, માટે તેઓ પાણીમાં દ્રાવ્ય છે.

નાઈટ્રેટ સંયોજનો : ધાતુ કાર્બોનેટની મંદ નાઈટ્રિક એસિડ સાથે પ્રક્રિયા કરી નાઈટ્રેટ મેળવી શકાય છે. મેગ્નેશિયમ નાઈટ્રેટ પાણીના છ અણુ સાથે જોડાઈ સ્ફટિકીકરણ પામે છે. જ્યારે બેરિયમ નાઈટ્રેટ નિર્જળ ક્ષાર તરીકે સ્ફટિકીકરણ પામે છે. આ પણ એમ દર્શાવે છે કે કદના વધારા સાથે અને ઘટતી જતી જલીયકરણ એન્થાલ્પીને લીધે જળયુક્ત બનવાના વલણમાં ઘટાડો જોવા મળે છે. તે બધા જ ગરમ કરતાં લિથિયમ નાઈટ્રેટની જેમ વિઘટન પામીને ઓક્સાઈડ આપે છે.



(M = Be, Mg, Ca, Sr, Ba)

**કોયડો 10.4**

આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓના હાઈડ્રોક્સાઈડની પાણીમાં દ્રાવ્યતા સમૂહમાં નીચે તરફ જઈએ તેમ શા કારણે વધે છે ?

**ઉકેલ :**

આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુ હાઈડ્રોક્સાઈડમાં ઋણ આયન સમાન હોવાથી ધનાયનની ત્રિજ્યા લેટિસ એન્ટાલ્પીને અસર કરે છે. જો કે વધતી જતી આયનીય ત્રિજ્યાની સાથે જલીયકરણ એન્ટાલ્પીની સરખામણીમાં લેટિસ એન્ટાલ્પી ઝડપથી ઘટે છે. તેથી સમૂહમાં નીચે તરફ જતાં દ્રાવ્યતા વધતી જાય છે.

**કોયડો 10.5**

આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓના કાર્બોનેટ અને સલ્ફેટ સંયોજનોની પાણીમાં દ્રાવ્યતા સમૂહમાં ઉપરથી નીચે તરફ જતાં શા કારણે ઘટે છે ?

**ઉકેલ :**

સામાન્ય રીતે ઋણ આયનનું કદ ધનાયનના કદ કરતાં વધુ હોય છે તથા એક જ સમૂહમાં લેટિસ એન્ટાલ્પી લગભગ અચળ રહેતી હોય છે. જો કે સમૂહમાં ઉપરથી નીચે તરફ જતાં જલીયકરણ એન્ટાલ્પીનું મૂલ્ય ઘટે છે. આથી આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓના કાર્બોનેટ અને સલ્ફેટ સંયોજનોની દ્રાવ્યતા સમૂહમાં ઉપરથી નીચે તરફ જતા ઘટે છે.

## 10.8 બેરિલિયમની અનિયમિત વર્તણૂક (Anomalous Behaviour of Beryllium)

સમૂહ 2નું પ્રથમ તત્ત્વ બેરિલિયમ સમૂહમાં મેગ્નેશિયમ તથા અન્ય તત્ત્વો સાથે અનિયમિત વર્તણૂક દર્શાવે છે. તે એલ્યુમિનિયમ સાથે વિકર્ણ સંબંધ દર્શાવે છે જેની ચર્ચા હવે પછી કરીશું.

- બેરિલિયમને અપવાદરૂપ નાના પરમાણ્વીય અને આયનીય કદ છે અને આથી તેને સમૂહના અન્ય તત્ત્વોની સાથે સરખાવી શકાતું નથી. ઊંચી આયનીકરણ એન્ટાલ્પી અને નાના કદને કારણે તે જે સંયોજનો બનાવે છે તે મોટે ભાગે સહસંયોજક હોય છે અને સહેલાઈથી જળવિભાજન પામે છે.
- બેરિલિયમની સંયોજકતા કોષમાં માત્ર ચાર જ કક્ષકો હોવાથી તે ચાર કરતાં વધુ સવર્ગીક દર્શાવી શકતું નથી. સમૂહના બાકીના સભ્યો *d*-કક્ષકોનો ઉપયોગ કરીને સવર્ગીક 6 પ્રાપ્ત કરી શકે છે.

- અન્ય તત્ત્વોના હાઈડ્રોક્સાઈડથી વિરુદ્ધ બેરિલિયમના ઓક્સાઈડ અને હાઈડ્રોક્સાઈડ સંયોજનો ઊભય ગુણધર્મી સ્વભાવ દર્શાવે છે.

## 10.8.1 બેરિલિયમ અને એલ્યુમિનિયમ વચ્ચેનો વિકર્ણ સંબંધ (Diagonal Relationship Between Beryllium and Aluminium)

$Be^{2+}$ ની આયનીય ત્રિજ્યા અંદાજે 31 pm છે.  $Be^{2+}$  આયનનો વીજભાર/ત્રિજ્યાનો ગુણોત્તર  $Al^{3+}$  આયનના ગુણોત્તરની લગભગ નજીક છે. આથી બેરિલિયમ કેટલીક બાબતોમાં એલ્યુમિનિયમ સાથે સામ્યતા ધરાવે છે. આવી કેટલીક સામ્યતાઓ નીચે પ્રમાણે છે :

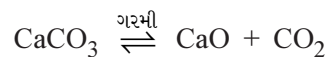
- એલ્યુમિનિયમની જેમ બેરિલિયમ પણ ઝડપથી એસિડ સાથે પ્રક્રિયા કરતું નથી. કારણ કે ધાતુની સપાટી પર ઓક્સાઈડનું સ્તર હાજર હોય છે.
- બેરિલિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડ અધિક આલ્કલીમાં દ્રાવ્ય થઈ બેરિલેટ આયન  $[Be(OH)_4]^{2-}$  આપે છે, જે એલ્યુમિનિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડમાંથી બનતા એલ્યુમિનેટ આયન  $[Al(OH)_4]^{-}$  ને મળતું આવે છે.
- બંને બેરિલિયમ અને એલ્યુમિનિયમ ક્લોરાઈડ બાષ્પ અવસ્થામાં  $Cl^{-}$  સેતુયુક્ત ક્લોરાઈડ બંધારણ ધરાવે છે. બંનેના ક્લોરાઈડ કાર્બનિક દ્રાવકોમાં દ્રાવ્ય છે અને પ્રબળ લુઈસ એસિડ છે, જે ફિડલ-કાફ્ટ્સ ઉદ્દીપક તરીકે વપરાય છે.
- બેરિલિયમ અને એલ્યુમિનિયમ આયન સંકીર્ણ બનાવવાનું પ્રબળ વલણ ધરાવે છે. દા.ત.,  $[BeF_4]^{2-}$ ,  $[AlF_6]^{3-}$

## 10.9 કેલ્શિયમના કેટલાક અગત્યના સંયોજનો (Some Important Compounds of Calcium)

કેલ્શિયમના કેટલાક અગત્યના સંયોજનો કેલ્શિયમ ઓક્સાઈડ, કેલ્શિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડ, કેલ્શિયમ સલ્ફેટ, કેલ્શિયમ કાર્બોનેટ અને સિમેન્ટ છે. આ ઔદ્યોગિક દૃષ્ટિએ અગત્યના સંયોજનો છે. મોટા પાયા પર આ સંયોજનોના ઉત્પાદન અને ઉપયોગો નીચે દર્શાવ્યા છે.

### કેલ્શિયમ ઓક્સાઈડ અથવા ક્વિક લાઈમ (કળી ચૂનો) ( $CaO$ )

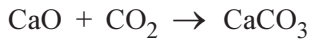
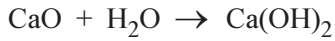
કેલ્શિયમ ઓક્સાઈડ (કળી ચૂનો) વ્યાપારી ધોરણે ચૂનાના પથ્થર( $CaCO_3$ )ને રોટરી ભટ્ટીમાં 1070-1270 K તાપમાને ગરમ કરીને મેળવવામાં આવે છે.



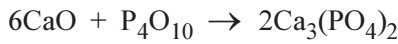
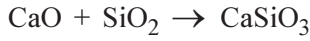
કાર્બન ડાયોક્સાઈડ જેવો ઉત્પન્ન થાય છે તેવો જ તેને દૂર કરવામાં આવે છે, જેથી પ્રક્રિયા પૂર્ણ થવા તરફ આગળ વધે છે.

કેલ્શિયમ ઓક્સાઈડ સફેદ અસ્ફટિકમય ઘન પદાર્થ છે. તેનું ગલનબિંદુ 2870 K છે. વાતાવરણમાં ખુલ્લો રાખતાં તે ભેજ અને કાર્બન ડાયોક્સાઈડને શોષે છે.





સીમિત પ્રમાણમાં પાણી ઉમેરતાં કળી ચૂનાના ટુકડા તૂટે છે. આ ક્રિયાને ચૂનાનું ફૂટવું (slaking of lime) કહે છે. કળી ચૂનાને જ્યારે સોડા સાથે ફોડવામાં આવે છે ત્યારે ઘન સોડા લાઈમ બને છે. તે બેઝિક ઓક્સાઈડ હોવાથી ઊંચા તાપમાને એસિડિક ઓક્સાઈડ સાથે સંયોજાય છે.



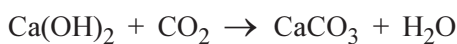
### ઉપયોગો :

- સિમેન્ટની બનાવટમાં પ્રાથમિક પદાર્થ તરીકે તથા સૌથી સસ્તા આલ્કલી તરીકે ઉપયોગી છે.
- તે કોસ્ટિક સોડામાંથી સોડિયમ કાર્બોનેટના ઉત્પાદનમાં ઉપયોગી છે.
- તે શર્કરાના શુદ્ધીકરણમાં તથા રંગકોના ઉત્પાદનમાં ઉપયોગી છે.

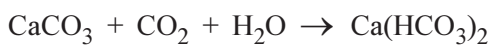
### કેલ્શિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડ (ફોડેલો ચૂનો) $[\text{Ca(OH)}_2]$

કળી ચૂના(CaO)માં પાણી ઉમેરીને કેલ્શિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડ બનાવી શકાય છે. તે સફેદ અસ્ફટિકમય પાઉર છે. તે પાણીમાં અલ્પદ્રાવ્ય છે. તેના જલીય દ્રાવણને ચૂનાનું પાણી (lime water) કહે છે અને ભીંજવેલા ચૂનાનું નિલંબન 'મિલ્ક ઓફ લાઈમ' તરીકે ઓળખાય છે.

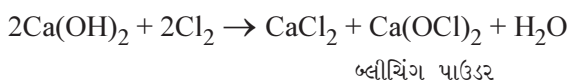
ચૂનાના પાણીમાં જ્યારે કાર્બન ડાયોક્સાઈડ વાયુ પસાર કરવામાં આવે છે ત્યારે કેલ્શિયમ કાર્બોનેટ બને છે જેથી દ્રાવણ દૂધિયું બને છે.



જો આ દ્રાવણમાં વધુ કાર્બન ડાયોક્સાઈડ વાયુ પસાર કરવામાં આવે તો કેલ્શિયમ કાર્બોનેટના અવક્ષેપ દ્રાવ્ય થઈ કેલ્શિયમ હાઈડ્રોજન કાર્બોનેટ બને છે.



મિલ્ક ઓફ લાઈમ ક્લોરિન સાથેની પ્રક્રિયાથી હાઈપોક્લોરાઈડ બનાવે છે, જે બ્લીચિંગ પાઉરનો એક ઘટક છે.

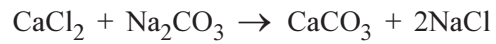
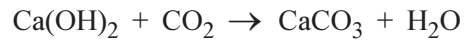


### ઉપયોગો :

- તે બાંધકામમાં ઉપયોગી પદાર્થ મોર્ટારની બનાવટમાં ઉપયોગી છે.
- તેના સંક્રમણહારક સ્વભાવને કારણે દીવાલો ધોળવામાં તે ઉપયોગી છે.
- તે કાચની બનાવટમાં, ચર્મઉદ્યોગમાં, બ્લીચિંગ પાઉરની બનાવટમાં અને ખાંડના શુદ્ધીકરણમાં ઉપયોગી છે.

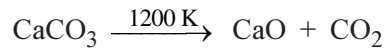
### કેલ્શિયમ કાર્બોનેટ (CaCO<sub>3</sub>)

કેલ્શિયમ કાર્બોનેટ કુદરતમાં જુદા જુદા સ્વરૂપે જેવા કે ચૂનાના પથ્થર, ચોક, આરસપહાણ વગેરે મળી આવે છે. તેને ભીંજવેલા ચૂનામાંથી કાર્બન ડાયોક્સાઈડ વાયુ પસાર કરીને અથવા કેલ્શિયમ ક્લોરાઈડના દ્રાવણમાં સોડિયમ કાર્બોનેટ ઉમેરીને પણ બનાવી શકાય છે.

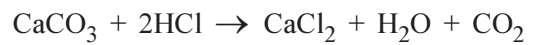


વધુ પ્રમાણમાં કાર્બન ડાયોક્સાઈડ વાયુ પસાર કરવો જોઈએ નહિ, નહિ તો પાણીમાં દ્રાવ્ય કેલ્શિયમ હાઈડ્રોજન કાર્બોનેટ બને છે.

કેલ્શિયમ કાર્બોનેટ સફેદ લીસો પાઉર હોય છે. તે પાણીમાં લગભગ અદ્રાવ્ય છે, જ્યારે તેને 1200 K તાપમાને ગરમ કરવામાં આવે ત્યારે તેનું વિઘટન થઈ કાર્બન ડાયોક્સાઈડ વાયુ મુક્ત થાય છે.



તે મંદ એસિડ સાથે પ્રક્રિયા કરી કાર્બન ડાયોક્સાઈડ વાયુ ઉત્પન્ન કરે છે.



### ઉપયોગો :

તે આરસપહાણ સ્વરૂપે બાંધકામ પદાર્થ તરીકે અને કળી ચૂનાની બનાવટમાં ઉપયોગી છે. કેલ્શિયમ કાર્બોનેટ અને મેગ્નેશિયમ કાર્બોનેટનું મિશ્રણ લોખંડ જેવી ધાતુના નિષ્કર્ષણમાં ફ્લક્સ (flux) તરીકે વપરાય છે. ખાસ પ્રકારે અવક્ષેપિત કરેલો CaCO<sub>3</sub> ઉચ્ચ ગુણવત્તાવાળા કાગળના ઉત્પાદનમાં વિશેષ પ્રમાણમાં વપરાય છે. તે એન્ટાસિડ તરીકે દવામાં, ટૂથપેસ્ટમાં ઘર્ષક (abrasive) તરીકે, ચ્યુંઈગમમાં એક ઘટક તરીકે અને સૌંદર્ય-પ્રસાધનોમાં ફિલર તરીકે પણ વપરાય છે.

### કેલ્શિયમ સલ્ફેટ (પ્લાસ્ટર ઓફ પેરિસ) (CaSO<sub>4</sub> · ½ H<sub>2</sub>O)

તે કેલ્શિયમ સલ્ફેટનો અર્ધ જળયુક્ત પદાર્થ છે. તે જિપ્સમ CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O ને 393 K તાપમાને ગરમ કરીને મેળવી શકાય છે.



393 Kથી ઊંચા તાપમાને સ્ફટિકજળ રહેતું નથી અને નિર્જળ કેલ્શિયમ સલ્ફેટ (CaSO<sub>4</sub>) બને છે. તે 'મૃત બળેલ પ્લાસ્ટર' (dead burnt plaster) તરીકે ઓળખાય છે.

તેનો પાણી સાથે જામી જવાનો ગુણધર્મ (property of setting) નોંધપાત્ર છે. તેને પાણીના જરૂરી જથ્થા સાથે મિશ્ર

કરતાં પ્લાસ્ટિક જેવો પદાર્થ બનાવે છે જે 5 થી 15 મિનિટમાં સખત અને ઘનસ્વરૂપમાં ફેરવાય છે.

**ઉપયોગો :** પ્લાસ્ટર ઓફ પેરિસનો સૌથી વધુ ઉપયોગ બાંધકામ ઉદ્યોગમાં તથા પ્લાસ્ટરમાં થાય છે. તે ફેક્ટર થયેલા હાકડાં અથવા સ્નાયુઓ પર દબાણ આવ્યું હોય ત્યારે તેને હલનચલનરહિત સ્થિર રાખવા માટે પ્લાસ્ટર કરવા ઉપયોગી છે. તે દંતવિદ્યામાં, દાગીનાની બનાવટમાં અને પૂતળાં બનાવવાના કામમાં બીબા તૈયાર કરવામાં ઉપયોગી થાય છે.

**સિમેન્ટ :** સિમેન્ટ એક અગત્યનો બાંધકામ માટેનો પદાર્થ છે. તેની સૌપ્રથમ જાણ 1824માં ઈંગ્લેન્ડમાં જોસેફ એસ્પિડિન (Joseph Aspidin) દ્વારા કરવામાં આવી હતી. તેને પોર્ટલેન્ડ સિમેન્ટ પણ કહેવામાં આવે છે. કારણ કે તે ઈંગ્લેન્ડના ઈસલ ઓફ પોર્ટલેન્ડમાં (Isle of Portland) પથ્થરની ખાણમાંથી મળતા કુદરતી ચૂનાના પથ્થર જેવાં જ છે.

સિમેન્ટ એક એવી નીપજ છે જે ચૂનામાં (CaO) અધિક પ્રમાણમાં હોય તેવા પદાર્થ સાથે બીજા પદાર્થો જેવા કે માટી જે સિલિકા (SiO<sub>2</sub>) ઉપરાંત એલ્યુમિનિયમ, આયર્ન અને મેગ્નેશિયમના ઓક્સાઇડ ધરાવે છે. તેની સાથે પ્રક્રિયા કરવાથી મેળવાય છે. પોર્ટલેન્ડ સિમેન્ટનું સરેરાશ બંધારણ CaO : 50-60 %, SiO<sub>2</sub> : 20-25 %, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 5-10 %, MgO : 2-3 %, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 1-2 % અને SO<sub>3</sub> : 1-2 % છે. સારી ગુણવત્તાવાળા સિમેન્ટ માટે સિલિકા (SiO<sub>2</sub>) અને એલ્યુમિના (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)નો ગુણોત્તર 2.5 થી 4 વચ્ચે હોવો જોઈએ તથા ચૂના (CaO) અને કુલ ઓક્સાઇડ [સિલિકોનના ઓક્સાઇડ (SiO<sub>2</sub>) + એલ્યુમિનિયમના ઓક્સાઇડ (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) + આયર્ન ઓક્સાઇડ (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)]નો ગુણોત્તર 2ની શક્ય હોય તેટલો નજીક હોવો જોઈએ.

સિમેન્ટના ઉત્પાદન માટેનો કાચો માલ ચૂનાનો પથ્થર અને માટી છે. જ્યારે માટી અને ચૂનાને સખત ગરમ કરવામાં આવે છે ત્યારે તે પિગળે છે અને પ્રક્રિયા કરીને 'સિમેન્ટ ક્લિન્કર' (Cement Clinker) બનાવે છે. આ સિમેન્ટ ક્લિન્કરને વજનથી 2-3 % જેટલા જિપ્સમ (CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O) સાથે મિશ્ર કરી સિમેન્ટ બનાવાય છે. આમ પોર્ટલેન્ડ સિમેન્ટમાં અગત્યના ઘટકોમાં ડાયકેલ્શિયમ સિલિકેટ (Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>) 26 %, ટ્રાયકેલ્શિયમ સિલિકેટ (Ca<sub>3</sub>SiO<sub>5</sub>) 51 % અને ટ્રાયકેલ્શિયમ એલ્યુમિનેટ (Ca<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>O<sub>6</sub>) 11 % છે.

**સિમેન્ટનું જામી જવું (Setting of Cement) :** સિમેન્ટને પાણી સાથે મિશ્ર કરવામાં આવે છે, ત્યારે તે જામી જાય છે અને કઠણ પદાર્થ બનાવે છે. આમ થવાનું કારણ સિમેન્ટમાં રહેલા ઘટકોના અણુઓનું જલીયકરણ અને તેઓની પુનઃગોઠવણી છે. જિપ્સમ ઉમેરવાનું કારણ એ છે કે તે સિમેન્ટના જામી જવાના સમયને ધીમો પાડી દે છે, જેથી તે પૂરતો કઠણ બની શકે છે.

**ઉપયોગો :** કોઈ પણ દેશ માટે લોખંડ અને સ્ટીલ પછીની રાષ્ટ્રીય જરૂરિયાતની પસંદગીની વસ્તુ સિમેન્ટ છે. તેનો ઉપયોગ કોંક્રિટમાં, અત્યંત સખત કોંક્રિટમાં (Reinforced concrete), પ્લાસ્ટર કરવામાં તથા પુલ, બંધ અને ઈમારતોના બાંધકામમાં થાય છે.

### 10.10 મેગ્નેશિયમ અને કેલ્શિયમનું જૈવિક અગત્ય (Biological Importance of Magnesium and Calcium)

એક પુખ્ત વ્યક્તિનું શરીર આશરે 25 g Mg અને 1200 g Ca તથા 5 g Fe અને 0.06 g Cu ધરાવે છે. માણસના શરીરમાં તેની રોજિંદી જરૂરિયાત 200-300 mg અંદાજવામાં આવે છે.

બધા જ ઉત્સેચકો ફોસ્ફેટ સ્થાનાંતરમાં ATPનો ઉપયોગ કરે છે. તેમને સહઅવયવ તરીકે મેગ્નેશિયમની જરૂરિયાત હોય છે. વૃક્ષમાં પ્રકાશના શોષણ માટેનું મુખ્ય વર્ણક (pigment) ક્લોરોફિલ છે. જે મેગ્નેશિયમ ધરાવે છે. શરીરમાંનો લગભગ 99 % કેલ્શિયમ હાડકાં અને દાંતમાં રહેલો છે. આ ઉપરાંત તે જ્ઞાનતંતુમય સ્નાયુના કાર્યમાં, આંતરજ્ઞાન તંતુમય પ્રસરણમાં, કોષપટલની અખંડિતતામાં અને લોહીના ગંઠાઈ જવામાં અગત્યનો ભાગ ભજવે છે. પ્લાઝ્મામાં 100 mgL<sup>-1</sup> જેટલી કેલ્શિયમની સાંદ્રતાનું નિયમન કરવામાં આવે છે. આ નિયમન બે હોર્મોન-કેલ્શિટોનીન તથા પેરાથાયરોઇડ વડે થાય છે. તમે જાણો છો કે હાડકું એક નિષ્ક્રિય અને બદલાતો ન હોય તેવો પદાર્થ નથી, પરંતુ સતત ઓગળતો જતો અને પુનઃનિક્ષેપન (Re-deposit) પામતો પદાર્થ છે. માણસમાં તેનું પ્રમાણ 400 mg પ્રતિદિવસ જેટલું હોય છે. આ બધો જ કેલ્શિયમ પ્લાઝ્માની આરપાર પસાર થાય છે.

#### સારાંશ

આવર્તકોષ્ટકના s-વિભાગમાં સમૂહ 1 (આલ્કલી ધાતુઓ) અને સમૂહ 2 (આલ્કલાઇન અર્થ ધાતુઓ)નો સમાવેશ થાય છે. તેઓને આલ્કલી ધાતુઓ અને આલ્કલાઇન અર્થ ધાતુઓ કહેવાનું કારણ એ છે કે તેઓના ઓક્સાઇડ અને હાઇડ્રોક્સાઇડ સ્વભાવે આલ્કલાઇન હોય છે. આલ્કલી ધાતુઓ અને આલ્કલાઇન અર્થ ધાતુઓની ઓળખ તેઓના પરમાણુની સંયોજકતા કોષમાં રહેલા અનુક્રમે એક s-ઇલેક્ટ્રોન અને બે s-ઇલેક્ટ્રોનના આધારે થાય છે. આ વધુ પ્રતિક્રિયાત્મક ધાતુઓ છે જે અનુક્રમે એક ધનીય (M<sup>+</sup>) અને દ્વિધનીય (M<sup>2+</sup>) આયનો બનાવે છે.

આલ્કલી ધાતુઓમાં તેઓના વધતા જતા પરમાણ્વીયક્રમાંકની સાથે તેઓના ભૌતિક અને રાસાયણિક ગુણધર્મોમાં નિયમિત વલણ જોવા મળે છે. સમૂહમાં ઉપરથી નીચે તરફ જતા પરમાણ્વીય અને આયનીય કદ વધવાની સાથે વ્યવસ્થિત રીતે આયનીકરણ એન્ટાલ્પીનું મૂલ્ય ઘટે છે. આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓનાં ગુણધર્મોમાં લગભગ આ જ પ્રકારનું વલણ જોવા મળે છે.

આ સમૂહોમાં દરેક સમૂહનું પ્રથમ તત્ત્વ સમૂહ 1માં લિથિયમ અને સમૂહ 2માં બેરિલિયમ તેઓના તરત પછીના સમૂહના બીજા તત્ત્વ સાથે ગુણધર્મોમાં સામ્યતા દર્શાવે છે. આવર્તકોષ્ટકમાં આ પ્રકારની સામ્યતાને 'વિકર્ણ સંબંધ' કહે છે. આ સમૂહોના પ્રથમ તત્ત્વ તે જ સમૂહોના અન્ય તત્ત્વો સાથે અનિયમિત વર્તણૂક દર્શાવે છે.

આલ્કલી ધાતુઓ યાંટી જેવી સફેદ, નરમ અને નીચા ગલનબિંદુવાળી હોય છે. તેઓ વધુ પ્રતિક્રિયાત્મક હોય છે. આલ્કલી ધાતુઓના સંયોજનો મુખ્યત્વે આયનીય હોય છે. તેઓના ઓક્સાઈડ અને હાઈડ્રોક્સાઈડ પાણીમાં ઓગળીને પ્રબળ આલ્કલી બનાવે છે. સોડિયમના અગત્યના સંયોજનોમાં સોડિયમ કાર્બોનેટ, સોડિયમ ક્લોરાઈડ, સોડિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડ અને સોડિયમ હાઈડ્રોજન કાર્બોનેટનો સમાવેશ થાય છે. સોડિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડનું કાસ્ટનર-કેલનર (Castner-Kellner) પદ્ધતિ અને સોડિયમ કાર્બોનેટનું સોલ્વે (Solvay) પદ્ધતિ દ્વારા ઉત્પાદન કરવામાં આવે છે.

આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓનું રસાયણવિજ્ઞાન લગભગ આલ્કલી ધાતુઓના રસાયણવિજ્ઞાનને સમાન હોય છે. આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓમાં તેઓના ઘટતા જતા પરમાણ્વીય અને આયનીય કદ અને વધતા જતા ધનાયનીય વીજભારને કારણે કેટલીક અસમાનતા જોવા મળે છે. તેઓના ઓક્સાઈડ અને હાઈડ્રોક્સાઈડ આલ્કલી ધાતુઓના ઓક્સાઈડ અને હાઈડ્રોક્સાઈડ કરતાં ઓછા બેઝિક હોય છે. કેલ્શિયમના ઔદ્યોગિક અગત્ય ધરાવતા સંયોજનોમાં કેલ્શિયમ ઓક્સાઈડ (કળી ચૂનો), કેલ્શિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડ (ફોડેલો ચૂનો), કેલ્શિયમ સલ્ફેટ (પ્લાસ્ટર ઓફ પેરિસ), કેલ્શિયમ કાર્બોનેટ (ચૂનાનો પથ્થર) અને સિમેન્ટનો સમાવેશ થાય છે. પોર્ટલેન્ડ સિમેન્ટ એક અગત્યનો બાંધકામ માટેનો પદાર્થ છે. તેનું ઉત્પાદન ચૂનાના પથ્થરને માટી સાથે મિશ્ર કરી રોટરી ભટ્ટીમાં ગરમ કરીને કરવામાં આવે છે. આ રીતે મળતા ક્લિન્કરમાં થોડો જિપ્સમ (2-3 %) મિશ્ર કરીને અતિભારિક પાઉર સ્વરૂપે સિમેન્ટ મેળવવામાં આવે છે. આ બધા પદાર્થો જુદા જુદા ક્ષેત્રોમાં જુદી જુદી રીતે ઉપયોગી થાય છે.

જૈવિક દ્રવમાં (biological fluids) એક સંયોજક સોડિયમ અને પોટેશિયમ તથા દ્વિસંયોજક મેગ્નેશિયમ અને કેલ્શિયમ વિશેષ પ્રમાણમાં મળી આવે છે. આ આયનો કેટલાક અગત્યના જૈવિક કાર્યો જેવા કે આયન સમતોલનનું નિયમન અને ચેતા આવેગ સંચરણમાં (Nerve Impulse Conduction) અગત્યની ભૂમિકા ભજવે છે.

### સ્વાધ્યાય

- 10.1 આલ્કલી ધાતુઓના સામાન્ય ભૌતિક અને રાસાયણિક ગુણધર્મો કયા છે ?
- 10.2 આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓની સામાન્ય લાક્ષણિકતાઓ અને ગુણધર્મોમાં આવર્તિતાની ચર્ચા કરો.
- 10.3 આલ્કલી ધાતુઓ શા માટે કુદરતમાં મળી આવતી નથી ?
- 10.4  $\text{Na}_2\text{O}_2$  માં સોડિયમનો ઓક્સિડેશન આંક શોધો.
- 10.5 પોટેશિયમ કરતાં સોડિયમ શા માટે ઓછો પ્રતિક્રિયાત્મક છે ? સમજાવો.
- 10.6 નીચે દર્શાવેલા ગુણધર્મો સંદર્ભે આલ્કલી ધાતુઓ અને આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓની સરખામણી કરો :  
(i) આયનીકરણ એન્ટાલ્પી (ii) ઓક્સાઈડ સંયોજનોની બેઝિકતા (iii) હાઈડ્રોક્સાઈડ સંયોજનોની દ્રાવ્યતા
- 10.7 લિથિયમ કઈ રીતે મેગ્નેશિયમની રાસાયણિક વર્તણૂક સાથે સામ્યતા દર્શાવે છે ?
- 10.8 આલ્કલી અને આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓ શા માટે રાસાયણિક રિડક્શન પદ્ધતિઓ દ્વારા મેળવી શકાતી નથી ? સમજાવો.
- 10.9 પ્રકાશ વિદ્યુતકોષમાં લિથિયમના સ્થાને પોટેશિયમ અને સિઝિયમનો શા માટે ઉપયોગ કરવામાં આવે છે ?
- 10.10 જ્યારે આલ્કલી ધાતુઓને પ્રવાહી એમોનિયામાં દ્રાવ્ય કરવામાં આવે છે ત્યારે જુદા જુદા રંગ પ્રાપ્ત કરી શકાય છે. આ રંગ પરિવર્તનના કારણો સમજાવો.
- 10.11 બેરિલિયમ અને મેગ્નેશિયમ જ્યોત સાથે રંગ આપતા નથી, જ્યારે આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓ તે આપે છે. શા માટે ?
- 10.12 સોલ્વે પદ્ધતિમાં થતી વિવિધ પ્રક્રિયાઓની ચર્ચા કરો.
- 10.13 પોટેશિયમ કાર્બોનેટને સોલ્વે પદ્ધતિ દ્વારા બનાવી શકાતો નથી. શા માટે ?

- 10.14  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  નીચા તાપમાને અને  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ઊંચા તાપમાને શા માટે વિઘટન પામે છે ?
- 10.15 આલ્કલી ધાતુઓ અને આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓના નીચે દર્શાવેલા સંયોજનોની દ્રાવ્યતા અને ઉષ્મીય સ્થાયીતાની સરખામણી કરો.  
(a) નાઈટ્રેટ (b) કાર્બોનેટ (c) સલ્ફેટ
- 10.16 સોડિયમ ક્લોરાઈડથી શરૂઆત કરીને તમે નીચે દર્શાવેલા પદાર્થો કેવી રીતે બનાવશો ?  
(i) સોડિયમ ધાતુ (ii) સોડિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડ (iii) સોડિયમ પેરોક્સાઈડ (iv) સોડિયમ કાર્બોનેટ
- 10.17 શું થાય છે ? જ્યારે... (i) મેગ્નેશિયમને હવામાં બાળવામાં આવે છે. (ii) કળી ચૂનાને સિલિકા સાથે ગરમ કરવામાં આવે છે. (iii) ફોડેલા ચૂના સાથે ક્લોરિન પ્રક્રિયા કરે છે.  
(iv) કેલ્શિયમ નાઈટ્રેટને ગરમ કરવામાં આવે છે.
- 10.18 નીચે દર્શાવેલા સંયોજનોના બે અગત્યના ઉપયોગો વર્ણવો :  
(i) કોસ્ટિક સોડા (ii) સોડિયમ કાર્બોનેટ (iii) ક્વિક લાઈમ
- 10.19 બંધારણ દોરો : (i)  $\text{BeCl}_2$  (બાષ્પ) (ii)  $\text{BeCl}_2$  (ઘન)
- 10.20 સોડિયમ અને પોટેશિયમના હાઈડ્રોક્સાઈડ અને કાર્બોનેટ સંયોજનો પાણીમાં સહેલાઈથી દ્રાવ્ય થાય છે. જ્યારે મેગ્નેશિયમ અને કેલ્શિયમના અનુવર્તી ક્ષારો પાણીમાં અલ્પદ્રાવ્ય થાય છે. સમજાવો.
- 10.21 નીચે દર્શાવેલા સંયોજનોની અગત્ય વર્ણવો : (i) ચૂનાનો પથ્થર (ii) સિમેન્ટ (iii) પ્લાસ્ટર ઓફ પેરિસ
- 10.22 સામાન્ય રીતે લિથિયમના ક્ષારો જળયુક્ત હોય છે અને આલ્કલી આયનોના ક્ષારો નિર્જલીય હોય છે, શા માટે ?
- 10.23  $\text{LiF}$  મુખ્યત્વે પાણીમાં અદ્રાવ્ય હોય છે, જ્યારે  $\text{LiCl}$  પાણી ઉપરાંત એસિટોનમાં દ્રાવ્ય હોય છે. શા માટે ?
- 10.24 જૈવિક દ્રવ્યમાં સોડિયમ, પોટેશિયમ, મેગ્નેશિયમ અને કેલ્શિયમની સાર્થકતા સમજાવો.
- 10.25 શું થાય છે ? જ્યારે... (i) સોડિયમ ધાતુને પાણીમાં નાખવામાં આવે છે. (ii) સોડિયમ ધાતુને હવાના વધુ જથ્થાની હાજરીમાં ગરમ કરવામાં આવે છે. (iii) સોડિયમ પેરોક્સાઈડ પાણીમાં ઓગળે છે.
- 10.26 નીચે દર્શાવેલા દરેક અવલોકનો માટે તમારું સ્પષ્ટીકરણ જણાવો :  
(i) જલીય દ્રાવણોમાં આલ્કલી ધાતુ આયનોની ગતિશીલતાનો ક્રમ  $\text{Li}^+ < \text{Na}^+ < \text{K}^+ < \text{Rb}^+ < \text{Cs}^+$  હોય છે.  
(ii) લિથિયમ એક માત્ર આલ્કલી ધાતુ છે જે સીધું નાઈટ્રાઈડ સંયોજન બનાવે છે.  
(iii)  $\text{M}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{M}(\text{s})$  (જ્યાં,  $\text{M} = \text{Ca}, \text{Sr}$  અને  $\text{Ba}$ ) માટે  $E^\ominus$  લગભગ અચળ છે.
- 10.27 સમજાવો :  
(i)  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ નું દ્રાવણ શા માટે આલ્કલાઈન હોય છે ?  
(ii) આલ્કલી ધાતુઓને તેમના સંગલિત (fused) ક્લોરાઈડ સંયોજનોના વિદ્યુતવિભાજનથી શા માટે બનાવવામાં આવે છે ?  
(iii) પોટેશિયમ કરતાં સોડિયમ શા માટે વધુ ઉપયોગી છે ?
- 10.28 નીચે દર્શાવેલા સંયોજનો વચ્ચે થતી પ્રક્રિયા માટેના સમતોલિત સમીકરણો લખો :  
(i)  $\text{Na}_2\text{O}_2$  અને પાણી (ii)  $\text{KO}_2$  અને પાણી (iii)  $\text{Na}_2\text{O}$  અને  $\text{CO}_2$ .
- 10.29 નીચે દર્શાવેલા અવલોકનોને તમે કેવી રીતે સમજાવશો ?  
(i)  $\text{BeO}$  પાણીમાં અદ્રાવ્ય છે પણ  $\text{BeSO}_4$  પાણીમાં દ્રાવ્ય છે.  
(ii)  $\text{BaO}$  પાણીમાં દ્રાવ્ય છે પણ  $\text{BaSO}_4$  અદ્રાવ્ય છે.  
(iii)  $\text{KI}$  કરતાં  $\text{LiI}$  ઈથેનોલમાં વધુ દ્રાવ્ય છે.
- 10.30 કઈ આલ્કલી ધાતુનું ગલનબિંદુ સૌથી નીચું છે ?  
(a)  $\text{Na}$  (b)  $\text{K}$  (c)  $\text{Rb}$  (d)  $\text{Cs}$
- 10.31 નીચેના પૈકી કઈ આલ્કલી ધાતુ જળયુક્ત ક્ષારો આપે છે ?  
(a)  $\text{Li}$  (b)  $\text{Na}$  (c)  $\text{K}$  (d)  $\text{Cs}$
- 10.32 નીચેના પૈકી કયું આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુ કાર્બોનેટ સંયોજન ઉષ્મીય રીતે સૌથી વધુ સ્થાયી છે ?  
(a)  $\text{MgCO}_3$  (b)  $\text{CaCO}_3$  (c)  $\text{SrCO}_3$  (d)  $\text{BaCO}_3$

## $p$ -વિભાગના તત્ત્વો (The $p$ -Block Elements)

### હેતુઓ :

આ એકમના અભ્યાસ પછી તમે...

- $p$ -વિભાગના તત્ત્વોના રસાયણવિજ્ઞાનમાં સામાન્ય વલણોને સમજી શકશો.
- સમૂહ 13 અને 14ના તત્ત્વોના ભૌતિક અને રાસાયણિક ગુણધર્મોમાં જોવા મળતાં વલણોને વર્ણવી શકશો.
- કાર્બન અને બોરોનની અનિયમિત વર્તણૂક સમજાવી શકશો.
- કાર્બનના અપરરૂપોને વર્ણવી શકશો.
- બોરોન, કાર્બન અને સિલિકોનના કેટલાક અગત્યના સંયોજનોના રસાયણવિજ્ઞાનને જાણી શકશો.
- સમૂહ 13 અને 14ના તત્ત્વો તથા તેઓના સંયોજનોના અગત્યના ઉપયોગોની યાદી બનાવી શકશો.

“ભારે તત્ત્વોના અંતર્ભાગમાં  $d$  તથા  $f$  ઇલેક્ટ્રોનની અસરના કારણે  $p$ -વિભાગના તત્ત્વોના ગુણધર્મોમાં જોવા મળતી વિવિધતા તેઓના રસાયણવિજ્ઞાનને રસપ્રદ બનાવે છે.”

$p$ -વિભાગના તત્ત્વોમાં અંતિમ ઇલેક્ટ્રોન બાહ્યતમ  $p$ -કક્ષકમાં પ્રવેશ કરે છે. આપણે જાણીએ છીએ તેમ  $p$ -કક્ષકોની સંખ્યા ત્રણ હોય છે. તેથી  $p$ -કક્ષકોના એક ગણ(સેટ)માં વધુમાં વધુ છ ઇલેક્ટ્રોનને સમાવી શકાય છે. પરિણામે આવર્તકોષ્ટકમાં  $p$ -વિભાગમાં 13 થી 18 એમ છ સમૂહોનો સમાવેશ થાય છે. બોરોન, કાર્બન, નાઈટ્રોજન, ઓક્સિજન, ફ્લોરિન અને હિલિયમ આ સમૂહોના મુખ્ય તત્ત્વો છે. તેઓની સંયોજકતા કોશની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના  $ns^2np^{1-6}$  (હિલિયમ સિવાય) છે. જો કે ઇલેક્ટ્રોનીય રચનાનો અંતર્ભાગ જુદોજુદો હોઈ શકે છે. આ જુદાપણું તેઓના ભૌતિક ગુણધર્મો (જેવા કે પરમાણ્વીય અને આયનીય ત્રિજ્યા, આયનીકરણ એન્ટાલ્પી વગેરે) તેમજ રાસાયણિક ગુણધર્મોને વિશેષ અસર કરે છે. પરિણામે  $p$ -વિભાગના સમૂહોના તત્ત્વોના ગુણધર્મોમાં વિશેષ ભિન્નતા જોવા મળે છે.  $p$ -વિભાગના તત્ત્વ દ્વારા દર્શાવવામાં આવતી મહત્તમ ઓક્સિડેશન અવસ્થા તેની કુલ સંયોજકતા ઇલેક્ટ્રોનની (એટલે કે  $s$  અને  $p$ -ઇલેક્ટ્રોનનો સરવાળો) સંખ્યા જેટલી હોય છે. આમ, સ્પષ્ટ છે કે આવર્તકોષ્ટકમાં ડાબી બાજુથી જમણી બાજુ તરફ જતાં સંભવિત ઓક્સિડેશન અવસ્થાની સંખ્યા વધતી જાય છે. આ ઉપરાંત  $p$ -વિભાગના તત્ત્વો સમૂહ ઓક્સિડેશન અવસ્થાની સાથેસાથે અન્ય ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓ પણ દર્શાવે છે, જે સામાન્ય રીતે (પરંતુ આવશ્યક નહિ) કુલ સંયોજકતા ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા કરતાં બે એકમ જેટલી ઓછી હોય છે.  $p$ -વિભાગના તત્ત્વો દ્વારા દર્શાવવામાં આવતી ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓ કોષ્ટક 11.1માં દર્શાવેલી છે. બોરોન, કાર્બન અને નાઈટ્રોજન સમૂહોમાં હલકા તત્ત્વોની સમૂહ ઓક્સિડેશન અવસ્થા સૌથી વધુ સ્થાયી હોય છે. તેમ છતાં દરેક સમૂહના ભારે તત્ત્વો માટે ઓક્સિડેશન અવસ્થા તેની સમૂહ ઓક્સિડેશન અવસ્થાથી બે એકમ જેટલી ઓછી અને ક્રમિક રીતે સ્થાયી થતી જાય છે. સમૂહ ઓક્સિડેશન અવસ્થાથી બે એકમ જેટલી ઓછી ઓક્સિડેશન અવસ્થાની પ્રાપ્તિને ‘નિષ્ક્રિય યુગ્મ અસર’ કહે છે.

કોષ્ટક 11.1 *p*-વિભાગના તત્ત્વોની સામાન્ય ઇલેક્ટ્રોનીય રચના અને ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓ

સમૂહ	13	14	15	16	17	18
સામાન્ય ઇલેક્ટ્રોનીય રચના	$ns^2np^1$	$ns^2np^2$	$ns^2np^3$	$ns^2np^4$	$ns^2np^5$	$ns^2np^6$ (He માટે $1s^2$ )
સમૂહનું પ્રથમ તત્ત્વ	B	C	N	O	F	He
સમૂહ ઓક્સિડેશન અવસ્થા	+3	+4	+5	+6	+7	+8
અન્ય ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓ	+1	+2, -4	+3, -3	+4, +2, -2	+5, +3, +1, -1	+6, +4, +2

બે ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓ - સમૂહ ઓક્સિડેશન અવસ્થા અને સમૂહ ઓક્સિડેશન અવસ્થાથી બે એકમ ઓછીની સાપેક્ષ સ્થાયીતા સમૂહ મુજબ બદલાતી રહે છે જેની ચર્ચા આગળ ઉપર યોગ્ય સ્થાને કરીશું.

એક રસપ્રદ બાબત નોંધવા જેવી એ છે કે આવર્તકોષ્ટકમાં અધાતુઓ અને ઉપધાતુઓનો માત્ર *p*-વિભાગમાં જ સમાવેશ થયો છે. સમૂહમાં ઉપરથી નીચે તરફ જઈએ તેમ અધાત્વીય લાક્ષણિકતા ઘટતી જાય છે. વાસ્તવમાં *p*-વિભાગના દરેક સમૂહમાં સૌથી ભારે તત્ત્વો સૌથી વધુ ધાત્વીય સ્વભાવ ધરાવે છે. તત્ત્વોમાં અધાત્વીયથી ધાત્વીય લાક્ષણિકતાનો આ ફેરફાર તેઓના રસાયણવિજ્ઞાનમાં વિવિધતા લાવે છે જેનો આધાર તત્ત્વના સમૂહ પર રહેલો છે.

સામાન્ય રીતે અધાતુ તત્ત્વો ધાતુ તત્ત્વો કરતાં ઊંચી આયનીકરણ એન્ટાલ્પી અને ઊંચી વિદ્યુતઋણતા ધરાવે છે. આથી ધાતુઓ ઝડપથી ધનાયન બનાવે છે, જ્યારે તેનાથી વિપરિત અધાતુઓ ઝડપથી ઋણાયન બનાવે છે. અતિ પ્રતિક્રિયાત્મક ધાતુ સાથે અતિ પ્રતિક્રિયાત્મક અધાતુ દ્વારા બનતા સંયોજનો સામાન્ય રીતે આયનીય હોય છે, કારણ કે તેઓની વિદ્યુતઋણતામાં મોટો તફાવત હોય છે, જ્યારે બીજી તરફ અધાતુઓ પોતાની સાથે જોડાઈને વધુ સહસંયોજક લાક્ષણિકતાવાળા સંયોજનો બનાવે છે, કારણ કે તેઓની વિદ્યુતઋણતામાં ઓછો તફાવત હોય છે. અધાત્વીયમાંથી ધાત્વીય લાક્ષણિકતાના આ ફેરફારને તેઓના દ્વારા બનતા ઓક્સાઈડ સંયોજનોના સ્વભાવના આધારે સમજાવી શકાય છે. અધાતુઓના ઓક્સાઈડ સંયોજનો સ્વભાવે એસિડિક અથવા તટસ્થ હોય છે, જ્યારે ધાતુઓના ઓક્સાઈડ સ્વભાવે બેઝિક હોય છે.

*p*-વિભાગના દરેક સમૂહનું પ્રથમ તત્ત્વ તે સમૂહના અન્ય તત્ત્વોથી મુખ્ય બે બાબતોમાં જુદું પડે છે. પહેલી બાબત તેઓનું કદ અને કદ પર આધારિત અન્ય બધા ગુણધર્મો છે. આથી *s*-વિભાગના હલકા તત્ત્વો વિથિયમ અને બેરિલિયમની જેમ *p*-વિભાગના હલકા તત્ત્વો પણ જુદાપણું દર્શાવે છે. બીજી મહત્ત્વની બાબત *p*-વિભાગના ભારે તત્ત્વોની (ત્રીજા આવર્તથી શરૂ કરી પછીના આવર્તમાં) સંયોજકતાકોશમાં *d*-કક્ષકોની હાજરી છે, જે દ્વિતીય આવર્તના તત્ત્વોમાં નથી હોતી. *p*-વિભાગના બીજા આવર્તના તત્ત્વો કે જેની શરૂઆત બોરોન તત્ત્વથી થાય છે તેની મહત્તમ સહસંયોજકતા ચાર (એક  $2s$  અને ત્રણ  $2p$  કક્ષકોનો ઉપયોગ કરવાથી) સુધી સીમિત છે. તેનાથી વિપરિત *p*-સમૂહોના ત્રીજા આવર્તના સભ્યોની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના  $3s^23p^n$  હોય છે. જેમાં  $3p$  અને  $4s$  શક્તિસ્તર વચ્ચે રહેલી  $3d$  કક્ષક ખાલી હોય છે. આ *d*-કક્ષકોનો ઉપયોગ કરીને ત્રીજા આવર્તના તત્ત્વો તેઓની સહસંયોજકતા ચારથી વધારી શકે છે. દા.ત., બોરોન માત્ર  $[BF_4]^-$  બનાવે છે જ્યારે એલ્યુમિનિયમ  $[AlF_6]^{3-}$  આયન બનાવે છે. આ *d*-કક્ષકોની હાજરી ભારે તત્ત્વોના રસાયણવિજ્ઞાનને ઘણી બધી રીતે અસર કરે છે. કદ અને *d*-કક્ષકોની હાજરી સંયુક્ત રીતે આ તત્ત્વોની  $\pi$ -બંધ બનાવવાની ક્ષમતાને અસર કરે છે. સમૂહના પ્રથમ તત્ત્વ અને તે જ સમૂહના ભારે તત્ત્વોની પોતાની સાથે (દા.ત.,  $C=C$ ,  $C\equiv C$ ,  $N\equiv N$ ) અને દ્વિતીય આવર્તના અન્ય તત્ત્વો (દા.ત.,  $C=O$ ,  $C=N$ ,  $C\equiv N$ ,  $N=O$ ) સાથે બહુબંધ બનાવવાની ક્ષમતામાં તફાવત હોય છે. *p*-વિભાગના ભારે તત્ત્વો આ પ્રકારના પ્રબળ  $\pi$ -બંધ બનાવતા નથી. ભારે તત્ત્વો  $\pi$ -બંધ બનાવે છે પણ તેમાં

$d$ -કક્ષકો ( $d\pi - p\pi$  અથવા  $d\pi - d\pi$ ) ભાગ લે છે.  $d$ -કક્ષકોની શક્તિ  $p$ -કક્ષકોની શક્તિ કરતાં વધુ હોય છે, આથી બીજા આવર્તના તત્ત્વોના  $p\pi - p\pi$  બંધની સરખામણીમાં  $d$ -કક્ષકોની એકંદર સ્થાયીતા ઓછી હોય છે. જો કે સમાન ઓક્સિડેશન આંક ધરાવતા પ્રથમ તત્ત્વો કરતાં ભારે તત્ત્વોની સ્પિસીઝના સવર્ગીક વધારે હોય છે. દા.ત., +5 ઓક્સિડેશન અવસ્થામાં N અને P બંને ઓક્સો એનાયન  $\text{NO}_3^-$  ( $\pi$ -બંધ સહિતના ત્રણ સવર્ગને સમાવતી નાઇટ્રોજનની એક  $p$ -કક્ષક) અને  $\text{PO}_4^{3-}$  ( $\pi$ -બંધમાં ફાળો આપતી ચાર-સવર્ગ ધરાવતી  $s$ ,  $p$  અને  $d$  કક્ષકો) બનાવે છે. આ એકમમાં આપણે આવર્તકોષ્ટકના સમૂહ 13 અને 14ના રસાયણવિજ્ઞાનનો અભ્યાસ કરીશું.

## 11.1 સમૂહ 13ના તત્ત્વો : બોરોન પરિવાર (Group 13 Elements : The Boron Family)

આ સમૂહના તત્ત્વો ગુણધર્મોમાં બહોળી વિવિધતા દર્શાવે છે. બોરોન એક વિશિષ્ટ અધાતુ છે. એલ્યુમિનિયમ ધાતુ છે પણ તે બોરોન સાથે ઘણી રાસાયણિક સામ્યતા દર્શાવે છે. જ્યારે ગેલિયમ, ઈન્ડિયમ અને થેલિયમ લગભગ પૂર્ણ રીતે ધાત્વીય લાક્ષણિકતા ધરાવે છે.

બોરોન એક દુર્લભ તત્ત્વ છે. તે મુખ્યત્વે ઓર્થોબોરિક એસિડ ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ), બોરેક્ષ ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) અને કર્નાઈટ ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) સ્વરૂપે મળી આવે છે. ભારતમાં બોરેક્ષ પુગાખીણ (લદાખ) અને સાંભર સરોવરમાં (રાજસ્થાન) મળી આવે છે. પૃથ્વીના પોપડામાં બોરોન કુલ દળના 0.0001 % પ્રમાણમાં મળી આવે છે. બોરોનના બે સમસ્થાનિકો  $^{10}\text{B}$  (19 %) અને  $^{11}\text{B}$  (81 %) જોવા મળે છે. એલ્યુમિનિયમ પૃથ્વીના પોપડામાં સૌથી વધુ પ્રમાણમાં મળી આવતી ધાતુ છે તથા ઓક્સિજન (45.5 %) અને સિલિકોન (27.7 %) પછી પૃથ્વીના પોપડામાં ત્રીજા ક્રમે સૌથી વધુ પ્રમાણમાં (8.31 %) મળી આવતું તત્ત્વ છે. બૉક્સાઈટ ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) અને કાયોલાઈટ ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) એલ્યુમિનિયમની અગત્યની ખનીજો છે. ભારતમાં તે અબરખ (mica) તરીકે મધ્યપ્રદેશમાં, કર્ણાટકમાં, ઓરિસ્સામાં અને જમ્મુમાં મળી આવે છે. ગેલિયમ, ઈન્ડિયમ અને થેલિયમ કુદરતમાં ખૂબ જ ઓછા પ્રમાણમાં પ્રાપ્ય છે.

આ તત્ત્વોના પરમાણ્વીય, ભૌતિક અને રાસાયણિક ગુણધર્મોની ચર્ચા નીચે કરવામાં આવી છે.

### 11.1.1 ઈલેક્ટ્રોનીય રચના

#### (Electronic Configuration)

આ તત્ત્વોની બાહ્યતમ ઈલેક્ટ્રોનીય રચના  $ns^2np^1$  છે. ઈલેક્ટ્રોનીય રચનાનો ઊંડાણમાં અભ્યાસ કરતાં જણાય છે કે બોરોન અને એલ્યુમિનિયમમાં અંતર્ભાગ ઉમદા વાયુ છે, ગેલિયમ અને ઈન્ડિયમમાં અંતર્ભાગ ઉમદા વાયુ ઉપરાંત 10  $d$  ઈલેક્ટ્રોન છે. થેલિયમમાં અંતર્ભાગ ઉમદા વાયુ ઉપરાંત 14  $f$  ઈલેક્ટ્રોન અને 10  $d$  ઈલેક્ટ્રોન છે. આમ, આ તત્ત્વોની ઈલેક્ટ્રોનીય રચના એકમ 10માં ચર્ચા કરેલા પ્રથમ બે સમૂહોના તત્ત્વોની ઈલેક્ટ્રોનીય રચના કરતાં વધુ જટિલ છે. ઈલેક્ટ્રોનીય રચનામાં જોવા મળતો આ તફાવત આ સમૂહના તત્ત્વોના અન્ય ગુણધર્મો તથા આ સમૂહના બધા તત્ત્વોના રસાયણવિજ્ઞાનને અસર કરે છે.

### 11.1.2 પરમાણ્વીય ત્રિજ્યા (Atomic Radii)

સમૂહમાં ઉપરથી નીચે તરફ જતા દરેક ક્રમિક સભ્યમાં ઈલેક્ટ્રોનનો એક વધારાનો કોશ ઉમેરાતો જાય છે. તેથી પરમાણ્વીય ત્રિજ્યા વધતી જતી જોવા મળે છે. આમ, પરમાણ્વીય ત્રિજ્યામાં વિચલન જોવા મળે છે. Gaની પરમાણ્વીય ત્રિજ્યા Alની પરમાણ્વીય ત્રિજ્યા કરતાં ઓછી હોય છે. આ બાબતને ઈલેક્ટ્રોનીય રચનાના અંતર્ભાગમાં જોવા મળતી ભિન્નતાના આધારે સમજાવી શકાય છે. ગેલિયમમાં રહેલા વધારાના 10  $d$  ઈલેક્ટ્રોન બાહ્યતમ ઈલેક્ટ્રોન માટે તેમાં વધેલા કેન્દ્રિય વીજભાર પ્રત્યે માત્ર નબળી સ્ક્રિનિંગ (આવરણ) અસર (એકમ 2) દર્શાવે છે. પરિણામે ગેલિયમની પરમાણ્વીય ત્રિજ્યા (135 pm) એલ્યુમિનિયમની પરમાણ્વીય ત્રિજ્યા (143 pm) કરતાં ઓછી હોય છે.

### 11.1.3 આયનીકરણ એન્થાલ્પી (Ionization Enthalpy)

સામાન્ય વલણના આધારે કહી શકાય કે સમૂહમાં આયનીકરણ એન્થાલ્પીનું મૂલ્ય ઉપરથી નીચે તરફ સરળતાથી ઘટતું નથી. B થી Al તરફ જતાં આયનીકરણ એન્થાલ્પીમાં જોવા મળતો ઘટાડો તેના કદના વધારા સાથે સંકળાયેલો હોય છે. Al અને Ga વચ્ચે તથા In અને Tl વચ્ચેના તત્ત્વોમાં મળતી આયનીકરણ એન્થાલ્પીમાં જોવા મળતું અસાતત્ય  $d$  અને  $f$  ઈલેક્ટ્રોનને કારણે છે. આ ઈલેક્ટ્રોન નબળી સ્ક્રિનિંગ અસર ધરાવતા હોવાથી વધતા જતા કેન્દ્રિય વીજભારને સમતોલિત કરવા અશક્તિમાન હોય છે.

આયનીકરણ એન્થાલ્પીનો અપેક્ષિત ક્રમ  $\Delta_i H_1 < \Delta_i H_2 < \Delta_i H_3$  છે. દરેક તત્ત્વની પ્રથમ ત્રણ આયનીકરણ એન્થાલ્પીનો સરવાળો ઘણો વધુ હોય છે. આની અસર તમે જ્યારે રાસાયણિક ગુણધર્મોનો અભ્યાસ કરશો ત્યારે જોવા મળશે.

### 11.1.4 વિદ્યુતઋણતા (Electronegativity)

સમૂહમાં ઉપરથી નીચે તરફ જતા વિદ્યુતઋણતા પ્રથમ B થી Al સુધી ઘટતી જાય છે અને બાદમાં અંશતઃ વધતી જાય

છે (કોષ્ટક 11.2). આનું કારણ તત્ત્વોના પરમાણ્વીય કદમાં રહેલો અનિયમિત તફાવત છે.

### 11.1.5 ભૌતિક ગુણધર્મો (Physical Properties)

બોરોન સ્વભાવે અધાત્વીય છે. તે અતિ સખત અને કાળા રંગનો ઘન પદાર્થ છે. તે અનેક અપરરૂપો સ્વરૂપે અસ્તિત્વ ધરાવે છે. અતિપ્રબળ સ્ફટિકમય લેટિસને કારણે બોરોન અસામાન્ય ઊંચું ગલનબિંદુ ધરાવે છે. તે સિવાયના અન્ય તત્ત્વો નીચા ગલનબિંદુ અને ઊંચી વિદ્યુતવાહકતા ધરાવતી નરમ ધાતુઓ છે. અહીં તે નોંધવું યોગ્ય ગણાશે કે ગેલિયમ અસામાન્ય નીચું ગલનબિંદુ (303 K) ધરાવે છે જેથી તે ઉનાળા દરમિયાન પ્રવાહી અવસ્થામાં અસ્તિત્વ ધરાવે છે. તેનું ઊંચું ઉત્કલનબિંદુ (2676 K) તેને ઊંચા તાપમાનના માપન માટેનો ઉપયોગી પદાર્થ બનાવે છે. સમૂહમાં બોરોનથી થેલિયમ તરફ નીચે જતાં તત્ત્વોની ઘનતા વધતી જાય છે.

### 11.1.6 રાસાયણિક ગુણધર્મો (Chemical Properties) ઓક્સિડેશન અવસ્થા અને રાસાયણિક પ્રતિક્રિયાત્મકતામાં વલણો

બોરોનના નાના કદને કારણે તેની પ્રથમ ત્રણ આયનીકરણ એન્ટાલ્પીનો સરવાળો ઘણો વધુ હોય છે. જે +3 ઓક્સિડેશન અવસ્થાવાળા આયનોને બનતા રોકે છે અને માત્ર સહસંયોજક

સંયોજનો બનાવવા પ્રેરે છે, પરંતુ આપણે B થી Al તરફ જઈએ તો Alની પ્રથમ ત્રણ આયનીકરણ એન્ટાલ્પીના સરવાળાનું મૂલ્ય નોંધપાત્ર ઘટે છે અને તેથી તે  $Al^{3+}$  બનાવી શકે છે. વાસ્તવમાં એલ્યુમિનિયમ ઉચ્ચ વિદ્યુત ધનમય ધાતુ છે. આમ, સમૂહમાં ઉપરથી નીચે તરફ જતાં આંતરવર્તી  $d$  અને  $f$  કક્ષકોની નબળી શીલ્ડિંગ (પરિરક્ષણ) અસરને કારણે વધેલો અસરકારક કેન્દ્રિય વીજભાર  $ns$  ઇલેક્ટ્રોનને મજબૂતાઈથી બાંધી રાખે છે (આંતર યુગ્મ અસર માટે જવાબદાર). આ રીતે તેઓની બંધમાં ભાગીદારી રોકાય છે. પરિણામે બંધમાં માત્ર  $p$ -કક્ષક ભાગ લે છે. વાસ્તવમાં Ga, In અને Tl માં +1 અને +3 બંને ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓ જોવા મળે છે. ભારે તત્ત્વોમાં +1 ઓક્સિડેશન અવસ્થાનું સ્થાયીત્વ ક્રમાનુસાર વધતું જાય છે :  $Al < Ga < In < Tl$ . થેલિયમમાં +1 ઓક્સિડેશન અવસ્થા મુખ્ય છે. જ્યારે +3 ઓક્સિડેશન અવસ્થા વધુ ઓક્સિડેશનકર્તાની લાક્ષણિકતા ધરાવે છે. ઊર્જાના આધારે +1 ઓક્સિડેશન અવસ્થાવાળા સંયોજનો +3 ઓક્સિડેશન અવસ્થાની સરખામણીમાં વધુ આયનીય હોય છે.

ત્રિસંયોજક અવસ્થામાં અણુના મધ્યસ્થી પરમાણુની આસપાસ ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા 6 હોય છે (દા.ત.,  $BF_3$  માં બોરોન). આવા ઇલેક્ટ્રોન ઊણપવાળા અણુઓ સ્થાયી

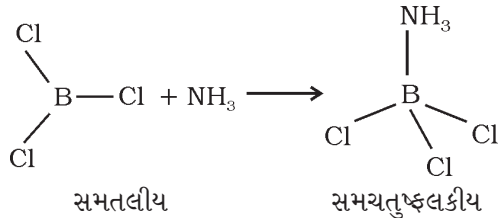
### કોષ્ટક 11.2 સમૂહ 13ના તત્ત્વોના પરમાણ્વીય અને ભૌતિક ગુણધર્મો

ગુણધર્મ	તત્ત્વ					
	બોરોન B	એલ્યુમિનિયમ Al	ગેલિયમ Ga	ઇન્ડિયમ In	થેલિયમ Tl	
પરમાણ્વીયક્રમાંક	5	13	31	49	81	
પરમાણ્વીયદળ( $g\ mol^{-1}$ )	10.81	26.98	69.72	114.82	204.38	
ઇલેક્ટ્રોનનીય રચના	$[He]2s^22p^1$	$[Ne]3s^23p^1$	$[Ar]3d^{10}4s^24p^1$	$[Kr]4d^{10}5s^25p^1$	$[Xe]4f^{14}5d^{10}6s^26p^1$	
પરમાણ્વીય ત્રિજ્યા/ $pm^a$	(85)	143	135	167	170	
આયનીય ત્રિજ્યા $M^{3+}/pm^b$	(27)	53.5	62.0	80.0	88.5	
આયનીય ત્રિજ્યા $M^+/pm$	-	-	120	140	150	
આયનીકરણ એન્ટાલ્પી/ ( $kJ\ mol^{-1}$ )	$\Delta_1H_1$ $\Delta_1H_2$ $\Delta_1H_3$	801 2427 3659	577 1816 2744	579 1979 2962	558 1820 2704	589 1971 2877
વિદ્યુતઋણતા <sup>c</sup>	2.0	1.5	1.6	1.7	1.8	
ઘનતા / $g\ cm^{-3}$ 298 K	2.35	2.70	5.90	7.31	11.85	
ગલનબિંદુ / K	2453	933	303	430	576	
ઉત્કલનબિંદુ / K	3923	2740	2676	2353	1730	
$(M^{3+}/M)$ માટે $E^{\ominus}/V$	-	-1.66	-0.56	-0.34	+1.26	
$(M^+/M)$ માટે $E^{\ominus}/V$	-	+0.55	-0.79(એસિડ) -1.39(આલ્કલી)	-0.18	-0.34	

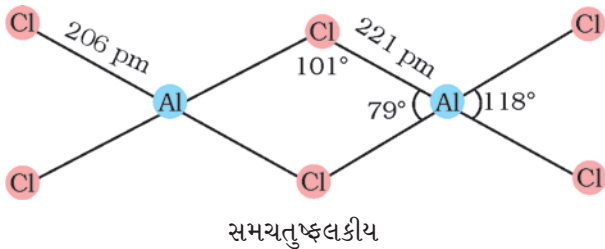
<sup>a</sup>ધાત્વીય ત્રિજ્યા, <sup>b</sup> 6-સર્વર્ગ, <sup>c</sup> પાઉલિંગ માપકમ



ઇલેક્ટ્રોનીય રચના પ્રાપ્ત કરવા માટે એક ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ સ્વીકારી લૂઈસ એસિડ તરીકે વર્તે છે. સમૂહમાં ઉપરથી નીચે તરફ જતાં કદમાં વધારો થતાં લૂઈસ એસિડ તરીકેનું વલણ ઘટતું જાય છે.  $BCl_3$  એમોનિયા પાસેથી સરળતાથી અબંધકારક ઇલેક્ટ્રોનયુગ્મ સ્વીકારીને  $BCl_3 \cdot NH_3$  બનાવે છે.



$AlCl_3$  ડાયમર બનાવીને સ્થાયીતા મેળવે છે.



ત્રિસંયોજક અવસ્થામાં મોટા ભાગના સંયોજનો સહસંયોજક હોય છે, જે પાણીમાં જળવિભાજન પામે છે. દા.ત., ટ્રાયક્લોરાઇડ પાણીમાં જળવિભાજન પામીને સમચતુષ્ફલકીય  $[M(OH)_4]^-$  સ્પીસિઝ બનાવે છે, જ્યાં M તત્ત્વની સંકરણ અવસ્થા  $sp^3$  હોય છે. એસિડિક જલીય દ્રાવણમાં એલ્યુમિનિયમ ક્લોરાઇડ અષ્ટફલકીય  $[Al(H_2O)_6]^{3+}$  આયન બનાવે છે. આ સંકીર્ણ આયનમાં Alની 3d કક્ષકો સમાયેલી હોય છે અને Alની સંકરણ અવસ્થા  $sp^3d^2$  હોય છે.

### કોષ્ટકો 11.1

$Al^{3+}/Al$ ના પ્રમાણિત વિદ્યુતપ્રવ પોટેન્શિયલનું મૂલ્ય ( $E^\ominus$ )  $-1.66 \text{ V}$  છે અને  $Tl^{3+}/Tl$ ના પ્રમાણિત વિદ્યુતપ્રવ પોટેન્શિયલનું મૂલ્ય  $+1.26 \text{ V}$  છે. દ્રાવણમાં  $M^{3+}$  આયન બનવા વિષેનું અનુમાન કરો અને બંને ધાતુઓની વિદ્યુતધન લાક્ષણિકતાની સરખામણી કરો.

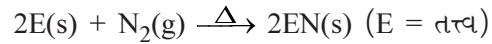
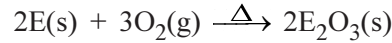
ઉકેલ :

બંને અર્ધકોષ પ્રક્રિયાઓના પ્રમાણિત વિદ્યુતપ્રવ પોટેન્શિયલના મૂલ્યો દર્શાવે છે કે એલ્યુમિનિયમમાં  $Al^{3+}$  આયન બનાવવાનું વલણ વધુ છે, જ્યારે  $Tl^{3+}$  દ્રાવણમાં માત્ર અસ્થાયી છે તેટલું જ નહિ પણ તે પ્રબળ ઓક્સિડેશનકર્તા

પણ છે. આમ દ્રાવણમાં  $Tl^{3+}$  કરતાં  $Tl^+$  વધુ સ્થાયી હોય છે. +3 આયન બનાવવાને કારણે એલ્યુમિનિયમ થેલિયમની સરખામણીમાં વધુ વિદ્યુતધન છે.

### (i) હવા પ્રત્યે પ્રતિક્રિયાત્મકતા

બોરોન સ્ફટિકીય સ્વરૂપમાં અપ્રતિક્રિયાત્મક છે. એલ્યુમિનિયમ તેની સપાટી પર ઓક્સાઇડનું અતિ પાતળું સ્તર બનાવે છે જે ધાતુ પર બાદમાં થનાર હુમલા સામે રક્ષણ આપે છે. અસ્ફટિકમય બોરોન અને એલ્યુમિનિયમ ધાતુને હવાની હાજરીમાં ગરમ કરતાં અનુક્રમે  $B_2O_3$  અને  $Al_2O_3$  બને છે. ઊંચા તાપમાને ડાયનાઇટ્રોજન સાથે તેઓ નાઇટ્રાઇડ બનાવે છે.

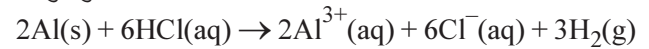


સમૂહમાં નીચે તરફ જઈએ તેમ આ ઓક્સાઇડ સંયોજનોના સ્વભાવ બદલાતા જાય છે. બોરોન ટ્રાયોક્સાઇડ એસિડિક છે અને બેઝિક (ધાત્વીય) ઓક્સાઇડ સાથે પ્રક્રિયા કરીને ધાતુબોરેટ બનાવે છે. એલ્યુમિનિયમ અને ગેલિયમના ઓક્સાઇડ સંયોજનો ઊભયધર્મી સ્વભાવ ધરાવે છે, જ્યારે ઇન્ડિયમ અને થેલિયમ ઓક્સાઇડ બેઝિક સ્વભાવ ધરાવે છે.

### (ii) એસિડ અને આલ્કલી સંયોજનો પ્રત્યે પ્રતિક્રિયાત્મકતા

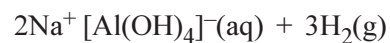
મધ્યમસરના તાપમાને પણ બોરોન એસિડ અને બેઇઝ સાથે પ્રક્રિયા કરતા નથી પણ એલ્યુમિનિયમ ખનીજ એસિડ અને જલીય આલ્કલીમાં ઓગળે છે અને ઊભયધર્મી લાક્ષણિકતા દર્શાવે છે.

એલ્યુમિનિયમ મંદ HCl માં ઓગળે છે અને ડાયહાઇડ્રોજન વાયુ મુક્ત કરે છે.



પરંતુ, સાંદ્ર નાઇટ્રિક એસિડ એલ્યુમિનિયમ ધાતુની સપાટી પર ઓક્સાઇડનું રક્ષણાત્મક સ્તર બનાવીને તેને નિષ્ક્રિય કરી દે છે.

એલ્યુમિનિયમ જલીય આલ્કલી સાથે પણ પ્રક્રિયા કરે છે અને ડાયહાઇડ્રોજન વાયુ મુક્ત કરે છે.



સોડિયમ ટેટ્રાહાઇડ્રોક્સોએલ્યુમિનેટ(III)

### (iii) હેલોજન પ્રત્યે પ્રતિક્રિયાત્મકતા

આ તત્ત્વો હેલોજન સાથે પ્રક્રિયા કરી ટ્રાયહેલાઇડ ( $TlX_3$  સિવાય) બનાવે છે.



**કોયડો 11.2**

નિર્જળ એલ્યુમિનિયમ ક્લોરાઇડની બોટલની આજુબાજુ સફેદ ધૂમ (fumes) જોવા મળે છે. કારણ આપો.

**ઉકેલ :**

નિર્જળ એલ્યુમિનિયમ ક્લોરાઇડ વાતાવરણીય ભેજ સાથે આંશિક જળવિભાજન પામીને HCl વાયુ મુક્ત કરે છે. આ ભેજયુક્ત HCl સફેદ રંગનો દેખાય છે.

## 11.2 બોરોનના અગત્યના વલણો અને અનિયમિત (વિસંગત) ગુણધર્મો (Important Trends and Anomalous Properties of Boron)

સમૂહ 13ના તત્ત્વોની રાસાયણિક વર્તણૂકમાં કેટલાક અગત્યના વલણો જોવા મળે છે. આ બધા તત્ત્વોના ટ્રાયક્લોરાઇડ, બ્રોમાઇડ અને આયોડાઇડ સંયોજનો તેઓના સહસંયોજક સ્વભાવને કારણે પાણીમાં જળવિભાજન પામે છે. જલીય માધ્યમમાં બોરોન સિવાય અન્ય તત્ત્વો સમચતુષ્ફલકીય  $[M(OH)_4]^-$  અને અષ્ટફલકીય  $[M(H_2O)_6]^{3+}$  સ્પીસિઝ તરીકે અસ્તિત્વ ધરાવે છે.

ઇલેક્ટ્રોનની ઊણપના કારણે મોનોમર સ્વરૂપના ટ્રાયહેલાઇડ સંયોજનો પ્રબળ લુઇસ એસિડ તરીકે હોય છે. બોરોન ટ્રાયક્લોરાઇડ  $NH_3$  જેવા લુઇસ બેઇઝ સાથે સરળતાથી પ્રક્રિયા કરી બોરોનની આસપાસ સંપૂર્ણ અષ્ટક રચના બનાવે છે.



બોરોનમાં *d*-કક્ષકોની ગેરહાજરીને કારણે Bની મહત્તમ સહસંયોજકતા 4 હોય છે, જ્યારે Al અને અન્ય તત્ત્વોમાં *d*-કક્ષકોની હાજરી હોવાના કારણે તેમની મહત્તમ સહસંયોજકતા 4થી વધુ હોઈ શકે છે. મોટા ભાગે ધાતુ હેલાઇડ સંયોજનો (દા.ત.,  $AlCl_3$ ) હેલોજન સેતુ દ્વારા ડાયમર (દા.ત.,  $Al_2Cl_6$ ) બનાવે છે. આ હેલોજન સેતુવાળા અણુઓમાં ધાતુ સ્પીસિઝ હેલોજન પાસેથી ઇલેક્ટ્રોન સ્વીકારીને તેનું અષ્ટક પૂર્ણ કરે છે.

**કોયડો 11.3**

બોરોન  $BF_6^{3-}$  આયન બનાવી શકતું નથી. સમજાવો.

**ઉકેલ :**

*d*-કક્ષકોની અપ્રાપ્યતાના કારણે બોરોન તેનું અષ્ટક વિસ્તારી શકતો નથી. તેથી બોરોનની મહત્તમ સહસંયોજકતા 4થી વધુ હોતી નથી.

## 11.3 બોરોનના કેટલાક અગત્યના સંયોજનો (Some Important Compounds of Boron)

બોરોનના કેટલાક ઉપયોગી સંયોજનો બોરેક્સ, ઓર્થોબોરિક એસિડ અને ડાયબોરેન છે. આપણે તેઓના રસાયણવિજ્ઞાનનો ટૂંકમાં અભ્યાસ કરીશું.

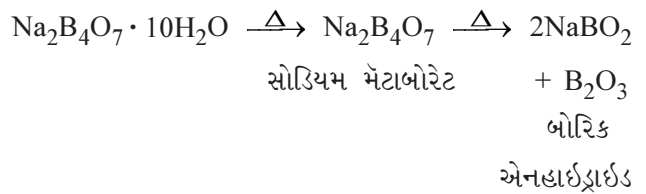
### 11.3.1 બોરેક્સ (Borax)

તે બોરોનનું અતિ મહત્વનું સંયોજન છે. તે સફેદ સ્ફટિકમય ઘન પદાર્થ છે. તેનું સૂત્ર  $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$  છે. વાસ્તવમાં તેમાં ચતુર્કેન્દ્રિય એકમો  $[B_4O_5(OH)_4]^{2-}$  હોય છે. આથી તેનું સાચું સૂત્ર  $Na_2[B_4O_5(OH)_4] \cdot 8H_2O$  થાય છે. બોરેક્સ પાણીમાં ઓગળીને બેઝિક દ્રાવણ બનાવે છે.



ઓર્થોબોરિક એસિડ

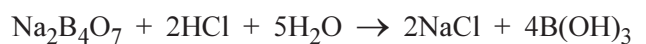
બોરેક્સને ગરમ કરવાથી પ્રથમ પાણીનો અણુ ગુમાવે છે અને ત્યારબાદ ફૂલે છે. તેને વધુ ગરમ કરવાથી તે પારદર્શક પ્રવાહીમાં ફેરવાય છે, જે કાચ જેવા ઘન પદાર્થમાં રૂપાંતર પામે છે. તેને બોરેક્સ મણકો (Borex bead) કહે છે.



ઘણી સંક્રાંતિ ધાતુઓના મેટાબોરેટ સંયોજનો વિશિષ્ટ રંગ ધરાવે છે. તેથી પ્રયોગશાળામાં તેઓની પરખ માટે બોરેક્સ મણકા કસોટીનો ઉપયોગ કરી શકાય છે. દા.ત., જ્યારે બોરેક્સને પ્લેટિનમ તારની કડી પર CoO સાથે બુન્સેન બર્નર પર ગરમ કરવામાં આવે છે ત્યારે વાદળી રંગનો મણકો  $Co(BO_2)_2$  બને છે.

### 11.3.2 ઓર્થોબોરિક એસિડ (Orthoboric Acid)

ઓર્થોબોરિક એસિડ ( $H_3BO_3$ ) સફેદ સ્ફટિકમય ઘન પદાર્થ છે, જે સ્પર્શ ચીકણા હોય છે. તે પાણીમાં અલ્પદ્રાવ્ય અને ગરમ પાણીમાં વધુ દ્રાવ્ય હોય છે. તે બોરેક્સના જલીય દ્રાવણને એસિડિક કરીને બનાવી શકાય છે.



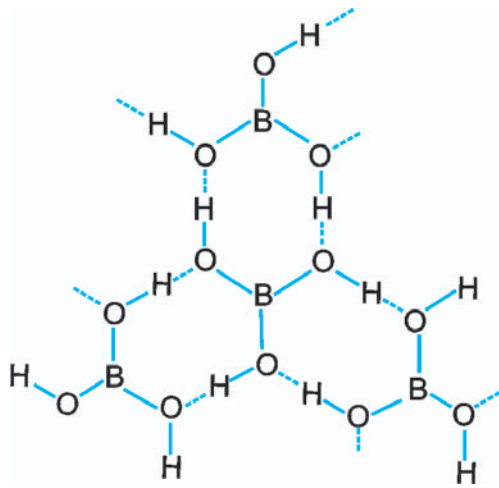
તે બોરોનના ઘણા સંયોજનોના (હેલાઇડ, હાઇડ્રાઇડ વગેરે) જળવિભાજનથી (પાણી અથવા મંદ એસિડ સાથે પ્રક્રિયા) પણ બને છે. તે સ્તરીય બંધારણ ધરાવે છે જેમાં સમતલીય  $BO_3$

એકમો આકૃતિ 11.1માં દર્શાવ્યા મુજબ હાઇડ્રોજન બંધ દ્વારા જોડાયેલા હોય છે.

બોરિક એસિડ નિર્બળ એકબેજિક એસિડ છે. તે પ્રોટોનીય (protonic) એસિડ નથી પણ હાઇડ્રોક્સિલ આયન પાસેથી ઇલેક્ટ્રોન સ્વીકારીને લુઈસ એસિડ તરીકે વર્તે છે.



ઓર્થોબોરિક એસિડને 370 K થી ઊંચા તાપમાને ગરમ કરતાં તે મેટાબોરિક એસિડ ( $\text{HBO}_2$ ) બનાવે છે. જેને વધુ ગરમ કરતાં બોરિક ઓક્સાઇડ ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ) બને છે.



**આકૃતિ 11.1** બોરિક એસિડનું બંધારણ : તૂટક રેખા હાઇડ્રોજન બંધ દર્શાવે છે.

#### કોયડો 11.4

બોરિક એસિડને શા માટે નિર્બળ એસિડ તરીકે ગણવામાં આવે છે ?

ઉકેલ :

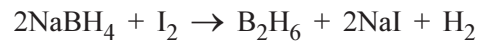
કારણ કે તે સ્વયં  $\text{H}^+$  આયન મુક્ત કરવા શક્તિમાન નથી હોતો. તે પાણીના અણુમાંથી  $\text{OH}^-$  આયન મેળવીને તેનું અષ્ટક પૂર્ણ કરે છે અને  $\text{H}^+$  આયન મુક્ત કરે છે.

#### 11.3.3 ડાયબોરેન (Diborane) ( $\text{B}_2\text{H}_6$ )

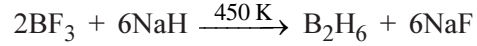
સાદામાં સાદો બોરોન હાઇડ્રાઇડ ડાયબોરેન તરીકે ઓળખાય છે. તેને ડાયઇથાઇલ ઈથરમાં બોરોન ટ્રાયફ્લોરાઇડની  $\text{LiAlH}_4$  સાથેની પ્રક્રિયાથી બનાવી શકાય છે.



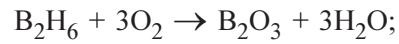
ડાયબોરેનની બનાવટ માટેની પ્રયોગશાળાની અનુકૂળ પદ્ધતિમાં સોડિયમ બોરોહાઇડ્રાઇડની આયોડિન સાથેની ઓક્સિડેશન પ્રક્રિયાનો સમાવેશ થાય છે.



ઔદ્યોગિક સ્તરે ડાયબોરેનનું ઉત્પાદન  $\text{BF}_3$ ની સોડિયમ હાઇડ્રાઇડ સાથેની પ્રક્રિયા દ્વારા કરવામાં આવે છે.

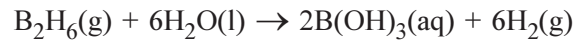


ડાયબોરેન અતિઝેરી રંગવિહીન વાયુ છે. તેનું ઉત્કલનબિંદુ 180 K છે. ડાયબોરેન હવાના સંપર્કમાં આવતા સ્વયંભૂ સળગી ઊઠે છે. હવાની હાજરીમાં તે સળગતા ખૂબ જ મોટા જથ્થામાં ઊર્જા પેદા કરે છે.

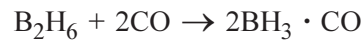
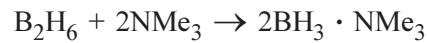


$$\Delta_c H^\ominus = -1976 \text{ kJ mol}^{-1}$$

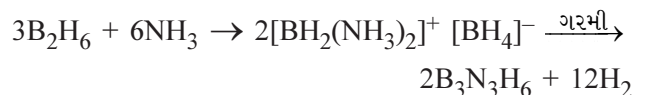
મોટા ભાગના ઉચ્ચ બોરેન સંયોજનો પણ હવામાં સ્વયંભૂ સળગી ઊઠે છે. બોરેન સંયોજનો પાણીમાં ઝડપથી જળવિભાજન પામી બોરિક એસિડ આપે છે.



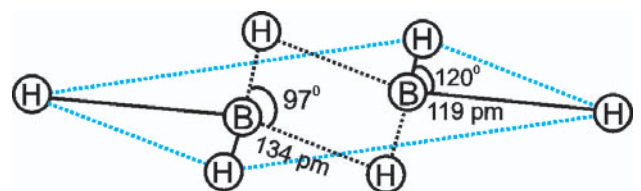
ડાયબોરેન લુઈસ બેઈઝ (L) સાથે ખંડન પ્રક્રિયા કરીને બોરોન યોગશીલ નીપજ ( $\text{BH}_3 \cdot \text{L}$ ) બનાવે છે.



ડાયબોરેન એમોનિયા સાથેની પ્રક્રિયાથી પ્રથમ  $\text{B}_2\text{H}_6 \cdot 2\text{NH}_3$  બનાવે છે. જેને સૂત્ર  $[\text{BH}_2(\text{NH}_3)_2]^+ [\text{BH}_4]^-$  દ્વારા દર્શાવી શકાય છે. તેને વધુ ગરમ કરતાં  $\text{B}_3\text{N}_3\text{H}_6$  (બોરેઝીન) મળે છે. આ સંયોજનોની વલય રચનામાં BH અને NH સમૂહો એકાંતરે ગોઠવાયેલા હોવાથી તેને અકાર્બનિક બેન્ઝિન પણ કહે છે.

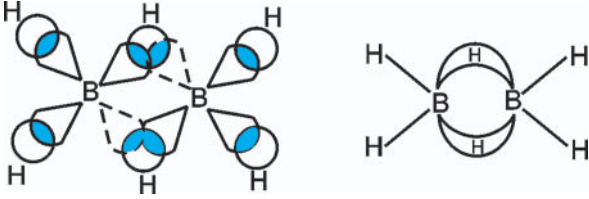


આકૃતિ 11.2(a)માં ડાયબોરેનનું બંધારણ દર્શાવેલું છે. જેમાં છેડે રહેલા ચાર હાઇડ્રોજન પરમાણુઓ અને બે બોરોન પરમાણુઓ એક જ સમતલમાં હોય છે. ઉપરાંત બે સેતુ હાઇડ્રોજન પરમાણુઓ આ સમતલની ઉપર અને નીચે પણ આવેલા હોય છે. આકૃતિ 11.2(b)માં દર્શાવ્યા મુજબ છેડે રહેલા ચાર B-H બંધ સામાન્ય બે કેન્દ્ર - બે ઇલેક્ટ્રોન બંધ બનાવે છે. જ્યારે બે સેતુ (B-H-B) બંધ જુદા હોય છે. જે ત્રણ કેન્દ્ર - બે ઇલેક્ટ્રોન બંધ બનાવે છે.



**આકૃતિ 11.2(a)** ડાયબોરેનનું બંધારણ ( $\text{B}_2\text{H}_6$ )

બોરોન, હાઇડ્રાઇડોબોરેટ સંયોજનોની શ્રેણી બનાવે છે. જેમાં સમયતુષ્કલકીય  $[\text{BH}_4]^-$  અતિ મહત્વનું છે. ઘણી ધાતુઓના ટ્રાઇહાઇડ્રાઇડોબોરેટ સંયોજનો જાણીતા છે. લિથિયમ અને સોડિયમ ટ્રાઇહાઇડ્રાઇડોબોરેટ સંયોજનોને **બોરોહાઇડ્રાઇડ સંયોજનો** પણ કહે છે, જેને ડાયઇથાઇલ ઈથરમાં ધાતુ હાઇડ્રાઇડની  $\text{B}_2\text{H}_6$  સાથેની પ્રક્રિયાથી મેળવી શકાય છે.



**આકૃતિ 11.2(b)** ડાયબોરેનમાં બંધન. બંધન માટે દરેક B પરમાણુ,  $sp^3$  સંકૃત હોય છે. દરેક B પરમાણુની ચાર  $sp^3$  સંકૃત કક્ષકોમાંથી એક ઈલેક્ટ્રોન રહિત હોય છે, જેને તૂટક રેખાથી દર્શાવેલ છે. છેડે રહેલા B-H બંધ સામાન્ય 2-કેન્દ્ર-2-ઇલેક્ટ્રોન બંધ છે, પરંતુ બે સેતુ બંધ 3-કેન્દ્ર-2-ઇલેક્ટ્રોન બંધ છે. આ 3-કેન્દ્ર-2-ઇલેક્ટ્રોન સેતુ બંધને 'કેળા આકારનો બંધ' (banana bond) પણ કહે છે.

$\text{LiBH}_4$  અને  $\text{NaBH}_4$  બંને સંયોજનો કાર્બનિક સંશ્લેષણમાં રિડક્શનકર્તા તરીકે ઉપયોગી છે. તેઓ અન્ય ધાતુબોરોહાઇડ્રાઇડની બનાવટ માટે પ્રારંભિક પદાર્થ તરીકે ઉપયોગી છે.

## 11.4 બોરોન અને એલ્યુમિનિયમ તથા તેમના સંયોજનોના ઉપયોગો (Uses of Boron and Aluminium and Their Compounds)

બોરોન ઊંચું ગલનબિંદુ, નીચી ઘનતા અને ઘણી ઓછી વિદ્યુતવાહકતા ધરાવતું અત્યંત સખત ઉચ્ચતાપસહી ઘન તત્વ હોવાથી તેના અનેક ઉપયોગો છે. બોરોન રેસાઓનો ઉપયોગ બુલેટપ્રૂફ જેકેટ બનાવવામાં તથા હવાઈજહાજ માટે હલકા સંયુક્ત (composite) પદાર્થો બનાવવામાં થાય છે. બોરોન-10 ( $^{10}\text{B}$ ) સમસ્થાનિક ન્યુટ્રોનને અવશોષવાની વધુ ક્ષમતા ધરાવે છે. તેથી ન્યુક્લિયર ઉદ્યોગોમાં ધાતુ બોરોઇડ સંયોજનો રક્ષાત્મક આવરણ અને નિયંત્રણ સળિયા તરીકે ઉપયોગી થાય છે. બોરેક્સ અને બોરિક એસિડની મુખ્ય ઔદ્યોગિક ઉપયોગિતા ઉષ્માપ્રતિકારક કાચ (દા.ત., પાયરેક્સ), કાચનું ઊન અને કાચના રેસા બનાવવાની છે. બોરેક્સ ધાતુઓના સોલ્ડરિંગ કરવા માટે ફ્લક્સ તરીકે તથા ઉષ્મા, લિસોટા અને ડાઘા પ્રતિકારક

માટીના વાસણો બનાવવામાં ઉપયોગી છે. તે ઔષધીય સાબુનો એક ઘટક છે. ઓર્થોબોરિક એસિડનું જલીય દ્રાવણ સામાન્ય રીતે મંદ જીવાણુનાશી તરીકે ઉપયોગી થાય છે.

એલ્યુમિનિયમ ચાંદી જેવી ચળકતી સફેદ ધાતુ છે. તે ઊંચું તનન સામર્થ્ય (tensile strength) ધરાવે છે. તે ઊંચી વિદ્યુત અને ઉષ્મા વાહકતા ધરાવે છે. વજન-થી-વજનના આધારે એલ્યુમિનિયમ, કૉપર કરતાં બમણી વિદ્યુતવાહકતા ધરાવે છે. રોજિંદા જીવનમાં અને ઉદ્યોગોમાં એલ્યુમિનિયમનો બહોળો ઉપયોગ થાય છે. તે Cu, Mn, Mg, Si અને Zn સાથે મિશ્ર ધાતુ બનાવે છે. એલ્યુમિનિયમ અને તેની મિશ્ર ધાતુઓને જુદા જુદા આકાર - પાઈપ, ટ્યૂબ, સળિયા, વાયર, પ્લેટ અને પતરામાં ઢાળી શકાય છે. તેથી તેનો ઉપયોગ પેકિંગમાં, વાસણો બનાવવામાં, બાંધકામમાં, વિમાન અને વાહનવ્યવહાર ઉદ્યોગમાં થાય છે. એલ્યુમિનિયમ અને તેના સંયોજનોનો તેઓના ઝેરી સ્વભાવના કારણે રોજિંદા જીવનમાં ઉપયોગ ઘટ્યો છે.

## 11.5 સમૂહ 14ના તત્ત્વો : કાર્બન પરિવાર (Group 14 Elements : The Carbon Family)

કાર્બન (C), સિલિકોન (Si), જર્મેનિયમ (Ge), ટિન (Sn) અને લેડ (Pb) સમૂહ 14ના સભ્યો છે. કાર્બન પૃથ્વીના પોપડામાં વજનથી સત્તરમા ક્રમે વિપુલ પ્રમાણમાં મળી આવતું તત્ત્વ છે. તે કુદરતમાં મુક્ત તેમજ સંયોજિત અવસ્થામાં બહોળા પ્રમાણમાં વહેંચાયેલું જોવા મળે છે. તત્ત્વ અવસ્થામાં તે કોલસા, ગ્રેફાઈટ અને હીરા સ્વરૂપે અસ્તિત્વ ધરાવે છે, જ્યારે સંયોજિત અવસ્થામાં તે ધાતુ-કાર્બોનેટ, હાઈડ્રોકાર્બન અને હવામાં કાર્બન ડાયોક્સાઈડ વાયુ (0.03 %) સ્વરૂપે હાજર હોય છે. એક બાબત દૃઢતાપૂર્વક કહી શકાય તેવી છે કે કાર્બન આખા વિશ્વમાં સૌથી વધુ ઉપયોગી તત્ત્વ છે. જેના અન્ય તત્ત્વો જેવા કે ડાયહાઈડ્રોજન, ડાયઑક્સિજન, ક્લોરિન અને સલ્ફર સાથેના સંયોજનો જીવંત પેશીઓમાંથી દવાઓ અને પ્લાસ્ટિક જેવા વિસ્મયકારક પદાર્થો બનાવે છે. કાર્બનિક રસાયણવિજ્ઞાન કાર્બનના સંયોજનો પર આધારિત હોય છે. તે જીવંત પ્રાણીઓ માટે આવશ્યક ઘટક છે. કુદરતી રીતે મળતો કાર્બન બે સ્થાયી સમસ્થાનિકો :  $^{12}\text{C}$  અને  $^{13}\text{C}$  ધરાવે છે. આ ઉપરાંત ત્રીજો સમસ્થાનિક  $^{14}\text{C}$  પણ અસ્તિત્વ ધરાવે છે, જેનો અર્ધઆયુષ્ય સમય 5770 વર્ષ છે. તેનો ઉપયોગ રેડિયોકાર્બન ડેટિંગમાં થાય છે. સિલિકોન પૃથ્વીના પોપડામાં દ્વિતીય ક્રમે (દળથી 27.7 %) વિપુલ પ્રમાણમાં મળી આવતું તત્ત્વ છે. કુદરતમાં તે સિલિકા અને સિલિકેટ સ્વરૂપે મળી આવે છે. સિલિકોન સિરામિક, કાચ અને સિમેન્ટનું ખૂબ જ અગત્યનું ઘટક છે. જર્મેનિયમ ખૂબ જ અલ્પપ્રમાણમાં અસ્તિત્વ ધરાવે છે.

ટિન મુખ્યત્વે કેસિટેરાઈટ (cassiterite) ( $\text{SnO}_2$ ) તરીકે અને લેડ ગેલીના (PbS) તરીકે મળી આવે છે.

અતિશુદ્ધ સ્વરૂપના જર્મેનિયમ અને સિલિકોન ટ્રાન્ઝિસ્ટર અને અર્ધવાહક બનાવવામાં ઉપયોગી થાય છે.

કોષ્ટક 11.3માં સમૂહ 14ના તત્ત્વોના અગત્યના પરમાણ્વીય અને ભૌતિક ગુણધર્મો તેઓની ઈલેક્ટ્રોનીય રચના સહિત દર્શાવેલા છે. કેટલાક પરમાણ્વીય, ભૌતિક અને રાસાયણિક ગુણધર્મોની ચર્ચા નીચે કરવામાં આવી છે.

### 11.5.1 ઈલેક્ટ્રોનીય રચના

#### (Electronic Configuration)

સમૂહ 14ના તત્ત્વોની સંયોજકતા કોશની ઈલેક્ટ્રોનીય રચના  $ns^2np^2$  છે. આ સમૂહના તત્ત્વોની પણ ઈલેક્ટ્રોનીય રચનાના અંતર્ભાગ જુદા પડે છે.

### 11.5.2 સહસંયોજક ત્રિજ્યા (Covalent Radius)

C થી Si તરફ જતાં સહસંયોજક ત્રિજ્યામાં નોંધપાત્ર વધારો થાય છે, ત્યારબાદ Si થી Pb તરફ જતાં આ ત્રિજ્યામાં ઓછો વધારો જોવા મળે છે. આમ, થવાનું કારણ ભારે તત્ત્વોમાં સંપૂર્ણ ભરાયેલી  $d$  અને  $f$  કક્ષકોની હાજરી છે.

### 11.5.3 આયનીકરણ એન્થાલ્પી (Ionization Enthalpy)

સમૂહ 14ના તત્ત્વોની પ્રથમ આયનીકરણ એન્થાલ્પી તેને અનુવર્તી સમૂહ 13ના તત્ત્વોની પ્રથમ આયનીકરણ એન્થાલ્પી કરતાં વધુ હોય છે. અહીં પણ અંતર્ભાગ ઈલેક્ટ્રોનની અસર જોવા મળે છે. સામાન્ય રીતે સમૂહમાં નીચે તરફ જતાં આયનીકરણ એન્થાલ્પીનું મૂલ્ય ઘટતું જાય છે. Si થી Ge તથા Ge થી Sn તરફ જતાં  $\Delta_i H$  માં ઓછો ઘટાડો જોવા મળે છે તથા Sn થી Pb તરફ જતાં  $\Delta_i H$  માં અલ્પ વધારો જોવા મળે છે. જેનું કારણ આંતરવર્તી  $d$  અને  $f$ -કક્ષકોની શિલ્ડીંગ અસર અને પરમાણુના કદમાં થતો વધારો છે.

### 11.5.4 વિદ્યુતઋણતા (Electronegativity)

નાના કદના કારણે સમૂહ 14ના તત્ત્વોની વિદ્યુતઋણતા સમૂહ 13ના તત્ત્વોની વિદ્યુતઋણતા કરતાં થોડી વધુ હોય છે. Si થી Pb તરફના તત્ત્વોની વિદ્યુતઋણતાનું મૂલ્ય લગભગ સરખું હોય છે.

### 11.5.5 ભૌતિક ગુણધર્મો (Physical Properties)

સમૂહ 14ના બધા તત્ત્વો ઘન છે. કાર્બન અને સિલિકોન અધાતુ, જર્મેનિયમ ઉપધાતુ, જ્યારે ટિન અને લેડ નીચા

### કોષ્ટક 11.3 સમૂહ 14ના તત્ત્વોના પરમાણ્વીય અને ભૌતિક ગુણધર્મો

ગુણધર્મ	તત્ત્વ					
	કાર્બન C	સિલિકોન Si	જર્મેનિયમ Ge	ટિન Sn	લેડ Pb	
પરમાણ્વીય-ક્રમાંક	6	14	32	50	82	
પરમાણ્વીય દળ ( $\text{g mol}^{-1}$ )	12.01	28.09	72.60	118.71	207.2	
ઈલેક્ટ્રોનીય રચના	$[\text{He}]2s^22p^2$	$[\text{Ne}]3s^23p^2$	$[\text{Ar}]3d^{10}4s^24p^2$	$[\text{Kr}]4d^{10}5s^25p^2$	$[\text{Xe}]4f^{14}5d^{10}6s^26p^2$	
સહસંયોજક ત્રિજ્યા/ $\text{pm}^a$	77	118	122	140	146	
આયનીય ત્રિજ્યા $M^{4+}/\text{pm}^b$	–	40	53	69	78	
આયનીય ત્રિજ્યા $M^{2+}/\text{pm}^b$	–	–	73	118	119	
આયનીકરણ	$\Delta_i H_1$	1086	786	761	708	715
એન્થાલ્પી /	$\Delta_i H_2$	2352	1577	1537	1411	1450
$\text{kJ mol}^{-1}$	$\Delta_i H_3$	4620	3228	3300	2942	3081
	$\Delta_i H_4$	6220	4354	4409	3929	4082
વિદ્યુતઋણતા <sup>c</sup>	2.5	1.8	1.8	1.8	1.9	
ઘનતા <sup>d</sup> / $\text{g cm}^{-3}$	3.51 <sup>e</sup>	2.34	5.32	7.26 <sup>f</sup>	11.34	
ગલનબિંદુ/K	4373	1693	1218	505	600	
ઉત્કલનબિંદુ/K	–	3550	3123	2896	2024	
વિદ્યુતીય અવરોધકતા/ $\text{ohm cm}$ (293 K)	$10^{14}$ – $10^{16}$	50	50	$10^{-5}$	$2 \times 10^{-5}$	

<sup>a</sup>  $M^{IV}$  માટે ઓક્સિડેશન અવસ્થા; <sup>b</sup> 6-સવર્ગ; <sup>c</sup> પાઉલિંગ માપક્રમ; <sup>d</sup> 293 K; <sup>e</sup> હીરા માટે, ગ્રેફાઈટ માટે ઘનતા 2.22; <sup>f</sup>  $\beta$ -સ્વરૂપ (ઓરડાના તાપમાને સ્થાયી)

ગલનબિંદુ ધરાવતી નરમ ધાતુઓ છે. સમૂહ 14ના તત્ત્વોના ગલનબિંદુ અને ઉત્કલનબિંદુ તેને અનુવર્તી સમૂહ 13ના તત્ત્વોના ગલનબિંદુ અને ઉત્કલનબિંદુ કરતાં વધુ હોય છે.

### 11.5.6 રાસાયણિક ગુણધર્મો (Chemical Properties)

#### ઑક્સિડેશન અવસ્થા અને રાસાયણિક પ્રતિક્રિયાત્મકતામાં વલણો

સમૂહ 14ના તત્ત્વોની બાહ્યતમ કોશમાં ચાર ઇલેક્ટ્રોન હોય છે. આ તત્ત્વો સામાન્ય ઑક્સિડેશન અવસ્થા +4 અને +2 દર્શાવે છે. કાર્બન ઋણ ઑક્સિડેશન અવસ્થા પણ દર્શાવે છે. તેની પ્રથમ ચાર આયનીકરણ એન્ટાલ્પીનો સરવાળો ઘણો વધુ હોય છે. તેથી સામાન્ય રીતે +4 ઑક્સિડેશન અવસ્થાવાળા સંયોજનો સ્વભાવે સહસંયોજક હોય છે. ભારે તત્ત્વોમાં +2 ઑક્સિડેશન દર્શાવવાનું વલણ  $Ge < Sn < Pb$  ક્રમમાં વધતું જાય છે. તેનું કારણ સંયોજકતા કોશના  $ns^2$  ઇલેક્ટ્રોનની બંધ બનાવવામાં ભાગ લેવાની અક્ષમતા છે. આ બે ઑક્સિડેશન અવસ્થાની સાપેક્ષ સ્થાયીતા સમૂહમાં નીચે તરફ જતા બદલાતી જાય છે. કાર્બન અને સિલિકોન મુખ્યત્વે +4 ઑક્સિડેશન અવસ્થા દર્શાવે છે. જર્મેનિયમ +4 ઑક્સિડેશન અવસ્થામાં સ્થાયી સંયોજનો બનાવે છે, જ્યારે +2 ઑક્સિડેશન અવસ્થામાં માત્ર થોડાક જ સંયોજનો બનાવે છે. ટિન આ બંને ઑક્સિડેશન અવસ્થામાં સંયોજનો બનાવે છે (Sn, +2 ઑક્સિડેશન અવસ્થામાં રિડક્શનકર્તા તરીકે વર્તે છે.). લેડના સંયોજનો +2 ઑક્સિડેશન અવસ્થામાં સ્થાયી હોય છે અને +4 ઑક્સિડેશન અવસ્થામાં પ્રબળ ઑક્સિડેશનકર્તા તરીકે વર્તે છે. ચતુર્સંયોજક અવસ્થામાં અણુમાં મધ્યસ્થી પરમાણુની આસપાસ આઠ ઇલેક્ટ્રોન હોય છે (દા.ત.,  $CCl_4$ માં કાર્બન). તેઓ ઇલેક્ટ્રોન પરિપૂર્ણ અણુઓ હોવાના કારણે તેઓની પાસે ઇલેક્ટ્રોન દાતા કે ઇલેક્ટ્રોનગ્રાહી સ્પીસિઝ તરીકેની અપેક્ષા રાખી શકાતી નથી. જોકે કાર્બન ચાર કરતાં વધુ સહસંયોજકતા દર્શાવી શકતું નથી, પરંતુ સમૂહના અન્ય તત્ત્વો તેવું કરી શકે છે. આમ થવાનું કારણ તેઓમાં  $d$ -કક્ષકની હાજરી છે. આ કારણે તેઓના હેલાઈડ સંયોજનો જળવિભાજન પામે છે અને દાતા સ્પીસિઝ તરફથી ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મો સ્વીકારીને સંકીર્ણ બનાવવાનું વલણ ધરાવે છે. દા.ત.,  $SiF_6^{2-}$ ,  $[GeCl_6]^{2-}$ ,  $[Sn(OH)_6]^{2-}$  સ્પીસિઝ, જેમાં મધ્યસ્થી પરમાણુનું સંકરણ  $sp^3d^2$  છે.

#### (i) ઑક્સિજન પ્રત્યે પ્રતિક્રિયાત્મકતા

આ સમૂહના બધા તત્ત્વો ઑક્સિજનની હાજરીમાં ગરમ કરવાથી ઑક્સાઈડ બનાવે છે. આ ઑક્સાઈડ મુખ્યત્વે બે પ્રકારના હોય છે – મોનોક્સાઈડ અને ડાયોક્સાઈડ. તેઓના આણ્વીય સૂત્ર અનુક્રમે MO અને  $MO_2$  છે. SiO માત્ર ઊંચા

તાપમાને જ અસ્તિત્વ ધરાવે છે. સામાન્ય રીતે ઊંચી ઑક્સિડેશન અવસ્થા ધરાવતા તત્ત્વના ઑક્સાઈડ સંયોજનો નીચી ઑક્સિડેશન અવસ્થા ધરાવતા તત્ત્વના ઑક્સાઈડ સંયોજનો કરતાં વધુ એસિડિક હોય છે. ડાયોક્સાઈડ  $-CO_2$ ,  $SiO_2$  અને  $GeO_2$  સ્વભાવે એસિડિક હોય છે, જ્યારે  $SnO_2$  અને  $PbO_2$  સ્વભાવે ઊભયગુણી હોય છે. મોનોક્સાઈડમાં CO તટસ્થ, GeO એસિડિક જ્યારે SnO અને PbO તટસ્થ હોય છે.

#### કોયડો 11.5

સમૂહ 14ના સભ્યો પસંદ કરો કે જે

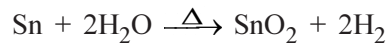
- સૌથી વધુ એસિડિક ડાયોક્સાઈડ બનાવે છે.
- સામાન્ય રીતે +2 ઑક્સિડેશન અવસ્થામાં જોવા મળે છે.
- અર્ધવાહક તરીકે ઉપયોગી છે.

ઉકેલ :

- કાર્બન (ii) લેડ (iii) સિલિકોન અને જર્મેનિયમ

#### (ii) પાણી પ્રત્યે પ્રતિક્રિયાત્મકતા

કાર્બન, સિલિકોન અને જર્મેનિયમને પાણીની કોઈ અસર થતી નથી. ટિન પાણીની બાષ્પનું વિઘટન કરી ડાયોક્સાઈડ અને ડાયહાઈડ્રોજન વાયુ બનાવે છે.



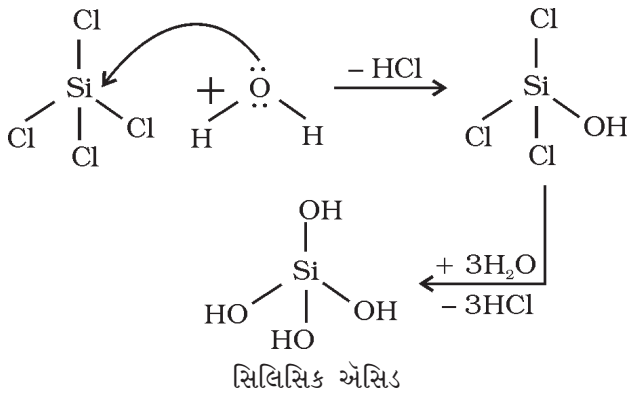
લેડ પર પાણીની અસર થતી નથી, તેનું સંભવિત કારણ તેના પર બનતું રક્ષણાત્મક ઑક્સાઈડ સ્તર છે.

#### (iii) હેલોજન પ્રત્યે પ્રતિક્રિયાત્મકતા

સમૂહ 14ના તત્ત્વો  $MX_2$  અને  $MX_4$  (જ્યાં, X = F, Cl, Br, I) આણ્વીયસૂત્રવાળા હેલાઈડ સંયોજનો બનાવે છે. કાર્બન સિવાયના અન્ય બધા તત્ત્વો અનુકૂળ પરિસ્થિતિમાં સીધા જ હેલોજન સાથે જોડાઈને હેલાઈડ સંયોજનો બનાવે છે. મોટા ભાગના  $MX_4$  પ્રકારના સંયોજનો સહસંયોજક પ્રકૃતિ ધરાવે છે. આ હેલાઈડ સંયોજનોના મધ્યસ્થી પરમાણુ  $sp^3$  સંકરણ દર્શાવે છે અને અણુનાં આકાર સમચતુષ્ફલકીય હોય છે.  $SnF_4$  અને  $PbF_4$  અપવાદ છે. કારણ કે તેઓ આયનીય પ્રકૃતિ ધરાવે છે.  $PbI_4$  અસ્તિત્વ ધરાવતો નથી કારણ કે પ્રારંભમાં Pb-I બંધ બને છે ત્યારે પ્રક્રિયા એટલી ઊર્જા ઉત્પન્ન નથી કરી શકતી કે  $6s^2$  માંના ઇલેક્ટ્રોન અયુગ્મિત થાય અને તેમાંનો એક ઇલેક્ટ્રોન ઊંચી કક્ષકમાં ઉત્તેજિત થવાથી લેડ પરમાણુની આસપાસ ચાર અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્ત કરી શકે. ભારે તત્ત્વોમાં Ge થી Pb તરફ જતા તત્ત્વો  $MX_2$  આણ્વીય સૂત્રવાળા હેલાઈડ સંયોજનો બનાવવાની ક્ષમતા ધરાવે છે. સમૂહમાં નીચે તરફ જતાં ડાયહેલાઈડ સંયોજનોની સ્થાયીતા વધતી જાય છે. ઉષ્મીય અને રાસાયણિક સ્થાયીતાના આધારે  $GeX_4$ ,  $GeX_2$  કરતાં વધુ સ્થાયી છે, જ્યારે  $PbX_4$  કરતાં  $PbX_2$  વધુ સ્થાયી છે.  $CCl_4$

સિવાય અન્ય ટેટ્રાક્લોરાઈડ સંયોજનો સહેલાઈથી પાણી દ્વારા જળવિભાજન પામી શકે છે, કારણ કે મધ્યસ્થ પરમાણુ પાણીના ઓક્સિજન પરમાણુના અબંધકારક ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મને પોતાની *d*-કક્ષકમાં સમાવી શકે છે.

$\text{SiCl}_4$ ના ઉદાહરણ દ્વારા આપણે જળવિભાજનને સમજી શકીએ છીએ. જળવિભાજનની શરૂઆતમાં Si પોતાની *d*-કક્ષકમાં ઓક્સિજન પરમાણુના અબંધકારક ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મને સ્વીકારે છે, અંતમાં નીચે દર્શાવ્યા મુજબ  $\text{Si}(\text{OH})_4$  બને છે :



### કોષ્ટકો 11.6

$[\text{SiF}_6]^{2-}$  જાણીતું છે જ્યારે  $[\text{SiCl}_6]^{2-}$  જાણીતું નથી. આના સંબંધિત કારણો જણાવો.

ઉકેલ :

તેના મુખ્ય કારણો નીચે મુજબ છે :

- $\text{Si}^{4+}$ ના મર્યાદિત કદને કારણે તેની આસપાસ મોટા કદવાળા 6 ક્લોરાઈડ આયનોને સમાવી શકાતા નથી.
- $\text{Si}^{4+}$  અને ક્લોરાઈડ આયનના અબંધકારક ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ વચ્ચે પારસ્પરિક્રિયા વધુ પ્રબળ હોતી નથી.

## 11.6 કાર્બનના અગત્યના વલણો અને અનિયમિત વર્તણૂક (Important Trends and Anomalous Behaviour of Carbon)

અન્ય સમૂહોના પ્રથમ તત્ત્વની જેમજ કાર્બન તત્ત્વ પણ તે જ સમૂહના અન્ય તત્ત્વો કરતાં જુદું પડે છે. આમ થવાનું કારણ તેનું નાનું કદ, વધુ વિદ્યુતઋણતા, ઊંચી આયનીકરણ એન્ટાલ્પી અને *d*-કક્ષકોની અપ્રાપ્યતા છે.

કાર્બનમાં માત્ર *s* અને *p* કક્ષકો જ બંધ બનાવવા માટે પ્રાપ્ય હોય છે. તેથી તેની આસપાસ માત્ર ચાર ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મોને સમાવી શકાય છે. આ કારણે જ કાર્બનની મહત્તમ સહસંયોજકતા ચાર હોય છે. જ્યારે અન્ય તત્ત્વો *d*-કક્ષકોની હાજરીના કારણે તેઓની સહસંયોજકતામાં વધારો કરી શકે છે.

કાર્બનમાં પોતાની સાથે અથવા કદમાં નાના અને ઊંચી વિદ્યુતઋણતા ધરાવતા અન્ય પરમાણુઓ સાથે  $p\pi-p\pi$  બહુબંધો બનાવવાની અદ્વિતીય ક્ષમતા રહેલી છે. બહુબંધોના કેટલાક ઉદાહરણો :  $\text{C}=\text{C}$ ,  $\text{C}\equiv\text{C}$ ,  $\text{C}=\text{O}$ ,  $\text{C}=\text{S}$  અને  $\text{C}\equiv\text{N}$  છે. ભારે તત્ત્વો  $p\pi-p\pi$  બંધ બનાવી શકતા નથી. કારણ કે તેઓની પરમાણ્વીય કક્ષકો ખૂબ જ મોટી અને વિસરિત હોવાથી અસરકારક સંમિશ્રણ થતું નથી.

કાર્બન પરમાણુ અન્ય કાર્બન પરમાણુ સાથે સહસંયોજક બંધથી જોડાઈને લાંબી શૃંખલા અને વલય બનાવવાનું વલણ ધરાવે છે. કાર્બનના આ વલણને કેટેનેશન (Catenation) કહે છે. C-C બંધ અત્યંત મજબૂત હોવાના કારણે આમ થાય છે. સમૂહમાં નીચેની તરફ જતાં પરમાણ્વીય કદ વધે છે અને વિદ્યુતઋણતા ઘટે છે. જેથી કેટેનેશનનું વલણ ઘટતું જાય છે. આ બાબતને બંધ એન્ટાલ્પીના મૂલ્યથી સ્પષ્ટ રીતે સમજી શકાય છે. કેટેનેશનનો ક્રમ  $\text{C} \gg \text{Si} > \text{Ge} \approx \text{Sn}$  છે. લેડ કેટેનેશન દર્શાવી શકતું નથી.

બંધ	બંધ એન્ટાલ્પી / $\text{kJ mol}^{-1}$
C—C	348
Si—Si	297
Ge—Ge	260
Sn—Sn	240

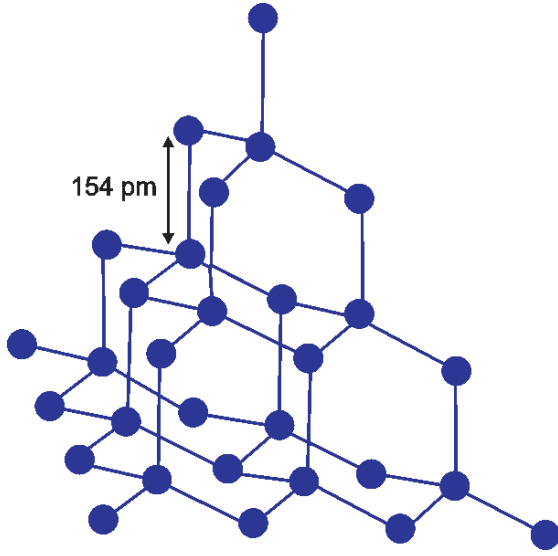
કેટેનેશન ગુણધર્મ અને  $p\pi-p\pi$  બંધ નિર્માણના કારણે કાર્બન અપરરૂપો દર્શાવી શકે છે.

## 11.7 કાર્બનના અપરરૂપો (Allotropes of Carbon)

કાર્બન સ્ફટિકમય અને અસ્ફટિકમય બંને સ્વરૂપે ઘણા અપરરૂપો ધરાવે છે. હીરો અને ગ્રેફાઈટ કાર્બનના વધુ પ્રચલિત સ્ફટિકમય અપરરૂપો છે. 1985માં એચ. ડબલ્યુ ક્રોટો (H. W. Kroto), ઈ. સ્મોલે (E. Smalle) અને આર. એફ. કર્લ (R. F. Curl) વૈજ્ઞાનિકોએ ફુલેરિન તરીકે જાણીતા કાર્બનના ત્રીજા સ્વરૂપની શોધ કરી હતી. આ શોધ માટે તેઓને 1996માં નોબેલ પારિતોષિક એનાયત કરવામાં આવ્યું હતું.

### 11.7.1 હીરો (Diamond)

હીરો સ્ફટિકમય લેટિસ છે. તેમાં દરેક કાર્બન પરમાણુ  $sp^3$  સંકરણ ધરાવે છે અને અન્ય ચાર કાર્બન પરમાણુઓ સાથે સમચતુષ્ફલકીય આકારે સંકૃત કક્ષકોની મદદથી જોડાયેલો હોય છે. તેમાં C-C બંધલંબાઈ 154 pm હોય છે. આ બંધારણ અવકાશમાં વિસ્તાર પામે છે અને કાર્બન પરમાણુઓની દૃઢ ત્રિપરિમાણીય જાળીદાર રચના બનાવે છે. આ બંધારણમાં (આકૃતિ 11.3) સદિશીય સહસંયોજકબંધ સમગ્ર લેટિસમાં રહેલા હોય છે.



આકૃતિ 11.3 હીરાનું બંધારણ

આ પ્રકારના વિસ્તૃત સહસંયોજકબંધને તોડવા અતિ મુશ્કેલ છે અને તેથી હીરો પૃથ્વી પરનો સૌથી વધુ કઠિન પદાર્થ છે, તેનો ઉપયોગ સાધનોની ધાર કાઢવા માટે અપઘર્ષક (abrasive) તરીકે, બીબાં બનાવવા અને વીજળીના બલ્બમાં ટંગસ્ટનના પાતળા તારના ઉત્પાદનમાં થાય છે.

#### કોયડો 11.7

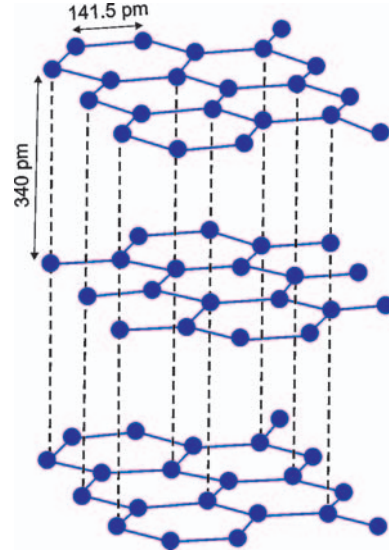
હીરો સહસંયોજક હોવા છતાં તેનું ગલનબિંદુ ઊંચું હોય છે. શા માટે ?

ઉકેલ :

હીરો પ્રબળ C-C બંધ ધરાવતી ત્રિપરિમાણીય જાળીદાર રચના ધરાવે છે. જેને તોડવી અતિ મુશ્કેલ છે. તેથી તેનું ગલનબિંદુ ઊંચું હોય છે.

#### 11.7.2 ગ્રેફાઈટ (Graphite)

ગ્રેફાઈટ સ્તરીય બંધારણ (આકૃતિ 11.4) ધરાવે છે. આ સ્તરો વાનુ ડર વાલ્સ આકર્ષણ બળને કારણે જોડાયેલા હોય છે અને બે સ્તરો વચ્ચેનું અંતર 340 pm હોય છે. દરેક સ્તર કાર્બન પરમાણુઓના સમતલીય પટ્ટકોણીય વલયોથી બનેલું હોય છે. આ સ્તરમાં C-C બંધલંબાઈ 141.5 pm હોય છે. પટ્ટકોણીય વલયમાં દરેક કાર્બન પરમાણુઓ  $sp^2$  સંકરણ ધરાવે છે અને પડોશના ત્રણ કાર્બન પરમાણુઓ સાથે ત્રણ સિગ્મા બંધ બનાવે છે. ચોથો ઇલેક્ટ્રોન  $\pi$  બંધ બનાવે છે. સંપૂર્ણ સ્તર પર આ ઇલેક્ટ્રોન વિસ્થાનીકૃત થાય છે. ઇલેક્ટ્રોન ગતિશીલ હોય છે. તેથી સમગ્ર ગ્રેફાઈટ સ્તરમાં વિદ્યુતપ્રવાહનું વહન કરે છે. ગ્રેફાઈટમાં સ્તરો વચ્ચેના બંધોને સહેલાઈથી તોડી શકાય છે. તેથી



આકૃતિ 11.4 ગ્રેફાઈટનું બંધારણ

તે અતિ નરમ અને સરકી શકે તેવું (slippery) હોય છે. આ કારણે ઊંચા તાપમાને ચાલતા મશીનોમાં જ્યાં ઓઈલનો ઊંજણ પદાર્થ તરીકે ઉપયોગ થઈ શકતો નથી, ત્યાં ગ્રેફાઈટ શુષ્ક ઊંજણ પદાર્થ તરીકે ઉપયોગી બને છે.

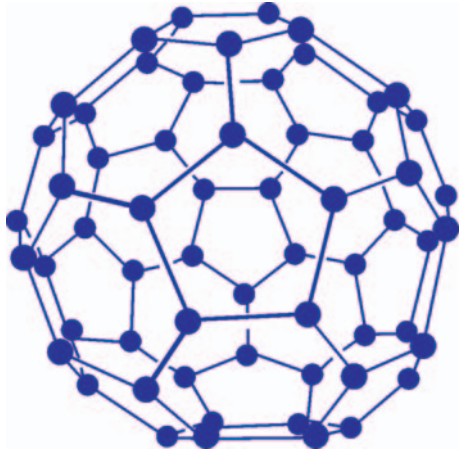
#### 11.7.3 ફુલેરિન સંયોજનો (Fullerenes)

હિલિયમ અથવા આર્ગોન જેવા નિષ્ક્રિય વાયુઓની હાજરીમાં જ્યારે ગ્રેફાઈટને વિદ્યુત ચાપમાં ગરમ કરવામાં આવે છે ત્યારે ફુલેરિન સંયોજનો બને છે. બાષ્પ સ્વરૂપના નાના  $C^n$  અણુઓને સંઘનિત કરવાથી પ્રાપ્ત થતા મેશવાળા પદાર્થમાં મુખ્યત્વે  $C_{60}$ , થોડા પ્રમાણમાં  $C_{70}$  તથા અતિ અલ્પપ્રમાણમાં 350 કે તેથી વધુ બેકી સંખ્યામાં કાર્બન ધરાવતા ફુલેરિન સંયોજનો જોવા મળે છે. ફુલેરિન સંયોજનો એક માત્ર કાર્બનનું શુદ્ધ સ્વરૂપ છે. કારણ કે તેઓ 'ગુલતા' બંધ સિવાયનું મૃદુ બંધારણ ધરાવે છે. ફુલેરિન સંયોજનો પિંજર જેવા અણુઓ છે.  $C_{60}$  અણુનો આકાર સોકર બોલ (soccer ball) જેવો હોય છે અને તેને બકમિન્સ્ટર ફુલેરિન (Buckminster fullerene) (આકૃતિ 11.5) કહેવામાં આવે છે.

ફુલેરિન છ સભ્યોવાળા વીસ વલયો અને પાંચ સભ્યોવાળા બાર વલયો ધરાવે છે. છ સભ્યવાળું વલય પાંચ કે છ સભ્યવાળા વલય સાથે સંગલિત થાય છે, પરંતુ પાંચ સભ્યવાળું વલય માત્ર છ સભ્યવાળા વલય સાથે સંગલિત થાય છે. બધા જ કાર્બન પરમાણુઓ સમતુલ્ય હોય છે અને તેઓ  $sp^2$  સંકરણ ધરાવે છે. દરેક કાર્બન પરમાણુ અન્ય ત્રણ કાર્બન પરમાણુ સાથે ત્રણ સિગ્મા બંધ બનાવે છે. દરેક કાર્બનનો બાકીનો ઇલેક્ટ્રોન આણ્વીય કક્ષકો પર વિસ્થાનીકૃત પામે છે જે અણુને એરોમેટિક



લાક્ષણિકતા આપે છે. આ બોલ આકારના અણુમાં 60 શિરોબિંદુઓ હોય છે અને તે દરેક સ્થાને એક કાર્બન પરમાણુ રહેલો હોય છે. આ અણુ એકલ અને દ્વિ બંને પ્રકારના બંધ ધરાવે છે. જેમાં C-C અંતર અનુક્રમે 143.5 pm અને 138.3 pm હોય છે. આ ગોળાકાર ફુલેરિનને ટૂંકમાં બકીબોલ (bucky ball) પણ કહે છે.



**આકૃતિ 11.5** બકમિન્સ્ટર ફુલેરિન C<sub>60</sub>નું બંધારણ : અણુનો આકાર સોકર બોલ (ફુટબોલ) જેવો હોય છે.

એક અગત્યનું પરિણામ એ છે કે કાર્બનનું અપરરૂપ ગ્રેફાઈટ ઉષ્માગતિશાસ્ત્ર મુજબ સૌથી વધુ સ્થાયી છે. તેથી ગ્રેફાઈટની  $\Delta_f H^\ominus$  ને શૂન્ય ગણવામાં આવે છે. હીરા તથા ફુલેરિન C<sub>60</sub>ના  $\Delta_f H^\ominus$  નું મૂલ્ય અનુક્રમે 1.90 અને 38.1 kJ mol<sup>-1</sup> હોય છે.

કાર્બન તત્ત્વના અન્ય રૂપો જેવા કે કાર્બન બ્લેક, કોક અને કોલસા એ ગ્રેફાઈટ અથવા ફુલેરિનના અશુદ્ધ સ્વરૂપો છે. હવાના મર્યાદિત જથ્થામાં હાઈડ્રોકાર્બનને બાળવાથી કાર્બન બ્લેક મળે છે. હવાની ગેરહાજરીમાં લાકડાં અથવા કોલસાને ગરમ કરવાથી કોલસો તથા કોક મળે છે.

### 11.7.4 કાર્બનના ઉપયોગો (Uses of Carbon)

પ્લાસ્ટિક પદાર્થમાં ગ્રેફાઈટ રેસાઓને ઉમેરવાથી ઊંચી પ્રબળતાવાળો વજનમાં હલકો સંયુક્ત પદાર્થ (composite) મેળવી શકાય છે. આ સંયુક્ત પદાર્થ ટેનિસ રેકેટ, માછલી પકડવાનો દંડો, વિમાન અને હોડીઓ જેવી વસ્તુઓની બનાવટમાં ઉપયોગી થાય છે. સુવાહક તરીકે ગ્રેફાઈટ બેટરીમાં વિદ્યુતધ્રુવ તરીકે તથા ઔદ્યોગિક વિદ્યુતવિભાજનમાં ઉપયોગમાં લેવાય છે. ગ્રેફાઈટમાંથી બનેલી કુસિબલ મંદ એસિડ અને આલ્કલી પ્રત્યે નિષ્ક્રિય હોય છે. વધુ છિદ્રાળુ હોવાના કારણે સક્રિયકૃત કોલસો ઝેરી વાયુઓના અધિશોષણમાં, પાણીની ગાળણક્રિયામાં કાર્બનિક સંદૂષકોને (contaminators) દૂર કરવા માટે અને વાતાનુકૂલિત પ્રણાલીમાં વાસને નિયંત્રિત કરવા ઉપયોગમાં લેવાય છે. કાર્બન

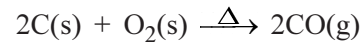
બ્લેક કાળી શાહીમાં કાળા વર્ણક તરીકે તથા સ્વયંસંચાલિત વાહનોના ટાયરમાં ફિલર તરીકે ઉપયોગી છે. કોક બળતણ તરીકે તથા ધાતુકર્મવિધિમાં રિડક્શનકર્તા તરીકે વિશેષ પ્રમાણમાં ઉપયોગી બને છે. હીરો કિંમતી પથ્થર છે અને તેનો ઉપયોગ ઘરેણામાં થાય છે તેનું માપન કેરેટમાં થાય છે (1 કેરેટ = 200 mg).

## 11.8 કાર્બન અને સિલિકોનના કેટલાક અગત્યના સંયોજનો (Some Important Compounds of Carbon and Silicon)

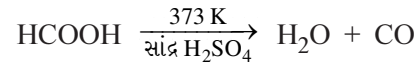
કાર્બનના બે અગત્યના ઓક્સાઈડ - કાર્બન મોનોક્સાઈડ (CO) અને કાર્બન ડાયોક્સાઈડ (CO<sub>2</sub>) છે.

### 11.8.1 કાર્બન મોનોક્સાઈડ (Carbon Monoxide)

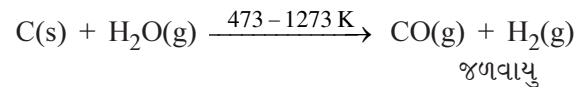
ઓક્સિજન અથવા હવાના મર્યાદિત જથ્થાની હાજરીમાં કાર્બનનું સીધું ઓક્સિડેશન થઈ કાર્બન મોનોક્સાઈડ બને છે.



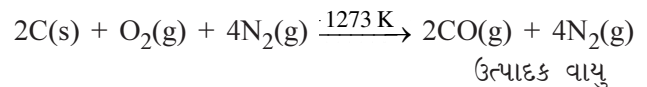
નાના પાયે શુદ્ધ COનું ઉત્પાદન ફોર્મિક એસિડની સાંદ્ર સલ્ફ્યુરિક એસિડ સાથેની 373 K તાપમાને નિર્જલીકરણની પ્રક્રિયાથી કરવામાં આવે છે.



ઔદ્યોગિક સ્તરે કાર્બન મોનોક્સાઈડનું ઉત્પાદન કરવા માટે ગરમ કોક પરથી પાણીની વરાળને પસાર કરવામાં આવે છે. આ રીતે મળતા CO તથા H<sub>2</sub>ના મિશ્રણને જળવાયુ અથવા સાંસ્લેષિત વાયુ કહેવામાં આવે છે.



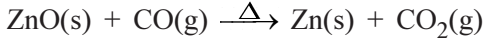
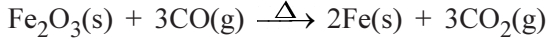
જ્યારે પાણીની વરાળના બદલે હવાનો ઉપયોગ કરવામાં આવે તો CO અને N<sub>2</sub>નું મિશ્રણ બને છે. જેને ઉત્પાદક વાયુ (Producer gas) કહેવામાં આવે છે.



જળવાયુ અને ઉત્પાદક વાયુ ખૂબ જ અગત્યના ઔદ્યોગિક ઈંધણ છે. જળવાયુ અને ઉત્પાદક વાયુમાં રહેલા કાર્બન મોનોક્સાઈડનું વધુ દહન થઈ કાર્બન ડાયોક્સાઈડ બને છે અને ઉષ્મા ઉત્પન્ન થાય છે.

કાર્બન મોનોક્સાઈડ રંગવિહીન, વાસવિહીન અને પાણીમાં મહદ્અંશે અદ્રાવ્ય વાયુ છે. તે પ્રબળ રિડક્શનકર્તા છે. તે આલ્કલી, આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓ, એલ્યુમિનિયમ અને બહુ જ થોડી સંક્રાંતિ ધાતુઓ સિવાયની અન્ય ઘણી બધી

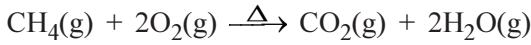
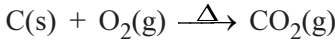
ધાતુઓના ઓક્સાઇડનું રિડક્શન કરે છે. COના આ ગુણધર્મનો ઉપયોગ ઘણી ધાતુઓને તેઓના ઓક્સાઇડ અયસ્કમાંથી નિષ્કર્ષિત કરવામાં થાય છે.



CO અણુમાં કાર્બન અને ઓક્સિજન પરમાણુઓની વચ્ચે એક સિગ્મા અને બે  $\pi$  બંધ હોય છે  $[\text{C} \equiv \text{O}]$ . CO અણુમાં કાર્બન પરમાણુ પર અબંધકારક ઈલેક્ટ્રોન યુગ્મ હોવાના કારણે તે દાતા તરીકે વર્તે છે અને જ્યારે કેટલીક ધાતુઓ સાથે ગરમ કરવામાં આવે છે ત્યારે પ્રક્રિયા કરી ધાતુ કાર્બોનિલ બનાવે છે. COની વધુ ઝેરી પ્રકૃતિ તેની હિમોગ્લોબિન સાથે સંકીર્ણ બનાવવાની ક્ષમતાના કારણે હોય છે. આ સંકીર્ણ ઓક્સિજન-હિમોગ્લોબીન સંકીર્ણ કરતાં 300 ગણુ વધુ સ્થાયી હોય છે. જે રક્તકણમાં રહેલા હિમોગ્લોબિન દ્વારા શરીરમાં થતાં ઓક્સિજન વહનને રોકે છે, જેનું પરિણામ મૃત્યુ હોય છે.

### 11.8.2 કાર્બન ડાયોક્સાઇડ (Carbon Dioxide)

કાર્બન ડાયોક્સાઇડ કાર્બનના અને કાર્બન ધરાવતા ઈંધણના વધુ હવાની હાજરીમાં સંપૂર્ણ દહનથી બનાવી શકાય છે.

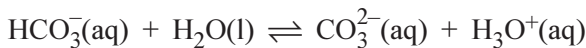
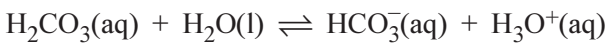


પ્રયોગશાળામાં કેલ્શિયમ કાર્બોનેટ અને મંદ HClની પ્રક્રિયાથી કાર્બન ડાયોક્સાઇડ બનાવવો વધુ અનુકૂળ રહે છે.



ઔદ્યોગિક સ્તરે કાર્બન ડાયોક્સાઇડ ચૂનાના પથ્થરને ગરમ કરવાથી બનાવી શકાય છે.

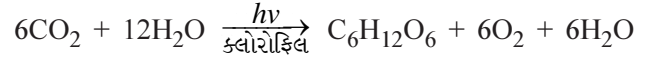
કાર્બન ડાયોક્સાઇડ રંગવિહીન અને વાસવિહીન વાયુ છે. પાણીમાં તેની અલ્પદ્રાવ્યતાને કારણે તે જૈવરાસાયણિક (biochemical) અને ભૂ-રાસાયણિક (geochemical) મહત્વ દર્શાવે છે. પાણી સાથે તે કાર્બોનિક એસિડ ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) બનાવે છે. જે નિર્બળ દ્વિબેઝિક એસિડ છે અને બે તબક્કામાં વિયોજન પામે છે.



$\text{H}_2\text{CO}_3 / \text{HCO}_3^-$  બફર પ્રણાલી રુધિરની pHને 7.26થી 7.42ની વચ્ચે નિયંત્રિત રાખવામાં મદદ કરે છે. તેના એસિડિક સ્વભાવના કારણે તે આલ્કલી સાથે જોડાઈને ધાતુ કાર્બોનેટ બનાવે છે.

સામાન્ય રીતે વાતાવરણમાં કાર્બન ડાયોક્સાઇડ ~0.03 % (કદથી) હાજર હોય છે, તેને વાતાવરણમાંથી જે પ્રક્રિયાથી

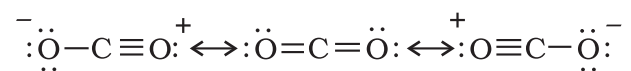
દૂર કરી શકાય છે તેને પ્રકાશસંશ્લેષણ તરીકે ઓળખવામાં આવે છે. આ પ્રક્રિયામાં લીલી વનસ્પતિ વાતાવરણના  $\text{CO}_2$ ને ગ્લુકોઝ જેવા કાર્બોહાઇડ્રેટમાં રૂપાંતરિત કરે છે. આ પ્રક્રિયાના એકંદરે રાસાયણિક ફેરફારને નીચે મુજબ દર્શાવી શકાય છે.



આ પ્રક્રિયાથી વનસ્પતિ પોતાનો ખોરાક બનાવે છે. ઉપરાંત પ્રાણીઓ અને મનુષ્ય માટે પણ ખોરાક બનાવે છે. COથી વિપરીત કાર્બન ડાયોક્સાઇડ ઝેરી હોતો નથી, પરંતુ અશ્મિગત ઈંધણનું વધતું જતું દહન તથા સિમેન્ટના ઉત્પાદનમાં ચૂનાના પથ્થરના થતા વિઘટનથી વાતાવરણમાં હાલના સમયમાં  $\text{CO}_2$ નું પ્રમાણ વધતું જણાય છે. જે ગ્રીનહાઉસ અસરમાં વધારો કરે છે અને તેથી વાતાવરણના તાપમાનમાં વધારો થાય છે. જેના ગંભીર પરિણામો જોવા મળી શકે છે.

પ્રવાહીકૃત  $\text{CO}_2$ નું ઝડપથી વિસ્તરણ કરવાથી કાર્બન ડાયોક્સાઇડને ઘન સ્વરૂપે સૂકા બરફ તરીકે મેળવી શકાય છે. સૂકો બરફ આઈસ્ક્રીમ અને બરફ આચ્છાદિત ખાદ્ય પદાર્થ (frozen food) માટે પ્રશીતક (refrigerant) તરીકે ઉપયોગી બને છે. નરમ પીણાને કાર્બોનેટયુક્ત કરવા માટે  $\text{CO}_2$  વાયુનો વ્યાપક ઉપયોગ થાય છે. કાર્બન ડાયોક્સાઇડ વજનમાં ભારે અને દહનની પ્રક્રિયામાં મદદરૂપ ન થતો હોવાથી તેનો ઉપયોગ અગ્નિશામક તરીકે થાય છે. યુરિયાના ઉત્પાદનમાં વધુ પ્રમાણમાં  $\text{CO}_2$ નો ઉપયોગ થાય છે.

$\text{CO}_2$  અણુમાં કાર્બન પરમાણુ *sp* સંકરણ ધરાવે છે. કાર્બન પરમાણુની બે *sp* સંકૃત કક્ષકો ઓક્સિજન પરમાણુઓની બે *p*-કક્ષકો સાથે સંમિશ્રણ પામી બે સિગ્મા બંધ બનાવે છે, જ્યારે કાર્બનના અન્ય બે ઈલેક્ટ્રોન ઓક્સિજન પરમાણુ સાથે  $p\pi-p\pi$  બંધ બનાવવા ભાગ લે છે. તેથી કાર્બન ડાયોક્સાઇડ દ્વિધ્રુવ ચાકમાત્રા રહિતનો રેખીય આકાર [બંને C-O બંધની લંબાઈ સમાન (115 pm) હોય છે.] ધરાવે છે. તેના સસ્પંદન સૂત્રો નીચે દર્શાવ્યા છે :

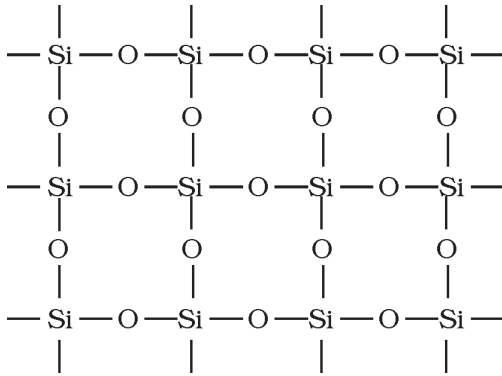


કાર્બન ડાયોક્સાઇડના સસ્પંદન સૂત્રો

### 11.8.3 સિલિકોન ડાયોક્સાઇડ (Silicon Dioxide)( $\text{SiO}_2$ )

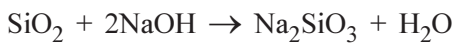
લગભગ 95 % જેટલો પૃથ્વીનો પોપડો સિલિકા અને સિલિકેટનો બનેલો છે. સામાન્ય રીતે સિલિકોન ડાયોક્સાઇડ સિલિકા તરીકે ઓળખાય છે. જે અનેક સ્ફટિકમય બંધારણ સ્વરૂપે જોવા મળે છે. સિલિકાના કેટલાક સ્વરૂપો ક્વાર્ટ્ઝ (Quartz), ક્રિસ્ટોબેલાઈટ (Cristobalite) અને ટ્રાઈડાયમાઈટ

(Tridymite) છે અને તેઓ યોગ્ય તાપમાને આંતરપરિવર્તનશીલ હોય છે. સિલિકોન ડાયોક્સાઇડ સહસંયોજક, ત્રિપરિમાણીય જાળીદાર ઘન પદાર્થ છે, જેમાં દરેક સિલિકોન પરમાણુ સમયતુલ્યક્રીય રીતે ચાર ઓક્સિજન પરમાણુ સાથે સહસંયોજક બંધથી જોડાયેલો હોય છે. દરેક ઓક્સિજન પરમાણુ બે સિલિકોન પરમાણુ સાથે આકૃતિ 11.6માં દર્શાવ્યા મુજબ સહસંયોજક બંધથી જોડાયેલો હોય છે. દરેક ખૂણો બીજા સમયતુલ્યક સાથે જોડાયેલો રહે છે. સંપૂર્ણ સ્ફટિકને વિરાટ અણુ તરીકે ગણી શકાય છે, જેમાં સિલિકોન અને ઓક્સિજન પરમાણુઓ એકાંતર ક્રમમાં આઠ સભ્યોનું વલય બનાવે છે.



આકૃતિ 11.6 SiO<sub>2</sub>નું ત્રિપરિમાણીય બંધારણ

સિલિકા તેના સામાન્ય સ્વરૂપમાં Si-O બંધની ઘણી વધારે એન્ટાલ્પીના કારણે અક્રિયાશીલ હોય છે. તે ઊંચા તાપમાને હેલોજન, ડાયહાઇડ્રોજન અને મોટા ભાગના એલિડ તથા ધાતુઓનો પ્રતિકાર કરે છે. જો કે તે HF અને NaOH સાથે પ્રક્રિયા કરે છે.

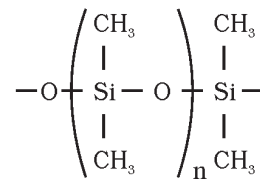
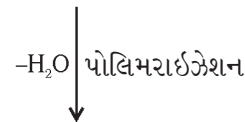
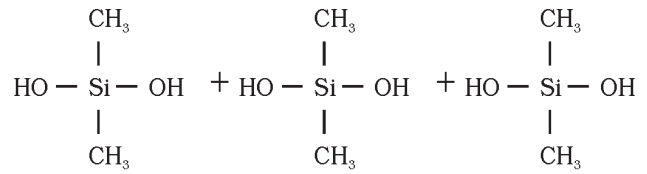
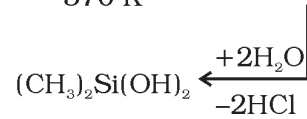
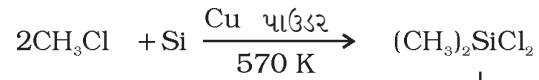


ક્વાર્ટ્ઝનો મુખ્ય ઉપયોગ દાબ-વિદ્યુત (piezoelectric) પદાર્થ તરીકે થાય છે. તેનાથી અતિ ચોકસાઈવાળી ઘડિયાળ, આધુનિક રેડિયો અને ટેલિવિઝન પ્રસારણ તથા ગતિશીલ રેડિયો પ્રત્યાયનનો વિકાસ સંભવ બની શક્યો છે. સિલિકા જેલ સુકવણીકારક (drying agent), ઉદીપક તથા કોમેટોગ્રાફી (વર્ણલેખિકી) પદાર્થોને મદદકર્તા તરીકે ઉપયોગી છે. સિલિકાના અસ્ફટિકમય સ્વરૂપ કિસેલગુરનો (Kieselghur) ઉપયોગ ગાળણ પ્લાન્ટમાં થાય છે.

### 11.8.4 સિલિકોન્સ (Silicones)

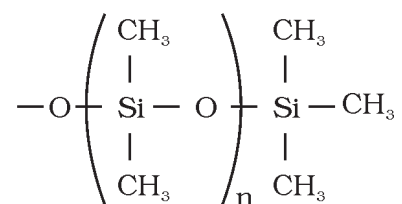
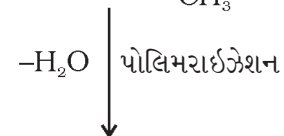
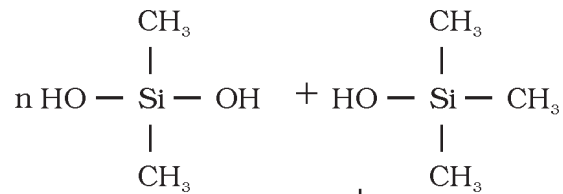
તેઓ કાર્બન સિલિકોન પોલીમરનો એક સમૂહ છે, જે (R<sub>2</sub>SiO) પુનરાવર્તિત એકમ ધરાવે છે. સિલિકોન્સના ઉત્પાદન માટેનો પ્રારંભિક પદાર્થ આલ્કાઈલ અથવા એરાઈલ વિસ્થાપિત સિલિકોન ક્લોરાઈડ (R<sub>n</sub>SiCl<sub>(4-n)</sub>) છે. જ્યાં R આલ્કાઈલ અથવા એરાઈલ સમૂહ છે, જ્યારે મિથાઈલ

ક્લોરાઈડ સિલિકોન સાથે 573 K તાપમાને કોપર ઉદીપકની હાજરીમાં પ્રક્રિયા કરે છે ત્યારે જુદા જુદા પ્રકારના મિથાઈલ વિસ્થાપિત ક્લોરાસિલેન (MeSiCl<sub>3</sub>, Me<sub>2</sub>SiCl<sub>2</sub>, Me<sub>3</sub>SiCl) તથા થોડા પ્રમાણમાં Me<sub>4</sub>Si બને છે. ડાયમિથાઈલ ડાયક્લોરોસિલેનના [(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>SiCl<sub>2</sub>] જળવિભાજન બાદ સંઘનન પોલિમરાઈઝેશન દ્વારા સરળ શૃંખલાવાળી પોલિમર નીપજ મળે છે.



સિલિકોન

(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>SiClને ઉમેરવાથી નીચે દર્શાવ્યા મુજબ પોલિમરનો ઊંચો બંધ થતાં પોલિમર શૃંખલાની લંબાઈને નિયંત્રિત કરી શકાય છે.



સિલિકોન

સિલિકોનની આસપાસ અધ્રુવીય આલ્કાઈલ સમૂહો ગોઠવાયેલા હોવાથી તે જળ અપાકર્ષી પ્રકૃતિ ધરાવે છે. સામાન્ય રીતે તેઓ ઊંચી ઉષ્મીય સ્થાયીતા, ઊંચી પરાવૈદ્યુત પ્રબળતા તથા રસાયણો અને ઓક્સિડેશન પ્રત્યે પ્રતિરોધકતા દર્શાવે છે. તેઓના ઘણા ઉપયોગો છે. તેઓ સિલન્ટ (Sealant), ગ્રીસ, વિદ્યુતરોધક અને કાપડ માટે જલસહકારક (water proofing) તરીકે ઉપયોગી છે. જૈવ સુસંગત તરીકે તેઓ શારીરિક શસ્ત્રક્રિયાના સાધનો તથા સૌંદર્યપ્રસાધનો બનાવવાના પ્લાન્ટમાં પણ ઉપયોગી છે.

### કોયડો 11.8

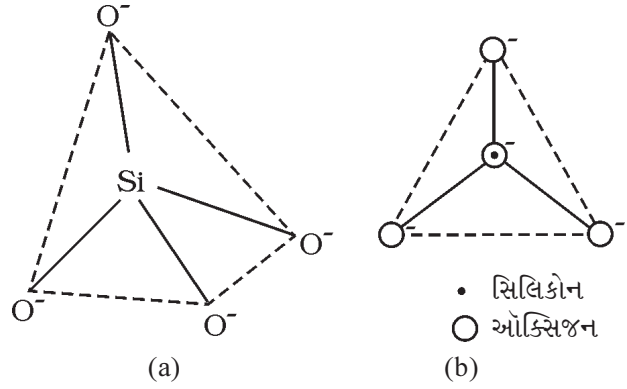
સિલિકોન્સ શું છે ?

ઉકેલ :

સાદા સિલિકોન્સ  $\left( \begin{array}{c} | \\ \text{Si} - \text{O} \\ | \\ \text{O} \end{array} \right)_n$  શૃંખલા ધરાવે છે, જેમાં આલ્કાઈલ અથવા ફિનાઈલ સમૂહો દરેક સિલિકોનના બાકીના બંધ સ્થાને જોડાયેલા હોય છે. સિલિકોન્સ જળ અપાકર્ષી પ્રકૃતિ ધરાવે છે.

### 11.8.5 સિલિકેટ સંયોજનો (Silicates)

કુદરતમાં મોટી માત્રામાં સિલિકેટ ખનિજો મળી આવે છે. તે પૈકીના કેટલાક ઉદાહરણો ફેલ્ડસ્પાર, ઝીઓલાઈટ, માઈકા અને એસ્બેસ્ટોસ છે. સિલિકેટનો પાયાનો બંધારણીય એકમ  $\text{SiO}_4^{4-}$  (આકૃતિ 11.7) છે જેમાં સિલિકોન પરમાણુ ચાર ઓક્સિજન પરમાણુઓ સાથે સમયતુષ્ફલકીય રીતે ગોઠવાયેલો હોય છે. સિલિકેટ સંયોજનોમાં વિભિન્ન એકમ હોય છે અથવા આવા અનેક એકમો, સિલિકેટ એકમદીઠ 1, 2, 3 અથવા 4 ઓક્સિજન પરમાણુઓની ભાગીદારી દ્વારા ખૂણાએથી જોડાયેલા હોય છે. જ્યારે સિલિકેટ એકમો એકબીજા સાથે જોડાય છે ત્યારે તેઓ શૃંખલા, વલય, સ્તર અથવા ત્રિપરિમાણીય બંધારણ બનાવે છે. સિલિકેટ બંધારણ પરનો ઋણવીજભાર ધાતુ



આયનના ધનવીજભાર વડે તટસ્થીકરણ પામે છે. જો બધા ચારેય ખૂણાઓ અન્ય સમયતુષ્ફલકીય એકમો સાથે સહભાગીતા કરે તો ત્રિ-પરિમાણીય જાળીદાર રચના બને છે.

કાચ અને સિમેન્ટ બે અગત્યના માનવનિર્મિત સિલિકેટ સંયોજનો છે.

### 11.8.6 ઝિયોલાઈટ સંયોજનો (Zeolites)

સિલિકોન ડાયોક્સાઈડની ત્રિ-પરિમાણીય જાળીદાર રચનામાં જો થોડા સિલિકોન પરમાણુઓનું વિસ્થાપન એલ્યુમિનિયમ પરમાણુઓ દ્વારા કરવામાં આવે તો મળતાં એકંદરે બંધારણને એલ્યુમિનો સિલિકેટ કહે છે જે ઋણ વીજભાર ધરાવે છે. ધનાયનો જેવા કે  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  અથવા  $\text{Ca}^{2+}$  ઋણવીજભારને સમતોલિત કરે છે. આના ઉદાહરણો ફેલ્ડસ્પાર અને ઝિયોલાઈટ સંયોજનો છે. ઝિયોલાઈટ સંયોજનો પેટ્રોરસાયણ ઉદ્યોગોમાં હાઈડ્રોકાર્બનના ભંજન અને સમઘટકીકરણ ઉદ્દીપક તરીકે બહોળા પ્રમાણમાં વપરાય છે. દા.ત., ZSM-5 (ઝિયોલાઈટનો એક પ્રકાર) આલ્કોહોલને સીધું ગેસોલીનમાં રૂપાંતરિત કરવામાં વપરાય છે. જળયુક્ત ઝિયોલાઈટ સંયોજનો કઠિન પાણીને નરમ બનાવવામાં આયન વિનિમયકર્તા તરીકે ઉપયોગી છે.

### સારાંશ

આવર્તકોષ્ટકમાં *p*-વિભાગમાં બધા જ પ્રકારના તત્ત્વો-ધાતુઓ, અધાતુઓ અને ઉપધાતુઓ આવેલા હોવાથી તે અદ્વિતીય છે. આવર્તકોષ્ટકમાં *p*-વિભાગમાં સમૂહ 13 થી 18 એમ કુલ 6 સમૂહો આવેલા છે. તેઓના સંયોજકતા કોશની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના  $ns^2np^{1-6}$  (He સિવાય) છે. તેઓની ઇલેક્ટ્રોનીય રચનાના અંતર્ભાગના તફાવતની અસર તેઓના ભૌતિક અને રાસાયણિક ગુણધર્મો પર પડે છે. જેના પરિણામે આ તત્ત્વોના ગુણધર્મોમાં મોટો તફાવત જોવા મળે છે. વધુમાં આ તત્ત્વો સમૂહ ઓક્સિડેશન અવસ્થા ઉપરાંત અન્ય ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓ દર્શાવે છે, જેમાં સંયોજકતા ઇલેક્ટ્રોન કરતા 2 એકમ જેટલો તફાવત રહેલો હોય છે. હલકા તત્ત્વો માટે સમૂહ ઓક્સિડેશન અવસ્થા વધુ સ્થાયી હોય છે. જ્યારે ભારે તત્ત્વો માટે નીચી ઓક્સિડેશન અવસ્થા ક્રમાનુસાર વધુ સ્થાયી થતી જાય છે. કદ અને *d*-કક્ષકની પ્રાપ્યતાની સંયુક્ત અસર આ તત્ત્વોની  $\pi$ -બંધ બનાવવાની ક્ષમતા પર પડે છે. હલકા તત્ત્વો

$p\pi-p\pi$  બંધ બનાવે છે. જ્યારે ભારે તત્ત્વો  $d\pi-p\pi$  અથવા  $d\pi-d\pi$  બંધ બનાવે છે. દ્વિતીય આવર્તમાં  $d$ -કક્ષકોની ગેરહાજરીના કારણે તેઓ મહત્તમ 4 સહસંયોજકતા દર્શાવી શકે છે, જ્યારે ભારે તત્ત્વો આ મર્યાદા વટાવી શકે છે.

સમૂહ 13માં બોરોન વિશિષ્ટ અધાતુ છે જ્યારે અન્ય સભ્યો ધાતુઓ છે. બંધ બનાવવામાં ભાગ લેનાર ચાર કક્ષકોમાં ( $2s$ ,  $2p_x$ ,  $2p_y$  અને  $2p_z$ ) માત્ર ત્રણ સંયોજકતા ઇલેક્ટ્રોનની ( $2s^2 2p^1$ ) પ્રાપ્યતાના કારણે બોરોનના સંયોજનો ઇલેક્ટ્રોન ઊણપવાળા હોય છે. આ ઊણપને કારણે તેઓ સારા ઇલેક્ટ્રોન ગ્રાહ્ય બને છે અને તેથી બોરોન સંયોજનો લુઈસ એસિડ તરીકે વર્તે છે. બોરોન ડાયહાઈડ્રોજન સાથે સહસંયોજક આણ્વીય સંયોજનો-બોરેન બનાવે છે. જેમાં સૌથી સરળ સંયોજન ડાયબોરેન ( $B_2H_6$ ) છે. ડાયબોરેનમાં બે બોરોન પરમાણુઓ વચ્ચે બે સેતુ હાઈડ્રોજન પરમાણુઓ આવેલા હોય છે. આ સેતુ બંધોને ત્રણ કેન્દ્ર - બે ઇલેક્ટ્રોન બંધ કહેવામાં આવે છે. બોરોનના ડાયઓક્સિજન સાથેના અગત્યના સંયોજનો બોરિક એસિડ અને બોરેક્સ છે. બોરિક એસિડ  $B(OH)_3$  નિર્બળ એક-બેઝિક એસિડ છે, તે હાઈડ્રોક્સિલ આયન પાસેથી ઇલેક્ટ્રોન સ્વીકારીને લુઈસ એસિડ તરીકે વર્તે છે. બોરેક્સ સફેદ સ્ફટિકમય ઘન પદાર્થ છે જેનું સૂત્ર  $Na_2[B_4O_5(OH)_4] \cdot 8H_2O$  છે. બોરેક્સ મણકા કસોટી સંક્રાંતિ ધાતુઓનો લાક્ષણિક રંગ આપે છે.

એલ્યુમિનિયમ +3 ઓક્સિડેશન અવસ્થા દર્શાવે છે. સમૂહમાં નીચેની તરફ જતાં ભારે તત્ત્વોમાં +1 ઓક્સિડેશન અવસ્થા સ્થાયી થતી જાય છે. આ નિષ્ક્રિય યુગ્મ અસરના કારણે થાય છે.

કાર્બન એક વિશિષ્ટ અધાતુ છે, જે પોતાના ચાર સંયોજકતા ઇલેક્ટ્રોન ( $2s^2 2p^2$ ) દ્વારા ચાર સહસંયોજક બંધ બનાવે છે. તે કેટેનેશનનો ગુણધર્મ દર્શાવે છે. તે માત્ર C-C એકલબંધ નહીં પણ બહુબંધો ( $C=C$  અથવા  $C \equiv C$ ) દ્વારા શુંબલા કે વલય બનાવવાની ક્ષમતા ધરાવે છે. કેટેનેશનનું વલણ  $C \gg Si > Ge \approx Sn > Pb$  ક્રમ મુજબ ઘટતું જાય છે. કાર્બન અપરરૂપતા દર્શાવવાનું ઉત્તમ ઉદાહરણ પૂરું પાડે છે. કાર્બનના ત્રણ અગત્યના અપરરૂપો હીરો, ગ્રેફાઈટ અને ફુલેરિન છે. કાર્બન પરિવારના સભ્યો મુખ્યત્વે +4 અને +2 ઓક્સિડેશન અવસ્થા દર્શાવે છે, સામાન્ય રીતે +4 ઓક્સિડેશન અવસ્થા દર્શાવતા સંયોજનો સહસંયોજક પ્રકૃતિ ધરાવે છે. ભારે તત્ત્વોમાં +2 ઓક્સિડેશન અવસ્થા દર્શાવવાનું વલણ વધતું જોવા મળે છે. લેડ +2 ઓક્સિડેશન અવસ્થામાં સ્થાયી છે જ્યારે +4 ઓક્સિડેશન અવસ્થામાં તે પ્રબળ ઓક્સિડેશનકર્તા તરીકે વર્તે છે. કાર્બન ઋણ ઓક્સિડેશન અવસ્થા પણ દર્શાવે છે. તે બે અગત્યના ઓક્સાઈડ સંયોજનો CO અને  $CO_2$  બનાવે છે. કાર્બન મોનોક્સાઈડ તટસ્થ છે જ્યારે  $CO_2$  એસિડિક છે. કાર્બન મોનોક્સાઈડ તેમાં કાર્બન પર રહેલા અબંધકારક ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મના કારણે ધાતુ કાર્બોનિલ સંયોજનો બનાવે છે. કાર્બન મોનોક્સાઈડ મૃત્યુ નીપજાવી શકે તેટલું ઝેરી છે કારણ કે તેનું હિમોગ્લોબીન સાથેનું સંકીર્ણ ઓક્સિહિમોગ્લોબીન સંકીર્ણ કરતા વધુ સ્થાયી હોય છે. કાર્બન ડાયોક્સાઈડ ઝેરી નથી. જોકે અશ્મિગત ઈંધણના દહનથી તથા ચૂનાના પથ્થરના થતા વિઘટનથી વાતાવરણમાં  $CO_2$ નું પ્રમાણ વધે છે. જે ગ્રીનહાઉસ અસરમાં વધારો કરી ભયજનક સ્થિતિ પેદા કરે છે. તેના પરિણામે વાતાવરણનું તાપમાન વધે છે અને ગંભીર જટિલતાઓ ઉત્પન્ન થાય છે. સિલિકા, સિલિકેટ સંયોજનો અને સિલિકોન સંયોજનો અગત્યના સંયોજનોનો સમૂહ છે. તેઓ ઉદ્યોગો અને ટેકનોલોજીમાં ઉપયોગી થાય છે.

### સ્વાધ્યાય

- 11.1 નીચે દર્શાવેલા તત્ત્વોની ઓક્સિડેશન અવસ્થામાં જોવા મળતી ભિન્નતાની ભાતની (pattern) ચર્ચા કરો.  
(i) B થી Tl (ii) C થી Pb
- 11.2  $TiCl_3$ ની સરખામણીમાં  $BCl_3$ ની વધુ સ્થાયીતા તમે કેવી રીતે સમજાવશો ?
- 11.3 બોરોન ટ્રાયફ્લોરાઈડ શા માટે લુઈસ એસિડ તરીકે વર્તે છે ?
- 11.4  $BCl_3$  અને  $CCl_4$  સંયોજનોનો વિચાર કરીએ. તેઓ પાણી સાથે કેવી રીતે વર્તશે ? તેનું વાજબીપણું ચર્ચો.
- 11.5 શું બોરિક એસિડ પ્રોટોનીય એસિડ છે ? સમજાવો.
- 11.6 જ્યારે બોરિક એસિડને ગરમ કરવામાં આવે છે ત્યારે શું થાય છે ? સમજાવો.
- 11.7  $BF_3$  અને  $BH_4^-$ નો આકાર વર્ણવો. આ સ્પીસિઝમાં બોરોનનું સંકરણ દર્શાવો.
- 11.8 એલ્યુમિનિયમના ઊભયધર્મી સ્વભાવના વાજબીપણા માટે પ્રક્રિયાઓ લખો.

- 11.9 ઈલેક્ટ્રોન ઊણપવાળા સંયોજનો એટલે શું ?  $BCl_3$  અને  $SiCl_4$  ઈલેક્ટ્રોન ઊણપવાળી સ્પીસિઝ છે ? સમજાવો.
- 11.10  $CO_3^{2-}$  અને  $HCO_3^-$  ના સ્પંદન બંધારણો લખો.
- 11.11 નીચેની સ્પીસિઝમાં કાર્બનની સંકરણ અવસ્થા શું છે ?  
(a)  $CO_3^{2-}$  (b) હીરો (c) ગ્રેફાઈટ
- 11.12 હીરા અને ગ્રેફાઈટનાં ગુણધર્મોમાં જોવા મળતી ભિન્નતા તેઓના બંધારણોના આધારે સમજાવો.
- 11.13 નીચે દર્શાવેલા વિધાનો માટે તર્કસંગત દલીલો કરો અને રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ લખો.  
  - લેડ (II) ક્લોરાઈડ  $Cl_2$  સાથે પ્રક્રિયા કરી  $PbCl_4$  બનાવે છે.
  - લેડ (IV) ક્લોરાઈડ ગરમી પ્રત્યે વધુ અસ્થાયી છે.
  - લેડ એક આયોડાઈડ  $PbI_4$  નથી બનાવતો.
- 11.14  $BF_3$  (130 pm) અને  $BF_4^-$  (143 pm)માં B-F બંધની લંબાઈ શા માટે અલગ પડે છે ? કારણો જણાવો.
- 11.15 જો B-Cl બંધ દ્વિધ્રુવ ચાકમાત્રા ધરાવતો હોય તો  $BCl_3$  અણુ શા માટે દ્વિધ્રુવ ચાકમાત્રાનું મૂલ્ય શૂન્ય ધરાવે છે ?
- 11.16 એલ્યુમિનિયમ ટ્રાયફ્લોરાઈડ નિર્જળ HFમાં અદ્રાવ્ય હોય છે પણ NaF ઉમેરવાથી તે દ્રાવ્ય થાય છે. મળતા દ્રાવણમાંથી વાયુમય  $BF_3$ ને પસાર કરવાથી એલ્યુમિનિયમ ટ્રાયફ્લોરાઈડ અવક્ષેપિત થાય છે. કારણો આપો.
- 11.17 CO શા માટે ઝેરી છે ? કારણ આપો.
- 11.18 ગ્લોબલ વોર્મિંગ માટે  $CO_2$ નું વધુ પ્રમાણ કેવી રીતે જવાબદાર છે ?
- 11.19 ડાયબોરેન અને બોરિક એસિડના બંધારણો સમજાવો.
- 11.20 શું થશે ? જ્યારે...  
 (a) બોરેક્સને સખત ગરમ કરવામાં આવે છે.  
 (b) બોરિક એસિડને પાણીમાં ઉમેરવામાં આવે છે.  
 (c) એલ્યુમિનિયમમાં મંદ NaOH ઉમેરવામાં આવે છે.  
 (d)  $BF_3$  એમોનિયા સાથે પ્રક્રિયા કરે છે.
- 11.21 નીચેની પ્રક્રિયાઓ સમજાવો :  
 (a) ઊંચા તાપમાને કોપરની હાજરીમાં સિલિકોનને મિથાઈલ ક્લોરાઈડ સાથે ગરમ કરવામાં આવે છે.  
 (b) સિલિકોન ડાયોક્સાઈડની હાઈડ્રોજન ફ્લોરાઈડ સાથે પ્રક્રિયા કરવામાં આવે છે.  
 (c) COને ZnO સાથે ગરમ કરવામાં આવે છે.  
 (d) જળયુક્ત એલ્યુમિનાની જલીય NaOHના દ્રાવણ સાથે પ્રક્રિયા કરવામાં આવે છે.
- 11.22 કારણો આપો :  
 (i) સાંદ્ર  $HNO_3$ નું પરિવહન એલ્યુમિનિયમના પાત્રમાં કરી શકાય છે.  
 (ii) ગટરની બંધ નળીને ખોલવા માટે મંદ NaOH અને એલ્યુમિનિયમના ટુકડાનું મિશ્રણ ઉપયોગમાં લેવાય છે.  
 (iii) ગ્રેફાઈટ ઊંજણ તરીકે ઉપયોગી છે.  
 (iv) હીરાનો ઉપયોગ અપવર્ષક તરીકે થાય છે.  
 (v) એલ્યુમિનિયમ મિશ્ર ધાતુનો ઉપયોગ વિમાન બનાવવા થાય છે.  
 (vi) એલ્યુમિનિયમના વાસણને આખી રાત પાણીમાં રાખવા જોઈએ નહીં.  
 (vii) એલ્યુમિનિયમ તારનો ઉપયોગ સંચરણ વાયર બનાવવા થાય છે.
- 11.23 કાર્બનથી સિલિકોન તરફ જતાં આયનીકરણ એન્ટાલ્પીમાં પરિઘટનીય (phenomenal) ઘટાડો શા માટે જોવા મળે છે ? સમજાવો.
- 11.24 તમે Alની સરખામણીમાં Gaની ઓછી પરમાણ્વીય ત્રિજ્યા કેવી રીતે સમજાવશો ?
- 11.25 અપરરૂપો એટલે શું ? કાર્બનના બે અપરરૂપો - હીરો અને ગ્રેફાઈટના બંધારણ દોરો. આ બે અપરરૂપોના ભૌતિક ગુણધર્મો પર તેઓના બંધારણની શું અસર પડે છે ?

- 11.26 (a) નીચેના ઓક્સાઇડ સંયોજનોને તટસ્થ, એસિડિક, બેઝિક અથવા ઊભયધર્મી તરીકે વર્ગીકૃત કરો :  
CO, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, PbO<sub>2</sub>, Ti<sub>2</sub>O<sub>3</sub>  
(b) તેઓની પ્રકૃતિ દર્શાવવા માટે યોગ્ય રાસાયણિક સમીકરણો લખો.
- 11.27 કેટલીક પ્રક્રિયાઓમાં થેલિયમ, એલ્યુમિનિયમ સાથે સમાનતા દર્શાવે છે, જ્યારે અન્ય કેટલીક પ્રક્રિયાઓમાં સમૂહ 1ની ધાતુઓ સાથે સમાનતા દર્શાવે છે. આ વિધાનને કેટલાક પુરાવાઓ દ્વારા સમર્થન આપો.
- 11.28 જ્યારે ધાતુ Xની સોડિયમ હાઇડ્રોક્સાઇડ સાથે પ્રક્રિયા કરવામાં આવે છે ત્યારે સફેદ અવક્ષેપ (A) મળે છે. જે વધુ NaOHમાં દ્રાવ્ય થઈ દ્રાવ્ય સંકીર્ણ (B) બનાવે છે. સંયોજન (A) મંદ HClમાં દ્રાવ્ય થઈ સંયોજન (C) બનાવે છે. જ્યારે સંયોજન (A)ને સખત ગરમ કરવામાં આવે છે ત્યારે (D) મળે છે, જે ધાતુના નિષ્કર્ષણમાં વપરાય છે. X, A, B, C અને Dને ઓળખો. તેઓની ઓળખના સમર્થન માટે યોગ્ય સમીકરણો લખો.
- 11.29 નીચે દર્શાવેલા વિષે તમારી સમજ શું છે ?  
(a) નિષ્ક્રિય યુગ્મ અસર (b) અપરરૂપતા અને (c) કેટેનેશન
- 11.30 કોઈ એક ક્ષાર X નીચે જણાવેલા પરિણામો આપે છે :  
(i) તેનું જલીય દ્રાવણ લિટમસપત્ર પ્રત્યે બેઝિક છે.  
(ii) તેને સખત ગરમ કરતાં ફુલીને કાચ જેવો ઘન પદાર્થ Y બને છે.  
(iii) જ્યારે Xના ગરમ દ્રાવણમાં સાંદ્ર H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>ને ઉમેરવામાં આવે છે ત્યારે કોઈ એસિડ Zના સફેદ સ્ફટિક મળે છે.  
ઉપર દર્શાવેલી બધી પ્રક્રિયાઓ માટે સમીકરણો લખો અને X, Y અને Zને ઓળખો.
- 11.31 નીચે દર્શાવેલી પ્રક્રિયાઓ માટે સમતોલિત સમીકરણ લખો :  
(i) BF<sub>3</sub> + LiH → (ii) B<sub>2</sub>H<sub>6</sub> + H<sub>2</sub>O →  
(iii) NaH + B<sub>2</sub>H<sub>6</sub> → (iv) H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>  $\xrightarrow{\Delta}$   
(v) Al + NaOH → (vi) B<sub>2</sub>H<sub>6</sub> + NH<sub>3</sub> →
- 11.32 CO અને CO<sub>2</sub> માટે એક ઔદ્યોગિક બનાવટ માટેની પદ્ધતિ અને એક પ્રયોગશાળામાં બનાવટ માટેની પદ્ધતિ લખો.
- 11.33 બોરેક્સનું જલીય દ્રાવણ ..... હોય છે.  
(a) તટસ્થ (b) ઊભયધર્મી (c) બેઝિક (d) એસિડિક
- 11.34 બોરિક એસિડ પોલિમર હોવાનું કારણ...  
(a) તેનો એસિડિક સ્વભાવ (b) હાઇડ્રોજન બંધની હાજરી  
(c) તેનો એકબેઝિક સ્વભાવ (d) તેની ભૂમિતિ
- 11.35 ડાયબોરેનમાં બોરેનના સંકરણનો પ્રકાર કયો છે ?  
(a) sp (b) sp<sup>2</sup> (c) sp<sup>3</sup> (d) dsp<sup>2</sup>
- 11.36 ઉષ્માગતિશાસ્ત્ર મુજબ કાર્બનનું કયું સ્વરૂપ સૌથી વધુ સ્થાયી છે ?  
(a) હીરો (b) ગ્રેફાઇટ (c) ફુલેરિન (d) કોલસો
- 11.37 સમૂહ 14ના તત્ત્વો –  
(a) માત્ર +4 ઓક્સિડેશન અવસ્થા દર્શાવે છે.  
(b) +2 અને +4 ઓક્સિડેશન અવસ્થા દર્શાવે છે.  
(c) M<sup>2-</sup> અને M<sup>4+</sup> આયનો બનાવે છે.  
(d) M<sup>2+</sup> અને M<sup>4+</sup> આયનો બનાવે છે.
- 11.38 જો સિલિકોન્સની બનાવટનો પ્રારંભિક પદાર્થ RSiCl<sub>3</sub> હોય તો બનનાર નીપજનું બંધારણ લખો.





સહસંયોજક બંધના ઈલેક્ટ્રોનીય સિદ્ધાંતના વિકાસે કાર્બનિક રસાયણવિજ્ઞાનને નવીન આકાર આપ્યો છે.

## 12.2 કાર્બનની ચતુર્સંયોજકતા : કાર્બનિક સંયોજનોના આકાર (Tetravalence of Carbon : Shapes of Organic Compounds)

### 12.2.1 કાર્બનના સંયોજનોના આકાર (The Shapes of Carbon Compounds)

આણ્વીય બંધારણની સંકલ્પનાનું જ્ઞાન કાર્બનિક સંયોજનોના ગુણધર્મોને સમજવામાં અને તેની આગાહી કરવામાં મદદરૂપ થાય છે. એકમ 4માં તમે સંયોજકતા સિદ્ધાંત અને આણ્વીય રચના વિષે શીખ્યા છો. તમે એ પણ જાણો છો કે કાર્બનની ચતુર્સંયોજકતા તથા તેના દ્વારા સહસંયોજક બંધના નિર્માણને ઈલેક્ટ્રોનીય રચના તથા  $s$  અને  $p$  કક્ષકોના સંકરણના આધારે સમજાવી શકાય છે. તમને યાદ હશે કે મિથેન ( $\text{CH}_4$ ), ઈથેન ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ) અને ઈથાઇન ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ) જેવા અણુઓના નિર્માણ અને આકાર આ અણુઓમાં રહેલા કાર્બન પરમાણુ દ્વારા રચાતી અનુક્રમે  $sp^3$ ,  $sp^2$  અને  $sp$  સંકૃત કક્ષકો દ્વારા સમજાવી શકાય છે.

કાર્બનિક સંયોજનોમાં સંકરણ બંધલંબાઈ અને બંધ-એન્થાલ્પીને અસર કરે છે.  $sp$  સંકૃત કક્ષકમાં  $s$  લાક્ષણિકતા વધુ હોવાના કારણે તે કેન્દ્રની નજીક હોય છે. તેથી  $sp$  સંકૃત કક્ષક દ્વારા રચાતો બંધ,  $sp^3$  સંકૃત કક્ષક દ્વારા રચાતા બંધની સરખામણીમાં નાનો અને મજબૂત હોય છે.  $sp^2$  સંકૃત કક્ષક,  $s$  લાક્ષણિકતાના સંદર્ભે  $sp$  અને  $sp^3$  સંકૃત કક્ષકની મધ્યવર્તી છે. આમ તેનાથી બનનાર બંધની લંબાઈ અને એન્થાલ્પી પણ તેમના મધ્યવર્તી હોય છે. સંકરણમાં ફેરફાર કાર્બનની વિદ્યુતઋણતાને અસર કરે છે. કાર્બનની સંકૃત કક્ષકમાં  $s$  લાક્ષણિકતા વધવાની સાથે કાર્બનની વિદ્યુતઋણતામાં વધારો થાય છે.  $sp$  સંકૃત કક્ષક કે જેમાં  $s$  લાક્ષણિકતા 50 % છે. તેમાં કાર્બનની વિદ્યુતઋણતા  $sp^2$  અને  $sp^3$  સંકૃત કક્ષકની સરખામણીમાં વધુ હોય છે. આ સાપેક્ષ વિદ્યુતઋણતાની અસર કાર્બનિક સંયોજનોના ભૌતિક અને રાસાયણિક ગુણધર્મો પર પડે છે. જેના વિષે તમે પછીના એકમોમાં શીખશો.

### 12.2.2 $\pi$ -બંધોની કેટલીક લાક્ષણિકતાઓ (Some Characteristic Features of $\pi$ Bonds)

$\pi$  (પાઈ) બંધના નિર્માણ માટે સંલગ્ન પરમાણુઓની બે સમાંતર  $p$ -કક્ષકોનું બાજુએથી યોગ્ય સંમિશ્રણ થવું જરૂરી છે. આમ,  $\text{H}_2\text{C} = \text{CH}_2$  અણુમાં બધા પરમાણુઓ એક

જ સમતલમાં હોવા જોઈએ. આ અણુમાં બંને  $p$ -કક્ષકો એકબીજાને સમાંતર અને અણુના સમતલને લંબ હોય છે. એક  $\text{CH}_2$ નું ભ્રમણ કરવાથી  $p$ -કક્ષકોના મહત્તમ સંમિશ્રણમાં અવરોધ ઊભો થાય છે, તેથી કાર્બન-કાર્બન દ્વિબંધમાં ( $\text{C} = \text{C}$ ) ભ્રમણ શક્ય બનતું નથી.  $\pi$  બંધનું ઈલેક્ટ્રોન વાદળ બંધકારક પરમાણુઓના સમતલની ઉપર અને નીચે આચ્છાદિત થયેલું હોય છે. તેના પરિણામે હુમલો કરનાર પ્રક્રિયકને ઈલેક્ટ્રોન સરળતાથી પ્રાપ્ત થાય છે. સામાન્ય રીતે બહુબંધ (multiple bonds) ધરાવનાર અણુમાં  $\pi$  બંધ વધુ સક્રિય કેન્દ્રો પૂરા પાડે છે.

#### કોયડો 12.1

નીચે દર્શાવેલા અણુઓમાં કેટલા  $\sigma$  અને  $\pi$  બંધ રહેલા છે ?

(a)  $\text{HC}\equiv\text{CCH}=\text{CHCH}_3$  (b)  $\text{CH}_2=\text{C}=\text{CHCH}_3$

ઉકેલ :

(a)  $\sigma_{\text{C}-\text{C}} : 4$ ;  $\sigma_{\text{C}-\text{H}} : 6$ ;  $\pi_{\text{C}=\text{C}} : 1$ ;  $\pi_{\text{C}\equiv\text{C}} : 2$

(b)  $\sigma_{\text{C}-\text{C}} : 3$ ;  $\sigma_{\text{C}-\text{H}} : 6$ ;  $\pi_{\text{C}=\text{C}} : 2$

#### કોયડો 12.2

નીચે દર્શાવેલા સંયોજનોમાં પ્રત્યેક કાર્બન કયું સંકરણ ધરાવે છે ?

(a)  $\text{CH}_3\text{Cl}$ , (b)  $(\text{CH}_3)_2\text{CO}$ , (c)  $\text{CH}_3\text{CN}$ ,

(d)  $\text{HCONH}_2$ , (e)  $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CHCN}$

ઉકેલ :

(a)  $sp^3$  (b)  $sp^3$ ,  $sp^2$  (c)  $sp^3$ ,  $sp$  (d)  $sp^2$

(e)  $sp^3$ ,  $sp^2$ ,  $sp^2$ ,  $sp$

#### કોયડો 12.3

નીચે દર્શાવેલા સંયોજનોમાં કાર્બનનું સંકરણ અને અણુનો આકાર જણાવો :

(a)  $\text{H}_2\text{C} = \text{O}$ , (b)  $\text{CH}_3\text{F}$ , (c)  $\text{HC}\equiv\text{N}$

ઉકેલ :

(a)  $sp^2$ , સમતલીય ત્રિકોણ

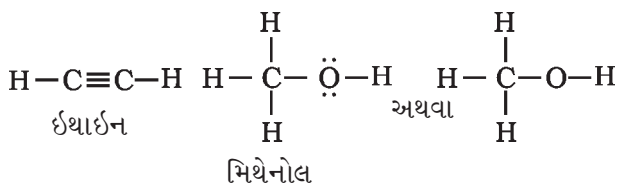
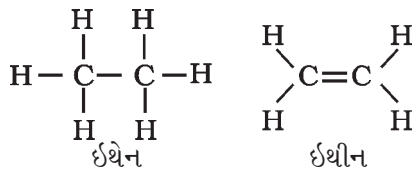
(b)  $sp^3$ , સમચતુષ્ફલકીય

(c)  $sp$ , રેખીય

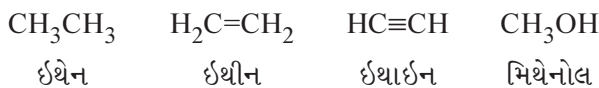
## 12.3 કાર્બનિક સંયોજનોનું બંધારણીય નિરૂપણ (Structural Representation of Organic Compounds)

### 12.3.1 સંપૂર્ણ, સંઘનિત અને બંધરેખાવાળા બંધારણીય સૂત્ર (Complete, Condensed and Bond-line Structural Formulae)

કાર્બનિક સંયોજનોના બંધારણીય સૂત્ર જુદી જુદી રીતે લખી શકાય છે. તે પૈકી કેટલીક રીતોમાં લુઈસ બંધારણ અથવા બિંદુ નિરૂપણ, ડેશ (નાની લીટી) બંધારણ, સંઘનિત બંધારણ અને બંધરેખા બંધારણનો સમાવેશ થાય છે. જોકે સહસંયોજક બંધને ડેશ (—) દ્વારા સરળ રીતે દર્શાવી શકાય છે. આવા બંધારણીય સૂત્રો બંધ બનાવવામાં ભાગ લેનાર ઇલેક્ટ્રોનનું મહત્વ દર્શાવે છે. એકલબંધને એક ડેશ દ્વારા (—), દ્વિબંધને બે ડેશ દ્વારા (=) અને ત્રિબંધને ત્રણ ડેશ દ્વારા (≡) દર્શાવવામાં આવે છે. વિષમ પરમાણુઓ (દા.ત., ઓક્સિજન, નાઇટ્રોજન, સલ્ફર, હેલોજન વગેરે) પર અબંધકારક ઇલેક્ટ્રોનયુગ્મને ક્યારેક દર્શાવાય છે તો ક્યારેક નથી દર્શાવાતા. આમ, ઇથેન ( $C_2H_6$ ), ઇથીન ( $C_2H_4$ ), ઇથાઇન ( $C_2H_2$ ) અને મિથેનોલ ( $CH_3OH$ )ને નીચે દર્શાવેલા બંધારણીય સૂત્રો દ્વારા દર્શાવાય છે. આવા બંધારણીય સૂત્રોને સંપૂર્ણ બંધારણીય સૂત્ર કહેવાય છે.

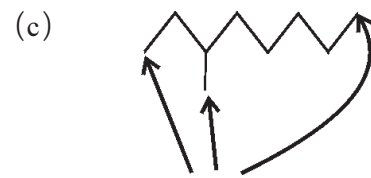
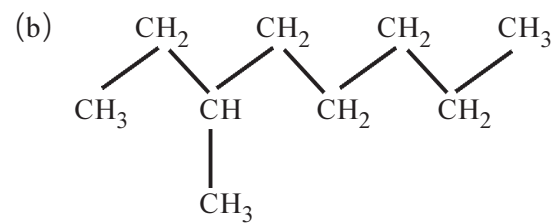
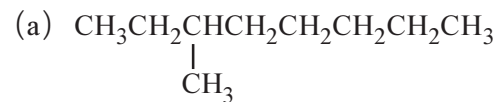


આ બંધારણીય સૂત્રોને તેમાં રહેલા કેટલાક અથવા બધા સહસંયોજક બંધોને દૂર કરીને એક પરમાણુ સાથે જોડાયેલા એકથી વધારે સમૂહોને કૌંસમાં લખી તેની સંખ્યાને નિમ્નસ્તર પર લખી સંક્ષિપ્ત રીતે લખી શકાય છે. આ સંક્ષિપ્ત સૂત્રને સંઘનિત બંધારણીય સૂત્ર કહે છે. આમ, ઇથેન, ઇથીન, ઇથાઇન અને મિથેનોલને આ પ્રમાણે લખી શકાય :



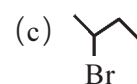
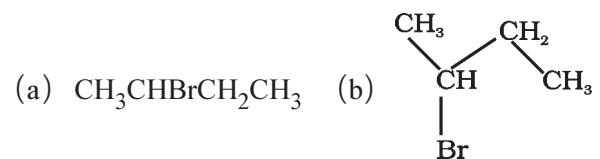
તેવી જ રીતે  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ ને પણ સંઘનિત રીતે  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{CH}_3$  દ્વારા દર્શાવી શકાય છે. બંધારણીય સૂત્રોને વધુ સરળ બનાવવા માટે કાર્બનિક રસાયણ-વિદોએ બંધારણ નિરૂપણ માટે માત્ર રેખાઓનો ઉપયોગ કર્યો. કાર્બનિક સંયોજનોના આ બંધરેખા બંધારણીય સૂત્રમાં કાર્બન અને હાઇડ્રોજન પરમાણુઓને લખવામાં આવતા નથી, પરંતુ કાર્બન-કાર્બન બંધોને આડી-અવળી (zigzag) રેખાઓ વડે દર્શાવાય છે. માત્ર ઓક્સિજન, ક્લોરિન, નાઇટ્રોજન વગેરે પરમાણુઓને વિશેષ રીતે લખવામાં આવે છે (જ્યાં સુધી ક્રિયાત્મક સમૂહ દ્વારા દર્શાવવામાં ન આવે). છેડે રહેલી રેખાઓ મિથાઇલ ( $-\text{CH}_3$ ) સમૂહ દર્શાવે છે. આંતરિક રેખાઓ કાર્બન પરમાણુઓ દર્શાવે છે કે જેની સંયોજકતા હાઇડ્રોજન પરમાણુ વડે સંતોષાયેલી હોય છે. કેટલાક ઉદાહરણો અહીં દર્શાવેલા છે.

(i) 3-મિથાઇલઓક્ટેનને નીચે દર્શાવેલી જુદી જુદી રીતે લખી શકાય છે :

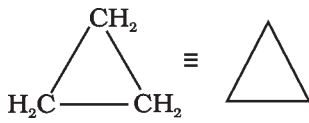


છેડાઓ મિથાઇલ સમૂહ દર્શાવે છે.

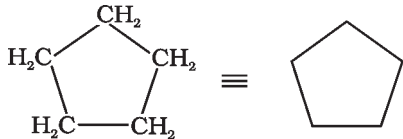
(ii) 2-બ્રોમોબ્યુટેનને જુદી જુદી રીતે દર્શાવી શકાય છે :



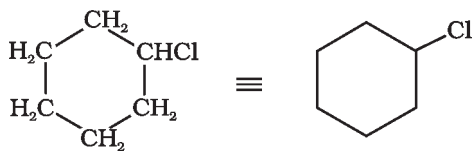
ચક્રિય સંયોજનોમાં બંધરેખાસૂત્ર નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય છે :



સાયક્લોપ્રોપેન



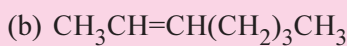
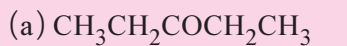
સાયક્લોપેન્ટેન



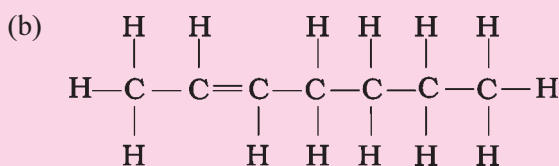
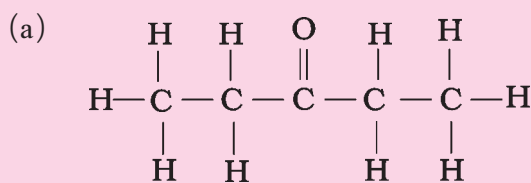
ક્લોરોસાયક્લોહેક્ઝેન

**કોયડો 12.4**

નીચે દર્શાવેલા સંઘનિત બંધારણીય સૂત્રોને સંપૂર્ણ બંધારણીય સૂત્રમાં લખો.

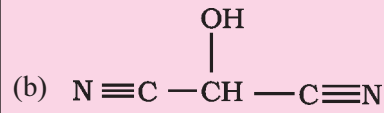
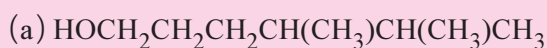


ઉકેલ :



**કોયડો 12.5**

નીચે દર્શાવેલા સંયોજનોના સંઘનિત બંધારણીય સૂત્ર અને બંધરેખા સૂત્ર લખો.

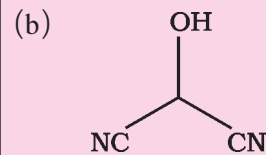
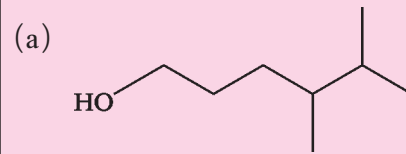


ઉકેલ :

સંઘનિત બંધારણીય સૂત્ર :

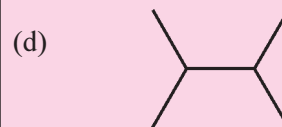
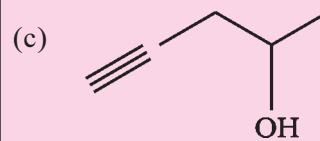


બંધરેખા સૂત્ર :

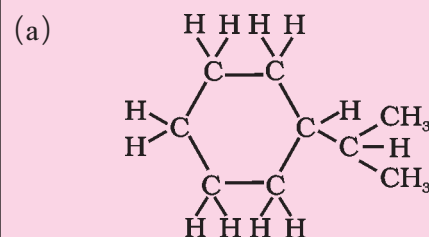


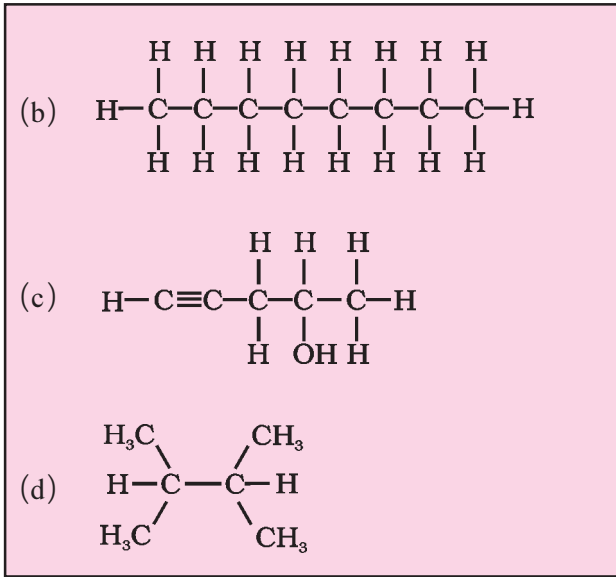
**કોયડો 12.6**

નીચે દર્શાવેલા બંધરેખા સૂત્રને કાર્બન અને હાઈડ્રોજન સહિત બધા પરમાણુઓ દર્શાવીને વિસ્તારિત સ્વરૂપે લખો :



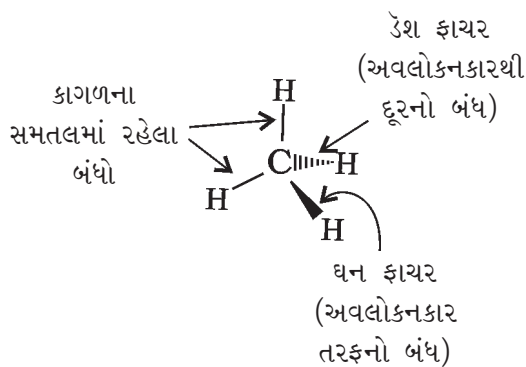
ઉકેલ :





### 12.3.2 કાર્બનિક અણુઓનું ત્રિપરિમાણીય નિરૂપણ (Three Dimensional Representation of Organic Molecules)

કાર્બનિક અણુઓને કાગળ પર ત્રિપરિમાણીય (3-D) બંધારણ સ્વરૂપે લખવા કેટલીક પદ્ધતિઓનો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે. દા.ત., દ્વિપરિમાણીય બંધારણને ત્રિપરિમાણીય બંધારણમાં જોવા માટે ઘન અને ડેશ ફાયર સૂત્રનો (Solid and dashed wedge formula) ઉપયોગ કરવામાં આવે છે. આ સૂત્રોમાં ઘન ફાયર (▲) કાગળના સમતલની બહાર અવલોકનકાર તરફ રહેલા બંધનું સૂચન કરે છે, જ્યારે ડેશ ફાયર (⋯) કાગળના સમતલની બહાર અવલોકનકારથી દૂર તરફ રહેલા બંધનું સૂચન કરે છે. કાગળના સમતલમાં રહેલા બંધને સામાન્ય રેખા (—) દ્વારા દર્શાવાય છે. આકૃતિ 12.1માં મિથેન અણુનું 3-D સૂત્ર દર્શાવેલું છે.



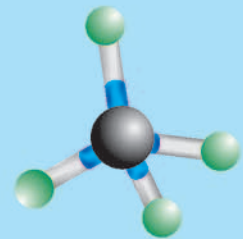
આકૃતિ 12.1 CH<sub>4</sub>નું ઘન અને ડેશ ફાયર બંધારણ

### આણ્વીય મોડેલ

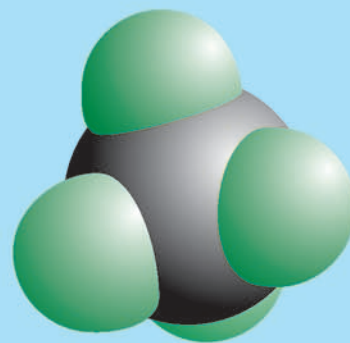
કાર્બનિક અણુઓનો ત્રિપરિમાણીય આકાર આણ્વીય મોડેલ કે જે ભૌતિક સાધન છે તેની મદદથી સારી રીતે સમજી શકાય છે. આ આણ્વીય મોડેલ લાકડાના કે પ્લાસ્ટિકના કે ધાતુના બનેલા હોય છે, જે બજારમાં ઉપલબ્ધ હોય છે. સામાન્ય રીતે ત્રણ પ્રકારના આણ્વીય મોડેલોનો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે : (1) માળખાગત મોડેલ (Framework Model) (2) દડા અને સળી મોડેલ (Ball and Stic Model) (3) સ્થાનપૂરણ મોડેલ (Space Filling Model). માળખાગત મોડેલમાં અણુના માત્ર બંધો દર્શાવાય છે. તેમાં પરમાણુઓ દર્શાવાતા નથી. આ મોડેલ પરમાણુઓના કદને અવગણીને માત્ર બંધની ભાત (Pattern) દર્શાવે છે. દડા અને સળી મોડેલમાં બંધ અને પરમાણુ બંને દર્શાવાય છે. દડા પરમાણુ સૂચવે છે અને સળી બંધ સૂચવે છે. C=C ધરાવનાર સંયોજનો (દા.ત., ઈથીન)ને દર્શાવવા સળીને સ્થાને સ્પ્રિંગનો ઉપયોગ થાય છે. સ્થાન પૂરણ મોડેલમાં પ્રત્યેક પરમાણુના સાપેક્ષકદ દર્શાવવામાં આવે છે જે તેની વાનુ ડર વાલ્સ ત્રિજ્યા પર આધારિત હોય છે. આ મોડેલમાં બંધ દર્શાવવામાં આવતા નથી. આ મોડેલ અણુમાં રહેલા પ્રત્યેક પરમાણુ દ્વારા રોકાયેલા કદને દર્શાવે છે. આ મોડેલ સિવાય આણ્વીય મોડેલ માટે કમ્પ્યુટર ગ્રાફિક્સનો ઉપયોગ કરી શકાય છે.



માળખાગત મોડેલ



દડા અને સળી મોડેલ

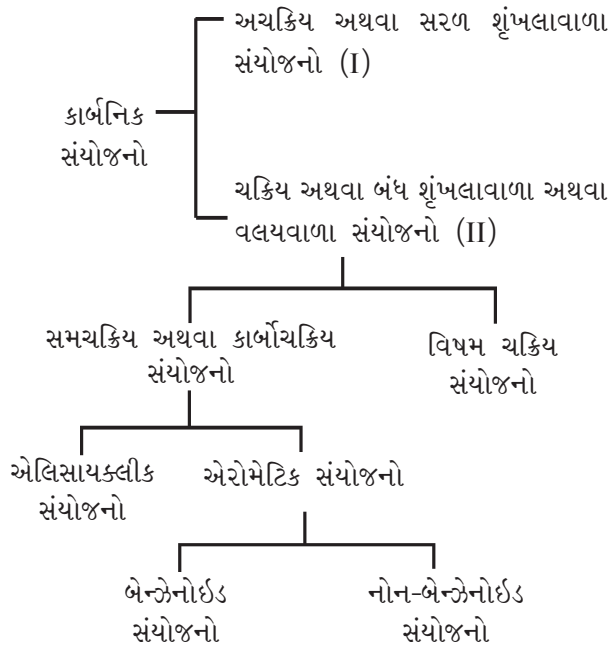


સ્થાન પૂરણ મોડેલ

આકૃતિ 12.2

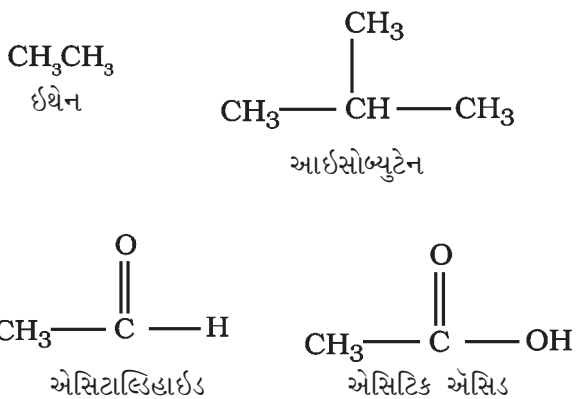
## 12.4 કાર્બનિક સંયોજનોનું વર્ગીકરણ (Classification of Organic Compounds)

હાલમાં કાર્બનિક સંયોજનોની વધુ સંખ્યા અને તેમની વધતી જતી સંખ્યાને કારણે તેઓના બંધારણના આધારે તેઓનું વર્ગીકરણ કરવું જરૂરી છે. કાર્બનિક સંયોજનોનું મુખ્યત્વે વર્ગીકરણ નીચે પ્રમાણે કરવામાં આવે છે :



### I. અચક્રિય અથવા સરળ શૃંખલાવાળા સંયોજનો

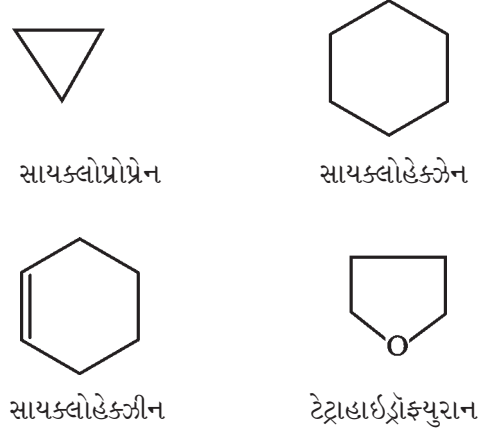
આ સંયોજનોને એલિફેટિક સંયોજનો પણ કહે છે, જે સીધી અથવા શાખીય શૃંખલાવાળા સંયોજનો ધરાવે છે. દા.ત.,



### II. એલિસાયક્લીક અથવા બંધશૃંખલાવાળા અથવા વલયવાળા સંયોજનો

એલિસાયક્લીક (એલિફેટિક ચક્રિય) સંયોજનોમાં કાર્બન પરમાણુ જોડાઈને એક સમચક્રિય વલય બનાવે છે. ક્યારેક

વલયમાં કાર્બન પરમાણુ સિવાય અન્ય પરમાણુ જોડાઈને વિષમ ચક્રિય વલય બનાવે છે. આ પ્રકારના સંયોજનોના કેટલાક ઉદાહરણ આ પ્રકારે છે :

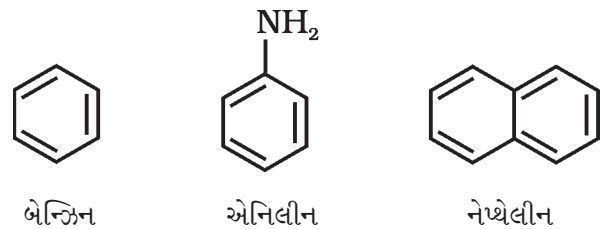


આ સંયોજનો, એલિફેટિક સંયોજનોના જેવા કેટલાક ગુણધર્મો દર્શાવે છે.

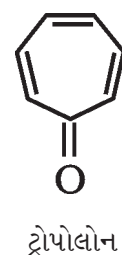
### એરોમેટિક સંયોજનો

એરોમેટિક સંયોજનો વિશિષ્ટ પ્રકારના સંયોજનો છે, જેના વિષે તમે એકમ 13માં વિસ્તારથી અભ્યાસ કરશો. આ સંયોજનોમાં બેન્ઝિન અને અન્ય ચક્રિય સંયોજનોનો (બેન્ઝોનોઈડ) સમાવેશ કરવામાં આવે છે. એલિસાયક્લીક સંયોજનોની જેમ એરોમેટિક સંયોજનોના વલયમાં વિષમ પરમાણુ હોઈ શકે છે. આ સંયોજનોને વિષમ ચક્રિય એરોમેટિક સંયોજનો કહેવાય છે. વિવિધ પ્રકારના એરોમેટિક સંયોજનોના કેટલાક ઉદાહરણ નીચે મુજબ છે :

### બેન્ઝોનોઈડ સંયોજનો



### નોન-બેન્ઝોનોઈડ સંયોજનો



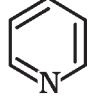
### વિષમચક્રિય એરોમેટિક સંયોજનો



ફ્યુરાન



થાયોફિન



પીરીડીન

કાર્બનિક સંયોજનોને ક્રિયાશીલ સમૂહોના આધારે સમાનધર્મી શ્રેણીમાં વર્ગીકૃત કરી શકાય છે.

### ક્રિયાશીલ સમૂહ

કોઈ કાર્બનિક સંયોજનોમાં વિશિષ્ટ રીતે જોડાયેલા પરમાણુ અથવા પરમાણુ સમૂહ કે જે કાર્બનિક સંયોજનોના લાક્ષણિક રાસાયણિક ગુણધર્મો માટે જવાબદાર હોય છે તેને ક્રિયાશીલ સમૂહ તરીકે ઓળખવામાં આવે છે. હાઈડ્રોક્સિલ સમૂહ ( $-OH$ ), આલ્ડિહાઈડ સમૂહ ( $-CHO$ ), કાર્બોક્સિલિક એસિડ સમૂહ ( $-COOH$ ) વગેરે ક્રિયાશીલ સમૂહના ઉદાહરણો છે.

### સમાનધર્મી શ્રેણી

કાર્બનિક સંયોજનોનો વર્ગ કે શ્રેણી, જેમાં એક વિશિષ્ટ ક્રિયાશીલ સમૂહ એવા હોય છે કે જે સમાનધર્મી શ્રેણી બનાવે છે. આ વર્ગ કે શ્રેણીના સભ્યોને સમાનધર્મી કહેવામાં આવે છે. સમાનધર્મી શ્રેણીના સભ્યોને એક સામાન્ય સૂત્ર દ્વારા દર્શાવવામાં આવે છે. તેના ક્રમિક સભ્યોના આણ્વીય સૂત્રો વચ્ચે  $-CH_2$  એકમનો તફાવત હોય છે. કાર્બનિક સંયોજનોની અનેક સમાનધર્મી શ્રેણીઓ છે. તે પૈકીની કેટલીક શ્રેણીઓના ઉદાહરણો - આલ્કેન, આલ્કીન, આલ્કાઈન, હેલોઆલ્કેન, આલ્કેનોલ, આલ્કેનાલ, આલ્કેનોન, આલ્કેનોઈક એસિડ, એમાઈન વગેરે છે.

## 12.5 કાર્બનિક સંયોજનોનું નામકરણ (Nomenclature of Organic Compounds)

કાર્બનિક રસાયણવિજ્ઞાન લાખો કાર્બનિક સંયોજનો સાથે સંબંધિત છે. તેમની સ્પષ્ટ ઓળખાણ માટે નામકરણની સુવ્યવસ્થિત પદ્ધતિ વિકસાવવામાં આવી છે, જેને IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) નામકરણ પદ્ધતિ કહેવામાં આવે છે. આ સુવ્યવસ્થિત નામકરણ પદ્ધતિમાં સંયોજનોને તેના બંધારણ સાથે સહસંબંધિત કરવામાં આવ્યા છે કે જેથી વાંચનાર કે સાંભળનાર વ્યક્તિ સંયોજનોના નામના આધારે તેનું બંધારણ જાણી શકે.

IUPAC નામકરણ પદ્ધતિની અગાઉ કાર્બનિક સંયોજનોના નામ તેના સ્રોત અથવા કોઈ ગુણધર્મના આધારે નક્કી કરવામાં આવતા હતા. દા.ત., સાઈટ્રિક એસિડનું નામ, તે ખાટા ફળોમાંથી મળતો હોવાના કારણે પાડવામાં આવ્યું છે. લાલ કીડીમાંથી મળતા એસિડનું નામ ફોર્મિક એસિડ આપવામાં આવ્યું છે, કારણ કે કીડી માટે લેટિન શબ્દ ફોર્મિકા છે. આ નામ પારંપારિક છે. તે રૂઢિગત (trivial) અથવા સામાન્ય (common)

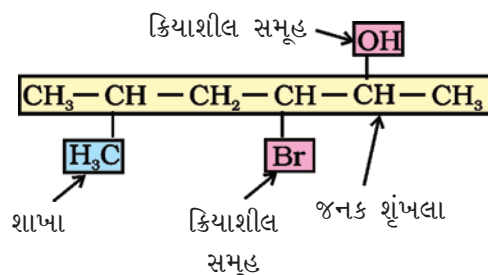
નામ કહેવાય છે. વર્તમાન સમયમાં પણ કેટલાક સંયોજનોને સામાન્ય નામ આપવામાં આવે છે. દા.ત., કેટલાક વર્ષ અગાઉ શોધાયેલું કાર્બનનું એક નવું સ્વરૂપ  $C_{60}$  ઝુમખાંને બકમિસ્ટર ફુલેરિન નામ આપવામાં આવ્યું છે. કારણ કે તેનું બંધારણ અમેરિકાના પ્રસિદ્ધ વસ્તુકલા વિશેષજ્ઞ (architect) આર. બકમિસ્ટર ફુલેરે (R. Buckminster Fuller) જે ભૂમિનીય ધુમ્મટોને (Geodesic Domes) લોકપ્રિય બનાવ્યા હતા તેને મળતું આવે છે. કેટલાક સંયોજનોના IUPAC નામ વધુ લાંબા અને જટિલ હોય છે, તેથી તેમના સામાન્ય નામ રાખવા જરૂરી બને છે. કેટલાક કાર્બનિક સંયોજનોના સામાન્ય નામ કોષ્ટક 12.1માં દર્શાવેલા છે.

### કોષ્ટક 12.1 કેટલાક કાર્બનિક સંયોજનોના સામાન્ય અથવા રૂઢિગત નામ

સંયોજન	સામાન્ય નામ
$CH_4$	મિથેન
$H_3CCH_2CH_2CH_3$	<i>n</i> -બ્યુટેન
$(H_3C)_2CHCH_3$	આઈસો બ્યુટેન
$(H_3C)_4C$	નિયોપેન્ટેન
$H_3CCH_2CH_2OH$	<i>n</i> -પ્રોપાઈલ આલ્કોહોલ
$HCHO$	ફોર્માલ્ડિહાઈડ
$(H_3C)_2CO$	એસિટોન
$CHCl_3$	ક્લોરોફોર્મ
$CH_3COOH$	એસિટિક એસિડ
$C_6H_6$	બેન્ઝિન
$C_6H_5OCH_3$	એનીસોલ
$C_6H_5NH_2$	એનિલીન
$C_6H_5COCH_3$	એસિટોફિનોન
$CH_3OCH_2CH_3$	ઈથાઈલ મિથાઈલ ઈથર

### 12.5.1 IUPAC નામકરણ પદ્ધતિ (The IUPAC System of Nomenclature)

કાર્બનિક સંયોજનોને સુવ્યવસ્થિત નામ આપવા માટે, મૂળ હાઈડ્રોકાર્બન અને તેમાં જોડાયેલા ક્રિયાશીલ સમૂહને ઓળખવા જરૂરી બને છે. નીચે આપેલા ઉદાહરણોને સમજો.



જનક હાઈડ્રોકાર્બનના નામને યોગ્ય પૂર્વગ અને પ્રત્યય લગાવીને સંયોજનોનું વાસ્તવિક નામ મેળવી શકાય છે. માત્ર હાઈડ્રોજન અને કાર્બન તત્ત્વો ધરાવનાર સંયોજનને હાઈડ્રોકાર્બન કહેવાય છે. કાર્બન-કાર્બન એકલબંધવાળા હાઈડ્રોકાર્બનને સંતૃપ્ત હાઈડ્રોકાર્બન કહે છે. આવા સંયોજનોની સમાનધર્મી શ્રેણીનું IUPAC નામ આલ્કેન છે. તેમનું અગાઉનું નામ પેરાફિન (લેટિન : ઓછું ક્રિયાશીલ) હતું. જે હાઈડ્રોકાર્બનમાં ઓછામાં ઓછો એક દ્વિબંધ કે ત્રિબંધ હોય તેને અસંતૃપ્ત હાઈડ્રોકાર્બન કહે છે.

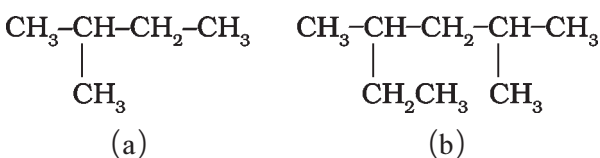
### 12.5.2 આલ્કેન સંયોજનોનું IUPAC નામકરણ (IUPAC Nomenclature of Alkanes)

સરળ શૃંખલાવાળા હાઈડ્રોકાર્બન સંયોજનો : આ સંયોજનોનું નામ તેમની શૃંખલાના બંધારણ પર આધારિત હોય છે. શૃંખલાના નામના અંતમાં ‘એન’ પ્રત્યય તથા શરૂઆતમાં તેમાં હાજર રહેલા કાર્બન સંખ્યાને અનુરૂપ પૂર્વગ લગાવવામાં આવે છે. (CH<sub>4</sub> થી C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> સિવાયના સંયોજનો માટે; કારણ કે CH<sub>4</sub> થી C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> સંયોજનો માટે પૂર્વગ રૂઢિગત નામના આધારે લખાય છે.) કેટલાક સરળ શૃંખલાવાળા સંતૃપ્ત હાઈડ્રોકાર્બન સંયોજનોના IUPAC નામ કોષ્ટક 12.2માં દર્શાવેલા છે. કોષ્ટક 12.2માં દર્શાવેલા આલ્કેન સંયોજનોમાં બે ક્રમિક સંયોજનો વચ્ચે -CH<sub>2</sub> પરમાણુઓ જેટલો તફાવત છે. તેઓ આલ્કેન શ્રેણીના સમાનધર્મીઓ છે.

### કોષ્ટક 12.2 કેટલાક સરળ શૃંખલાવાળા સંતૃપ્ત હાઈડ્રોકાર્બન સંયોજનોના IUPAC નામ

નામ	આણ્વીય સૂત્ર	નામ	આણ્વીય સૂત્ર
મિથેન	CH <sub>4</sub>	હેપ્ટેન	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>
ઈથેન	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	ઓક્ટેન	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>
પ્રોપેન	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	નોનેન	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>
બ્યુટેન	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	ડેકેન	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>
પેન્ટેન	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	આઈકોસેન	C <sub>20</sub> H <sub>42</sub>
હેક્ઝેન	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	ટ્રાઈકોન્ટેન	C <sub>30</sub> H <sub>62</sub>

શાખિત શૃંખલાવાળા હાઈડ્રોકાર્બન સંયોજનો : શાખિત શૃંખલાવાળા સંયોજનોમાં, જનક શૃંખલાના એક અથવા વધારે કાર્બન પરમાણુ સાથે કાર્બન પરમાણુઓની નાની શૃંખલાઓ જોડાયેલી હોય છે. કાર્બન પરમાણુની આ નાની શૃંખલાઓ (શાખાઓ) આલ્કાઈલ સમૂહ કહેવાય છે. દા.ત.,

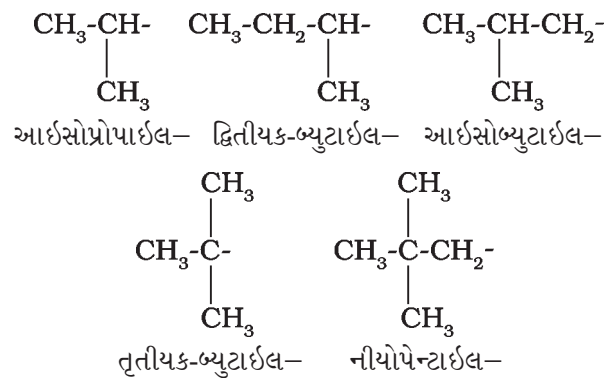


આવા સંયોજનોના નામકરણ માટે, જનક આલ્કેન સંયોજનના નામની આગળ આલ્કાઈલ સમૂહનું નામ પૂર્વગ તરીકે જોડવામાં આવે છે. સંતૃપ્ત હાઈડ્રોકાર્બનમાં કાર્બન પરમાણુ પરથી એક હાઈડ્રોજન દૂર કરવાથી આલ્કાઈલ સમૂહ પ્રાપ્ત થાય છે. આમ, CH<sub>4</sub> માંથી -CH<sub>3</sub> પ્રાપ્ત થાય છે, જેને મિથાઈલ સમૂહ કહેવામાં આવે છે. આલ્કાઈલ સમૂહના નામકરણ માટે અનુવર્તી આલ્કેનના નામના અંતમાં રહેલા ‘એન’નું વિસ્થાપન ‘આઈલ’ દ્વારા કરવામાં આવે છે. કેટલાક આલ્કાઈલ સમૂહના નામ કોષ્ટક 12.3માં દર્શાવેલા છે.

### કોષ્ટક 12.3 : કેટલાક આલ્કાઈલ સમૂહો

આલ્કેન		આલ્કાઈલ સમૂહ	
આણ્વીય સૂત્ર	આલ્કેનનું નામ	બંધારણીય સૂત્ર	આલ્કાઈલ સમૂહનું નામ
CH <sub>4</sub>	મિથેન	-CH <sub>3</sub>	મિથાઈલ
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	ઈથેન	-CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	ઈથાઈલ
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	પ્રોપેન	-CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	પ્રોપાઈલ
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	બ્યુટેન	-CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	બ્યુટાઈલ
C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	ડેકેન	-CH <sub>2</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>8</sub> CH <sub>3</sub>	ડેકાઈલ

કેટલાક આલ્કાઈલ સમૂહોને લખવા માટે ટૂંકાકરૂપ ઉપયોગમાં લેવાય છે. દા. ત., મિથાઈલને Me, ઈથાઈલને Et, પ્રોપાઈલને Pr તથા બ્યુટાઈલને Bu તરીકે લખાય છે. આલ્કાઈલ સમૂહો શાખાવાળા પણ હોય છે. આમ, પ્રોપાઈલ અને બ્યુટાઈલ સમૂહો નીચે દર્શાવ્યા મુજબ શાખાવાળા બંધારણ ધરાવે છે.

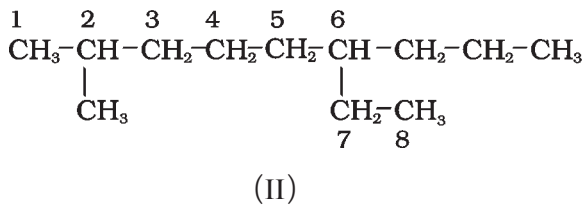
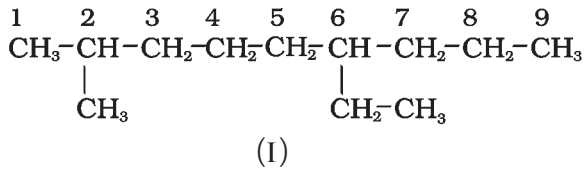


શાખાવાળા સામાન્ય સમૂહોને વિશિષ્ટ રૂઢિગત નામ હોય છે. દા.ત., પ્રોપાઈલ સમૂહને *n*-પ્રોપાઈલ સમૂહ કે આઈસો પ્રોપાઈલ સમૂહ વડે લખાય છે. શાખાવાળા બ્યુટાઈલ સમૂહને દ્વિતીયક બ્યુટાઈલ, આઈસો બ્યુટાઈલ અને તૃતીયક બ્યુટાઈલ વડે દર્શાવાય છે. -CH<sub>2</sub>C(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub> બંધારણ માટે નિયોપેન્ટાઈલ સમૂહ નામ આપવામાં આવે છે.

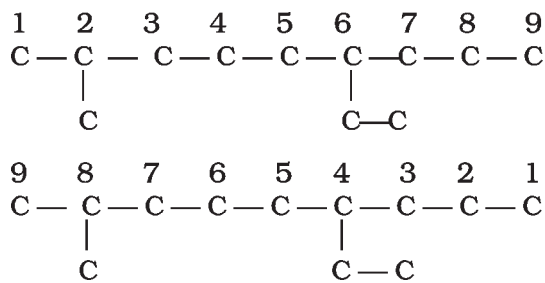
શાખિત શૃંખલાવાળા આલ્કેન સંયોજનોનું નામકરણ :

શાખિત શૃંખલાવાળા આલ્કેન વધુ સંખ્યામાં જોવા મળે છે. તેમના નામકરણના નિયમો નીચે દર્શાવ્યા છે :

1. સૌપ્રથમ અણુમાં રહેલી દીર્ઘતમ (લાંબામાં લાંબી) કાર્બન શૃંખલા પસંદ કરવામાં આવે છે. નીચે દર્શાવેલા ઉદાહરણ (I)માં દીર્ઘતમ કાર્બન શૃંખલામાં નવ કાર્બન પરમાણુઓ છે. જેને જનક શૃંખલા (Parent chain) તરીકે લેવામાં આવે છે. ઉદાહરણ (II)માં પસંદ કરેલી જનક શૃંખલા યોગ્ય નથી કારણ કે તે માત્ર આઠ કાર્બન પરમાણુઓ ધરાવે છે.



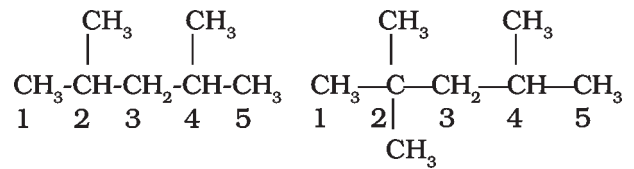
2. જનક આલ્કેનને ઓળખવા માટે જનક શૃંખલાના કાર્બન પરમાણુઓને ક્રમ આપવામાં આવે છે તથા હાઈડ્રોજન પરમાણુને વિસ્થાપિત કરનારા આલ્કાઈલ સમૂહથી શાબિત થનાર કાર્બનનું સ્થાન નક્કી કરાય છે. જનક શૃંખલામાં કાર્બન પરમાણુને ક્રમ આપવા માટે એવો છેડો પસંદ કરાય છે કે જેથી શાબિત કાર્બન પરમાણુને ન્યૂનતમ ક્રમ મળે. આથી ઉપરના ઉદાહરણમાં ક્રમ ડાબી બાજુથી જમણી બાજુ તરફ (શાખાવાળા કાર્બનને ક્રમ 2 અને 6 મળે છે) હોવો જોઈએ નહિ કે જમણી બાજુથી ડાબી બાજુ તરફ (શાખાવાળા કાર્બનને ક્રમ 4 અને 8 મળે છે).



3. મૂળ આલ્કેનના નામમાં, શાખા તરીકે જોડાયેલા આલ્કાઈલ સમૂહોના નામને પૂર્વગ તરીકે જોડવામાં આવે છે તથા વિસ્થાપક સમૂહોને યોગ્ય ક્રમ આપવામાં આવે છે. જુદા જુદા આલ્કાઈલ સમૂહોના નામોને અંગ્રેજી મૂળાક્ષરોના ક્રમમાં લખવામાં આવે છે. આમ, ઉપર દર્શાવેલા સંયોજનનું નામ 6-ઈથાઈલ-2-મિથાઈલનોનેન

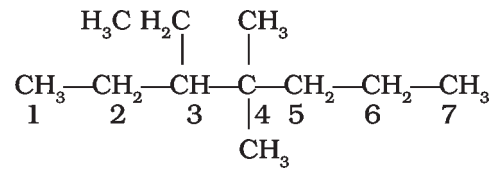
થશે. (નોંધ : સંખ્યા અને સમૂહના નામ વચ્ચે ડેશ (-) કરવામાં આવે છે, તથા મિથાઈલ અને નોનેન વચ્ચે જગ્યા રાખવામાં આવતી નથી.)

4. જો બે કે તેથી વધારે સમાન વિસ્થાપકો હોય તો તેમના ક્રમની વચ્ચે અલ્પવિરામ (,) મૂકવામાં આવે છે. સમાન વિસ્થાપકોના નામને પુનરાવર્તિત રીતે ન લખતા યોગ્ય પૂર્વગ જેમ કે ડાય (2 માટે), ટ્રાય (3 માટે), ટેટ્રા (4 માટે), પેન્ટા (5 માટે), હેક્ઝા (6 માટે) વગેરેનો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે, પરંતુ નામ લખતી વખતે વિસ્થાપકોના નામો અંગ્રેજી મૂળાક્ષરોના ક્રમમાં લખવામાં આવે છે. નીચેના ઉદાહરણો આ નિયમોને સ્પષ્ટ કરે છે.



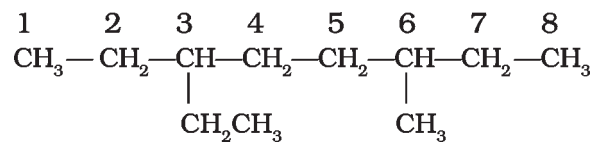
2,4-ડાયમિથાઈલપેન્ટેન

2,2,4-ટ્રાયમિથાઈલપેન્ટેન

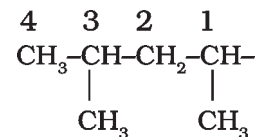


3-ઈથાઈલ-4,4-ડાયમિથાઈલહેપ્ટેન

5. જો બે વિસ્થાપકોના સ્થાન સમાન હોય તો અંગ્રેજી મૂળાક્ષરોના ક્રમમાં પહેલા આવનાર સમૂહને ન્યૂનતમક્રમ આપવામાં આવે છે. આમ નીચે દર્શાવેલા સંયોજનનું નામ 3-ઈથાઈલ-6-મિથાઈલઓક્ટેન છે, નહિ કે 6-ઈથાઈલ-3-મિથાઈલઓક્ટેન.



6. શાબિત આલ્કાઈલ સમૂહનું નામ ઉપરના નિયમો મુજબ નક્કી કરી શકાય છે, પરંતુ શાબિત શૃંખલાનો કાર્બન પરમાણુ કે જે આલ્કેન જનક શૃંખલા સાથે જોડાયેલો હોય છે, તેને નીચે દર્શાવ્યા મુજબ ક્રમ 1 આપવામાં આવે છે.

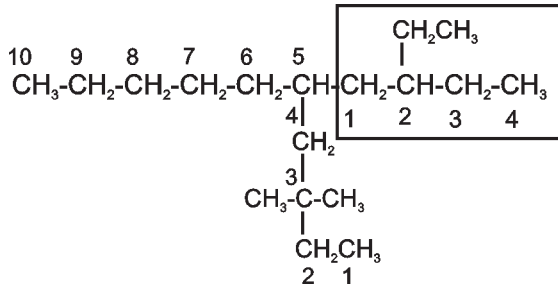


1,3-ડાયમિથાઈલબ્યુટાઈલ-



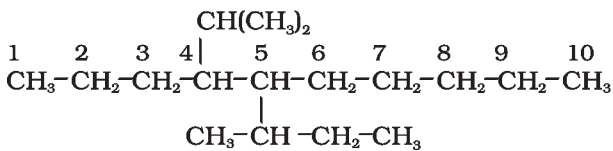
આવા શાખિત શૃંખલાવાળા આલ્કાઈલ સમૂહના નામને કૌંસમાં લખવામાં આવે છે. વિસ્થાપકોના રૂઢિગત નામને અંગ્રેજી મૂળાક્ષરોના ક્રમમાં લખતી વખતે આઈસો (iso) અને નિયો (neo) પૂર્વગોને મૂળ આલ્કાઈલ સમૂહના નામના ભાગ ગણવામાં આવે છે, પરંતુ દ્વિતીયક (sec-) અને તૃતીયક (tert-) પૂર્વગોને મૂળ આલ્કાઈલ સમૂહના નામના ભાગ માનવામાં આવતા નથી. આઈસો અને સંબંધિત અન્ય સામાન્ય પૂર્વગોનો ઉપયોગ IUPAC પદ્ધતિમાં ત્યાં સુધી કરવામાં આવે છે કે જ્યાં સુધી તે આગળ શાખિત ન થાય. બહુવિસ્થાપિત સંયોજનો માટે નીચે દર્શાવેલા નિયમો યાદ રાખો.

- જો બે શૃંખલાનું કદ સમાન હોય તો, વધારે ઉપશાખાવાળી શૃંખલાને પસંદ કરવી જોઈએ.
- શૃંખલાની પસંદગી બાદ ક્રમ આપવાનો છેડો એવો પસંદ કરવો જોઈએ કે જે છેડે વિસ્થાપકો નજીક હોય.

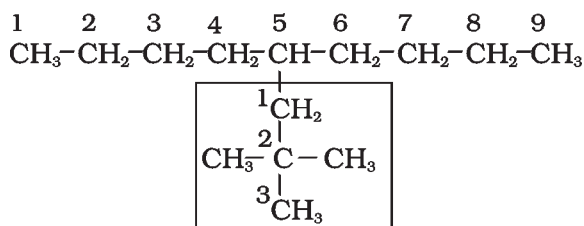


5-(2-ઈથાઈલબ્યુટાઈલ)-3,3-ડાયમિથાઈલહેક્સેન

(નહિ કે 5-(2,2-ડાયમિથાઈલબ્યુટાઈલ)-3-ઈથાઈલહેક્સેન)

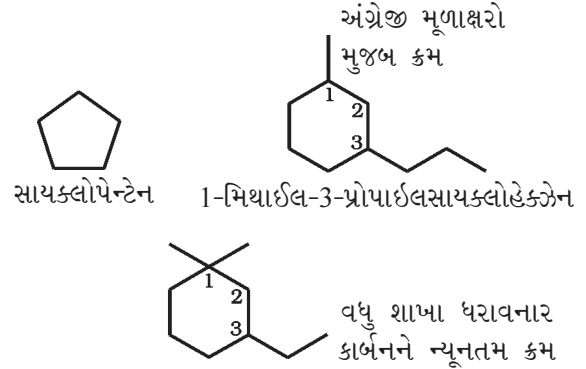


5-દ્વિતીયક-બ્યુટાઈલ-4-આઈસોપ્રોપાઈલહેક્સેન



5-(2,2-ડાયમિથાઈલપ્રોપાઈલ)નોનેન

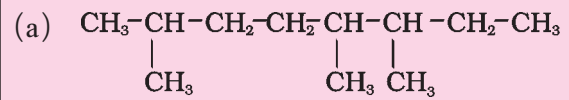
**ચક્રિય સંયોજનો :** એક ચક્રિય સંતૃપ્ત સંયોજનનું નામ અનુવર્તી સરળ શૃંખલાવાળા આલ્કેનના નામની આગળ 'સાયક્લો' પૂર્વગ લગાવવાથી મળે છે. જો તેમાં ઉપશાખા હાજર હોય તો ઉપરના નિયમો લાગુ પડે છે. કેટલાક ચક્રિય સંયોજનોના નામ નીચે દર્શાવેલા છે :



(નહિ કે 1-ઈથાઈલ-3, 3-ડાયમિથાઈલસાયક્લોહેક્ઝેન)

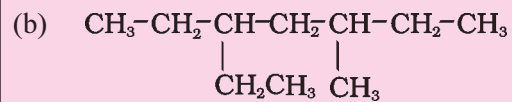
### કોયડો 12.7

કેટલાક હાઈડ્રોકાર્બન સંયોજનોના IUPAC નામ તથા બંધારણીય સૂત્રો નીચે દર્શાવ્યા છે. કૌંસમાં આપેલા નામ શા માટે ખોટા છે ? સમજાવો.



2,5,6-ટ્રાયમિથાઈલઓક્ટેન

(નહિ કે 3,4,7-ટ્રાયમિથાઈલઓક્ટેન)



3-ઈથાઈલ-5-મિથાઈલહેપ્ટેન

(નહિ કે 5-ઈથાઈલ-3-મિથાઈલહેપ્ટેન)

ઉકેલ :

(a) ન્યૂનતમ સ્થાનક્રમ 2, 5, 6 એ 3, 4, 7 કરતા ન્યૂનતમ છે.

(b) વિસ્થાપક સમૂહોના સ્થાન સમાન છે. અંગ્રેજી મૂળાક્ષરોના ક્રમમાં જે પ્રથમ આવે તેને ન્યૂનતમ ક્રમ મળે તેમ છેડો પસંદ કરવો પડે.

### 12.5.3 ક્રિયાશીલ સમૂહવાળા કાર્બનિક સંયોજનોનું નામકરણ (Nomenclature of Organic Compounds having Functional Group(s))

અગાઉ વ્યાખ્યાયિત કર્યા મુજબ, કોઈ કાર્બનિક સંયોજનમાં પરમાણુ અથવા પરમાણુઓના સમૂહ કે જેને કારણે તે સંયોજન વિશિષ્ટ રાસાયણિક પ્રતિક્રિયાત્મકતા દર્શાવે છે, તેને ક્રિયાશીલ

સમૂહ કહે છે. સમાન ક્રિયાશીલ સમૂહોવાળા સંયોજનો સમાન પ્રક્રિયાઓ આપે છે. દા.ત.,  $\text{CH}_3\text{OH}$ ,  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ,  $(\text{CH}_3)_2\text{CHOH}$  વગેરે  $-\text{OH}$  ક્રિયાશીલ સમૂહ ધરાવે છે, તેથી તે બધાં સોડિયમ ધાતુ સાથે પ્રક્રિયા કરી હાઈડ્રોજન વાયુ મુક્ત કરે છે. ક્રિયાશીલ સમૂહોની હાજરીને કારણે કાર્બનિક સંયોજનોનું પદ્ધતિસરનું વર્ગીકરણ જુદા જુદા વર્ગોમાં કરી શકાય છે. કેટલાક ક્રિયાશીલ સમૂહોના ઉદાહરણો તેમના પૂર્વગ, પ્રત્યય અને કેટલાક કાર્બનિક સંયોજનોના નામ કે જેમાં તે ક્રિયાશીલ સમૂહો હાજર છે તેઓને કોષ્ટક 12.4માં દર્શાવવામાં આવ્યા છે.

સૌપ્રથમ અણુમાં રહેલા ક્રિયાશીલ સમૂહને ઓળખવામાં આવે છે કે જેથી યોગ્ય પ્રત્યયની પસંદગી કરી શકાય. ક્રિયાશીલ સમૂહ ધરાવનારી દીર્ઘતમ કાર્બન શૃંખલામાં કાર્બન પરમાણુને ક્રમ એવા છેડેથી આપવામાં આવે છે કે જેથી ક્રિયાશીલ સમૂહ જોડાયેલા કાર્બન પરમાણુને ન્યૂનતમ ક્રમ મળે. કોષ્ટક 12.4માં દર્શાવેલા પ્રત્યયોનો ઉપયોગ કરી સંયોજનોના નામ લખી શકાય છે.

બહુક્રિયાશીલ સમૂહવાળા સંયોજનોમાં એક ક્રિયાશીલ સમૂહને મુખ્ય ક્રિયાશીલ સમૂહ માનવામાં આવે છે અને તેના આધારે સંયોજનનું નામ નક્કી કરવામાં આવે છે. બાકી રહેલા ક્રિયાશીલ સમૂહોને વિસ્થાપક સમૂહ તરીકે ગણી યોગ્ય પૂર્વગની મદદથી તેમનું નામ નક્કી કરવામાં આવે છે. મુખ્ય ક્રિયાશીલ સમૂહની પસંદગી સમૂહોના અગ્રીમતા ક્રમને આધારે કરવામાં આવે છે. કેટલાક ક્રિયાશીલ સમૂહોની અગ્રીમતાનો ઉત્તરતો ક્રમ :

$-\text{COOH}$ ,  $-\text{SO}_3\text{H}$ ,  $-\text{COOR}$  ( $\text{R}=\text{આલ્કાઈલ સમૂહ}$ ),  $-\text{COCl}$ ,  $-\text{CONH}_2$ ,  $-\text{CN}$ ,  $-\text{HC}=\text{O}$ ,  $>\text{C}=\text{O}$ ,  $-\text{OH}$ ,  $-\text{NH}_2$ ,  $>\text{C}=\text{C}<$ ,  $-\text{C}\equiv\text{C}-$ .

$-\text{R}$ ,  $\text{C}_6\text{H}_5-$ , હેલોજન ( $-\text{F}$ ,  $-\text{Cl}$ ,  $-\text{Br}$ ,  $-\text{I}$ ),  $-\text{NO}_2$ , આલ્કોક્સિ ( $-\text{OR}$ ) વગેરેને હંમેશાં વિસ્થાપકો તરીકે ગણીને પૂર્વગ તરીકે લખવામાં આવે છે. આમ, જો સંયોજનમાં આલ્કોહોલ અને કિટોન સમૂહ એમ બંને સમૂહો હાજર હોય તો તેનું નામ હાઈડ્રોક્સિઆલ્કેનોન આપવામાં આવે છે. કારણ કે અગ્રીમતાક્રમમાં કિટોન સમૂહ અગ્રીમ સ્થાને છે.

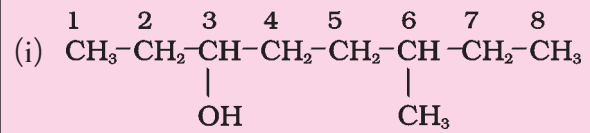
દા.ત.,  $\text{HOCH}_2(\text{CH}_2)_3\text{CH}_2\text{COCH}_3$  નું નામ 7-હાઈડ્રોક્સિહેપ્ટેન-2-ઓન છે, નહિ કે 2-ઓક્સોહેપ્ટેન-7-ઓલ. તેવી જ રીતે  $\text{BrCH}_2\text{CH}=\text{CH}_2$  નું નામ 3-બ્રોમોપ્રોપ-1-ઈન છે, નહિ કે 1-બ્રોમોપ્રોપ-2-ઈન.

જો એક જ પ્રકારના ક્રિયાશીલ સમૂહોની સંખ્યા એક કરતાં વધારે હોય તો તેમની સંખ્યાને દર્શાવવા માટે ક્રિયાશીલ

સમૂહોના પ્રત્યયની અગાઉ ડાય, ટ્રાય વગેરે પૂર્વગ લગાવવામાં આવે છે. આવા કિસ્સામાં જનક આલ્કેનનું પૂરું નામ ક્રિયાશીલ સમૂહ પ્રત્યયની પહેલા લખાય છે. દા.ત.,  $\text{CH}_2(\text{OH})\text{CH}_2(\text{OH})$ નું નામ ઈથેન-1, 2-ડાયોલ છે, પરંતુ એકથી વધારે દ્વિબંધ કે ત્રિબંધ હોય તો આલ્કેનના અંગ્રેજી નામના છેડેથી 'ne' દૂર કરવામાં આવે છે. દા.ત.,  $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$  નું નામ બ્યુટા-1, 3-ડાઈન છે.

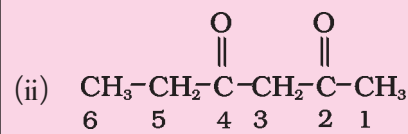
### કોયડો 12.8

નીચે જણાવેલા સંયોજનો (i) થી (iv)ના IUPAC નામ લખો.



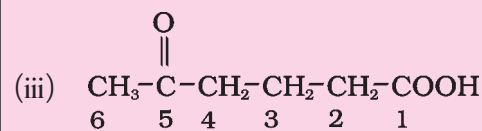
ઉકેલ :

- ક્રિયાશીલ સમૂહ તરીકે આલ્કોહોલ ( $-\text{OH}$ ) હોવાથી તેનો પ્રત્યય 'ઓલ' છે.
- $-\text{OH}$  સમૂહ ધરાવતી દીર્ઘતમ કાર્બન શૃંખલામાં 8 કાર્બન પરમાણુઓ છે, તેથી તેને અનુરૂપ સંતૃપ્ત હાઈડ્રોકાર્બન ઓક્ટેન છે.
- $-\text{OH}$  સમૂહ ત્રીજા કાર્બન પરમાણુ પર જોડાયેલો છે તથા મિથાઈલ સમૂહ છઠ્ઠા કાર્બન પરમાણુ પર જોડાયેલો છે. આથી આ સંયોજનનું નામ 6-મિથાઈલઓક્ટેન-3-ઓલ છે.




ઉકેલ :

ક્રિયાશીલ સમૂહ તરીકે કિટોન ( $>\text{C}=\text{O}$ ) સમૂહ છે. તેથી તેનો પ્રત્યય 'ઓન' છે. બે કિટોન સમૂહ હોવાના કારણે તેનો પ્રત્યય 'ડાયોન' થશે. બે કિટોન સમૂહો બીજા કાર્બન અને ચોથા કાર્બન પરમાણુ સાથે જોડાયેલા છે. કાર્બનની દીર્ઘતમ શૃંખલામાં 6 કાર્બન પરમાણુઓ આવેલા છે. તેથી જનક હાઈડ્રોકાર્બન હેક્ઝેન છે. આમ પદ્ધતિસરનું નામ હેક્ઝેન-2, 4-ડાયોન છે.

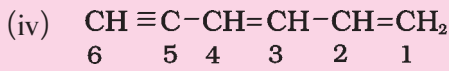


## કોષ્ટક 12.4 કેટલાક ક્રિયાશીલ સમૂહો અને કાર્બનિક સંયોજનોના વર્ગો

સંયોજનોનો વર્ગ	ક્રિયાશીલ સમૂહનું બંધારણ	IUPAC સમૂહ પૂર્વગ	IUPAC સમૂહ પ્રત્યય	ઉદાહરણ
આલ્કેન	—	—	—એન	બ્યુટેન $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CH}_3$
આલ્કીન	$>\text{C} = \text{C}<$	—	—ઇન	બ્યુટ-1-ઇન $\text{CH}_2 = \text{CHCH}_2\text{CH}_3$
આલ્કાઇન	$-\text{C}\equiv\text{C}-$	—	—આઇન	બ્યુટ-1-આઇન $\text{CH}\equiv\text{CCH}_2\text{CH}_3$
એરીન	—	—	—	બેન્ઝિન, 
હેલાઇડ	$-\text{X}$ (X = F, Cl, Br, I)	હેલો—	—	1-બ્રોમોબ્યુટેન $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CH}_2\text{Br}$
આલ્કોહોલ	$-\text{OH}$	હાઇડ્રોક્સિ—	—ઓલ	બ્યુટેન-2-ઓલ $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHOHCH}_3$
આલ્ડિહાઇડ	$-\text{CHO}$	ફોર્માઇલ— અથવા ઓક્સો—	—આલ	બ્યુટેનાલ $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CHO}$
કિટોન	$>\text{C} = \text{O}$	ઓક્સો—	—ઓન	બ્યુટેન-2-ઓન $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COCH}_3$
નાઇટ્રાઇલ	$-\text{C}\equiv\text{N}$	સાયનો—	—નાઇટ્રાઇલ	પેન્ટેનનાઇટ્રાઇલ $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CN}$
ઇથર	$\text{R}-\text{O}-\text{R}$	આલ્કોક્સિ—	—	ઇથોક્સિઇથેન $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_3$
કાર્બોક્સિલિક એસિડ	$-\text{COOH}$	કાર્બોક્સિ—	—ઓઇક એસિડ	બ્યુટેનોઇક એસિડ $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CO}_2\text{H}$
કાર્બોક્સિલેટ આયન	$-\text{COO}^-$	—	—ઓએટ	સોડિયમ બ્યુટેનોએટ $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CO}_2^- \text{Na}^+$
એસ્ટર	$-\text{COOR}$	આલ્કોક્સિ કાર્બોનિલ	—ઓએટ	મિથાઇલ પ્રોપેનોએટ $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOCH}_3$
એસાઇલ હેલાઇડ	$-\text{COX}$ (X = F, Cl, Br, I)	હેલોકાર્બોનિલ	—ઓઇલ હેલાઇડ	બ્યુટેનોઇલ ક્લોરાઇડ $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COCl}$
એમાઇન	$-\text{NH}_2$ $>\text{NH}$ , $>\text{N}-$	એમિનો—	—એમાઇન	બ્યુટેન-2-એમાઇન $\text{CH}_3\text{CHNH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$
એમાઇડ	$-\text{CONH}_2$ $-\text{CONHR}$ $-\text{CONR}_2$	કાર્બામોઇલ	—એમાઇડ	બ્યુટેનેમાઇડ $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CONH}_2$
નાઇટ્રોસંયોજનો	$-\text{NO}_2$	નાઇટ્રો	—	1-નાઇટ્રોબ્યુટેન $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{NO}_2$
સલ્ફોનિક એસિડ	$-\text{SO}_3\text{H}$	સલ્ફો	સલ્ફોનિક એસિડ	મિથાઇલસલ્ફોનિક એસિડ $\text{CH}_3\text{SO}_3\text{H}$

ઉકેલ :

અહીં બે ક્રિયાશીલ સમૂહો -કિટોન અને કાર્બોક્સિલિક એસિડ છે. જેમાં કાર્બોક્સિલિક એસિડ મુખ્ય ક્રિયાશીલ સમૂહ છે. તેથી જનક શૃંખલાને 'ઓઈક એસિડ' પ્રત્યય લગાડવામાં આવે છે. શૃંખલામાં રહેલા કાર્બન પરમાણુને ક્રમ આપવાની શરૂઆત -COOH ક્રિયાશીલ સમૂહના કાર્બન પરમાણુથી થાય છે. શૃંખલામાં પાંચમા કાર્બન પરમાણુ સાથે જોડાયેલા કિટોન સમૂહને 'ઓક્સો' વડે દર્શાવાય છે. મુખ્ય ક્રિયાશીલ સમૂહ ધરાવતી દીર્ઘતમ શૃંખલામાં 6 કાર્બન પરમાણુઓ છે. તેથી જનક હાઈડ્રોકાર્બનનું નામ હેક્ઝેન થશે. તેથી સંયોજનનું નામ 5-ઓક્સોહેક્ઝેનોઈક એસિડ થશે.



ઉકેલ :

અહીં બે C=C ક્રિયાશીલ સમૂહો કાર્બન 1 અને કાર્બન 3ના સ્થાને છે, જ્યારે C≡C ક્રિયાશીલ સમૂહ કાર્બન 5 પર છે. આ સમૂહો અનુક્રમે 'ડાઈન' અને 'આઈન' પૂર્વગ સૂચવે છે. ક્રિયાશીલ સમૂહો ધરાવતી દીર્ઘતમ શૃંખલામાં 6 કાર્બન પરમાણુઓ છે, તેથી જનક હાઈડ્રોકાર્બનનું નામ હેક્ઝેન થશે. તેથી સંયોજનનું નામ હેક્ઝા-1,3-ડાઈન-5-આઈન થશે.

### કોયડો 12.9

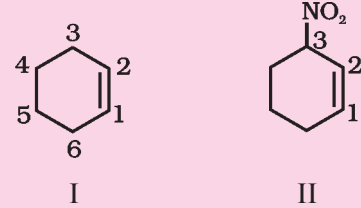
બંધારણીય સૂત્રો લખો :

- (i) 2-ક્લોરોહેક્ઝેન (ii) પેન્ટ-4-ઈન-2-ઓલ  
(iii) 3-નાઈટ્રોસાયકલોહેક્ઝેન  
(iv) સાયકલોહેક્ઝ-2-ઈન-1-ઓલ  
(v) 6-હાઈડ્રોક્સિહેપ્ટેનાલ

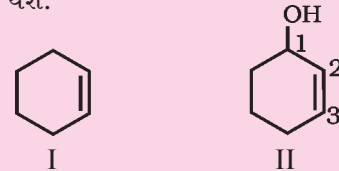
ઉકેલ :

- (i) હેક્ઝેન સૂચવે છે કે શૃંખલામાં 6 કાર્બન પરમાણુઓ રહેલા છે. ક્લોરો ક્રિયાશીલ સમૂહ બીજા કાર્બન પરમાણુ સાથે જોડાયેલો હશે. તેથી સંયોજનનું બંધારણીય સૂત્ર  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}(\text{Cl})\text{CH}_3$  થાય.  
(ii) 'પેન્ટ' સૂચવે છે કે જનક હાઈડ્રોકાર્બન શૃંખલામાં 5 કાર્બન પરમાણુઓ રહેલા છે. 'ઈન' અને 'ઓલ' સંદર્ભે ક્રિયાશીલ સમૂહો  $>\text{C}=\text{C}<$  અને  $-\text{OH}$  અનુક્રમે કાર્બન 4 અને કાર્બન 2 સાથે જોડાયેલા હોવા જોઈએ. તેથી સંયોજનનું બંધારણીય સૂત્ર  
 $\text{CH}_2 = \text{CHCH}_2\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$

- (iii) સાયકલોહેક્ઝેન સૂચવે છે કે છ સભ્યવાળી વલય રચનામાં એક કાર્બન-કાર્બન દ્વિબંધ રહેલો છે. જેનો ક્રમ બંધારણ (I)માં દર્શાવેલો છે. 3-નાઈટ્રો પૂર્વગ સૂચવે છે કે નાઈટ્રો સમૂહ કાર્બન 3 સાથે જોડાયેલો છે. તેથી સંપૂર્ણ બંધારણીય સૂત્ર બંધારણ (II) મુજબનું થશે. દ્વિબંધ પ્રત્યય સૂચવનાર ક્રિયાશીલ સમૂહ છે, જ્યારે  $\text{NO}_2$  પૂર્વગ સૂચવનાર ક્રિયાશીલ સમૂહ છે. તેથી દ્વિબંધ,  $-\text{NO}_2$  સમૂહની સાપેક્ષે વધુ અગ્રીમતા મેળવે છે.



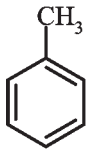
- (iv) '1-ઓલ'નો અર્થ એ થાય છે કે  $-\text{OH}$  સમૂહ C-1 સાથે જોડાયેલો છે.  $-\text{OH}$  સમૂહ પ્રત્યય સૂચવનાર ક્રિયાશીલ સમૂહ હોવાથી તે C=C ની સાપેક્ષે વધુ અગ્રીમતા મેળવે છે. તેથી સંયોજનનું બંધારણીય સૂત્ર બંધારણ II મુજબનું થશે.



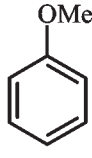
- (v) 'હેપ્ટેનાલ' સૂચવે છે કે જનક શૃંખલામાં આલ્ડિહાઈડ ક્રિયાશીલ સમૂહના કાર્બન સહિત સાત કાર્બન પરમાણુઓ રહેલા છે. '6-હાઈડ્રોક્સિ' સૂચવે છે કે  $-\text{OH}$  સમૂહ કાર્બન 6 સાથે જોડાયેલો છે. આમ સંયોજનનું બંધારણીય સૂત્ર  $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CHO}$  થશે. જનક શૃંખલામાં કાર્બન પરમાણુઓને આપવામાં આવતા ક્રમમાં  $-\text{CHO}$  સમૂહના કાર્બનને સમાવવામાં આવે છે.

### 12.5.4 વિસ્થાપિત બેન્ઝિન સંયોજનોનું નામકરણ (Nomenclature of Substituted Benzene Compounds)

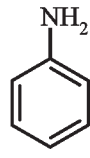
IUPAC નામકરણ પદ્ધતિમાં વિસ્થાપિત બેન્ઝિનનું નામ લખવા માટે નીચે દર્શાવેલા ઉદાહરણ મુજબ વિસ્થાપકોનું નામ પૂર્વગ તરીકે બેન્ઝિન શબ્દની પૂર્વે લખાય છે. જોકે ઘણા વિસ્થાપિત બેન્ઝિન સંયોજનોના સામાન્ય નામ (નીચે કૌંસમાં દર્શાવેલા છે) સાર્વત્રિક રીતે ઉપયોગમાં લેવાય છે.



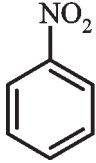
મિથાઈલબેન્ઝિન  
(ટોલ્યુઈન)



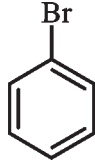
મિથોક્સિબેન્ઝિન  
(એનિસોલ)



એમિનોબેન્ઝિન  
(એનિલીન)

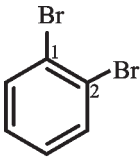


નાઈટ્રોબેન્ઝિન



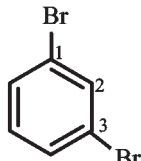
બ્રોમોબેન્ઝિન

દ્વિવિસ્થાપિત બેન્ઝિન સંયોજનોમાં વિસ્થાપકોને ક્રમ આપવામાં આવે છે. ક્રમ તે પ્રકારે આપવામાં આવે છે કે જેથી વિસ્થાપક સમૂહના સ્થાનને ન્યૂનતમ ક્રમ મળે છે. દા.ત., સંયોજન (b)નું નામ 1,3-ડાયબ્રોમોબેન્ઝિન થાય છે, નહિ કે 1,5-ડાયબ્રોમોબેન્ઝિન.



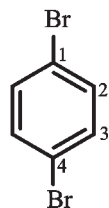
(a)

1,2-ડાયબ્રોમો-  
બેન્ઝિન



(b)

1,3-ડાયબ્રોમો-  
બેન્ઝિન



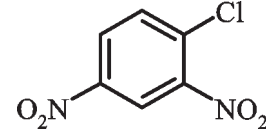
(c)

1,4-ડાયબ્રોમો-  
બેન્ઝિન

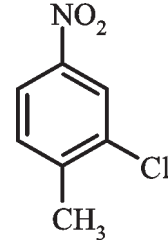
નામકરણની રૂઢિગત પ્રણાલીમાં 1,2-; 1,3-; અને 1,4- સાપેક્ષ સ્થાનોને અનુક્રમે ઓર્થો (o), મેટા (m) અને પેરા (p) પૂર્વગો દ્વારા દર્શાવવામાં આવે છે. આમ, 1,3-ડાયબ્રોમોબેન્ઝિન (b) સંયોજનને *m*-ડાયબ્રોમોબેન્ઝિન (મેટાનું ટૂંકું રૂપ *m*- છે.) તથા ડાયબ્રોમોબેન્ઝિનના અન્ય સમઘટકો 1,2-(a) અને 1,4-(c)ને અનુક્રમે ઓર્થો (અથવા *o*-) અને પેરા (અથવા *p*-) ડાયબ્રોમોબેન્ઝિન કહે છે.

આ પૂર્વગોનો ઉપયોગ ત્રિવિસ્થાપિત અથવા બહુવિસ્થાપિત બેન્ઝિન વ્યુત્પન્નોના નામકરણમાં થતો નથી. વિસ્થાપક સમૂહોના સ્થાન નક્કી કરવા ન્યૂનતમ ક્રમના નિયમનું પાલન કરવામાં આવે છે. કેટલાક કિસ્સામાં બેન્ઝિન વ્યુત્પન્નના રૂઢિગત નામને મૂળ સંયોજન તરીકે લેવામાં આવે છે.

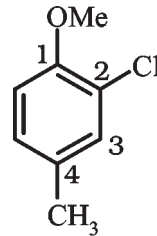
મૂળ સંયોજનોના વિસ્થાપક સમૂહને ક્રમ 1 એ રીતે આપવામાં આવે છે કે જેથી બાકીના વિસ્થાપક સમૂહોને ન્યૂનતમ ક્રમ મળે. વિસ્થાપક સમૂહના નામ અંગ્રેજી મૂળાક્ષરોના ક્રમમાં લખવામાં આવે છે. જેના કેટલાક ઉદાહરણો નીચે દર્શાવ્યા છે.



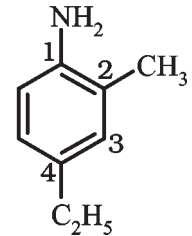
1-ક્લોરો-2,4-ડાયનાઈટ્રોબેન્ઝિન  
(નહિ કે 4-ક્લોરો-1,3-ડાયનાઈટ્રોબેન્ઝિન)



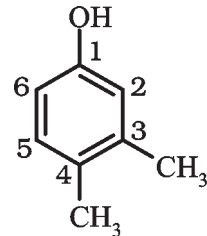
2-ક્લોરો-1-મિથાઈલ-4-નાઈટ્રોબેન્ઝિન  
(નહિ કે 4-મિથાઈલ-5-ક્લોરોનાઈટ્રોબેન્ઝિન)



2-ક્લોરો-4-  
મિથાઈલએનિસોલ



4-ઇથાઈલ-2-  
મિથાઈલએનિલીન



3,4-ડાયમિથાઈલફિનોલ

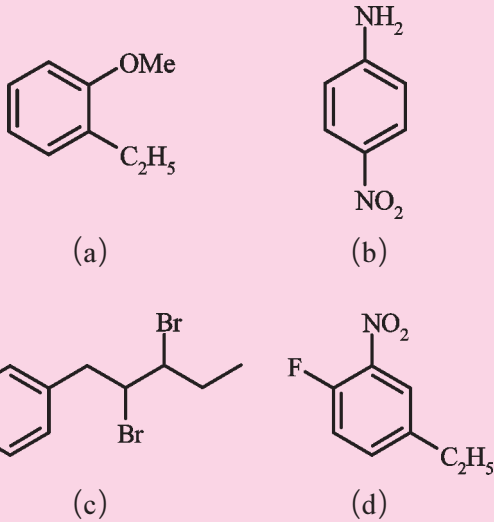
જ્યારે બેન્ઝિન વલય કોઈ ક્રિયાશીલ સમૂહ સહિત આલ્કેન સાથે જોડાયેલું હોય ત્યારે તેને મૂળ સંયોજન(જનક સંયોજન)ને બદલે વિસ્થાપક સમૂહ તરીકે લેવામાં આવે છે. બેન્ઝિન વિસ્થાપક સમૂહ તરીકે હોય ત્યારે તેને ફિનાઈલ (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>-, ટૂંકમાં Ph તરીકે પણ લખાય છે.) તરીકે લખાય છે.

**કોયડો 12.10**

નીચે આપેલા સંયોજનોના બંધારણીય સૂત્ર લખો :

- o*-ઇથાઇલએનિસોલ
- p*-નાઇટ્રોએનિલીન
- 2,3-ડાયબ્રોમો-1-ફિનાઇલપેન્ટેન
- 4-ઇથાઇલ-1-ફ્લોરો-2-નાઇટ્રોબેન્ઝિન

ઉકેલ :

**12.6 સમઘટકતા (Isomerism)**

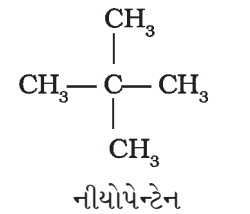
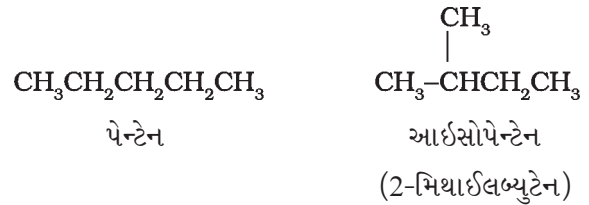
બે કે તેથી વધુ સંયોજનોના આણ્વીય સૂત્રો સમાન હોય, પરંતુ તેમના ગુણધર્મો જુદા જુદા હોય તો આ ઘટનાને સમઘટકતા (isomerism) કહે છે. આ સંયોજનોને સમઘટકો કહેવાય છે. જુદીજુદી સમઘટકતાને નીચે ચાર્ટમાં દર્શાવેલી છે.

**12.6.1 બંધારણીય સમઘટકતા (Structural Isomerism)**

જે સંયોજનોના આણ્વીય સૂત્રો સમાન હોય, પરંતુ બંધારણીય સૂત્ર (પરમાણુની ગોઠવણીની રીત) અલગ-અલગ હોય તો તેમને બંધારણીય સમઘટકો કહે છે. વિવિધ પ્રકારની બંધારણીય સમઘટકતાના કેટલાક વિશિષ્ટ ઉદાહરણો નીચે દર્શાવેલા છે.

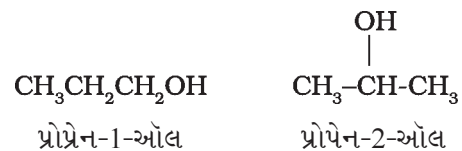
(i) શૃંખલા સમઘટકતા : જો બે કે તેથી વધારે સંયોજનોના આણ્વીય સૂત્રો સમાન હોય પણ તેમની કાર્બન શૃંખલાનું માળખું

(carbon skeletons) જુદું જુદું હોય તો તે સંયોજનો શૃંખલા સમઘટકો કહેવાય છે અને તે ઘટનાને શૃંખલા સમઘટકતા કહે છે. દા.ત.,  $C_5H_{12}$ ના નીચે દર્શાવ્યા મુજબ ત્રણ શૃંખલા સમઘટકો મળે છે.

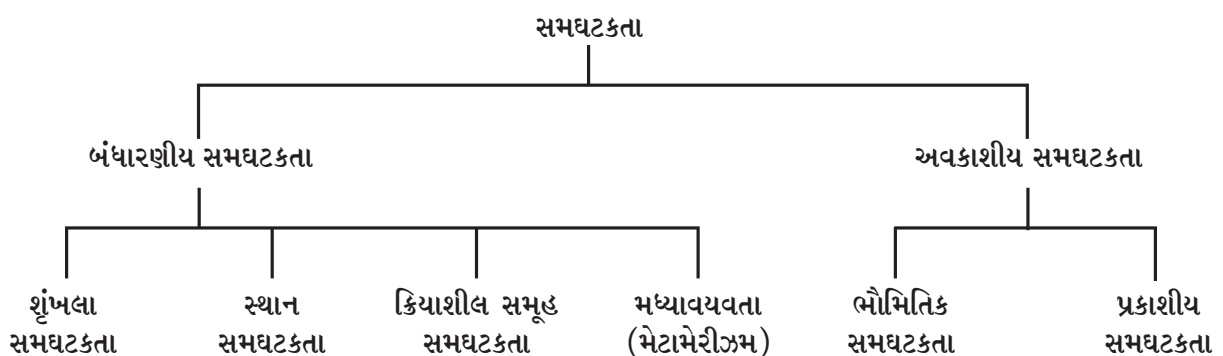


(2,2-ડાયમિથાઇલપ્રોપેન)

(ii) સ્થાન સમઘટકતા : જ્યારે બે કે તેથી વધારે સંયોજનોમાં કાર્બન શૃંખલાને જોડાયેલા વિસ્થાપક સમૂહો કે ક્રિયાશીલ સમૂહોના સ્થાન જુદા હોય તો તે સંયોજનોને સ્થાન સમઘટકો કહેવાય છે અને તે ઘટનાને સ્થાન સમઘટકતા કહે છે. દા.ત.,  $C_3H_8O$ ના નીચે દર્શાવ્યા મુજબ બે સ્થાન સમઘટકો મળે છે.



(iii) ક્રિયાશીલ સમૂહ સમઘટકતા : જો બે કે તેથી વધારે સંયોજનોના આણ્વીય સૂત્રો સમાન હોય પણ તેમાં રહેલા ક્રિયાશીલ સમૂહો જુદા જુદા હોય તો તેમને ક્રિયાશીલ સમૂહ સમઘટકો કહેવાય છે અને આ ઘટનાને ક્રિયાશીલ સમૂહ સમઘટકતા કહે છે. દા.ત.,  $C_3H_6O$  આણ્વીય સૂત્રવાળા સંયોજનોને નીચે મુજબ આલ્ડિહાઇડ અને કિટોન સંયોજન તરીકે દર્શાવાય છે.





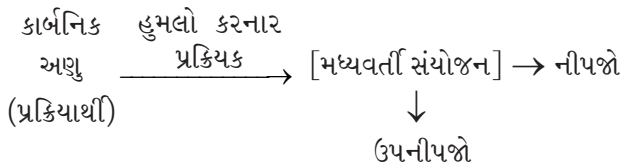
(iv) મધ્યાવયવતા : ક્રિયાશીલ સમૂહને જોડાયેલી જુદી જુદી આલ્કાઈલ શૃંખલાઓને કારણે મધ્યાવયવતા (metamerism) ઉત્પન્ન થાય છે. દા.ત., C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>O સંયોજનના બે મધ્યાવયવી (metamers) મિથોક્સિપ્રોપેન (CH<sub>3</sub>OC<sub>3</sub>H<sub>7</sub>) અને ઇથોક્સિઈથેન (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>) છે.

### 12.6.2 અવકાશીય સમઘટકતા (Stereoisomerism)

જે સંયોજનોના બંધારણ અને તેમાં રહેલા સહસંયોજકબંધના ક્રમ સમાન હોય, પરંતુ તેમના પરમાણુઓના અવકાશમાં સાપેક્ષ સ્થાન જુદા હોય તો તેઓને અવકાશીય સમઘટકો કહે છે. આ વિશિષ્ટ પ્રકારની સમઘટકતાને અવકાશીય સમઘટકતા કહે છે. આ સમઘટકતાને ભૌમિતિક સમઘટકતા અને પ્રકાશીય સમઘટકતામાં વર્ગીકૃત કરી શકાય છે.

### 12.7 કાર્બનિક પ્રક્રિયાની ક્રિયાવિધિમાં મૂળભૂત સંકલ્પનાઓ (Fundamental Concepts in Organic Reaction Mechanism)

કાર્બનિક પ્રક્રિયામાં, કાર્બનિક અણુ (જે પ્રક્રિયાર્થી તરીકે પણ ઓળખાય છે) હુમલો કરનાર યોગ્ય પ્રક્રિયક સાથે પ્રક્રિયા કરી પ્રથમ એક અથવા વધારે મધ્યવર્તી સંયોજન (intermediate) બનાવે છે અને ત્યારબાદ અંતિમ નીપજો બનાવે છે. આ સામાન્ય પ્રક્રિયાને નીચે દર્શાવ્યા પ્રમાણે રજૂ કરી શકાય છે :



નવો બંધ બનાવવામાં કાર્બનની પૂર્તિ કરનાર સ્પીસિઝને પ્રક્રિયાર્થી અને અન્ય સ્પીસિઝને પ્રક્રિયક કહે છે. જો પ્રક્રિયામાં ભાગ લેનાર બંને સ્પીસિઝ નવો બંધ બનાવવામાં કાર્બનની પૂર્તિ કરતા હોય તો, પ્રક્રિયાર્થીની પસંદગી આપણી ઈચ્છા મુજબ કરી શકીએ છીએ, આવા કિસ્સામાં મુખ્ય અણુ પ્રક્રિયાર્થી ગણાય છે.

આવી પ્રક્રિયાઓમાં બે કાર્બન પરમાણુઓ અથવા એક કાર્બન અને એક અન્ય પરમાણુ વચ્ચે રહેલો સહસંયોજક બંધ તૂટીને એક નવો બંધ બને છે. કોઈ પ્રક્રિયા દરમિયાન થતાં ઈલેક્ટ્રોન સંચલન (movement), બંધવિખંડન અને બંધસર્જન દરમિયાન થતો શક્તિમાં ફેરફાર, પ્રક્રિયામાંથી નીપજમાં થતા રૂપાંતરણના વેગની (ગતિશાસ્ત્ર) વિસ્તૃત જાણકારી અને તેઓનાં ક્રમબદ્ધ અભ્યાસને તે પ્રક્રિયાની

ક્રિયાવિધિ કહે છે. પ્રક્રિયાની ક્રિયાવિધિ કાર્બનિક સંયોજનની પ્રતિક્રિયાત્મકતાને સમજવામાં અને તેમના સંશ્લેષણ માટેની રૂપરેખા તૈયાર કરવામાં મદદરૂપ થાય છે.

નીચે જણાવેલા મુદ્દામાં આપણે કેટલાક સિદ્ધાંતોનો અભ્યાસ કરીશું કે જે રાસાયણિક પ્રક્રિયા કેવી રીતે થાય છે તે સમજાવી શકશે.

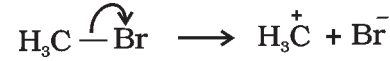
### 12.7.1 સહસંયોજક બંધનું વિખંડન (Fission of a Covalent Bond)

સહસંયોજક બંધનું વિખંડન બે પ્રકારે શક્ય છે :

(i) વિષમ વિભાજન અથવા (ii) સમવિભાજન

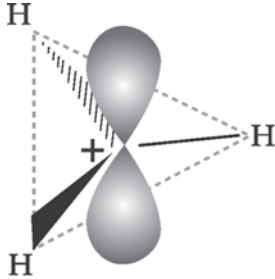
વિષમ વિભાજનમાં બંધ એ પ્રકારે તૂટે છે કે જેથી બંધ સાથે સંકળાયેલા બંને પરમાણુનું સહિયારુ ઈલેક્ટ્રોન યુગ્મ બંધ તૂટ્યા બાદ કોઈ એક પરમાણુ સાથે રહે છે.

વિષમ વિભાજન બાદ એક પરમાણુ પર ષષ્ટક ઈલેક્ટ્રોનીય રચના અને ધનવીજભાર હોય છે, જ્યારે બીજા પરમાણુનું સંયોજકતા અષ્ટક પૂર્ણ તથા તેના પર ઓછામાં ઓછું એક અબંધકારક ઈલેક્ટ્રોન યુગ્મ અને ઋણવીજભાર હોય છે. આમ, બ્રોમોમિથેનના વિષમ વિભાજનથી  $\overset{+}{\text{C}}\text{H}_3$  અને  $\text{Br}^-$  નીચે દર્શાવ્યા મુજબ પ્રાપ્ત થાય છે.



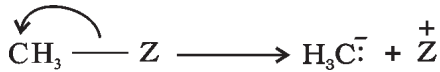
જે સ્પીસિઝમાં કાર્બન પરમાણુ ષષ્ટક ઈલેક્ટ્રોનીય રચના અને ધનવીજભાર ધરાવે છે તેને કાર્બોકેટાયન કહે છે (જેને અગાઉ કાર્બોનિયમ આયન કહેવાતું હતું).  $\overset{+}{\text{C}}\text{H}_3$  ને મિથાઈલ કેટાયન અથવા મિથાઈલ કાર્બોનિયમ આયન કહે છે. ધનભારિત કાર્બન સાથે સીધા જ જોડાયેલા કાર્બન પરમાણુની સંખ્યાના આધારે કાર્બોકેટાયનનું વર્ગીકરણ પ્રાથમિક, દ્વિતીયક અને તૃતીયક કાર્બોકેટાયન તરીકે કરી શકાય છે. કાર્બોકેટાયનના અન્ય કેટલાક ઉદાહરણો :  $\text{CH}_3\overset{+}{\text{C}}\text{H}_2$  (ઇથાઈલ કેટાયન, પ્રાથમિક કાર્બોકેટાયન);  $(\text{CH}_3)_2\overset{+}{\text{C}}\text{H}$  (આઈસોપ્રોપાઈલ કેટાયન, દ્વિતીયક કાર્બોકેટાયન) અને  $(\text{CH}_3)_3\overset{+}{\text{C}}$  (તૃતીયક બ્યુટાઈલ કેટાયન, તૃતીયક કાર્બોકેટાયન) છે. કાર્બોકેટાયન અત્યંત અસ્થાયી અને પ્રતિક્રિયાત્મક સ્પીસિઝ છે. ધનવીજભારિત કાર્બન સાથે સીધા જ જોડાયેલા આલ્કાઈલ સમૂહો પ્રેરક અસર અને અતિસંયુગ્મનના (Hyperconjugation) લીધે કાર્બોકેટાયનને સ્થાયી બનાવે છે. જેના વિષે તમે 12.7.5 અને 12.7.9માં અભ્યાસ કરશો. કાર્બોકેટાયનની સ્થાયીતાનો ક્રમ  $\overset{+}{\text{C}}\text{H}_3 < \text{CH}_3\overset{+}{\text{C}}\text{H}_2 < (\text{CH}_3)_2\overset{+}{\text{C}}\text{H} < (\text{CH}_3)_3\overset{+}{\text{C}}$  છે. આ કાર્બોકેટાયનના આકાર સમતલીય ત્રિકોણ હોય છે, જેમાં ધનવીજભારિત કાર્બન  $sp^2$  સંકરણ ધરાવે છે.  $\overset{+}{\text{C}}\text{H}_3$  નો આકાર કાર્બન પરમાણુની ત્રણ સમશક્તિવાળી સંકૃત કક્ષકો ( $sp^2$ ) સાથે

ત્રણ હાઇડ્રોજન પરમાણુઓની 1 s કક્ષકનું સંમિશ્રણ જવાબદાર છે. પ્રત્યેક બંધ C(sp<sup>2</sup>) – H(1 s) સિગ્મા બંધ છે. બાકીની કાર્બન કક્ષક અણુના સમતલને લંબ હોય છે અને તે ઇલેક્ટ્રોન ધરાવતી નથી (આકૃતિ 12.3).



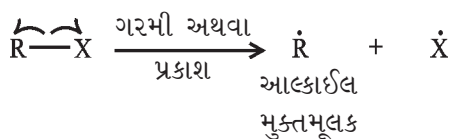
આકૃતિ 12.3 મિથાઇલ કેટાયનનો આકાર

વિષમ વિભાજનથી એવી સ્પીસિઝ ઉત્પન્ન થઈ શકે છે કે જેમાં કાર્બન પરમાણુ બંધનું સહિયારું ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ મેળવે છે. દા.ત., કાર્બન સાથે જોડાયેલો Z સમૂહ ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ મેળવ્યા સિવાય દૂર થાય છે ત્યારે મિથાઇલ એનાયન (H<sub>3</sub>C<sup>-</sup>) બને છે.

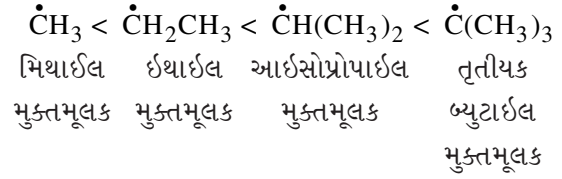


આવી કાર્બન સ્પીસિઝમાં કાર્બન પર ઋણ વીજભાર હોય છે તેથી તેને કાર્બેનાયન કહે છે. કાર્બેનાયન પણ અસ્થાયી અને પ્રતિક્રિયાત્મક સ્પીસિઝ છે. વિષમ વિભાજન દ્વારા થતી રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ આયનીય અથવા વિષમધ્રુવીય અથવા ધ્રુવીય કહેવાય છે.

સમવિભાજનમાં સહસંયોજક બંધથી જોડાયેલા બંને પરમાણુઓ તેમની વચ્ચેના સહિયારા ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ પૈકીનું એક-એક ઇલેક્ટ્રોન મેળવે છે. આમ, સમવિભાજનમાં ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મને બદલે માત્ર એક જ ઇલેક્ટ્રોનનું સંચલન થાય છે. એક ઇલેક્ટ્રોનના સંચલનને અર્ધશીર્ષવકતીર (↷) દ્વારા દર્શાવાય છે. આ વિભાજનથી તટસ્થ સ્પીસિઝ બને છે કે જે અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોન ધરાવે છે, જેને મુક્તમૂલક કહે છે. કાર્બોકેટાયન અને કાર્બેનાયનની જેમ મુક્તમૂલક પણ વધુ પ્રતિક્રિયાત્મક છે. સમવિભાજનને નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય છે.



આલ્કાઇલ મુક્તમૂલકને પ્રાથમિક, દ્વિતીયક અને તૃતીયક મુક્તમૂલકમાં વર્ગીકૃત કરવામાં આવે છે. આલ્કાઇલ મુક્તમૂલકની સ્થાયીતા પ્રાથમિકથી તૃતીયક તરફ જતાં વધે છે.



સમવિભાજન દ્વારા થનાર કાર્બનિક પ્રક્રિયાઓને મુક્તમૂલક અથવા સમધ્રુવીય અથવા અધ્રુવીય પ્રક્રિયાઓ કહે છે.

### 12.7.2 કેન્દ્રાનુરાગી પ્રક્રિયક અને ઇલેક્ટ્રોન અનુરાગી પ્રક્રિયક (Nucleophiles and Electrophiles)

જે પ્રક્રિયક ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ પ્રદાન કરે છે તેને કેન્દ્રાનુરાગી પ્રક્રિયક (Nu:) એટલે કે કેન્દ્ર પ્રત્યે આકર્ષણ ધરાવનાર કહેવાય છે અને આ પ્રક્રિયાને કેન્દ્રાનુરાગી પ્રક્રિયા કહે છે. જે પ્રક્રિયક ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ સ્વીકારે છે તેને ઇલેક્ટ્રોન અનુરાગી પ્રક્રિયક (E<sup>+</sup>) એટલે કે ઇલેક્ટ્રોન પ્રત્યે આકર્ષણ ધરાવનાર કહેવાય છે અને આ પ્રક્રિયાને ઇલેક્ટ્રોન અનુરાગી પ્રક્રિયા કહે છે.

ધ્રુવીય કાર્બનિક પ્રક્રિયા દરમિયાન કેન્દ્રાનુરાગી પ્રક્રિયક પ્રક્રિયાર્થિના ઇલેક્ટ્રોન અનુરાગી કેન્દ્ર પર હુમલો કરે છે. આ ઇલેક્ટ્રોન અનુરાગી કેન્દ્ર તરીકે પ્રક્રિયાર્થિનો કોઈ ચોક્કસ પરમાણુ કે ભાગ હોય છે કે જે ઇલેક્ટ્રોન ઊણપવાળો હોય છે. તે જ રીતે ઇલેક્ટ્રોન અનુરાગી પ્રક્રિયક પ્રક્રિયાર્થિના કેન્દ્રાનુરાગી કેન્દ્ર પર હુમલો કરે છે. આ કેન્દ્રાનુરાગી કેન્દ્ર તરીકે પ્રક્રિયાર્થિનો કોઈ ચોક્કસ પરમાણુ કે ભાગ હોય છે કે જે ઇલેક્ટ્રોન ધનિક હોય છે, જ્યારે ઇલેક્ટ્રોન અનુરાગી પ્રક્રિયક અને કેન્દ્રાનુરાગી પ્રક્રિયક વચ્ચે બંધકારક પારસ્પરિક ક્રિયા થાય છે ત્યારે ઇલેક્ટ્રોન અનુરાગી પ્રક્રિયક કેન્દ્રાનુરાગી પ્રક્રિયક પાસેથી ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ સ્વીકારે છે. કેન્દ્રાનુરાગી પ્રક્રિયકથી ઇલેક્ટ્રોન અનુરાગી પ્રક્રિયક તરફ ઇલેક્ટ્રોનના સંચલનને વકતીર વડે દર્શાવવામાં આવે છે. કેન્દ્રાનુરાગી પ્રક્રિયકો ઋણવીજભારની સાથે અબંધકારક ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ ધરાવે છે. દા.ત., હાઇડ્રોક્સાઇડ આયન (HO<sup>-</sup>), સાયનાઇડ આયન (NC<sup>-</sup>), કાર્બેનાયન (R<sub>3</sub>C<sup>-</sup>), તટસ્થ અણુઓ જેવા કે H<sub>2</sub>O:, R<sub>3</sub>N:, R<sub>2</sub>NH વગેરે. આ બધી સ્પીસિઝ તેમાં રહેલા અબંધકારક ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મને કારણે કેન્દ્રાનુરાગી પ્રક્રિયક તરીકે વર્તે છે. ઇલેક્ટ્રોન અનુરાગી પ્રક્રિયકના ઉદાહરણોમાં કાર્બોકેટાયન (CH<sub>3</sub><sup>+</sup>) અને કાર્બોનિલ સમૂહ (>C=O) અથવા આલ્કાઇલ હેલાઇડ (R<sub>3</sub>C-X, જ્યાં X એ હેલોજન પરમાણુ છે)વાળા તટસ્થ અણુઓનો સમાવેશ થાય છે. કાર્બોકેટાયનમાં કાર્બન પરમાણુ ષષ્ટક રચના ધરાવે છે, એટલે કે તે ઇલેક્ટ્રોન ઊણપ ધરાવે છે તેથી તે કેન્દ્રાનુરાગી પ્રક્રિયક પાસેથી ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ મેળવે છે. આલ્કાઇલ હેલાઇડ જેવા તટસ્થ અણુમાં C-X બંધની ધ્રુવીયતાને કારણે કાર્બન પરમાણુ પર



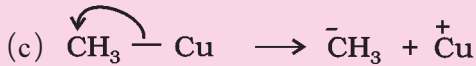
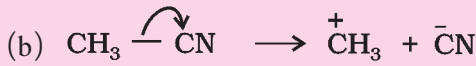
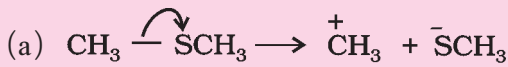
આંશિક ધનવીજભાર પેદા થાય છે. તેથી આ કાર્બન પરમાણુ ઇલેક્ટ્રોન અનુરાગી કેન્દ્ર બને છે કે જેના પર કેન્દ્રાનુરાગી પ્રક્રિયક હુમલો કરી શકે છે.

**કોયડો 12.11**

નીચે દર્શાવેલા અણુમાં સહસંયોજક બંધના વિષમ વિભાજનથી બનતા પ્રતિક્રિયાત્મક મધ્યવર્તી સંયોજનના નિર્માણને વકતીર દ્વારા દર્શાવો.

(a)  $\text{CH}_3\text{-SCH}_3$  (b)  $\text{CH}_3\text{-CN}$  (c)  $\text{CH}_3\text{-Cu}$

ઉકેલ :

**કોયડો 12.12**

નીચે દર્શાવેલા અણુઓ/આયનોને કારણસહિત કેન્દ્રાનુરાગી અથવા ઇલેક્ટ્રોન અનુરાગી પ્રક્રિયકમાં વર્ગીકૃત કરો :

$\text{HS}^-$ ,  $\text{BF}_3$ ,  $\text{C}_2\text{H}_5\text{O}^-$ ,  $(\text{CH}_3)_3\text{N:}$ ,

$\text{Cl}^+$ ,  $\text{CH}_3\overset{+}{\text{C}}=\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{N}^+$ ,  $\overset{+}{\text{N}}\text{O}_2$

ઉકેલ :

કેન્દ્રાનુરાગી પ્રક્રિયકો :  $\text{HS}^-$ ,  $\text{C}_2\text{H}_5\text{O}^-$ ,  $(\text{CH}_3)_3\text{N:}$ ,  $\text{H}_2\text{N}^-$   
આ સ્પીસિઝમાં અબંધકારક ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ છે કે જે ઇલેક્ટ્રોન અનુરાગી પ્રક્રિયકને આપી શકે છે.

ઇલેક્ટ્રોન અનુરાગી પ્રક્રિયકો :  $\text{BF}_3$ ,  $\text{Cl}^+$ ,  $\text{CH}_3\overset{+}{\text{C}}=\text{O}$ ,  $\overset{+}{\text{N}}\text{O}_2$

પ્રતિક્રિયાત્મક સ્થાનવાળા પરમાણુ માત્ર ષષ્ટક રચના ધરાવે છે કે જે કેન્દ્રાનુરાગી પ્રક્રિયક પાસેથી ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ સ્વીકારી શકે છે.

**કોયડો 12.13**

નીચે દર્શાવેલા અણુઓમાં ઇલેક્ટ્રોન અનુરાગી કેન્દ્ર ઓળખી બતાવો :

$\text{CH}_3\text{CH}=\text{O}$ ,  $\text{CH}_3\text{CN}$ ,  $\text{CH}_3\text{I}$

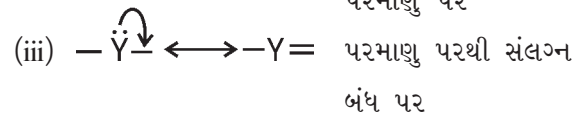
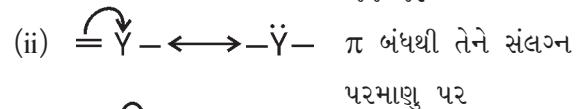
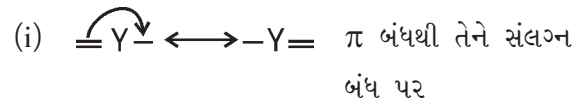
ઉકેલ :

$\text{CH}_3\overset{*}{\text{C}}=\text{O}$ ,  $\text{H}_3\overset{*}{\text{C}}\text{C}\equiv\text{N}$  અને  $\text{H}_3\overset{*}{\text{C}}-\text{I}$  અણુઓમાં ફુદડી (\*) વડે દર્શાવેલા કાર્બન પરમાણુઓ ઇલેક્ટ્રોન અનુરાગી કેન્દ્ર છે. કારણ કે બંધની ધ્રુવીયતાના કારણે તેઓના પર આંશિક ધનવીજભાર પેદા થાય છે.

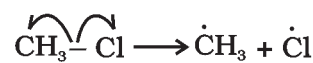
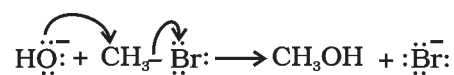
**12.7.3 કાર્બનિક પ્રક્રિયાઓમાં ઇલેક્ટ્રોન સંચલન (Electron Movement in Organic Reactions)**

કાર્બનિક પ્રક્રિયાઓમાં ઇલેક્ટ્રોન સંચલન વકતીર વડે દર્શાવવામાં આવે છે. તે પ્રક્રિયા દરમિયાન ઇલેક્ટ્રોનના પુનર્વિતરણને (redistribution) કારણે બંધમાં થતા ફેરફારને દર્શાવે છે. ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મના સ્થાનમાં ફેરફાર બતાવવા માટે વકતીરની શરૂઆત ત્યાંથી થાય છે કે જ્યાંથી ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ સ્થાનાંતર પામવાનું છે અને વકતીર ત્યાં પૂર્ણ થાય છે કે જ્યાં ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ સ્થાનાંતર પામીને આવવાનું છે.

ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મનું સ્થાનાંતર નીચે દર્શાવ્યા મુજબ થાય છે :



એક ઇલેક્ટ્રોનના સંચલનને ‘માછલી આંકડા’ (Fish hooks) (અર્ધશીર્ષવકતીર) વડે દર્શાવાય છે. દા.ત., હાઇડ્રોક્સાઇડમાંથી ઇથેનોલ પ્રાપ્ત થવામાં અને ક્લોરોમિથેનના વિઘટનની પ્રક્રિયામાં ઇલેક્ટ્રોનનું સંચલન નીચે મુજબ દર્શાવી શકાય છે :

**12.7.4 સહસંયોજકબંધમાં ઇલેક્ટ્રોન સ્થાનાંતરની અસર (Electron Displacement Effects in Covalent Bonds)**

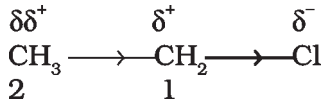
કાર્બનિક અણુમાં ઇલેક્ટ્રોનનું સ્થાનાંતર પરમાણુના પ્રભાવ હેઠળની ધરા અવસ્થા અથવા વિસ્થાપક સમૂહ અથવા હુમલો કરનાર યોગ્ય પ્રક્રિયકની હાજરીમાં થઈ શકે છે. કોઈ અણુમાં કોઈ પરમાણુ કે વિસ્થાપક સમૂહના પ્રભાવ હેઠળ ઇલેક્ટ્રોનનું સ્થાનાંતર જે-તે બંધમાં કાયમી ધ્રુવીયતા પેદા કરે છે. પ્રેરક અસર (Inductive effect) અને સસંધન (Resonance) અસર આ પ્રકારના ઇલેક્ટ્રોન સ્થાનાંતરના ઉદાહરણો છે, જ્યારે પ્રક્રિયક અણુ પર હુમલો કરે છે ત્યારે તેમાં અસ્થાયી ઇલેક્ટ્રોન સ્થાનાંતર

પેદા થાય છે, જેને ઇલેક્ટ્રોમેરિક અસર અથવા ધ્રુવણીયતા (Polarisability) અસર કહે છે. હવે આપણે આ પ્રકારના ઇલેક્ટ્રોન સ્થાનાંતરોને શીખીશું.

### 12.7.5 પ્રેરક અસર (Inductive Effect)

જ્યારે ભિન્ન વિદ્યુતઋણતાવાળા બે પરમાણુઓ વચ્ચે સહસંયોજક બંધ બને છે, ત્યારે બંધમાંની ઇલેક્ટ્રોન ઘનતા વધુ વિદ્યુતઋણમય પરમાણુ તરફ વધુ આકર્ષાયેલી રહે છે. આ રીતે ઇલેક્ટ્રોન ઘનતાના સ્થાનાંતરથી ધ્રુવીય સહસંયોજક બંધ રચાય છે. બંધ ધ્રુવીયતાના કારણે કાર્બનિક અણુમાં વિભિન્ન ઇલેક્ટ્રોનીય અસર પેદા થાય છે.

આપણે ક્લોરોઇથેનનો ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Cl}$ ) વિચાર કરીએ તો તે C-Cl ધ્રુવીય સહસંયોજક બંધ ધરાવે છે. તેની ધ્રુવીયતાના કારણે કાર્બન-1 આંશિક ધનવીજભાર ( $\delta^+$ ) અને ક્લોરિન આંશિક ઋણવીજભાર ( $\delta^-$ ) ધરાવે છે. ધ્રુવીયબંધમાં બે પરમાણુઓ પરના આંશિક વીજભારને દર્શાવવા માટે  $\delta$  (ડેલ્ટા) સંજ્ઞા વપરાય છે. ઇલેક્ટ્રોન ઘનતાના  $\delta^+$  થી  $\delta^-$  સુધીના સ્થાનાંતરને દર્શાવવા માટે તીરની નિશાની વપરાય છે.



કાર્બન 1 કે જે પોતાના પર પેદા થયેલા આંશિક ધનવીજભાર ( $\delta^+$ )ને કારણે નજીકના C-C બંધની ઇલેક્ટ્રોન ઘનતાને પોતાની તરફ આકર્ષે છે. જેના કારણે આંશિક ધનવીજભાર ( $\delta\delta^+$ ) કાર્બન 2 પર પણ પેદા થાય છે. જ્યાં સંજ્ઞા  $\delta\delta^+$  કાર્બન 1 પરના આંશિક ધનવીજભારની સાપેક્ષે ઓછો ધનવીજભાર દર્શાવે છે. બીજા શબ્દોમાં કહીએ તો ધ્રુવીય C-Cl બંધ નજીકના બંધમાં ધ્રુવીયતા પ્રેરે છે. નજીકના  $\sigma$ -બંધની ધ્રુવીયતાને કારણે પછીના  $\sigma$ -બંધમાં ધ્રુવીયતા પ્રેરિત થાય તો આ અસરને પ્રેરક અસર (Inductive effect) તરીકે ઓળખવામાં આવે છે. આ અસર પછીના બંધોમાં પણ આગળ વધે છે, પરંતુ બંધની સંખ્યા વધવાની સાથે સાથે આ અસર ઘટતી જોવા મળે છે. ત્રણ બંધ પછી આ અસર લુપ્ત થઈ જાય છે, આ પ્રેરક અસરનો સંબંધ વિસ્થાપક સમૂહોની તે જે કાર્બન સાથે જોડાયેલ છે તે કાર્બનને ઇલેક્ટ્રોન ઘનતા પ્રદાન કરવાની કે ત્યાંથી ઇલેક્ટ્રોન ઘનતા સ્વીકારવાની ક્ષમતા સાથે છે. આ ક્ષમતાના આધારે વિસ્થાપક સમૂહોને હાઈડ્રોજનની સાપેક્ષે ઇલેક્ટ્રોન આકર્ષક (Electron withdrawing) સમૂહ અથવા ઇલેક્ટ્રોનદાતા

(Electron donating) સમૂહ તરીકે વર્ગીકૃત કરવામાં આવે છે. હેલોજન અને ઘણા અન્ય સમૂહો જેવા કે નાઈટ્રો ( $-\text{NO}_2$ ), સાયનો ( $-\text{CN}$ ), કાર્બોક્સિ ( $-\text{COOH}$ ), એસ્ટર ( $-\text{COOR}$ ), એરાયલોક્સિ ( $-\text{OAr}$  દા.ત.  $-\text{OC}_6\text{H}_5$ ) વગેરે ઇલેક્ટ્રોન આકર્ષક સમૂહો છે. જ્યારે આલ્કાઈલ સમૂહો જેવા કે મિથાઈલ ( $-\text{CH}_3$ ) અને ઇથાઈલ ( $-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ ) સમૂહોને સામાન્ય રીતે ઇલેક્ટ્રોન દાતા સમૂહ તરીકે ગણવામાં આવે છે.

#### કોયડો 12.14

નીચે દર્શાવેલી અણુઓની જોડીઓમાં કયો બંધ વધુ ધ્રુવીય છે ?

- (a)  $\text{H}_3\text{C}-\text{H}$ ,  $\text{H}_3\text{C}-\text{Br}$  (b)  $\text{H}_3\text{C}-\text{NH}_2$ ,  $\text{H}_3\text{C}-\text{OH}$   
(c)  $\text{H}_3\text{C}-\text{OH}$ ,  $\text{H}_3\text{C}-\text{SH}$

ઉકેલ :

- (a) C-Br, કારણ કે H કરતા Brની વિદ્યુતઋણતા વધારે છે  
(b) C-O (c) C-O

#### કોયડો 12.15

$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Br}$ ના કયા C-C બંધની પ્રેરક અસર ન્યૂનતમ હશે ?

ઉકેલ :

જેમ જેમ દૂર જતા જઈએ તેમ તેમ બંધ પર પ્રેરક અસરની તીવ્રતા ઘટતી જાય છે. તેથી કાર્બન 3 અને હાઈડ્રોજન વચ્ચેના બંધની પ્રેરક અસર ન્યૂનતમ હોય છે.

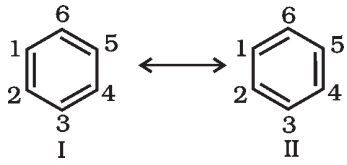
### 12.7.6 સસ્પંદન બંધારણ (Resonance Structure)

એવા અનેક કાર્બનિક સંયોજનો છે કે જેનું વર્તન માત્ર એક જ લુઈસ બંધારણથી જાણી શકાતું નથી. જેનું એક ઉદાહરણ બેન્ઝિન છે. એકાંતરે રહેલા C-C તથા C=C બંધયુક્ત બેન્ઝિનની ચક્રિય રચના તેના વિશિષ્ટ ગુણોને સમજાવવા માટે પર્યાપ્ત નથી.



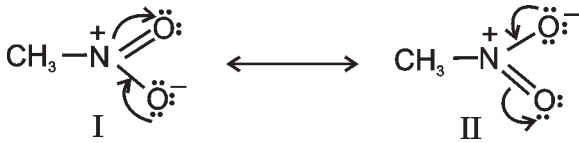
બેન્ઝિન

ઉપર દર્શાવેલા બંધારણ મુજબ બેન્ઝિનમાં C-C એકલ બંધો તથા C=C દ્વિબંધોને કારણે બે ભિન્ન બંધલંબાઈ હોવી જોઈએ, પરંતુ પ્રાયોગિક રીતે જાણવા મળ્યું કે એક જ પ્રકારના C-C બંધની લંબાઈ છે, 139 pm છે, જે એકલ બંધ C-C બંધ લંબાઈ (154 pm) અને દ્વિબંધ C=C બંધલંબાઈ (134 pm)નું મધ્યવર્તી મૂલ્ય છે. તેથી બેન્ઝિનનું બંધારણ ઉપર દર્શાવેલા બંધારણ દ્વારા યોગ્ય રીતે દર્શાવી શકાતું નથી. વધુમાં બેન્ઝિનને સમશક્તિવાળા બંધારણ I અને II દ્વારા નીચે મુજબ દર્શાવી શકાય છે.



આથી સસ્પંદન સિદ્ધાંત (એકમ 4) મુજબ બેન્ઝિનના વાસ્તવિક બંધારણને ઉપર દર્શાવેલા બેમાંથી કોઈ એક બંધારણ દ્વારા આપણે પૂર્ણ રીતે રજૂ કરી શકતા નથી. વાસ્તવમાં આ બે બંધારણો (I અને II)ના સંકર બંધારણને સસ્પંદન બંધારણ કહે છે. સસ્પંદન બંધારણો [વિહિત બંધારણો (Canonical structures) અથવા યોગદાન આપવાવાળા બંધારણો (Contributing structures)] કાલ્પનિક છે. તે એકલા વાસ્તવિક અણુનું પ્રતિનિધિત્વ કરી શકતા નથી. તેઓ પોતાની સ્થાયીતાના આધારે વાસ્તવિક બંધારણમાં યોગદાન આપે છે.

નાઈટ્રોમિથેન સસ્પંદનનું અન્ય એક ઉદાહરણ પૂરું પાડે છે. નાઈટ્રોમિથેનને બે લુઈસ બંધારણો (I અને II) દ્વારા દર્શાવી શકાય છે. આ બંધારણોમાં બે પ્રકારના N-O બંધ હોય છે.



પરંતુ તે જાણીતું છે કે નાઈટ્રોમિથેનના બે N-O બંધની લંબાઈ (જે એકલબંધ N-O અને દ્વિબંધ N=Oના મધ્યવર્તી છે) સમાન છે. આમ નાઈટ્રોમિથેનનું વાસ્તવિક બંધારણ બે પ્રમાણિત બંધારણો I અને IIનું સસ્પંદન સંકૃત બંધારણ છે.

અણુના વાસ્તવિક બંધારણની (સસ્પંદન સંકૃત બંધારણ) ઊર્જા કોઈ પણ વિહિત બંધારણથી ઓછી હોય છે. વાસ્તવિક બંધારણ અને ન્યૂનતમ ઊર્જાવાળા સસ્પંદન બંધારણ વચ્ચેની ઊર્જાના તફાવતને સસ્પંદન સ્થાયીકરણ ઊર્જા અથવા સસ્પંદન ઊર્જા કહે છે. જેમ સસ્પંદન સૂત્રોની સંખ્યા વધુ તેમ સસ્પંદન ઊર્જાનું મૂલ્ય વધુ હોય છે. સમતુલ્ય ઊર્જાવાળા બંધારણો માટે સસ્પંદન વિશેષ રીતે અગત્યનું છે.

સસ્પંદન બંધારણો લખવા માટે નીચે દર્શાવ્યા મુજબના નિયમોનું પાલન કરવામાં આવે છે :

- સસ્પંદન બંધારણોમાં કેન્દ્રનું સ્થાન સમાન રહે છે.
- સસ્પંદન બંધારણોમાં અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા સમાન રહે છે.

સસ્પંદન બંધારણોમાં તે બંધારણ વધુ સ્થાયી હોય છે કે જેમાં વધુ સહસંયોજક બંધ હોય છે, જેમાં દરેક પરમાણુ

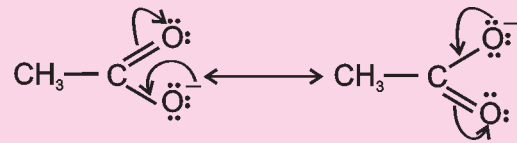
ઇલેક્ટ્રોનની અષ્ટક રચના ધરાવે છે (સિવાય કે હાઈડ્રોજન જે દ્વિક રચના ધરાવે છે), વિરુદ્ધ વીજભારનું ઓછું અલગીકરણ (જો ઋણ વીજભાર હોય તો તે વધુ વિદ્યુતઋણમય તત્વ પર હોય છે, જો ધનવીજભાર હોય તો તે વધુ વિદ્યુતધનમય તત્વ પર હોય છે) થાય છે અને વીજભારનો વધુ પ્રસાર થાય છે તેવું બંધારણ અન્ય બંધારણો કરતાં વધુ સ્થાયી હોય છે.

#### કોયડો 12.16

$\text{CH}_3\text{COO}^-$  ના સસ્પંદન બંધારણો લખો અને તેમાં વકતીર વડે ઇલેક્ટ્રોનનું સંચલન દર્શાવો.

ઉકેલ :

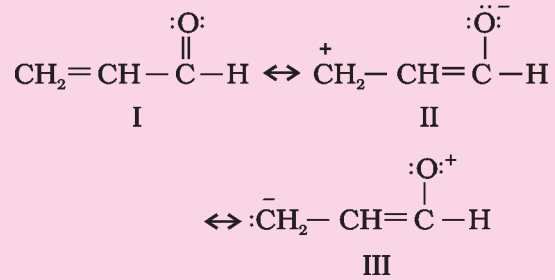
સૌપ્રથમ બંધારણ દોરો અને તેમાં યોગ્ય પરમાણુઓ પર અબંધકારક ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ દર્શાવો. ત્યારબાદ વકતીર વડે ઇલેક્ટ્રોનનું સ્થાનાંતર દર્શાવી મળતું અન્ય બંધારણ દોરો.



#### કોયડો 12.17

$\text{CH}_2 = \text{CH}-\text{CHO}$  ના સસ્પંદન બંધારણો દોરો. જુદા જુદા સસ્પંદન બંધારણોની સાપેક્ષ સ્થાયીતા દર્શાવો.

ઉકેલ :

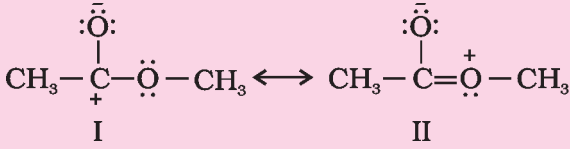


સ્થાયીતા : I > II > III

- [I : વધુ સ્થાયી, કારણ કે વધુ સહસંયોજકબંધો, પ્રત્યેક કાર્બન અને ઓક્સિજન પરમાણુ અષ્ટક રચના ધરાવે છે અને વિરુદ્ધ વીજભારનું અલગીકરણ થતું નથી.  
 II : વધુ વિદ્યુતઋણમય પરમાણુ પર ઋણવીજભાર અને વધુ વિદ્યુતધનમય પરમાણુ પર ધનવીજભાર  
 III : ન્યૂનતમ સ્થાયી; કારણ કે ઓક્સિજન પરમાણુ ધનવીજભાર અને કાર્બન પરમાણુ ઋણવીજભાર ધરાવે છે.]

**કોયડો 12.18**

નીચે દર્શાવેલા બે બંધારણો I અને II શા માટે  $\text{CH}_3\text{COOCH}_3$ ના વાસ્તવિક બંધારણમાં વિશેષ ફાળો આપી શકતા નથી?



ઉકેલ :

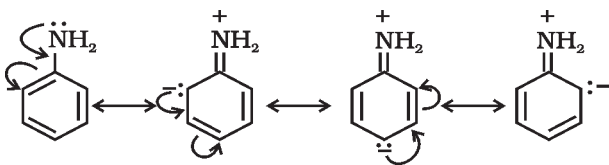
બંને બંધારણો વિરુદ્ધ વીજભારના અલગીકરણ સાથે સંકળાયેલા છે તેથી તેઓનો ફાળો વિશેષ નથી. વધુમાં બંધારણ I માં કાર્બન પરમાણુનું અષ્ટક પૂર્ણ નથી.

**12.7.7 સસ્પંદન અસર (Resonance Effect)**

બે  $\pi$ -બંધોની પારસ્પરિક ક્રિયા અથવા  $\pi$ -બંધ અને અબંધકારક ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મો વચ્ચેની પારસ્પરિક ક્રિયાના કારણે અણુમાં ધ્રુવીયતા ઉત્પન્ન થાય છે તેને સસ્પંદન અસર કહે છે. આ અસર શૂંબલામાં સંચારિત થાય છે. બે પ્રકારની સસ્પંદન અસર અથવા મધ્યાવયવતા અસર (mesomeric effect) જોવા મળે છે જેને R અસર અથવા M અસર કહેવાય છે.

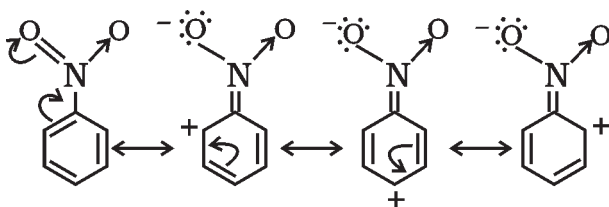
**(i) ધન સસ્પંદન અસર (+R અસર) :**

આ અસરમાં ઇલેક્ટ્રોન સંયુગ્મિત પ્રણાલીમાં જોડાયેલા પરમાણુ કે વિસ્થાપક સમૂહથી દૂર સ્થાનાંતર પામે છે. ઇલેક્ટ્રોનના આ વિસ્થાપનના કારણે અણુમાં કેટલાક સ્થાને વધુ ઇલેક્ટ્રોન ઘનતા પેદા થાય છે. સસ્પંદનની આ અસરને એનિલીનમાં નીચે મુજબ દર્શાવી શકાય છે :



**(ii) ઋણ સસ્પંદન અસર (-R અસર) :**

આ અસરમાં ઇલેક્ટ્રોન સંયુગ્મિત પ્રણાલીમાં (conjugated system) જોડાયેલા પરમાણુ કે વિસ્થાપક સમૂહ તરફ સ્થાનાંતર પામે છે. દા.ત., નાઇટ્રોબેન્ઝિનમાં ઇલેક્ટ્રોનનું આ વિસ્થાપન નીચે મુજબ દર્શાવી શકાય છે :



ઇલેક્ટ્રોન વિસ્થાપન અસર દર્શાવવાવાળા પરમાણુઓ અથવા વિસ્થાપક સમૂહો કે જેને +R અથવા -R વડે દર્શાવાય છે તે નીચે મુજબ છે :

**+R અસર :** -X, -OH, -OR, -OCOR, -NH<sub>2</sub>, -NHR, -NR<sub>2</sub>, -NHCOR

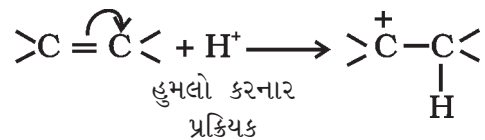
**-R અસર :** -COOH, -CHO, >C=O, -CN, -NO<sub>2</sub>

કોઈ સરળ શૂંબલા અથવા ચક્રિય પ્રણાલીમાં એકાંતરે રહેલા એકલ બંધ અને દ્વિબંધને સંયુગ્મિત પ્રણાલી કહે છે. આ પ્રણાલીઓ હંમેશાં અસામાન્ય વર્તન દર્શાવે છે. દા.ત., 1, 3-બ્યુટાડાઇન અને નાઇટ્રોબેન્ઝિન વગેરે. આવી પ્રણાલીઓમાં  $\pi$  ઇલેક્ટ્રોન વિસ્થાપન (delocalised) થાય છે અને ધ્રુવીયતા પેદા થાય છે.

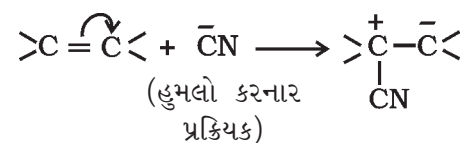
**12.7.8 ઇલેક્ટ્રોમેરિક અસર (E-અસર) (Electromeric Effect - E-effect)**

આ એક અસ્થાયી અસર છે. બહુબંધ (દ્વિબંધ કે ત્રિબંધ) ધરાવનાર કાર્બનિક પદાર્થોમાં આ અસર માત્ર હુમલો કરનાર પ્રક્રિયકોની હાજરીમાં જોવા મળે છે. આ અસરમાં હુમલો કરનાર પ્રક્રિયકની જરૂરિયાતના કારણે બહુબંધ સાથે જોડાયેલા બે પરમાણુઓ પૈકી એક પરમાણુ તરફ સહિયારુ  $\pi$  ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ પૂર્ણ રીતે સ્થાનાંતર પામેલું હોય છે. પ્રક્રિયાના પ્રભાવ ક્ષેત્રમાંથી હુમલો કરનાર પ્રક્રિયકને દૂર કરવાની સાથે જ આ અસર શૂન્ય થઈ જાય છે. આ અસરને E વડે દર્શાવાય છે. જ્યારે ઇલેક્ટ્રોન સ્થાનાંતરને વકતીર (↷) વડે દર્શાવાય છે. અહીં મુખ્યત્વે બે પ્રકારની ઇલેક્ટ્રોમેરિક અસર જોવા મળે છે.

**(i) ધન ઇલેક્ટ્રોમેરિક અસર (+E અસર) :** આ અસરમાં બહુબંધના  $\pi$  ઇલેક્ટ્રોનનું સ્થાનાંતર તે પરમાણુ પર થાય છે કે જેની સાથે હુમલો કરનાર પ્રક્રિયક જોડાયેલો હોય છે. દા.ત.,



**(ii) ઋણ ઇલેક્ટ્રોમેરિક અસર (-E અસર) :** આ અસરમાં બહુબંધના  $\pi$  ઇલેક્ટ્રોનનું સ્થાનાંતર તે પરમાણુ પર થાય છે કે જેની સાથે હુમલો કરનાર પ્રક્રિયક જોડાયેલો ન હોય. દા.ત.,

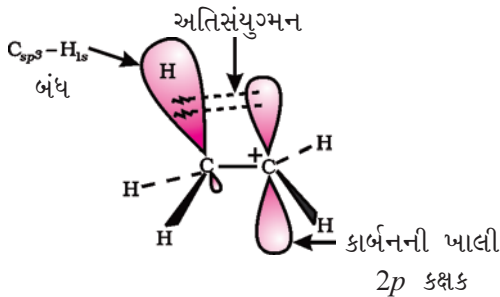


જ્યારે પ્રેરક અસર અને ઈલેક્ટ્રોમેરિક અસર એકબીજાની વિરુદ્ધ દિશામાં કાર્યરત હોય છે ત્યારે ઈલેક્ટ્રોમેરિક અસર પ્રબળ હોય છે.

### 12.7.9 અતિસંયુગ્મન (Hyperconjugation)

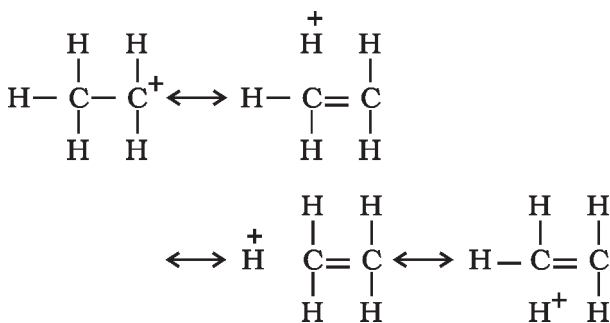
અતિસંયુગ્મન એક સામાન્ય સ્થાયીકરણ આકર્ષણ છે. આ આકર્ષણમાં અસંતૃપ્ત પ્રણાલીના પરમાણુ સાથે સીધા જોડાયેલા આલ્કાઈલ સમૂહના C-H બંધના અથવા અસહભાગીત p-કક્ષકવાળા પરમાણુના σ ઈલેક્ટ્રોન વિસ્થાનીકૃત થાય છે. આલ્કાઈલ સમૂહના C-H બંધના σ ઈલેક્ટ્રોન નજીકની અસંતૃપ્ત પ્રણાલી અથવા અસહભાગીત p-કક્ષકની સાથે આંશિક સંયુગ્મન દર્શાવે છે. અતિસંયુગ્મન એક સ્થાયી અસર છે.

અતિસંયુગ્મનને સમજવા માટે આપણે CH<sub>3</sub><sup>+</sup>CH<sub>2</sub> (ઈથાઈલ કેટાયન)નું ઉદાહરણ લઈશું કે જેમાં ધનવીજભારિત કાર્બન એક ખાલી p-કક્ષક ધરાવે છે. મિથાઈલ સમૂહમાંનો એક C-H બંધ જ્યારે આ ખાલી p-કક્ષકની સાથે એક સીધી લાઈનમાં ગોઠવાય છે ત્યારે C-H બંધના ઈલેક્ટ્રોન ખાલી p-કક્ષકમાં વિસ્થાનીકૃત થાય છે, જે આકૃતિ 12.4(a)માં દર્શાવ્યું છે.

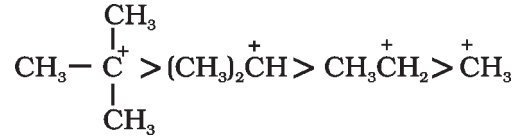


આકૃતિ 12.4(a) ઈથાઈલ કેટાયનમાં અતિસંયુગ્મન દર્શાવતી ક્ષકીય રેખાકૃતિ

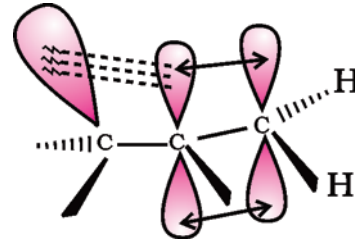
આ પ્રકારનું સંમિશ્રણ કાર્બોકેટાયનની સ્થાયીતા વધારે છે કારણ કે સંલગ્ન σ બંધની ઈલેક્ટ્રોન ધનતા ધનવીજભારને વિસ્થાનીકૃત થવામાં મદદરૂપ થાય છે.



સામાન્ય રીતે ધનવીજભારિત કાર્બન સાથે જોડાનાર આલ્કાઈલ સમૂહોની સંખ્યામાં વધારો થાય તો અતિસંયુગ્મન પારસ્પરિક ક્રિયા વધે છે તેથી ધનઆયનની સ્થાયીતા વધે છે. આમ, વિભિન્ન કાર્બોકેટાયનની સાપેક્ષ સ્થાયીતા નીચે દર્શાવ્યા મુજબ છે :

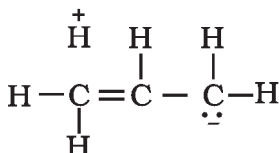
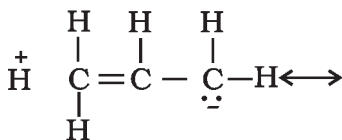
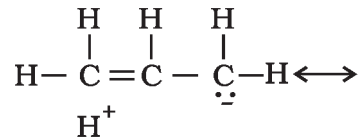
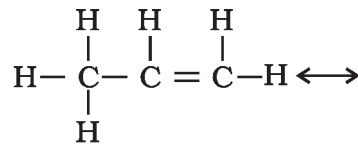


આલ્કીન અને આલ્કાઈલ એરીન સંયોજનોમાં અતિસંયુગ્મન શક્ય છે. આલ્કીન સંયોજનોમાં અતિસંયુગ્મન દ્વારા ઈલેક્ટ્રોનનું વિસ્થાનીકરણ આકૃતિ 12.4(b)માં દર્શાવેલ છે.



આકૃતિ 12.4(b) પ્રોપીનમાં અતિસંયુગ્મનની ક્ષકીય રેખાકૃતિ

અતિસંયુગ્મનની અસરને સમજવાની ઘણી રીતો છે. તેમાંની એક રીતમાં સસંબંધના કારણે C-H બંધમાં આંશિક આયનીકરણ થયેલું માનવામાં આવે છે.



અતિસંયુગ્મન બંધરહિત સસંબંધન પણ કહેવાય છે.

**કોયડો 12.19**

$\text{CH}_3\overset{+}{\text{C}}\text{H}_2$  કરતાં  $(\text{CH}_3)_3\overset{+}{\text{C}}$  વધુ સ્થાયી અને  $\overset{+}{\text{C}}\text{H}_3$  ઓછું સ્થાયી શા માટે છે ? સમજાવો.

ઉકેલ :

$(\text{CH}_3)_3\overset{+}{\text{C}}$  માં નવ C-H બંધ હોવાના કારણે તેમાં અતિસંયુગ્મન પારસ્પરિક્રિયાની માત્રા  $\text{CH}_3\overset{+}{\text{C}}\text{H}_2$  ની સરખામણીમાં ઘણી વધારે જોવા મળે છે.  $\overset{+}{\text{C}}\text{H}_3$  માં ખાલી *p*-કક્ષક C-H ને લંબ હોવાથી તેની સાથે પારસ્પરિક્રિયા કરી શકતી નથી. તેથી  $\overset{+}{\text{C}}\text{H}_3$  માં અતિસંયુગ્મન ન થવાના કારણે તેની સ્થાયીતા ઓછી છે.

### 12.7.10 કાર્બનિક પ્રક્રિયાઓના પ્રકારો અને ક્રિયાવિધિઓ (Types of Organic Reactions and Mechanisms)

કાર્બનિક પ્રક્રિયાઓને નીચે દર્શાવેલા વર્ગોમાં વર્ગીકૃત કરી શકાય છે.

- વિસ્થાપન પ્રક્રિયાઓ
- યોગશીલ પ્રક્રિયાઓ
- વિલોપન પ્રક્રિયાઓ
- પુનર્વિન્યાસ પ્રક્રિયાઓ

આ પ્રક્રિયાઓ વિષે તમે આ પુસ્તકના એકમ-13માં અને ધોરણ-12માં અભ્યાસ કરશો.

### 12.8 કાર્બનિક સંયોજનોના શુદ્ધીકરણની પદ્ધતિઓ (Methods of Purification of Organic Compounds)

કોઈ પ્રાકૃતિક સ્રોતમાંથી નિષ્કર્ષિત કરેલા અથવા પ્રયોગશાળામાં સંશ્લેષિત કરેલા કાર્બનિક સંયોજનને શુદ્ધ સ્વરૂપમાં લાવવો આવશ્યક છે. કાર્બનિક સંયોજનોના શુદ્ધીકરણની જુદી જુદી પદ્ધતિઓ કાર્બનિક સંયોજનોની પ્રકૃતિ અને તેમાં હાજર રહેલી અશુદ્ધિઓના આધારે ઉપયોગમાં લેવાય છે.

શુદ્ધીકરણ માટે વપરાતી સામાન્ય પદ્ધતિઓ (અથવા પ્રવિધિઓ) નીચે દર્શાવ્યા મુજબ છે :

- ઉર્ધ્વપાતન
- સ્ફટિકિકરણ
- નિસ્યંદન
- વિભેદી નિષ્કર્ષણ
- કોમેટોગ્રાફી

અંતે, સંયોજનની શુદ્ધતા તેના ગલનબિંદુ અને ઉત્કલનબિંદુના માપનના આધારે નક્કી થાય છે. મોટાભાગના શુદ્ધ સંયોજનો અતિચોક્કસ ગલનબિંદુ અને ઉત્કલનબિંદુ ધરાવે છે. કાર્બનિક પદાર્થની શુદ્ધતા તપાસવાની નવી પદ્ધતિઓ

વિવિધ પ્રકારની કોમેટોગ્રાફી પદ્ધતિઓ અને વર્ણપટદર્શકી (spectroscopic) પદ્ધતિ પર આધારિત હોય છે.

#### 12.8.1 ઉર્ધ્વપાતન (Sublimation)

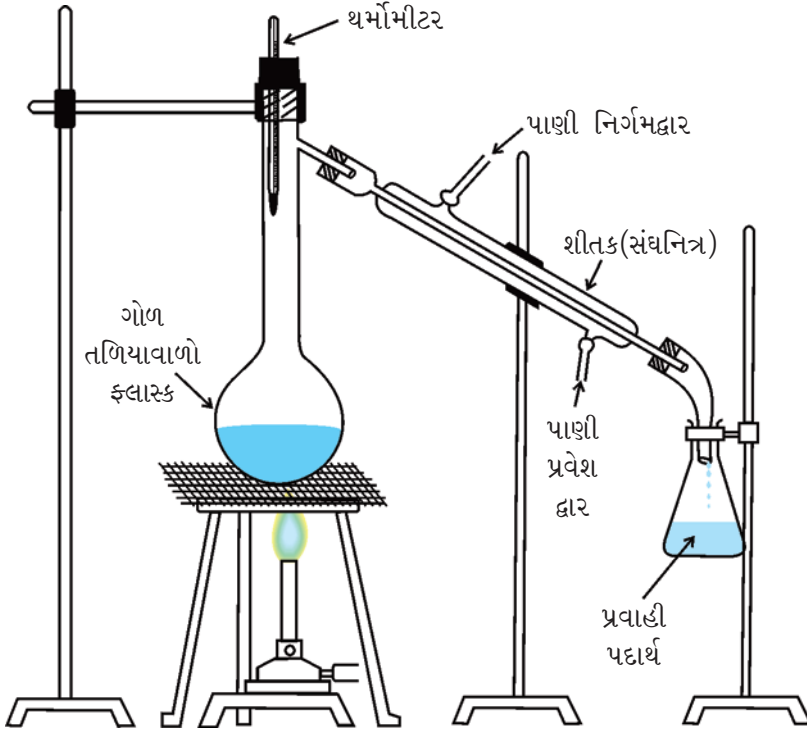
તમે અગાઉ શીખ્યા છે કે કોઈ ઘન પદાર્થને ગરમ કરવાથી તે પ્રવાહી સ્વરૂપમાં રૂપાંતરણ પામ્યા વિના વાયુ સ્વરૂપમાં રૂપાંતરણ પામે છે. ઉપરોક્ત સિદ્ધાંત આધારિત શુદ્ધીકરણની પદ્ધતિને ઉર્ધ્વપાતન કહે છે. તેનો ઉપયોગ ઉર્ધ્વપાતિત થઈ શકે તેવા સંયોજનને ઉર્ધ્વપાતિત ન થઈ શકે તેવી અશુદ્ધિઓથી અલગ કરવા થાય છે.

#### 12.8.2 સ્ફટિકિકરણ (Crystallisation)

આ ઘનપદાર્થના શુદ્ધીકરણ માટેની અતિ સામાન્ય પદ્ધતિ છે. આ પદ્ધતિ સંયોજન અને અશુદ્ધિઓની યોગ્ય દ્રાવકમાં દ્રાવ્યતાના તફાવત પર આધારિત છે. કોઈ અશુદ્ધ સંયોજનને યોગ્ય દ્રાવકમાં દ્રાવ્ય કરવામાં આવે તો તે ઓરડાના તાપમાને અલ્પ પ્રમાણમાં દ્રાવ્ય થાય છે, પરંતુ ઊંચા તાપમાને તે વધુ પ્રમાણમાં દ્રાવ્ય થાય છે. બાદમાં દ્રાવણ એટલું સાંદ્ર બનાવવામાં આવે છે કે જે લગભગ સંતૃપ્ત બની જાય છે. આ દ્રાવણને ઠંડું પાડતા શુદ્ધ સંયોજનના સ્ફટિક બને છે કે જેને ગાળણથી અલગ કરી મેળવી શકાય છે. આ ગાળણમાં (માતૃપ્રવાહી) અશુદ્ધિઓ અને થોડા પ્રમાણમાં સંયોજન હોય છે. જો સંયોજન એક દ્રાવકમાં વધુ દ્રાવ્ય અને બીજા દ્રાવકમાં ઓછું દ્રાવ્ય હોય તો તેનું સંતોષકારક સ્ફટિકીકરણ બંને દ્રાવકોના મિશ્રણથી કરી શકાય છે. અશુદ્ધિઓને કારણે દ્રાવણને આવેલા રંગને સક્રિયકૃત કોલસા (activated charcoal) પર શોષી લઈને દૂર કરી શકાય છે. સંયોજન અને અશુદ્ધિઓની દ્રાવ્યતામાં ઓછા તફાવતવાળી સ્થિતિમાં વારંવાર સ્ફટિકીકરણ દ્વારા શુદ્ધ સંયોજન મેળવી શકાય છે.

#### 12.8.3 નિસ્યંદન (Distillation)

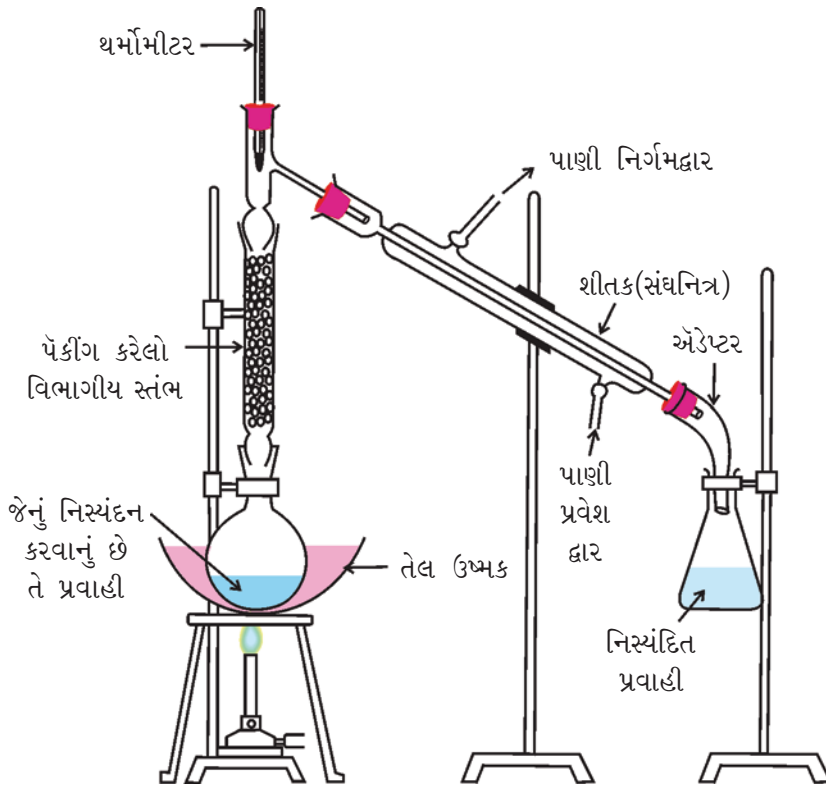
આ અગત્યની પદ્ધતિની મદદથી (i) બાષ્પશીલ પ્રવાહીને અબાષ્પશીલ અશુદ્ધિઓમાંથી અલગ કરી શકાય છે. (ii) એવા પ્રવાહીઓ કે જેમના ઉત્કલનબિંદુઓ વચ્ચે પૂરતો તફાવત હોય તેમને અલગ કરી શકાય છે. ભિન્ન ઉત્કલનબિંદુઓવાળા પ્રવાહીઓ ભિન્ન તાપમાને બાષ્પમાં ફેરવાય છે. આ ભિન્ન બાષ્પને ઠંડી કરવાથી મળતા પ્રવાહીને અલગ-અલગ એકત્ર કરવામાં આવે છે. ક્લોરોફોર્મ (ઉ.બિં. 334 K) અને એનિલીન (ઉ.બિં. 457 K)ને નિસ્યંદન દ્વારા સરળતાથી અલગ કરી શકાય છે (આકૃતિ 12.5). પ્રવાહી મિશ્રણને ગોળ તળિયાવાળા ફ્લાસ્કમાં લઈને કાળજીપૂર્વક ગરમ કરવામાં આવે છે. મિશ્રણ ઉકળવાથી નીચા ઉત્કલનબિંદુવાળા પ્રવાહીની બાષ્પ પહેલા બને છે. આ બાષ્પને શીતક (સંઘનિત્ર) દ્વારા ઠંડી પાડી મળતા



આકૃતિ 12.5 સામાન્ય નિસ્સંદન. પદાર્થની બનેલી બાષ્પને ઠંડી પાડવામાં આવે છે અને મળતા પ્રવાહીને કોનિકલ ફલાસ્કમાં એકત્ર કરવામાં આવે છે.

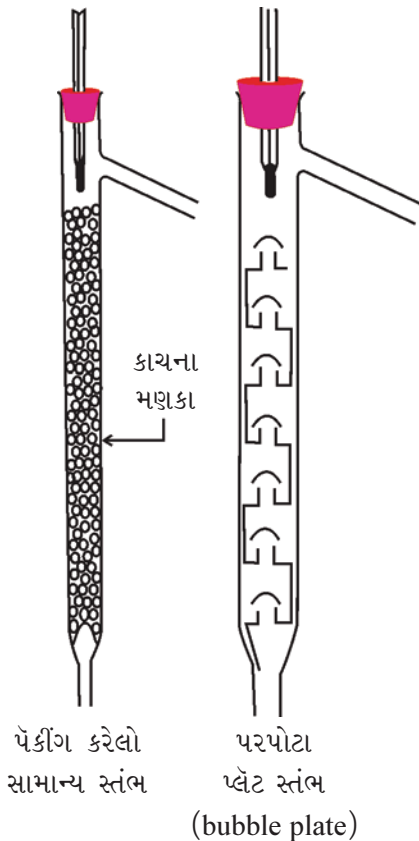
પ્રવાહીને એકત્ર કરવામાં આવે છે. ઊંચા ઉત્કલનબિંદુવાળા ઘટકની બાષ્પ પછીથી બને છે અને તેમાંથી બનતા પ્રવાહીને અલગથી એકત્ર કરવામાં આવે છે.

**વિભાગીય નિસ્સંદન :** જો બે પ્રવાહીના ઉત્કલનબિંદુઓ વચ્ચે મોટો તફાવત ન હોય તો આ મિશ્રણનું અલગીકરણ સામાન્ય નિસ્સંદન પદ્ધતિથી થઈ શકતું નથી. આવા પ્રવાહીઓની બાષ્પ સમાન તાપમાન વિસ્તારમાં જ બને છે અને સાથે સાથે તે પ્રવાહીમાં ફેરવાય છે. તેથી આવી સ્થિતિમાં વિભાગીય નિસ્સંદન પદ્ધતિનો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે. આ પદ્ધતિમાં પ્રવાહી મિશ્રણની બાષ્પનું ઠારીકરણ થાય તે પહેલા તેને વિભાગીય સ્તંભમાંથી પસાર કરવામાં આવે છે. આ વિભાગીય સ્તંભને ગોળ તળિયાવાળા ફલાસ્કના મોઢા પર ચુસ્ત રીતે ગોઠવવામાં આવે છે (આકૃતિ 12.6).



આકૃતિ 12.6 વિભાગીય નિસ્સંદન. નીચા ઉત્કલનબિંદુવાળા પ્રવાહીની બાષ્પ સ્તંભના મથાળે સૌપ્રથમ પહોંચે છે અને ત્યારબાદ ઊંચા ઉત્કલનબિંદુવાળા પ્રવાહીની બાષ્પ ત્યાં પહોંચે છે.

ઊંચા ઉત્કલનબિંદુવાળા પ્રવાહીની બાષ્પનું ઠારીકરણ (ઠારણ) નીચા ઉત્કલનબિંદુવાળા પ્રવાહીની બાષ્પના ઠારીકરણ કરતાં પહેલાં થાય છે. વિભાગીય સ્તંભમાં ઉપર પહોંચવાવાળી બાષ્પમાં વધુ બાષ્પશીલ પદાર્થની માત્રા વધુ હોય છે. વિભાગીય સ્તંભના મથાળે પહોંચતા-પહોંચતા બાષ્પમાં મુખ્યત્વે વધુ બાષ્પશીલ ઘટકો જ બાકી રહે છે. આકૃતિ 12.7માં દર્શાવ્યા મુજબ જુદા જુદા આકાર અને રચનાવાળા વિભાગીય સ્તંભો ઉપલબ્ધ હોય છે. વિભાગીય સ્તંભ ઊંચે જતી બાષ્પ અને નીચે તરફ જતા પ્રવાહીની વચ્ચે થતાં ઉષ્માના વિનિમય માટે ઘણા પૃષ્ઠ (surfaces) પૂરા પાડે છે. વિભાગીય સ્તંભમાં કેટલુંક ઠારણ પામેલું પ્રવાહી ઉપર તરફ જતી બાષ્પ તરફથી ગરમી મેળવી પુનઃબાષ્પમાં રૂપાંતરણ પામે છે. આમ, બાષ્પમાં નીચા ઉત્કલનબિંદુવાળા ઘટકનું પ્રમાણ વધતું જાય છે. આમ, નીચા ઉત્કલનબિંદુવાળા ઘટકની બાષ્પ સ્તંભના મથાળે પહોંચે છે, ત્યારબાદ આ બાષ્પ શીતકમાંથી પસાર થઈને શુદ્ધ પ્રવાહીમાં ફેરવાય છે, જેને એકત્ર કરવામાં આવે છે. ક્રમિક રીતે થતાં નિસ્સંદન બાદ ગોળતળિયાવાળા ફ્લાસ્કમાં રહેલા પ્રવાહીમાં ઊંચા ઉત્કલનબિંદુવાળા ઘટકના પ્રમાણની માત્રા વધતી જાય છે. વિભાગીય સ્તંભમાં રહેલા પ્રત્યેક ક્રમિક ઠારીકરણ અને



આકૃતિ 12.7 ભિન્ન પ્રકારના વિભાગીય સ્તંભો

બાષ્પન એકમોને સૈદ્ધાંતિક પ્લેટ કહે છે. વ્યાપારિક સ્તરે સો કરતા વધુ પ્લેટોવાળો સ્તંભ ઉપલબ્ધ હોય છે.

વિભાગીય સ્તંભનો એક તક્નિકી ઉપયોગ એ છે કે તે પેટ્રોલિયમ ઉદ્યોગમાં કાચા તેલને (crude oil) તેના ભિન્ન ઘટકોમાં અલગ કરવા માટે થાય છે.

**નીચા દબાણે નિસ્સંદન :** આ પદ્ધતિ ઊંચા ઉત્કલનબિંદુ ધરાવતા પ્રવાહીને શુદ્ધ કરવા અથવા જે તેમના ઉત્કલનબિંદુએ કે તેનાથી નીચા તાપમાને વિઘટન પામે છે, તેના માટે ઉપયોગી છે. આવા પ્રવાહીઓનાં પૃષ્ઠ પર દબાણ ઘટાડીને તેમના ઉત્કલનબિંદુથી નીચા તાપમાને તેમને ઉકાળી શકાય છે. કોઈ પણ પ્રવાહી તે તાપમાન પર ઉકળે છે કે જે તાપમાને બાષ્પદબાણ અને બાહ્ય દબાણ સમાન થાય. દબાણને ઘટાડવા માટે જળપંપ (water pump) અથવા શૂન્યાવકાશ પંપનો (vacuum pump) ઉપયોગ થાય છે (આકૃતિ 12.8). સાબુ ઉદ્યોગમાં વધેલી લાઈ (spent-lye)માંથી ગ્લિસરોલને અલગ કરવા આ પદ્ધતિનો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે.

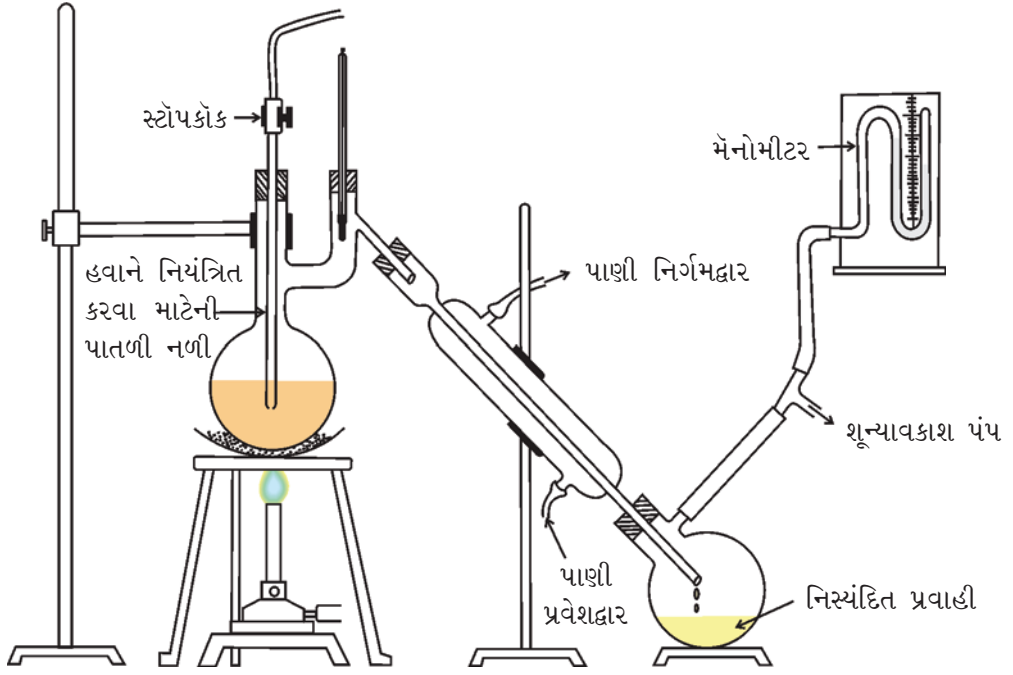
**વરાળ નિસ્સંદન :** આ પદ્ધતિ વરાળ બાષ્પશીલ અને પાણીમાં અમિશ્રિત હોય તેવા પદાર્થના અલગીકરણ માટે વપરાય છે. વરાળ નિસ્સંદનમાં જેનું શુદ્ધીકરણ કરવાનું છે તે પદાર્થવાળા ફ્લાસ્કમાં, વરાળ ઉત્પન્ન કરનાર સાધન દ્વારા વરાળ પસાર કરવામાં આવે છે. વરાળ અને બાષ્પશીલ કાર્બનિક સંયોજનના મિશ્રણને ઠારીકરણ દ્વારા એકત્ર કરવામાં આવે છે, ત્યારબાદ ભિન્નકારી ગળણી (separating funnel) દ્વારા કાર્બનિક સંયોજનને પાણીથી અલગ કરવામાં આવે છે. વરાળ નિસ્સંદનમાં કાર્બનિક પ્રવાહીનું બાષ્પદબાણ ( $p_1$ ) અને પાણીનું બાષ્પદબાણ ( $p_2$ )નો સરવાળો વાતાવરણના દબાણ ( $p$ ) જેટલો થાય છે, એટલે કે  $p = p_1 + p_2$ . જોકે  $p_1$  નું મૂલ્ય  $p$  કરતાં ઓછું છે. આમ, કાર્બનિક પ્રવાહી તેના ઉત્કલનબિંદુ કરતાં નીચા તાપમાને બાષ્પમાં રૂપાંતર પામે છે.

આમ, પાણી અને પાણીમાં અદ્રાવ્ય હોય તેવા પદાર્થનું મિશ્રણ 373Kની નજીક તેનાથી નીચા તાપમાને ઉકળે છે. પ્રાપ્ત થનાર પદાર્થ અને પાણીના મિશ્રણને ભિન્નકારી (અલગીકરણ) ગળણીથી અલગ કરી શકાય છે. આ પદ્ધતિથી એનિલીનને એનિલીન-પાણીના મિશ્રણમાંથી છૂટું પાડી શકાય છે (આકૃતિ 12.9).

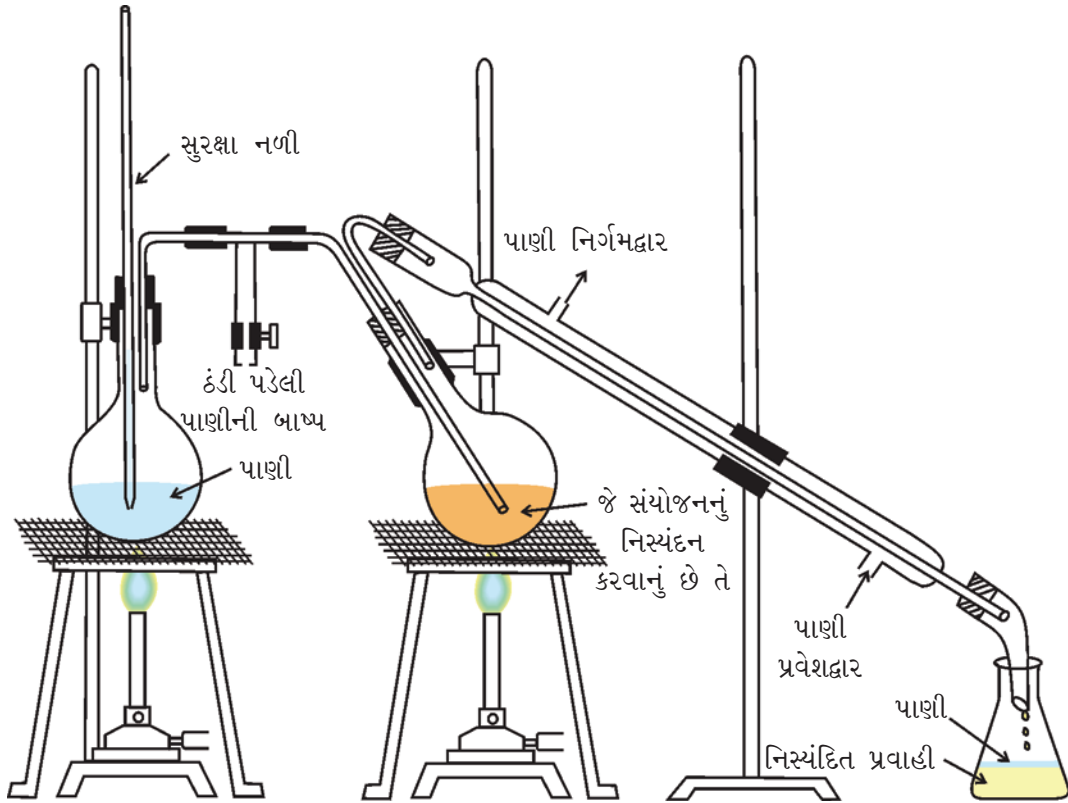
#### 12.8.4 વિભેદી નિષ્કર્ષણ (Differential Extraction)

આ પદ્ધતિ દ્વારા કાર્બનિક સંયોજન કે જેને જલીય માધ્યમમાંથી એવા કાર્બનિક દ્રાવક વડે નિષ્કર્ષિત કરવામાં આવે



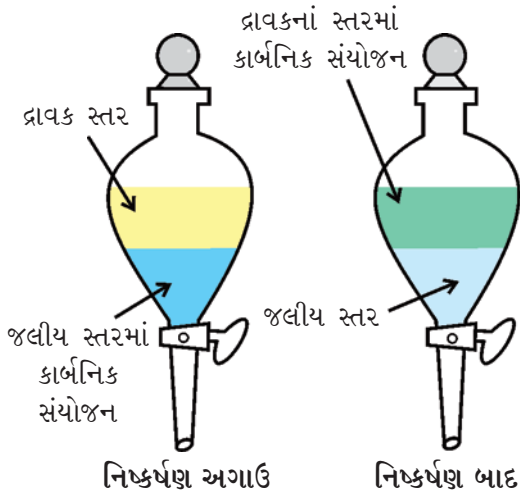


આકૃતિ 12.8 નીચા દબાણે નિસ્યંદન. નીચા દબાણે પ્રવાહી તેના બાષ્પદબાણથી નીચાં તાપમાને ઉકળે છે.



આકૃતિ 12.9 વરાળ નિસ્યંદન. વરાળ બાષ્પશીલ ઘટકો બાષ્પીભવન પામી શીતક દ્વારા ઠંડા પડી પ્રવાહીમાં રૂપાંતર પામે છે જેને કોનિકલ ફ્લાસ્કમાં એકત્ર કરવામાં આવે છે.

છે કે જેમાં કાર્બનિક સંયોજનની દ્રાવ્યતા પાણીમાંની દ્રાવ્યતા કરતાં વધુ હોય છે. જલીય દ્રાવણ અને કાર્બનિક દ્રાવક એકબીજામાં અમિશ્રિત હોવા જોઈએ, જેથી તેઓ બે સ્તર બનાવી શકે અને જેનું ભિન્નકારી ગળણીથી અલગન કરી શકાય. ત્યારબાદ કાર્બનિક દ્રાવકને નિસ્યંદન કે બાષ્પીભવન દ્વારા દૂર કરી કાર્બનિક પદાર્થને પાછો મેળવી શકાય છે. વિભેદી નિષ્કર્ષણ આકૃતિ 12.10માં દર્શાવ્યા મુજબ ભિન્નકારી ગળણીમાં કરી શકાય છે.



આકૃતિ 12.10 વિભેદી નિષ્કર્ષણ. સંયોજનનું નિષ્કર્ષણ દ્રાવ્યતાના તફાવતના આધારે થાય છે.

જો કાર્બનિક સંયોજન કાર્બનિક દ્રાવકમાં ઓછો દ્રાવ્ય હોય તો આ પદ્ધતિમાં કાર્બનિક સંયોજનના ઓછા જથ્થાના નિષ્કર્ષણ માટે પણ કાર્બનિક દ્રાવકનો વધુ જથ્થો જરૂરી બને છે. આવા કિસ્સામાં સતત નિષ્કર્ષણ પદ્ધતિનો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે. આ પદ્ધતિમાં નિષ્કર્ષણ માટે એક જ દ્રાવકનો ઉપયોગ વારંવાર કરવામાં આવે છે.

### 12.8.5 કોમેટોગ્રાફી (Chromatography)

કોમેટોગ્રાફી (વર્ણલેખિકી) એક અગત્યની પદ્ધતિ છે, જેનો ઉપયોગ મિશ્રણને તેના ઘટક તત્ત્વોમાં અલગ કરવા માટે, સંયોજનના શુદ્ધીકરણ માટે અને સંયોજનની શુદ્ધતાની ચકાસણી કરવા માટે થાય છે. કોમેટોગ્રાફી શબ્દ ગ્રીક શબ્દ 'કોમા' જેનો અર્થ 'રંગ' થાય છે તેના પરથી બનેલો છે. કોમેટોગ્રાફી પદ્ધતિનો સૌપ્રથમ ઉપયોગ વનસ્પતિમાંથી મળી આવતા રંગીન પદાર્થોમાં રહેલા ઘટક તત્ત્વોના અલગીકરણ માટે થયો હતો. આ પદ્ધતિમાં પદાર્થના મિશ્રણને સ્થિર કલા (stationary phase) પર અધિશોષિત કરવામાં આવે છે. સ્થિર કલા તરીકે ઘનપદાર્થ કે પ્રવાહી પદાર્થ હોઈ શકે છે. ત્યારબાદ શુદ્ધ દ્રાવકને કે દ્રાવકના મિશ્રણને કે વાયુને ધીરે ધીરે સ્થિર કલામાંથી પસાર

થવા દેવામાં આવે છે. પરિણામે મિશ્રણના ઘટક તત્ત્વો ક્રમશઃ એકબીજાથી અલગ થાય છે. ગતિ કરનાર કલાને ગતિમાન કલા કહે છે.

કોમેટોગ્રાફીને તેમાં સંકળાયેલા સિદ્ધાંતને આધારે જુદા જુદા વર્ગોમાં વર્ગીકૃત કરી શકાય છે. તે પૈકીના બે વર્ગોને નીચે દર્શાવ્યા છે.

(a) અધિશોષણ કોમેટોગ્રાફી

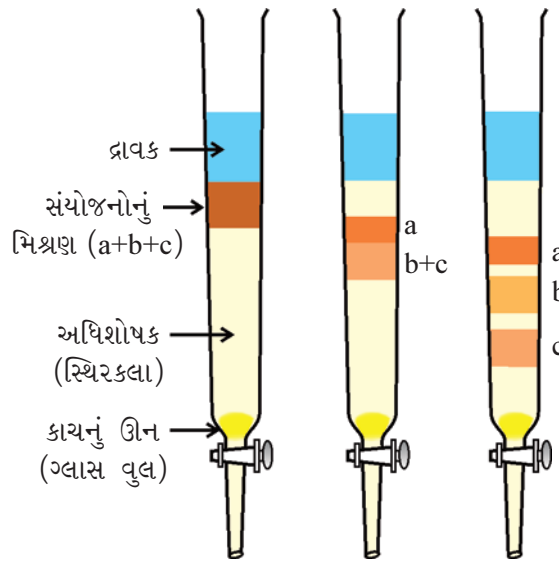
(b) વિતરણ કોમેટોગ્રાફી

(a) અધિશોષણ કોમેટોગ્રાફી : આ કોમેટોગ્રાફી તે સિદ્ધાંત પર આધારિત છે કે કોઈ વિશિષ્ટ અધિશોષક પર જુદા જુદા સંયોજનો જુદા જુદા અંશોમાં અધિશોષિત થાય છે. સામાન્ય રીતે સિલિકા જેલ અને એલ્યુમિના અધિશોષક તરીકે વપરાય છે. જ્યારે ગતિમાન કલાને સ્થિરકલા(અધિશોષક)માંથી પસાર કરવામાં આવે છે ત્યારે મિશ્રણમાંના ઘટકો સ્થિર કલામાં જુદા જુદા અંતરે છૂટા પડે છે. વિભેદી અધિશોષણના સિદ્ધાંત પર આધારિત બે પ્રકારની કોમેટોગ્રાફી પદ્ધતિ નીચે દર્શાવ્યા મુજબ છે :

(a) સ્તંભ કોમેટોગ્રાફી (Column chromatography)

(b) પાતળા સ્તરની કોમેટોગ્રાફી (Thin layer chromatography)

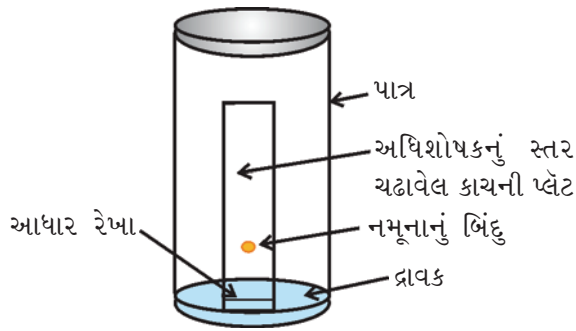
(a) સ્તંભ કોમેટોગ્રાફી : આ પદ્ધતિમાં કાયની નળીમાં ગોઠવેલા અધિશોષક(સ્થિરકલા)ના સ્તંભ દ્વારા મિશ્રણનું અલગીકરણ થાય છે. અધિશોષક સ્તંભને કાયની નળી કે જેના નીચેના છેડે સ્ટોપકોક લગાવેલો છે તેમાં ગોઠવવામાં આવે છે. આ અધિશોષક સ્તંભના ઉપરના છેડે મિશ્રણને મૂકવામાં આવે



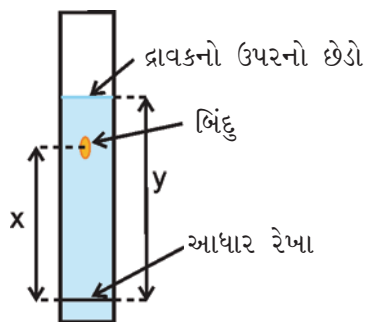
આકૃતિ 12.11 સ્તંભ કોમેટોગ્રાફી. મિશ્રણના ઘટક તત્ત્વોના અલગીકરણના ભિન્ન તબક્કાઓ

છે, જે સ્તંભમાં અધિશોષાય છે. ત્યારબાદ યોગ્ય નિક્ષાલક (eluant) કે જે એક પ્રવાહી અથવા વધુ પ્રવાહીઓનું મિશ્રણ હોય છે, તેને સ્તંભમાં ધીમી ગતિથી ઉપરથી નીચે તરફ વહેવા દેવામાં આવે છે. મિશ્રણના ઘટક તત્ત્વોની અધિશોષવાની વિભેદી ક્ષમતાના કારણે મિશ્રણનું સંપૂર્ણ અલગીકરણ થાય છે. વધુ અધિશોષિત ઘટક સ્તંભમાં ઉપરના છેડાની નજીક અધિશોષાય છે, જ્યારે બાકીના ઘટકો સ્તંભમાં નીચેની તરફ જુદા જુદા અંતરે અધિશોષાય છે (આકૃતિ 12.11).

(b) પાતળા સ્તરની કોમેટોગ્રાફી : અધિશોષણ કોમેટોગ્રાફીનો બીજો પ્રકાર પાતળા સ્તરની કોમેટોગ્રાફી છે, જેમાં અધિશોષકના પાતળા સ્તર પર મિશ્રણનું ઘટક તત્ત્વોમાં અલગીકરણ થાય છે. આ પદ્ધતિમાં યોગ્ય માપની કાચની પ્લેટ પર અધિશોષકનું (સિલિકા જેલ અથવા એલ્યુમિના) પાતળું સ્તર (લગભગ 0.2 mm જાડાઈનું) તૈયાર કરવામાં આવે છે. આ પ્લેટને પાતળા સ્તરની કોમેટોગ્રાફી પ્લેટ અથવા કોમાપ્લેટ કહેવાય છે. મિશ્રણના દ્રાવણને TLC પ્લેટ પર તેના નીચેના છેડેથી 2 cm ઉપર નાના નાના બિંદુ (ડ્રોપ) સ્વરૂપે મૂકવામાં આવે છે. આ કાચની પ્લેટને નિક્ષાલક ભરેલા બંધપાત્રમાં ઊભી મૂકવામાં આવે છે (આકૃતિ 12.2(a)). જેમ જેમ નિક્ષાલક



આકૃતિ 12.12(a) પાતળા સ્તરની કોમેટોગ્રાફી.



આકૃતિ 12.12(b) વિકસિત થયેલા કોમેટોગ્રામ

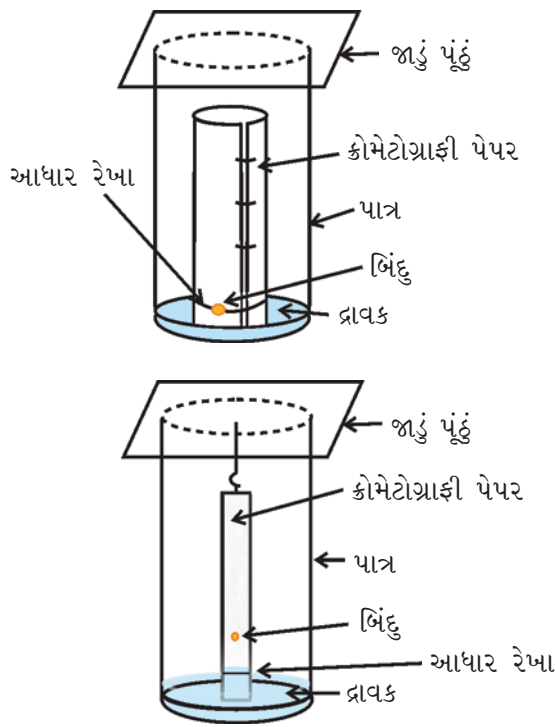
પ્લેટ પર આગળ વધતો જાય છે. તેમ તેમ મિશ્રણમાંના ઘટકો પણ નિક્ષાલકની સાથે સાથે પ્લેટ પર આગળ વધતા જાય છે, પરંતુ તેઓની અધિશોષવાની ક્ષમતાના આધારે તેઓની ઉપર તરફ આગળ વધવાની ગતિ જુદી જુદી હોય છે. જેના કારણે તેઓનું અલગીકરણ શક્ય બને છે. મિશ્રણમાંના દરેક ઘટકના સાપેક્ષ અધિશોષણને **મંદન ગુણક (Retardation factor)** એટલે કે  $R_f$  મૂલ્ય દ્વારા દર્શાવાય છે (આકૃતિ 12.12(b)).

$$R_f = \frac{\text{આધાર રેખાથી પદાર્થ કાપેલું અંતર (x)}}{\text{આધાર રેખાથી દ્રાવક કાપેલું અંતર (y)}}$$

રંગીન સંયોજનોના બિંદુઓને TLC પ્લેટ પર સરળતાથી જોઈ શકાય છે, જ્યારે રંગવિહીન અને પારજાંબલી પ્રકાશમાં પ્રતિદિપ્ત (fluoresce) થનાર સંયોજનોના બિંદુઓને, TLC પ્લેટને પારજાંબલી પ્રકાશની નીચે રાખીને જોઈ શકાય છે. એક અન્ય પદ્ધતિમાં TLC પ્લેટને આયોડિનના સ્ફટિક રાખેલા બંધપાત્રમાં મૂકવામાં આવે છે, જેથી સંયોજનના બિંદુઓ આયોડિનને શોષીને કથ્થઈ રંગના બિંદુઓ દર્શાવે છે. કેટલીકવાર TLC પ્લેટ પર યોગ્ય પ્રક્રિયકનો છંટકાવ કરવામાં આવે છે. દા.ત., એમિનો એસિડના બિંદુઓને જોવા માટે TLC પ્લેટ પર નીનહાઈડ્રીનના દ્રાવણનો છંટકાવ કરવામાં આવે છે (આકૃતિ 12.12(b)).

**વિતરણ કોમેટોગ્રાફી :** વિતરણ કોમેટોગ્રાફી મિશ્રણમાંના ઘટકોનું સ્થિર કલા અને ગતિમાન કલા વચ્ચે થતાં સતત વિભેદી વિતરણ પર આધારિત છે. પેપર કોમેટોગ્રાફી આ પ્રકારની કોમેટોગ્રાફીનું ઉદાહરણ છે. પેપર કોમેટોગ્રાફીમાં એક વિશિષ્ટ પ્રકારના પેપરનો ઉપયોગ થાય છે, જે કોમેટોગ્રાફી પેપર તરીકે ઓળખાય છે. કોમેટોગ્રાફી પેપરમાં પાણીના અણુઓ રહેલા હોય છે, જે સ્થિરકલા તરીકે વર્તે છે.

કોમેટોગ્રાફી પેપરની પટ્ટીના તળીયે મિશ્રણના દ્રાવણનું બિંદુ મૂકવામાં આવે છે. આ પટ્ટીને યોગ્ય દ્રાવક અથવા દ્રાવકોના મિશ્રણમાં મૂકવામાં આવે છે (આકૃતિ 12.13). આ દ્રાવક ગતિમાન કલા તરીકે વર્તે છે. કેશાકર્ષણના કારણે આ દ્રાવક પેપરમાં ઉપર ચઢે છે અને બિંદુઓને પણ ફેલાવે છે. જુદા જુદા ઘટકોનું બે કલામાં વિતરણ જુદું જુદું હોવાથી તે જુદા જુદા અંતરે આગળ વધે છે. આ રીતે વિકસિત થયેલી પટ્ટીને કોમેટોગ્રામ કહે છે. કોમેટોગ્રામ પર રંગીન સંયોજનના બિંદુનું અલગીકરણ શરૂઆતના સ્થાનથી જુદી જુદી ઊંચાઈએ જોવા



આકૃતિ 12.13 પેપર કોમેટોગ્રાફી.  
બે ભિન્ન આકારના કોમેટોગ્રાફી પેપર

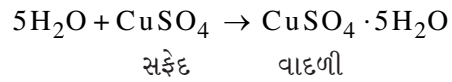
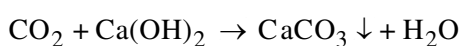
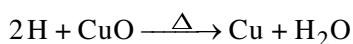
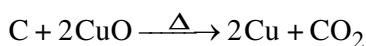
મળે છે, જ્યારે રંગવિહીન સંયોજનોનું અલગીકરણ પાતળા સ્તરની કોમેટોગ્રાફીમાં ચર્ચા કર્યા મુજબ પારજાંબલી પ્રકાશ હેકળ પેપરનું અવલોકન કરવાથી કે યોગ્ય પ્રક્રિયકના છંટકાવ કરવાથી જોઈ શકાય છે.

## 12.9 કાર્બનિક સંયોજનોનું ગુણાત્મક (ગુણદર્શક) પૃથક્કરણ (Qualitative Analysis of Organic Compounds)

કાર્બનિક સંયોજનોમાં કાર્બન અને હાઈડ્રોજન તત્ત્વો હાજર હોય છે. આ ઉપરાંત તેમાં ઓક્સિજન, નાઈટ્રોજન, સલ્ફર, હેલોજન અને ફોસ્ફરસ તત્ત્વો પણ હોઈ શકે છે.

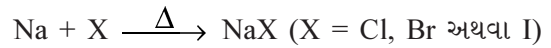
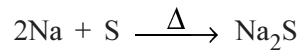
### 12.9.1 કાર્બન અને હાઈડ્રોજન તત્ત્વની પરખ (Detection of Carbon and Hydrogen)

કાર્બન અને હાઈડ્રોજન તત્ત્વની પરખ માટે સંયોજનને કૉપર (II) ઓક્સાઈડ સાથે ગરમ કરવામાં આવે છે. સંયોજનમાં રહેલા કાર્બન, કાર્બન ડાયોક્સાઈડમાં (જે ચૂનાના નિતર્યા પાણીને દૂધિયું બનાવે છે) અને હાઈડ્રોજન પાણીમાં (જે નિર્જળ કૉપર સલ્ફેટને વાદળી બનાવે છે) રૂપાંતર પામે છે.



### 12.9.2 અન્ય તત્ત્વોની પરખ (Detection of Other Elements)

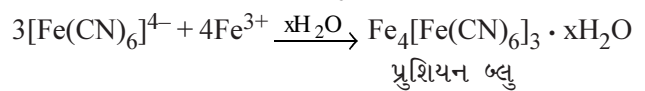
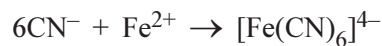
કાર્બનિક સંયોજનમાં રહેલા નાઈટ્રોજન, સલ્ફર, હેલોજન અને ફોસ્ફરસ તત્ત્વોની પરખ લેસાઈન કસોટી (Lassaigne's test) દ્વારા કરી શકાય છે. સંયોજનને સોડિયમ ધાતુ સાથે પિગલિત કરવાથી આ તત્ત્વો સહસંયોજક સ્વરૂપમાંથી આયનીય સ્વરૂપમાં રૂપાંતર પામે છે, જેમાં નીચે દર્શાવેલી પ્રક્રિયાઓ થાય છે.



C, N, S અને X કાર્બનિક સંયોજનમાં હોય છે. સોડિયમ પીગલનથી મળતા પદાર્થને નિસ્ચિદિત પાણી સાથે ઉકાળતા સોડિયમના સાયનાઈડ, સલ્ફાઈડ અને હેલાઈડ ક્ષાર પાણીમાં ઓગળેલા હોય છે. આ નિષ્કર્ષને સોડિયમ પીગલન નિષ્કર્ષ કહે છે.

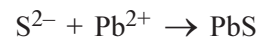
#### (A) નાઈટ્રોજન માટેની કસોટી :

સોડિયમ પીગલન નિષ્કર્ષને આયર્ન (II) સલ્ફેટની સાથે ઉકાળવામાં આવે છે, મળતા દ્રાવણને સાંદ્ર સલ્ફ્યુરિક એસિડ વડે એસિડિક બનાવવામાં આવે છે. જો પ્રુશિયન બ્લુ રંગ જોવા મળે તો તે નાઈટ્રોજન તત્ત્વની હાજરી સૂચવે છે. સોડિયમ સાયનાઈડ સૌપ્રથમ આયર્ન(II) સલ્ફેટ સાથે પ્રક્રિયા કરી સોડિયમહેક્ઝા સાયનોફેરેટ(II) બનાવે છે. સાંદ્ર સલ્ફ્યુરિક એસિડની સાથે ગરમ કરવાથી કેટલાક આયર્ન(II), આયર્ન(III)માં ઓક્સિડેશન પામે છે, જે સોડિયમહેક્ઝાસાયનોફેરેટ(II) સાથે પ્રક્રિયા પામી આયર્ન(III) હેક્ઝાસાયનોફેરેટ(II) (ફેરિકેરો સાયનાઈડ) બનાવે છે જેનો રંગ પ્રુશિયન બ્લુ હોય છે.



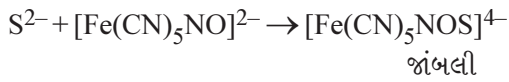
#### (B) સલ્ફર માટેની કસોટી :

(a) સોડિયમ પીગલન નિષ્કર્ષને એસિટિક એસિડ વડે એસિડિક કરીને તેમાં લેડ એસિટેટ ઉમેરવામાં આવે છે. જો લેડ સલ્ફાઈડના કાળા અવક્ષેપ મળે તો તે સલ્ફરની હાજરી સૂચવે છે.

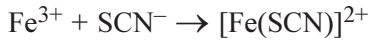
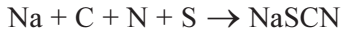


કાળા

(b) સોડિયમ પીગલન નિષ્કર્ષની સોડિયમ નાઈટ્રોપ્રુસાઈડ સાથે પ્રક્રિયા કરવાથી જો જાંબલી રંગ મળે તો તે સલ્ફરની હાજરી સૂચવે છે.

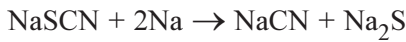


કાર્બનિક સંયોજનમાં જો નાઈટ્રોજન અને સલ્ફર બંને તત્વોની હાજરી હોય તો સોડિયમ પીગલન નિષ્કર્ષમાં સોડિયમ થાયોસાયનેટ બને છે, જેને આયર્ન(II)સલ્ફેટ સાથે ગરમ કરવાથી રુધિરના જેવો લાલ રંગ ઉત્પન્ન થાય છે. મુક્ત સાયનાઈડ આયનની ગેરહાજરીમાં પ્રુશિયન બ્લુ રંગ બનતો નથી.



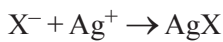
રુધિર જેવો લાલ રંગ

જો સોડિયમ પીગલન દરમિયાન સોડિયમનું પ્રમાણ વધુ લેવામાં આવે તો થાયોસાયનેટ સાયનાઈડ અને સલ્ફાઈડમાં વિઘટન પામે છે. આ આયનો પોતાની સામાન્ય કસોટીઓ આપે છે.



### (C) હેલોજન માટેની કસોટી :

સોડિયમ પીગલન નિષ્કર્ષને નાઈટ્રિક એસિડ વડે એસિડિક કરવામાં આવે છે. ત્યારબાદ તેમાં સિલ્વર નાઈટ્રેટ ઉમેરવામાં આવે છે. આ દરમિયાન એમોનિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડમાં દ્રાવ્ય સફેદ અવક્ષેપ ક્લોરિનની હાજરી, એમોનિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડમાં અલ્પદ્રાવ્ય પીળા અવક્ષેપ બ્રોમિનની હાજરી અને એમોનિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડમાં અદ્રાવ્ય પીળા અવક્ષેપ આયોડિનની હાજરી સૂચવે છે.

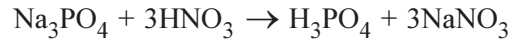


જ્યાં, X હેલોજન તત્વો – Cl, Br અથવા I દર્શાવે છે.

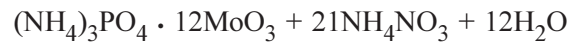
જો સંયોજનમાં નાઈટ્રોજન અથવા સલ્ફર તત્વ પણ હાજર હોય તો સોડિયમ પીગલન નિષ્કર્ષને પ્રથમ સાંદ્ર નાઈટ્રિક એસિડ સાથે ઉકાળવામાં આવે છે. જેથી સોડિયમ પીગલન નિષ્કર્ષમાં રહેલા સોડિયમ સાયનાઈડ અને સોડિયમ સલ્ફાઈડનું વિઘટન થાય, નહિ તો આ આયનો હેલોજન માટેની સિલ્વર નાઈટ્રેટની કસોટીમાં અડચણ ઊભી કરે છે.

### (D) ફોસ્ફરસ માટેની કસોટી :

સંયોજનને ઓક્સિડેશનકર્તા (સોડિયમ પેરોક્સાઈડ) સાથે ગરમ કરતાં સંયોજનમાં રહેલા ફોસ્ફરસનું ફોસ્ફેટમાં ઓક્સિડેશન થાય છે. આ દ્રાવણને નાઈટ્રિક એસિડ સાથે ઉકાળવામાં આવે છે ત્યારબાદ તેમાં એમોનિયમ મોલિબ્ડેટ ઉમેરવામાં આવે છે. આ દરમિયાન મળતો પીળો રંગ અથવા પીળા અવક્ષેપ ફોસ્ફરસની હાજરી સૂચવે છે.



એમોનિયમ મોલિબ્ડેટ



એમોનિયમ

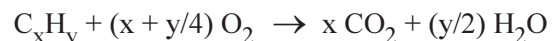
ફોસ્ફોમોલિબ્ડેટ

## 12.10 જથ્થાત્મક (માત્રાત્મક) પૃથક્કરણ (Quantitative Analysis)

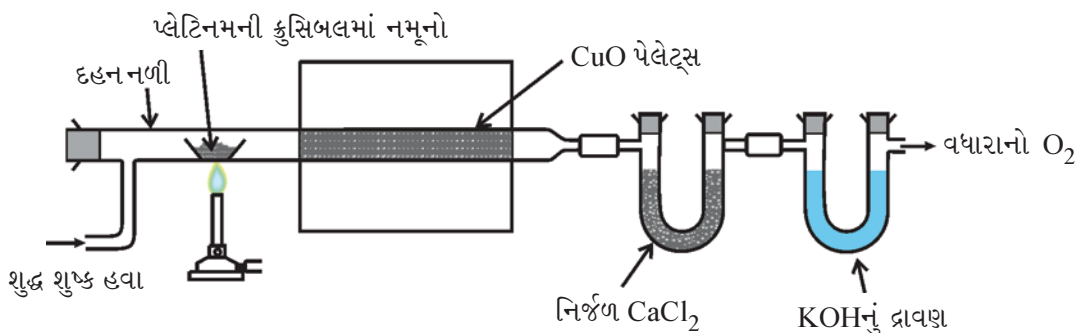
કાર્બનિક સંયોજનમાં રહેલા તત્વોના ટકાવાર પ્રમાણના માપન નીચે દર્શાવેલા સિદ્ધાંતોને આધારિત પદ્ધતિઓથી કરવામાં આવે છે.

### 12.10.1 કાર્બન અને હાઈડ્રોજન (Carbon and Hydrogen)

કાર્બન અને હાઈડ્રોજનનું માપન એક જ પ્રયોગ દ્વારા કરી શકાય છે. તે માટે કાર્બનિક સંયોજનના ચોક્કસ જથ્થાને કોપર (II) ઓક્સાઈડ સાથે વધુ ઓક્સિજનની હાજરીમાં બાળવામાં આવે છે, જેથી સંયોજનમાં રહેલો કાર્બન અને હાઈડ્રોજન અનુક્રમે કાર્બન ડાયોક્સાઈડ અને પાણીમાં ઓક્સિડેશન પામે છે.



ઉત્પન્ન થયેલા પાણીના જથ્થાને જાણવા માટે ઉત્પન્ન થતાં વાયુ મિશ્રણને અગાઉથી વજન કરેલી યુ આકારની નળી, જેમાં નિર્જળ કેલ્શિયમ ક્લોરાઈડ ભરેલો હોય છે, તેમાંથી પસાર કરવામાં આવે છે. આ સાથે જોડેલી બીજી યુ-આકારની નળીમાં સાંદ્ર પોટેશિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડ ભરેલો હોય છે, જેમાં કાર્બન ડાયોક્સાઈડ શોષાય છે (આકૃતિ 12.14).



**આકૃતિ 12.14** કાર્બન અને હાઈડ્રોજનનું માપન. કાર્બનિક સંયોજનના ઓક્સિડેશનથી બનતા પાણી અને કાર્બન ડાયોક્સાઈડને અનુક્રમે યુ-આકારની નળીમાં ભરેલા નિર્જળ કેલ્શિયમ ક્લોરાઈડ અને પોટેશિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડમાં શોષવામાં આવે છે.

કેલ્શિયમ ક્લોરાઇડ અને પોટેશિયમ હાઇડ્રોક્સાઇડના દળમાં થતાં વધારાથી અનુક્રમે શોષાયેલા પાણી અને કાર્બન ડાયોક્સાઇડના જથ્થાને જાણી શકાય છે. જેના આધારે કાર્બન અને હાઇડ્રોજનનું ટકાવાર પ્રમાણ ગણી શકાય છે.

જો કાર્બનિક સંયોજનનું દળ  $m$  g, બનનાર પાણી અને કાર્બન ડાયોક્સાઇડનું દળ અનુક્રમે  $m_1$  g અને  $m_2$  g હોય તો,

$$\text{કાર્બનનું ટકાવાર પ્રમાણ} = \frac{12 \times m_2 \times 100}{44 \times m}$$

$$\text{હાઇડ્રોજનનું ટકાવાર પ્રમાણ} = \frac{2 \times m_1 \times 100}{18 \times m}$$

### કોયડો 12.20

0.246 g કાર્બનિક સંયોજનના સંપૂર્ણ દહનથી 0.198 g કાર્બન ડાયોક્સાઇડ અને 0.1014 g પાણી ઉત્પન્ન થાય છે, તો સંયોજનમાં રહેલા કાર્બન અને હાઇડ્રોજનનું ટકાવાર પ્રમાણ શોધો.

ઉકેલ :

$$\begin{aligned} \text{કાર્બનનું ટકાવાર પ્રમાણ} &= \frac{12 \times 0.198 \times 100}{44 \times 0.246} \\ &= 21.95 \% \end{aligned}$$

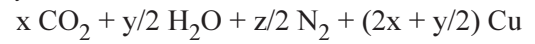
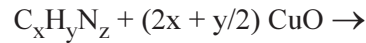
$$\begin{aligned} \text{હાઇડ્રોજનનું ટકાવાર પ્રમાણ} &= \frac{2 \times 0.1014 \times 100}{18 \times 0.246} \\ &= 4.58 \% \end{aligned}$$

### 12.10.2 નાઇટ્રોજન (Nitrogen)

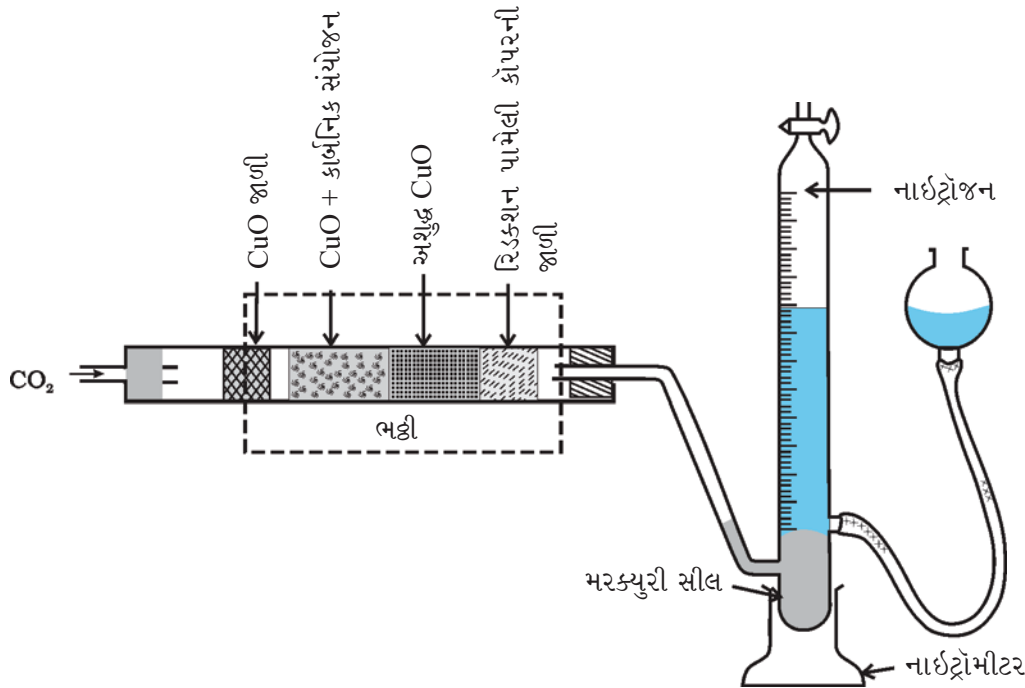
નાઇટ્રોજનના માપન માટેની બે પદ્ધતિઓ જાણીતી છે :

- ડ્યૂમા પદ્ધતિ (Dumas Method)
- જેલ્ડાહલ પદ્ધતિ (Kjeldahl's Method)

(i) **ડ્યૂમા પદ્ધતિ** : નાઇટ્રોજનયુક્ત કાર્બનિક પદાર્થને કાર્બન ડાયોક્સાઇડના વાતાવરણમાં કોપર (II) ઓક્સાઇડ સાથે ગરમ કરવાથી નાઇટ્રોજન વાયુ મુક્ત થાય છે અને સાથે સાથે કાર્બન ડાયોક્સાઇડ અને પાણી પણ ઉત્પન્ન થાય છે.



અલ્પમાત્રામાં બનેલા નાઇટ્રોજન ઓક્સાઇડનું નાઇટ્રોજનમાં રિડક્શન કરવા માટે ઉત્પન્ન થયેલા વાયુ મિશ્રણને ગરમ તાંબાના તાર પરથી પસાર કરવામાં આવે છે. આ રીતે મળતા વાયુ મિશ્રણને જલીય પોટેશિયમ હાઇડ્રોક્સાઇડ પર એકત્ર કરવામાં આવે છે, જેથી કાર્બન ડાયોક્સાઇડ વાયુ તેમાં શોષાઈ જાય છે. નાઇટ્રોજન વાયુને અંકિત નળીમાં ઉપરના ભાગમાં જમા કરવામાં આવે છે (આકૃતિ 12.15).



**આકૃતિ 12.15** ડ્યૂમા પદ્ધતિ. કાર્બનિક સંયોજનને  $CO_2$ ની હાજરીમાં કોપર (II) ઓક્સાઇડ સાથે ગરમ કરતાં નાઇટ્રોજન વાયુ ઉત્પન્ન થાય છે. વાયુ મિશ્રણને પોટેશિયમ હાઇડ્રોક્સાઇડના દ્રાવણ પર એકત્ર કરવામાં આવે છે, જેમાં  $CO_2$  વાયુ શોષાઈ જાય છે અને નાઇટ્રોજન વાયુનું કદ માપવામાં આવે છે.

ધારો કે, કાર્બનિક સંયોજનનું દળ =  $m$  g  
એકત્ર થયેલા નાઈટ્રોજન વાયુનું કદ =  $V_1$  mL  
ઓરડાનું તાપમાન =  $T_1$  K

$$\text{STP એ નાઈટ્રોજન વાયુનું કદ} = \frac{p_1 V_1 \times 273}{760 \times T_1}$$

(ધારો કે આ મૂલ્ય  $V$  mL છે.)

જ્યાં,  $p_1$  અને  $V_1$  અનુક્રમે નાઈટ્રોજન વાયુના દબાણ અને કદ છે.  $p_1$  જે દબાણે નાઈટ્રોજન વાયુ એકત્ર કરવામાં આવ્યો હોય તેનું મૂલ્ય દર્શાવે છે. જે વાતાવરણના દબાણથી ભિન્ન છે.

$p_1$  નું મૂલ્ય આ સંબંધથી મેળવી શકાય છે.

$$p_1 = \text{વાતાવરણનું દબાણ} - \text{જલીયતાણ}$$

STP એ 22400 mL N<sub>2</sub> નું દળ 28 g છે.

$$\text{STP એ } V \text{ mL N}_2 \text{ નું દળ} = \frac{28 \times V}{22400} \text{ g}$$

$$\text{નાઈટ્રોજનનું ટકાવાર પ્રમાણ} = \frac{28 \times V \times 100}{22400 \times m}$$

### કોયડો 12.21

નાઈટ્રોજન પરિમાપન માટેની ડ્યૂમા પદ્ધતિમાં 0.3 g કાર્બનિક સંયોજન 300 K તાપમાને અને 715 mm દબાણે 50 mL નાઈટ્રોજન વાયુ આપે છે. સંયોજનમાં નાઈટ્રોજનનું ટકાવાર પ્રમાણ શોધો. (300 K તાપમાને જલીયતાણ = 15 mm)

### ઉકેલ :

300 K તાપમાને અને 715 mm દબાણે એકત્ર કરેલા નાઈટ્રોજન વાયુનું કદ 50 mL છે.

$$\text{વાસ્તવિક દબાણ} = 715 - 15 = 700 \text{ mm}$$

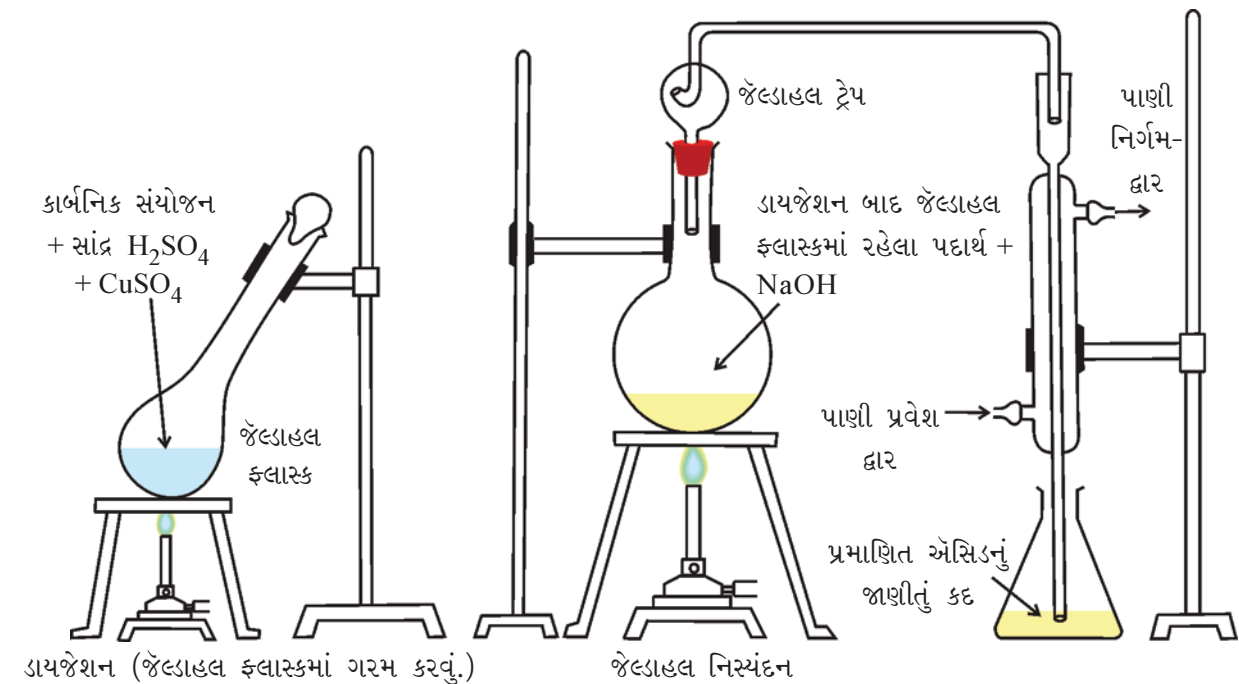
$$\text{STP એ નાઈટ્રોજન વાયુનું કદ} = \frac{273 \times 700 \times 50}{300 \times 760} = 41.9 \text{ mL}$$

$$\text{STP એ } 22400 \text{ mL N}_2 \text{ નું દળ} = 28 \text{ g}$$

$$\text{STP એ } 41.9 \text{ mL N}_2 \text{ નું દળ} = \frac{28 \times 41.9}{22400} \text{ g}$$

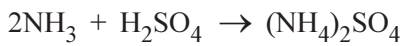
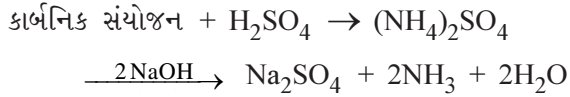
$$\text{નાઈટ્રોજનનું ટકાવાર પ્રમાણ} = \frac{28 \times 41.9 \times 100}{22400 \times 0.3} = 17.46 \%$$

(ii) જૅલ્ડાહલ પદ્ધતિ : આ પદ્ધતિમાં નાઈટ્રોજનયુક્ત કાર્બનિક સંયોજનોને સાંદ્ર સલ્ફ્યુરિક એસિડ સાથે ગરમ કરવામાં આવે છે. તેથી સંયોજનમાં રહેલો નાઈટ્રોજન એમોનિયમ સલ્ફેટમાં ફેરવાય છે (આકૃતિ 12.16). આ એસિડ મિશ્રણને સોડિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડના વધુ પ્રમાણ સાથે ગરમ કરવામાં આવે છે, જેથી ઉત્પન્ન થતાં એમોનિયા વાયુને પ્રમાણિત સલ્ફ્યુરિક એસિડના વધુ જથ્થામાં શોષવામાં આવે છે. આ દરમિયાન વપરાયેલા સલ્ફ્યુરિક એસિડના પ્રમાણના આધારે ઉત્પન્ન થયેલા એમોનિયા વાયુનું પ્રમાણ



આકૃતિ 12.16 જૅલ્ડાહલ પદ્ધતિ. નાઈટ્રોજનયુક્ત સંયોજનની સાંદ્ર H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> સાથે પ્રક્રિયા કરતાં એમોનિયમ સલ્ફેટ મળે છે, જેની સાથે NaOHની પ્રક્રિયા કરતા એમોનિયા વાયુ મુક્ત થાય છે, એમોનિયા વાયુને પ્રમાણિત એસિડના ચોક્કસ કદમાં શોષવામાં આવે છે.

જાણી શકાય છે. આ માટે એમોનિયા વાયુના શોષણ બાદ પ્રક્રિયા પામ્યા વિનાના બાકી રહેલા સલ્ફ્યુરિક એસિડના પ્રમાણને પ્રમાણિત આલ્કલી વડે અનુમાપન કરી જાણવામાં આવે છે. એસિડનું શરૂઆતમાં લીધેલું પ્રમાણ અને પ્રક્રિયાને અંતે બાકી રહેલા એસિડના પ્રમાણના તફાવત પરથી એમોનિયા સાથે પ્રક્રિયા પામેલા એસિડનું પ્રમાણ જાણવા મળે છે.



ધારો કે, કાર્બનિક સંયોજનનું દળ = m g

M મોલારિટીવાળા  $\text{H}_2\text{SO}_4$ નું શરૂઆતમાં લીધેલું કદ = V mL

વધારાના  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ના અનુમાપનમાં વપરાયેલા,

M મોલારિટીવાળા NaOHનું કદ =  $V_1$  mL

M મોલારિટીવાળા  $V_1$  mL NaOH = M મોલારિટીવાળા

$\frac{V}{2}$  mL  $\text{H}_2\text{SO}_4$

M મોલારિટીવાળા વપરાયા વિનાના  $\text{H}_2\text{SO}_4$  નું કદ =

$$\left(V - \frac{V_1}{2}\right) \text{ mL}$$

M મોલારિટીવાળા  $\left(V - \frac{V_1}{2}\right)$  mL  $\text{H}_2\text{SO}_4$  =

$$2\left(V - \frac{V_1}{2}\right) \text{ mL NH}_3 \text{ નું દ્રાવણ}$$

1000 mL 1M  $\text{NH}_3$  દ્રાવણ 17 g  $\text{NH}_3$  અથવા 14 g N ધરાવે છે.

$$\therefore 2\left(V - \frac{V_1}{2}\right) \text{ mL M મોલારિટીવાળું NH}_3 \text{ નું દ્રાવણ} =$$

$$\frac{14 \times M \times 2\left(V - \frac{V_1}{2}\right)}{1000} \text{ g N}$$

નાઈટ્રોજનનું ટકાવાર પ્રમાણ =

$$\frac{14 \times M \times 2\left(V - \frac{V_1}{2}\right)}{1000} \times \frac{100}{m}$$

$$= \frac{1.4 \times M \times 2\left(V - \frac{V_1}{2}\right)}{m}$$

નાઈટ્રોસમૂહ, એઝોસમૂહ અને વલયમાં રહેલા નાઈટ્રોજન (દા.ત., પીરીડીન) ધરાવતા નાઈટ્રોજનયુક્ત સંયોજનોમાં જેલ્ડાહલ પદ્ધતિ લાગુ પડતી નથી. કારણ કે આ પરિસ્થિતિઓમાં આ સંયોજનોને એમોનિયમ સલ્ફેટમાં પરિવર્તિત કરી શકાતા નથી.

### કોયડો 12.22

નાઈટ્રોજનના પરિમાપનની જેલ્ડાહલ પદ્ધતિમાં 0.5 g સંયોજનમાંથી નીકળતો એમોનિયા વાયુ 10 mL 1 M  $\text{H}_2\text{SO}_4$ નું તટસ્થીકરણ કરે છે, તો સંયોજનમાં રહેલા નાઈટ્રોજનનું ટકાવાર પ્રમાણ શોધો.

ઉકેલ :

$$10 \text{ mL } 1 \text{ M } \text{H}_2\text{SO}_4 = 20 \text{ mL } 1 \text{ M } \text{NH}_3$$

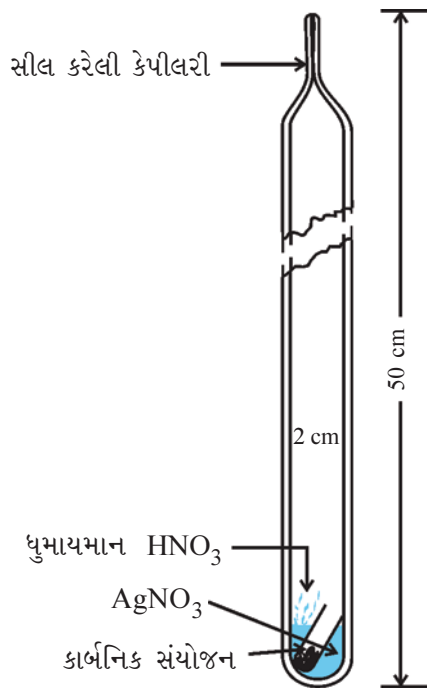
1000 mL 1 M એમોનિયા 14 g નાઈટ્રોજન ધરાવે છે.

$$\therefore 20 \text{ mL } 1 \text{ M એમોનિયા} = \frac{14 \times 20}{1000} \text{ g નાઈટ્રોજન ધરાવે છે.}$$

$$\begin{aligned} \text{નાઈટ્રોજનનું ટકાવાર પ્રમાણ} &= \frac{14 \times 20 \times 1000}{1000 \times 0.5} \\ &= 56 \% \end{aligned}$$

### 12.10.3 હેલોજન તત્ત્વો (Halogens)

**કેરિયસ પદ્ધતિ :** કાર્બનિક સંયોજનના નિશ્ચિત જથ્થાને કેરિયસ નળીમાં લઈને સિલ્વર નાઈટ્રેટની હાજરીમાં ધુમાયમાન નાઈટ્રિક એસિડ સાથે ભટ્ટીમાં ગરમ કરવામાં આવે છે (આકૃતિ 12.17).



**આકૃતિ 12.17** કેરિયસ પદ્ધતિ. હેલોજનયુક્ત કાર્બનિક સંયોજનને સિલ્વર નાઈટ્રેટની હાજરીમાં ધુમાયમાન નાઈટ્રિક એસિડ સાથે ગરમ કરવામાં આવે છે.



કાર્બનિક સંયોજનમાં રહેલા કાર્બન અને હાઈડ્રોજન અનુક્રમે કાર્બન ડાયોક્સાઈડ અને પાણીમાં ઓક્સિડેશન પામે છે, જ્યારે હેલોજન અનુરૂપ સિલ્વર હેલાઈડમાં (AgX) રૂપાંતરણ પામે છે. જેને ગાળી, ધોઈ, શુષ્ક કરવામાં આવે છે, બાદમાં તેનું વજન કરવામાં આવે છે.

ધારો કે, કાર્બનિક પદાર્થનું દળ = m g

બનેલા AgXનું દળ = m<sub>1</sub> g

1 મોલ AgX 1 મોલ X ધરાવે છે.

m<sub>1</sub> g AgX માં હેલોજનનું દળ =

$$\frac{X\text{નું પરમાણ્વીયદળ} \times m_1 \text{ g}}{\text{AgXનું આણ્વીયદળ}}$$

હેલોજનનું ટકાવાર પ્રમાણ =

$$\frac{X\text{નું પરમાણ્વીયદળ} \times m_1 \times 100}{\text{AgXનું આણ્વીયદળ} \times m}$$

#### કોયડો 12.23

હેલોજનના પરિમાપન માટેની કેરિયસ પદ્ધતિમાં 0.15 g કાર્બનિક સંયોજન 0.12 g AgBr આપે છે, તો સંયોજનમાં રહેલા બ્રોમિનનું ટકાવાર પ્રમાણ શોધો.

ઉકેલ :

$$\begin{aligned} \text{AgBrનું આણ્વીયદળ} &= 108 + 80 \\ &= 188 \text{ g mol}^{-1} \end{aligned}$$

188 g AgBr 80 g બ્રોમિન ધરાવે છે.

$$0.12 \text{ g AgBr } \frac{80 \times 0.12}{188} \text{ g બ્રોમિન ધરાવે છે.}$$

$$\begin{aligned} \text{બ્રોમિનનું ટકાવાર પ્રમાણ} &= \frac{80 \times 0.12 \times 100}{188 \times 0.15} \\ &= 34.04 \% \end{aligned}$$

#### 12.10.4 સલ્ફર (Sulphur)

કાર્બનિક સંયોજનના નિશ્ચિત જથ્થાને કેરિયસ નળીમાં લઈને સોડિયમ પેરોક્સાઈડ અથવા ધુમાયમાન નાઈટ્રિક એસિડ સાથે ગરમ કરવામાં આવે છે. જેથી સંયોજનમાં રહેલો સલ્ફર સલ્ફ્યુરિક એસિડમાં ઓક્સિડેશન પામે છે. તેને બેરિયમ ક્લોરાઈડના દ્રાવણના વધુ પ્રમાણ સાથે મિશ્ર કરી બેરિયમ સલ્ફેટ સ્વરૂપે અવક્ષેપિત કરી શકાય છે. આ અવક્ષેપને ગાળી, ધોઈ, શુષ્ક કરી વજન કરવામાં આવે છે. બેરિયમ સલ્ફેટના દળના આધારે સલ્ફરનું ટકાવાર પ્રમાણ જાણી શકાય છે.

ધારો કે, કાર્બનિક પદાર્થનું દળ = m g

બનતા બેરિયમ સલ્ફેટનું દળ = m<sub>1</sub> g

1 મોલ BaSO<sub>4</sub> = 233 g BaSO<sub>4</sub> = 32 g સલ્ફર

$$m_1 \text{ g BaSO}_4 \frac{32 \times m_1}{233} \text{ g સલ્ફર ધરાવે છે.}$$

$$\text{સલ્ફરનું ટકાવાર પ્રમાણ} = \frac{32 \times m_1 \times 100}{233 \times m}$$

#### કોયડો 12.24

સલ્ફરના પરિમાપનમાં 0.157 g કાર્બનિક પદાર્થ 0.4813 g બેરિયમ સલ્ફેટ આપે છે, તો સંયોજનમાં રહેલા સલ્ફરનું ટકાવાર પ્રમાણ કેટલું હશે ?

ઉકેલ :

$$\begin{aligned} \text{BaSO}_4\text{નું આણ્વીયદળ} &= 137 + 32 + 64 \\ &= 233 \text{ g} \end{aligned}$$

233 g BaSO<sub>4</sub> 32 g સલ્ફર ધરાવે છે.

$$\therefore 0.4813 \text{ g BaSO}_4 \frac{32 \times 0.4813}{233} \text{ g સલ્ફર ધરાવે છે.}$$

$$\begin{aligned} \text{સલ્ફરનું ટકાવાર પ્રમાણ} &= \frac{32 \times 0.4813 \times 100}{233 \times 0.157} \\ &= 42.10 \% \end{aligned}$$

#### 12.10.5 ફોસ્ફરસ (Phosphorus)

કાર્બનિક સંયોજનના નિશ્ચિત જથ્થાને ધુમાયમાન નાઈટ્રિક એસિડ સાથે ગરમ કરવાથી તેમાં રહેલો ફોસ્ફરસ ફોસ્ફોરિક એસિડમાં ઓક્સિડેશન પામે છે. જેમાં એમોનિયા અને એમોનિયમ મોલિબ્ડેટ ઉમેરીને તેને એમોનિયમ ફોસ્ફોમોલિબ્ડેટ (NH<sub>4</sub>)<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> · 12MoO<sub>3</sub> સ્વરૂપે અવક્ષેપિત કરી શકાય છે. અન્ય વિકલ્પરૂપે ફોસ્ફોરિક એસિડમાં મેગ્નેશિયા મિશ્રણ ઉમેરીને MgNH<sub>4</sub>PO<sub>4</sub> સ્વરૂપે અવક્ષેપ મેળવી શકાય છે, જેનું દહન કરતાં Mg<sub>2</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub> પ્રાપ્ત થાય છે.

ધારો કે, કાર્બનિક સંયોજનનું દળ = m g

એમોનિયમ ફોસ્ફોમોલિબ્ડેટનું દળ = m<sub>1</sub> g

$$(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{MoO}_3\text{નું આણ્વીયદળ} = 1877 \text{ g}$$

$$\text{ફોસ્ફરસનું ટકાવાર પ્રમાણ} = \frac{31 \times m_1 \times 100}{1877 \times m} \%$$

જો ફોસ્ફરસનું પરિમાપન Mg<sub>2</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub> સ્વરૂપે કરીએ તો,

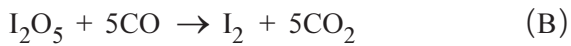
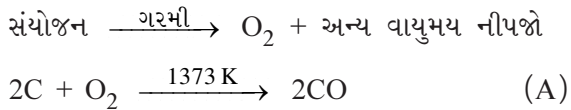
$$\text{ફોસ્ફરસનું ટકાવાર પ્રમાણ} = \frac{62 \times m_1 \times 100}{222 \times m} \%$$

જ્યાં  $Mg_2P_2O_7$ નું આણ્વીયદળ 222 u, કાર્બનિક સંયોજનનું દળ m g, પ્રક્રિયાને અંતે બનેલા  $Mg_2P_2O_7$ નું દળ  $m_1$  g, સંયોજનમાં રહેલા બે ફોસ્ફરસ પરમાણુઓનું દળ 62.

### 12.10.6 ઓક્સિજન (Oxygen)

કાર્બનિક સંયોજનમાં ઓક્સિજનના ટકાવાર પ્રમાણની ગણતરી કુલ ટકા(100)માંથી અન્ય તત્ત્વોના ટકાવાર પ્રમાણના સરવાળાને બાદ કરવાથી કરી શકાય છે. ઓક્સિજનનું સીધું પરિમાપન નીચે દર્શાવેલી રીતે કરી શકાય છે :

કાર્બનિક સંયોજનના નિશ્ચિત જથ્થાને નાઈટ્રોજન વાયુના પ્રવાહમાં ગરમ કરી વિઘટન કરી શકાય છે. ઓક્સિજન સહિતના ઉત્પન્ન થયેલા વાયુ મિશ્રણને રક્ત તપ્ત કોક (Coke) પરથી પસાર કરવાથી બધો જ ઓક્સિજન કાર્બન મોનોક્સાઈડમાં રૂપાંતર પામે છે. ત્યારબાદ આ વાયુ મિશ્રણને ગરમ આયોડિન પેન્ટોક્સાઈડ ( $I_2O_5$ )માંથી પસાર કરવામાં આવે છે, જેથી કાર્બન મોનોક્સાઈડ કાર્બન ડાયોક્સાઈડમાં ઓક્સિડેશન પામે છે અને આયોડિન પણ ઉત્પન્ન થાય છે.



સમીકરણ (A) અને (B)ને અનુક્રમે 5 અને 2 વડે ગુણવાથી સમીકરણ (A)માં ઉત્પન્ન થયેલા  $CO$ નું પ્રમાણ અને

સમીકરણ (B)માં વપરાયેલ  $CO$ નું પ્રમાણ સમાન થાય છે. જેથી સંયોજનમાંથી ઉત્પન્ન થયેલા ઓક્સિજનના દરેક મોલથી બે મોલ  $CO_2$  પ્રાપ્ત થશે. આમ જો 32 ગ્રામ ઓક્સિજન ઉત્પન્ન થાય તો 88 ગ્રામ કાર્બન ડાયોક્સાઈડ મળે છે.

ધારો કે,

શરૂઆતમાં લીધેલા કાર્બનિક સંયોજનનું દળ = m g

ઉત્પન્ન થયેલા કાર્બન ડાયોક્સાઈડનું દળ =  $m_1$  g

88 ગ્રામ કાર્બન ડાયોક્સાઈડ = 32 ગ્રામ ઓક્સિજન

$m_1$  g કાર્બન ડાયોક્સાઈડ  $\frac{32 \times m_1}{88}$  g  $O_2$  ધરાવે છે.

ઓક્સિજનનું ટકાવાર પ્રમાણ =  $\frac{32 \times m_1 \times 100}{88 \times m}$  %

ઓક્સિજનનું ટકાવાર પ્રમાણ ઉત્પન્ન થયેલા આયોડિનના પ્રમાણ પરથી પણ ગણી શકાય છે.

હાલના સમયમાં કાર્બનિક સંયોજનમાં રહેલા તત્ત્વોનું પરિમાપન સ્વચાલિત પ્રાયોગિક પ્રવિધિઓની (automatic experimental techniques) મદદથી સંયોજનનો સૂક્ષ્મ જથ્થો લઈને પણ કરી શકાય છે. સંયોજનમાં રહેલા કાર્બન, હાઈડ્રોજન અને નાઈટ્રોજનનું પરિમાપન CHN તત્ત્વ વિશ્લેષક (CHN elemental analyser) તરીકે જાણીતા સાધનથી કરવામાં આવે છે. આ સાધનમાં પદાર્થના બહુ જ ઓછા જથ્થાની (1–3 mg) જરૂર પડે છે તથા તે ખૂબ જ ઓછા સમયમાં તત્ત્વોના પ્રમાણનું મૂલ્ય દર્શાવે છે. આ પદ્ધતિઓની ઊંડાણમાં ચર્ચા આ પુસ્તકના સ્તરથી ઉપરની છે.

### સારાંશ

આ એકમમાં આપણે સહસંયોજક બંધના કારણે રચાતા કાર્બનિક સંયોજનના બંધારણ અને પ્રતિક્રિયાત્મકતા સંબંધી કેટલાક પાયાના સિદ્ધાંતોને શીખ્યાં. કાર્બનિક સંયોજનમાં સહસંયોજક બંધની પ્રકૃતિને કક્ષક સંકરણ સંકલ્પનાથી સમજાવી શકાય છે, જેના કારણે કાર્બન  $sp^3$ ,  $sp^2$  અને  $sp$  સંકૃત કક્ષકો ધરાવી શકે છે. કાર્બનની આ કક્ષકો અનુક્રમે મિથેન, ઈથીન અને ઈથાઈન અણુમાં જોવા મળે છે. આ સંકલ્પનાને આધારે મિથેનનો સમયતુષ્ફલકીય આકાર, ઈથીનનો સમતલીય આકાર અને ઈથાઈનનો રેખીય આકાર સમજાવી શકાય છે. કાર્બનની  $sp^3$  સંકૃત કક્ષક હાઈડ્રોજન પરમાણુની 1 s કક્ષક સાથે સંમિશ્ર થઈ કાર્બન-કાર્બન  $\sigma$  બંધ બનાવે છે. બે નજીકના કાર્બનની અસંકૃત p કક્ષકો બાજુએથી સંમિશ્રણ દ્વારા પાઈ ( $\pi$ ) બંધ બનાવે છે. કાર્બનિક સંયોજનોને જુદા જુદા બંધારણીય સૂત્રો દ્વારા દર્શાવી શકાય છે. કાર્બનિક સંયોજનોના ત્રિપરિમાણીય બંધારણ ફાયર (wedge) અને ડેશ (dash) સૂત્રો દ્વારા દર્શાવી શકાય છે.

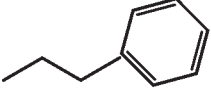
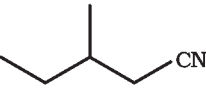
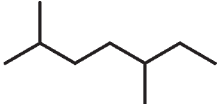
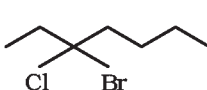
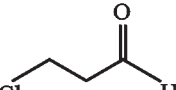
કાર્બનિક સંયોજનોને તેમાં રહેલા ક્રિયાશીલ સમૂહો અથવા તેમના બંધારણને આધારે વર્ગીકૃત કરી શકાય છે. ક્રિયાશીલ સમૂહ વિશિષ્ટ રીતે જોડાયેલા પરમાણુ અને પરમાણુઓનો સમૂહ છે, જે સંયોજનોના ભૌતિક અને રાસાયણિક ગુણધર્મો દર્શાવે છે. કાર્બનિક સંયોજનોનું નામકરણ IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) દ્વારા નક્કી થયેલા નિયમોને આધારે કરવામાં આવે છે. IUPAC નામકરણમાં નામ અને બંધારણ વચ્ચેના સહસંબંધથી વાચકને બંધારણ લખવામાં મદદ મળે છે.

કાર્બનિક પ્રક્રિયાઓની ક્રિયાવિધિ પ્રક્રિયાર્થીનું બંધારણ, સહસંયોજક બંધનું વિખંડન, હુમલો કરનાર પ્રક્રિયક, ઈલેક્ટ્રોન વિસ્થાપન અસર તથા પ્રક્રિયાની પરિસ્થિતિઓ પર આધારિત હોય છે. આ કાર્બનિક પ્રક્રિયાઓમાં બંધવિખંડન તથા બંધનિર્માણ થાય છે. સહસંયોજકબંધનું વિખંડન **વિષમ વિભાજન** અને **સમવિભાજન** રીતે થાય છે. વિષમવિભાજનથી **કાર્બોકેટાયન** અથવા **કાર્બેનાયન** ઉત્પન્ન થાય છે, જ્યારે સમવિભાજનથી પ્રતિક્રિયાત્મક મધ્યવર્તી તરીકે **મુક્તમુલક** ઉત્પન્ન થાય છે. વિષમ વિભાજન દ્વારા થતી કાર્બનિક પ્રક્રિયાઓમાં ઈલેક્ટ્રોનનું દાન કરનાર **કેન્દ્રાનુરાગી** તથા ઈલેક્ટ્રોનનો સ્વીકાર કરનાર **ઈલેક્ટ્રોન અનુરાગી પ્રક્રિયક** ભાગ લે છે. **પ્રેરક, સસ્પંદન, ઈલેક્ટ્રોમેરિક** અને **અતિસંયુગ્મન અસરો** કાર્બન-કાર્બન અથવા અન્ય પરમાણુસ્થાનોમાં ધ્રુવીયતા ઉત્પન્ન કરવામાં મદદરૂપ થઈ શકે છે, જેનાથી કાર્બન પરમાણુ અથવા અન્ય પરમાણુઓ ઓછા અને વધુ ઈલેક્ટ્રોન ઘનતાવાળા સ્થાન બની જાય છે.

કાર્બનિક પ્રક્રિયાઓના મુખ્ય પ્રકાર - **વિસ્થાપન, યોગશીલ, વિલોપન** અને **પુનર્વિન્યાસ** પ્રક્રિયાઓ છે.

કોઈ પણ કાર્બનિક સંયોજનનું બંધારણ જાણવા માટે તેનું શુદ્ધીકરણ, ગુણાત્મક અને જથ્થાત્મક પૃથક્કરણ કરવામાં આવે છે. શુદ્ધીકરણની વિશિષ્ટ પદ્ધતિઓ જેવી કે ઊર્ધ્વપાતન, નિસ્યંદન અને વિભાગીય નિસ્યંદન સંયોજનોના એક અથવા વધુ ભૌતિક ગુણધર્મોના તફાવત પર આધારિત છે. સંયોજનોના અલગીકરણ, પરખ અને શુદ્ધીકરણ માટે **કોમેટોગ્રાફી** એક અત્યંત ઉપયોગી પદ્ધતિ છે. તેને બે વર્ગમાં વર્ગીકૃત કરવામાં આવે છે : અધિશોષણ અને વિતરણ કોમેટોગ્રાફી. અધિશોષણ કોમેટોગ્રાફી અધિશોષક પર મિશ્રણના ઘટકોના ભિન્ન અધિશોષણ પર આધારિત છે. વિતરણ કોમેટોગ્રાફીમાં મિશ્રણના ઘટકો સ્થિર કલા અને ગતિમાન કલા વચ્ચે સતત વિતરણ પામે છે. સંયોજનને શુદ્ધ સ્વરૂપમાં મેળવ્યા બાદ તેમાં હાજર રહેલા તત્ત્વોની પરખ માટે તેનું ગુણાત્મક પૃથક્કરણ કરવામાં આવે છે. નાઈટ્રોજન, સલ્ફર, હેલોજન અને ફોસ્ફરસ તત્ત્વોની પરખ **લેસાઈન કસોટી** દ્વારા થાય છે. કાર્બન અને હાઈડ્રોજન તત્ત્વોનું પરિમાપન તેઓને અનુક્રમે કાર્બન ડાયોક્સાઈડ અને પાણીમાં રૂપાંતરિત કરીને કરવામાં આવે છે. નાઈટ્રોજનનું પરિમાપન **ડ્યુમા** અથવા **જેલ્ડાહલ** પદ્ધતિ દ્વારા, હેલોજનનું પરિમાપન **કેરિયસ** પદ્ધતિ દ્વારા, સલ્ફર અને ફોસ્ફરસનું પરિમાપન તેઓનું અનુક્રમે સલ્ફ્યુરિક એસિડ અને ફોસ્ફોરિક એસિડમાં ઓક્સિડેશન કરીને કરવામાં આવે છે. ઓક્સિજનના ટકાવાર પ્રમાણનું પરિમાપન કુલ ટકા (100)માંથી અન્ય હાજર તત્ત્વોના ટકાવાર પ્રમાણના સરવાળાને બાદ કરવાથી કરી શકાય છે.

### સ્વાધ્યાય

- 12.1 નીચે દર્શાવેલા સંયોજનોમાંના પ્રત્યેક કાર્બન કઈ સંકરણ અવસ્થા ધરાવે છે ?  
 $\text{CH}_2=\text{C}=\text{O}$ ,  $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$ ,  $(\text{CH}_3)_2\text{CO}$ ,  $\text{CH}_2=\text{CHCN}$ ,  $\text{C}_6\text{H}_6$
- 12.2 નીચે દર્શાવેલા અણુઓમાં  $\sigma$  અને  $\pi$  બંધો દર્શાવો :  
 $\text{C}_6\text{H}_6$ ,  $\text{C}_6\text{H}_{12}$ ,  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ,  $\text{CH}_2=\text{C}=\text{CH}_2$ ,  $\text{CH}_3\text{NO}_2$ ,  $\text{HCONHCH}_3$
- 12.3 બંધરેખા સૂત્રો લખો : આઈસોપ્રોપાઈલ આલ્કોહોલ, 2,3-ડાયમિથાઈલબ્યુટેનાલ, હેપ્ટેન-4-ઓન
- 12.4 નીચે દર્શાવેલા સંયોજનોના IUPAC નામ લખો :
- (a)  (b)  (c) 
- (d)  (e)  (f)  $\text{Cl}_2\text{CHCH}_2\text{OH}$
- 12.5 નીચે દર્શાવેલા પૈકી કયું નામ કાર્બનિક સંયોજન માટે IUPAC પદ્ધતિ મુજબ સાચું છે ?
- (a) 2,2-ડાયમિથાઈલપેન્ટેન અથવા 2-ડાયમિથાઈલપેન્ટેન  
 (b) 2,4,7-ટ્રાયમિથાઈલઓક્ટેન અથવા 2,5,7-ટ્રાયમિથાઈલઓક્ટેન  
 (c) 2-ક્લોરો-4-મિથાઈલપેન્ટેન અથવા 4-ક્લોરો-2-મિથાઈલપેન્ટેન  
 (d) બ્યુટ-3-આઈન-1-ઓલ અથવા બ્યુટ-4-ઓલ-1-આઈન

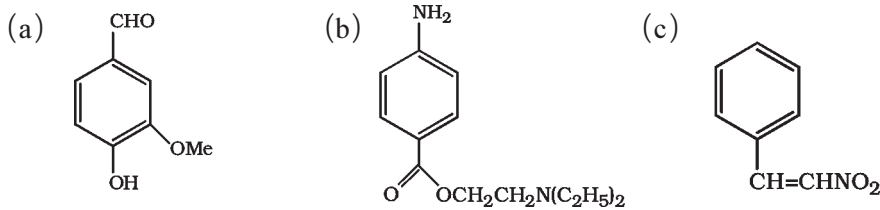
12.6 નીચે જણાવેલા સંયોજનથી શરૂઆત કરી પ્રત્યેકની સમાનધર્મી શ્રેણીના પ્રથમ પાંચ સભ્યોના સૂત્રો દોરો :

(a)  $\text{HCOOH}$  (b)  $\text{CH}_3\text{COCH}_3$  (c)  $\text{H}-\text{CH}=\text{CH}_2$

12.7 નીચે દર્શાવેલા સંયોજનો માટે સંઘનિત અને બંધરેખા બંધારણીય સૂત્રો દોરો અને જો તેમાં કોઈ ક્રિયાશીલ સમૂહ હોય તો તેને ઓળખો :

(a) 2,2,4-ટ્રાયમિથાઈલપેન્ટેન  
(b) 2-હાઈડ્રોક્સિ-1,2,3-પ્રોપેનટ્રાયકાર્બોક્સિલિક એસિડ  
(c) હેક્ઝેનડાયલ

12.8 નીચે દર્શાવેલા સંયોજનોમાં ક્રિયાશીલ સમૂહને ઓળખો :



12.9  $\text{O}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{O}^-$  અથવા  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{O}^-$  પૈકી કોણ વધુ સ્થાયી છે ? શા માટે ?

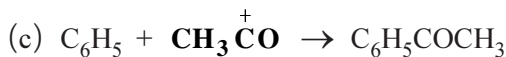
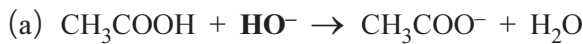
12.10  $\pi$ -પ્રણાલી સાથે જોડાયેલા આલ્કાઈલ સમૂહો શા માટે ઇલેક્ટ્રોન દાતા તરીકે વર્તે છે ? સમજાવો.

12.11 નીચે દર્શાવેલા સંયોજનોના સસ્પંદન બંધારણો દોરો, તેમાંના ઇલેક્ટ્રોન સ્થાનાંતરને વકતીર વડે દર્શાવો.

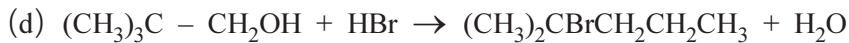
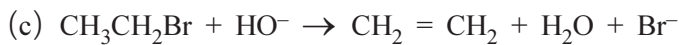
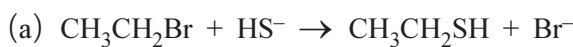
(a)  $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$  (b)  $\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$  (c)  $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CHCHO}$  (d)  $\text{C}_6\text{H}_5-\text{CHO}$   
(e)  $\text{C}_6\text{H}_5-\overset{+}{\text{C}}\text{H}_2$  (f)  $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}\overset{+}{\text{C}}\text{H}_2$

12.12 ઇલેક્ટ્રોન અનુરાગી પ્રક્રિયક અને કેન્દ્રાનુરાગી પ્રક્રિયક એટલે શું ? ઉદાહરણ સહિત સમજાવો.

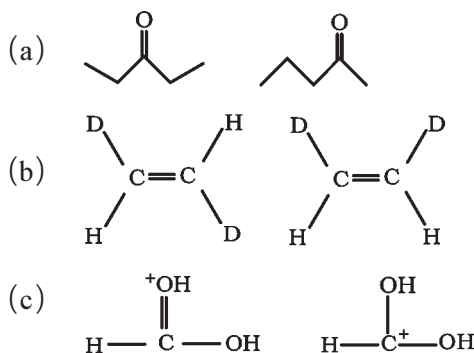
12.13 નીચે દર્શાવેલા સમીકરણોમાં ઘટા અક્ષરે લખાયેલા પ્રક્રિયકોને કેન્દ્રાનુરાગી પ્રક્રિયક અથવા ઇલેક્ટ્રોન અનુરાગી પ્રક્રિયક તરીકે ઓળખી બતાવો :



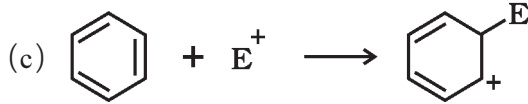
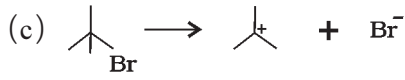
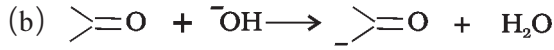
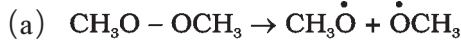
12.14 નીચે દર્શાવેલી પ્રક્રિયાઓને તમે આ એકમમાં અભ્યાસ કર્યો હોય તેવી પ્રક્રિયાઓમાં વર્ગીકૃત કરો :



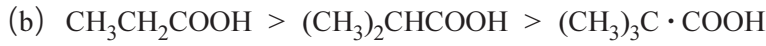
12.15 નીચે દર્શાવેલા બંધારણોની જોડીના સભ્યો વચ્ચે શું સંબંધ છે ? તેઓ બંધારણીય સમઘટકો છે કે ભૌમિતિક સમઘટકો છે કે સસ્પંદન બંધારણો છે ?



12.16 નીચે દર્શાવ્યા મુજબના બંધના ખંડન માટે ઇલેક્ટ્રોન સ્થાનાંતરને વકતીર વડે દર્શાવો તથા પ્રત્યેકને સમવિભાજન અથવા વિષમવિભાજનમાં વર્ગીકૃત કરી બનતા પ્રતિક્રિયાત્મક મધ્યવર્તીને મુક્તમૂલક, કાર્બોકેટાયન કે કાર્બનાયન તરીકે ઓળખો.



12.17 પ્રેરક અસર અને ઇલેક્ટ્રોમેરિક અસર શબ્દોને વ્યાખ્યાયિત કરો. કઈ ઇલેક્ટ્રોન વિસ્થાપન અસર, નીચે દર્શાવેલા કાર્બોક્સિલિક એસિડની એસિડિકતાનો સાચો ક્રમ સમજાવી શકે છે ?



12.18 નીચે દર્શાવેલી પદ્ધતિઓના સિદ્ધાંતોને એક-એક ઉદાહરણ આપીને ટૂંકમાં વર્ણવો :

(a) સ્ફટિકિકરણ (b) નિસ્યંદન (c) કોમેટોગ્રાફી

12.19 જે બે સંયોજનોની દ્રાવ્યતા દ્રાવક Sમાં બિન્ન હોય તેમના અલગીકરણ માટેની પદ્ધતિનું વર્ણન કરો.

12.20 નિસ્યંદન, નીચા દબાણે નિસ્યંદન અને વરાળ નિસ્યંદન વચ્ચેનો તફાવત જણાવો.

12.21 લેસાઈન કસોટીનું રસાયણવિજ્ઞાન ચર્ચો.

12.22 કાર્બનિક સંયોજનમાં રહેલા નાઈટ્રોજન તત્વના પરિમાપન માટેની (i) ડ્યૂમા પદ્ધતિ (ii) જેલ્ડાહલ પદ્ધતિના સિદ્ધાંતો વચ્ચેનો ભેદ સ્પષ્ટ કરો.

12.23 કાર્બનિક સંયોજનમાં રહેલા હેલોજન, સલ્ફર અને ફોસ્ફરસ તત્વોના પરિમાપન માટેની પદ્ધતિના સિદ્ધાંતની ચર્ચા કરો.

12.24 પેપર કોમેટોગ્રાફીના સિદ્ધાંતને સમજાવો.

12.25 હેલોજનની કસોટીમાં સોડિયમ પીગલન નિષ્કર્ષમાં સિલ્વર નાઈટ્રેટની અગાઉ શા માટે નાઈટ્રિક એસિડ ઉમેરવામાં આવે છે ?

12.26 નાઈટ્રોજન, સલ્ફર અને હેલોજનની પરખ માટે કાર્બનિક પદાર્થનું સોડિયમ ધાતુ સાથે પીગલન કરવાનું કારણ સમજાવો.

12.27 કેલ્શિયમ સલ્ફેટ અને કપૂરના (camphor) મિશ્રણના અલગીકરણ માટે યોગ્ય પદ્ધતિનું નામ જણાવો.

12.28 વરાળ નિસ્યંદન દરમિયાન કાર્બનિક પ્રવાહી તેના ઉત્કલનબિંદુથી નીચા તાપમાને શા માટે ઉકળે છે ? સમજાવો.

12.29 શું  $\text{CCl}_4$  ને સિલ્વર નાઈટ્રેટની સાથે ગરમ કરવાથી  $\text{AgCl}$  ના સફેદ અવક્ષેપ મળશે ? તમારા ઉત્તરના કારણો આપો.

12.30 કાર્બનિક સંયોજનમાં રહેલા કાર્બનના પરિમાપન દરમિયાન ઉત્પન્ન થતા કાર્બન ડાયોક્સાઈડ વાયુને શા માટે પોટેશિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડના દ્રાવણમાં શોષવામાં આવે છે ?

12.31 સલ્ફરની પરખ માટેની લેડ એસિટેટ કસોટી દરમિયાન સોડિયમ પીગલન નિષ્કર્ષને એસિડિક બનાવવા માટે સલ્ફ્યુરિક એસિડનો ઉપયોગ ન કરતાં એસિટિક એસિડનો ઉપયોગ શા માટે કરવામાં આવે છે ?

- 12.32 એક કાર્બનિક સંયોજનમાં 69 % કાર્બન અને 4.8 % હાઈડ્રોજન અને બાકીનો ઓક્સિજન છે. આ સંયોજનના 0.20 g નું સંપૂર્ણ દહન થઈને ઉત્પન્ન થતાં કાર્બન ડાયોક્સાઈડ અને પાણીના દળની ગણતરી કરો.
- 12.33 0.50 g કાર્બનિક પદાર્થનું જેલડાહલ પદ્ધતિથી પરિમાપન કરતાં ઉત્પન્ન થતાં એમોનિયા વાયુને 50 mL 0.5 M  $\text{H}_2\text{SO}_4$  માં શોષવામાં આવ્યો હતો, બાકી રહેલા એસિડના તટસ્થીકરણ માટે 60 mL 0.5 M સોડિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડની જરૂર પડી, તો સંયોજનમાં નાઈટ્રોજનનું ટકાવાર પ્રમાણ શોધો.
- 12.34 ક્લોરિનયુક્ત 0.3780 g કાર્બનિક સંયોજન કેરિયસ પદ્ધતિ દરમિયાન 0.5740 g સિલ્વર ક્લોરાઈડ આપે છે. સંયોજનમાં હાજર રહેલા ક્લોરિનનું ટકાવાર પ્રમાણ ગણો.
- 12.35 કેરિયસ પદ્ધતિ દ્વારા સલ્ફરના પરિમાપન દરમિયાન 0.468 g કાર્બનિક પદાર્થમાંથી 0.668 g બેરિયમ સલ્ફેટ પ્રાપ્ત થયો તો આપેલા સંયોજનમાં સલ્ફરનું ટકાવાર પ્રમાણ શોધો.
- 12.36  $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}\equiv\text{CH}$  સંયોજનમાં  $\text{C}_2-\text{C}_3$  બંધમાં નીચેના પૈકી સંકૃત કક્ષકોની કઈ જોડ સંકળાયેલી છે ?  
 (a)  $sp - sp^2$  (b)  $sp - sp^3$  (c)  $sp^2 - sp^3$  (d)  $sp^3 - sp^3$
- 12.37 કાર્બનિક સંયોજનમાં નાઈટ્રોજનની પરખ માટેની કસોટી દરમિયાન ઉત્પન્ન થતાં પ્રુસિયન બ્લુ રંગ નીચેના પૈકી કોના કારણે હોય છે ?  
 (a)  $\text{Na}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  (b)  $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$  (c)  $\text{Fe}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  (d)  $\text{Fe}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_4$
- 12.38 નીચેના પૈકી કયું કાર્બોકેટાયન વધુ સ્થાયી છે ?  
 (a)  $(\text{CH}_3)_3\text{C} \cdot \text{CH}_2^+$  (b)  $(\text{CH}_3)_3\text{C}^+$  (c)  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2^+$  (d)  $\text{CH}_3\text{CH}^+\text{CH}_2\text{CH}_3$
- 12.39 કાર્બનિક પદાર્થની પરખ, શુદ્ધીકરણ અને અલગીકરણ માટેની સર્વોત્તમ અને આધુનિક પદ્ધતિ એટલે...  
 (a) સ્ફટિકિકરણ (b) નિસ્યંદન (c) ઉર્ધ્વપાતન (d) ક્રોમેટોગ્રાફી
- 12.40  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{I} + \text{KOH}(\text{aq}) \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + \text{KI}$  પ્રક્રિયાને નીચે દર્શાવેલા પૈકી શેમાં વર્ગીકૃત કરી શકાય છે ?  
 (a) ઈલેક્ટ્રોન અનુરાગી વિસ્થાપન (b) કેન્દ્રાનુરાગી વિસ્થાપન (c) વિલોપન (d) યોગશીલ

## હાઈડ્રોકાર્બન (Hydrocarbons)

### હાઈડ્રોકાર્બન ઊર્જાના મુખ્ય સ્રોત છે.

#### હેતુઓ :

આ એકમના અભ્યાસ પછી તમે...

- IUPAC નામકરણ પદ્ધતિ મુજબ હાઈડ્રોકાર્બનના નામ જણાવી શકશો.
- આલ્કેન, આલ્કીન, આલ્કાઈનના સમઘટકોની ઓળખ કરી શકશો અને તેમના બંધારણો લખી શકશો.
- હાઈડ્રોકાર્બનની બનાવટ માટેની વિવિધ પદ્ધતિઓ વિષે શીખશો.
- ભૌતિક અને રાસાયણિક ગુણધર્મોના આધારે આલ્કેન, આલ્કીન, આલ્કાઈન અને એરોમેટિક હાઈડ્રોકાર્બન વચ્ચેના ભેદ સમજી શકશો.
- ઈથેનના વિવિધ સંરૂપોને દોરી શકશો અને તેમની વચ્ચેનો તફાવત સમજી શકશો.
- હાઈડ્રોકાર્બનની ઊર્જાસ્રોત તરીકેની ભૂમિકા તથા ઔદ્યોગિક ઉપયોગિતાની નોંધ લઈ શકશો.
- ઈલેક્ટ્રોનીય ક્રિયાવિધિના આધારે અસમમિત આલ્કીન અને આલ્કાઈન સંયોજનોની યોગશીલ નીપજ બનવાનું અનુમાન કરી શકશો.
- બેન્ઝિનનું બંધારણ વર્ણવી શકશો, એરોમેટિકતા સમજાવી શકશો અને ઈલેક્ટ્રોન અનુરાગી વિસ્થાપન પ્રક્રિયાની ક્રિયાવિધિ સમજી શકશો.
- એક વિસ્થાપિત બેન્ઝિન વલયમાં વિસ્થાપક સમૂહોની સ્થાન નિર્દેશક અસરનું અનુમાન કરી શકશો.
- કેન્સરજન્યતા અને વિષાલુતા અંગે શીખશો.

હાઈડ્રોકાર્બન શબ્દ સ્વયં સ્પષ્ટ છે, જેનો અર્થ માત્ર કાર્બન અને હાઈડ્રોજનના સંયોજનો એમ થાય છે. આપણા રોજિંદા જીવનમાં હાઈડ્રોકાર્બન મહત્વની ભૂમિકા ભજવે છે. તમે LPG અને CNG જેવા સંક્ષિપ્ત શબ્દોથી પરિચિત હશો, જેને ઈંધણ તરીકે ઉપયોગમાં લેવામાં આવે છે. LPG પ્રવાહીકૃત પેટ્રોલિયમ વાયુનું (Liquified Petroleum Gas) ટૂંકું રૂપ છે, જ્યારે CNG સંકોચિત કુદરતી વાયુનું (Compressed Natural Gas) ટૂંકું રૂપ છે. હાલમાં બીજો સંક્ષિપ્ત શબ્દ LNG (Liquified Natural Gas) પ્રવાહીકૃત કુદરતી વાયુ માટે પ્રચલિત છે. આ પણ ઈંધણ છે, જે કુદરતી વાયુના પ્રવાહીકરણથી પ્રાપ્ત થાય છે. પેટ્રોલિયમ પૃથ્વીના પોપડાની નીચેથી મળે છે, જેનું વિભાગીય નિસ્સંદન કરતા પેટ્રોલ, ડીઝલ તથા કેરોસીન પ્રાપ્ત થાય છે. કોલગેસ કોલસાના વિચ્છેદક નિસ્સંદનથી (destructive distillation) પ્રાપ્ત થાય છે. કુદરતી વાયુ, તેલના કૂવાઓના ખોદાણ દરમિયાન ઉપરના સ્તરમાંથી મળે છે. સંકોચિત કરેલા વાયુને સંકોચિત કુદરતી વાયુ કહે છે. LPGનો ઉપયોગ ઘરેલું ઈંધણ તરીકે થાય છે, જે સૌથી ઓછું પ્રદૂષણ કરનાર વાયુ છે. કેરોસીનનો ઉપયોગ પણ ઘરેલું ઈંધણ તરીકે થાય છે પણ તેનાથી થોડુંક પ્રદૂષણ થાય છે. સ્વયંસંચાલિત (Automobile) વાહનોના ઈંધણ માટે પેટ્રોલ, ડીઝલ તથા CNG જરૂરી બને છે. પેટ્રોલ અને CNGથી ચાલતા વાહનોથી પ્રદૂષણ ઓછું થાય છે. આ બધા ઈંધણ હાઈડ્રોકાર્બનના મિશ્રણ હોય છે, જે ઊર્જાના સ્રોત છે. હાઈડ્રોકાર્બનનો ઉપયોગ પોલિથીન, પોલિપ્રોપીન, પોલિસ્ટાયરિન વગેરે પોલિમરના ઉત્પાદનમાં થાય છે. ઊંચા આણ્વીયદળ ધરાવતા હાઈડ્રોકાર્બનનો ઉપયોગ રંગમાં દ્રાવક તરીકે તથા ઘણા રંગકો અને ઔષધોના ઉત્પાદનમાં પ્રારંભિક પદાર્થ તરીકે કરવામાં આવે છે. આમ તમે તમારા રોજિંદા જીવનમાં હાઈડ્રોકાર્બનનું મહત્વ સારી રીતે સમજી શકો છો. આ એકમમાં તમે હાઈડ્રોકાર્બન વિષે વધુ શીખશો.

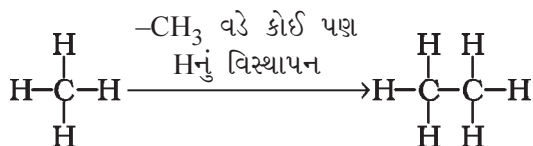
### 13.1 વર્ગીકરણ (Classification)

હાઈડ્રોકાર્બન વિભિન્ન પ્રકારના હોય છે. તેઓમાં રહેલા કાર્બન-કાર્બન બંધના પ્રકારના આધારે તેઓનું મુખ્યત્વે ત્રણ વર્ગમાં વર્ગીકરણ કરવામાં આવ્યું છે : (i) સંતૃપ્ત (ii) અસંતૃપ્ત (iii) એરોમેટિક હાઈડ્રોકાર્બન. સંતૃપ્ત

હાઇડ્રોકાર્બનમાં કાર્બન-કાર્બન અને કાર્બન-હાઇડ્રોજન એકલબંધ હોય છે. જો જુદા-જુદા કાર્બન પરમાણુઓ એકબીજા સાથે એકલબંધથી જોડાઈને સરળ શૃંખલા બનાવે તો તેને આલ્કેન કહે છે, જે તમે એકમ 12માં શીખ્યા છો. બીજી તરફ જો કાર્બન પરમાણુઓ બંધ શૃંખલા કે વલય બનાવે તો તેને ચક્રિય આલ્કેન (સાયક્લોઆલ્કેન) કહે છે. અસંતૃપ્ત હાઇડ્રોકાર્બનમાં કાર્બન-કાર્બન બહુબંધો જેવા કે દ્વિબંધ, ત્રિબંધ અથવા બંને બંધો રહેલા હોય છે. ઍરોમેટિક હાઇડ્રોકાર્બન ચક્રિય સંયોજનોનો એક વિશિષ્ટ પ્રકાર છે. તમે કાર્બનની ચતુર્સંયોજકતા તથા હાઇડ્રોજનની એકલ સંયોજકતાને ધ્યાનમાં રાખી આવા અણુઓના બંને પ્રકારના (સરળ શૃંખલા અને બંધ શૃંખલા) અનેક અણુ મોડેલ બનાવી શકો છો. આલ્કેનના મોડેલ બનાવવા માટે તમે બંધ તરીકે ટૂથપિક (દાંતખોતરણી) તથા પરમાણુઓ માટે પ્લાસ્ટિકના દડાનો ઉપયોગ કરી શકો છો. આલ્કીન, આલ્કાઈન અને ઍરોમેટિક હાઇડ્રોકાર્બન માટે સ્પ્રિંગ મોડેલ પણ બનાવી શકાય છે.

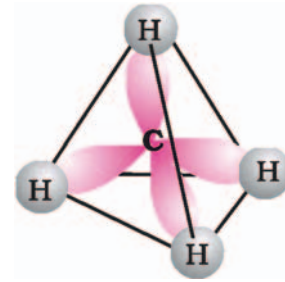
### 13.2 આલ્કેન સંયોજનો (Alkanes)

અગાઉ જણાવ્યું છે તે મુજબ આલ્કેન સંયોજનો કાર્બન-કાર્બન એકલબંધ ધરાવતા સંતૃપ્ત મુક્ત શૃંખલાવાળા હાઇડ્રોકાર્બન સંયોજનો છે. મિથેન ( $\text{CH}_4$ ) આ પરિવારનો પ્રથમ સભ્ય છે. મિથેન એક વાયુ છે, જે કોલસાની ખાણ તથા પંકિલ ભૂમિમાં (marshy places) મળી આવે છે. જો તમે મિથેનના એક હાઇડ્રોજન પરમાણુનું વિસ્થાપન કાર્બન પરમાણુ દ્વારા કરી, હાઇડ્રોજન પરમાણુની આવશ્યક સંખ્યા જોડીને જોડાયેલ બીજા કાર્બનની ચતુર્સંયોજકતાને સંતોષો તો તમને શું પ્રાપ્ત થશે ? તમને  $\text{C}_2\text{H}_6$  અણુ પ્રાપ્ત થશે. આ હાઇડ્રોકાર્બન કે જેનું આણ્વીય સૂત્ર  $\text{C}_2\text{H}_6$  છે તે ઈથેન કહેવાય છે. આમ તમે  $\text{CH}_4$ ના એક હાઇડ્રોજન પરમાણુનું વિસ્થાપન  $-\text{CH}_3$  સમૂહ દ્વારા કરી  $\text{C}_2\text{H}_6$  મેળવી શકો છો. આ પ્રમાણે તમે હાઇડ્રોજનને મિથાઈલ સમૂહ દ્વારા વિસ્થાપિત કરીને અન્ય કેટલાક આલ્કેન બનાવી શકો છો. આ રીતે મળતાં અણુઓ  $\text{C}_3\text{H}_8$ ,  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ... વગેરે હશે.



આ હાઇડ્રોકાર્બન સામાન્ય પરિસ્થિતિઓમાં નિષ્ક્રિય હોય છે. કારણ કે તે ઍસિડ, બેઈઝ અને અન્ય પ્રક્રિયકો સાથે કોઈ પ્રક્રિયા કરતો નથી. તેથી શરૂઆતમાં તેઓને પેરાફિન (લેટિન શબ્દો : Purum - થોડું, affinis - ક્રિયાશીલ) કહેવાતું હતું. શું તમે આલ્કેન પરિવાર અથવા સમાનધર્મી શ્રેણીના સામાન્ય

સૂત્ર વિષે અનુમાન કરી શકો છો ? આલ્કેનનું સામાન્ય સૂત્ર  $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$  છે, જ્યાં n કાર્બન પરમાણુઓની સંખ્યા તથા  $2n + 2$  હાઇડ્રોજન પરમાણુની સંખ્યા દર્શાવે છે. શું તમે મિથેન અણુના બંધારણને યાદ કરી શકો છો ? VSEPR સિદ્ધાંત (એકમ 4) મુજબ મિથેનનું બંધારણ સમચતુષ્ફલકીય હોય છે, જે બહુસમતલીય (multiplanar) છે, જેમાં કાર્બન પરમાણુ કેન્દ્રમાં અને ચાર હાઇડ્રોજન પરમાણુઓ સમતચુષ્ફલકના ચાર ખૂણા પર ગોઠવાયેલા હોય છે. આ પ્રમાણે બધા H-C-H બંધકોણ  $109.5^\circ$ ના હોય છે.

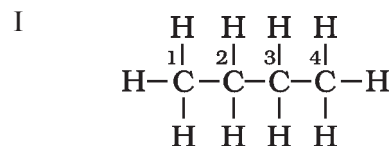


આકૃતિ 13.1 મિથેનનું બંધારણ

આલ્કેન સંયોજનોમાં સમચતુષ્ફલક રચના એકબીજા સાથે જોડાયેલા રહે છે, જેમાં C-C અને C-H બંધલંબાઈ 154 pm અને 112 pm હોય છે (એકમ 12). તમે અગાઉ શીખી ચૂક્યા છો કે C-C અને C-H  $\sigma$  બંધનું નિર્માણ કાર્બન પરમાણુની  $sp^3$  સંકૃત કક્ષક તથા હાઇડ્રોજન પરમાણુઓની 1s કક્ષકોનું સમ્મુખ (બંધ રેખા પર) સંમિશ્રણ થવાથી થાય છે.

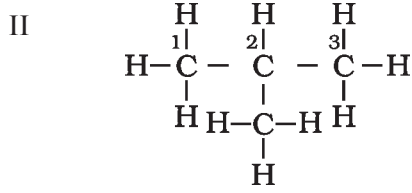
#### 13.2.1 નામકરણ અને સમઘટકતા (Nomenclature and Isomerism)

તમે એકમ 12માં કાર્બનિક સંયોજનોના જુદા જુદા વર્ગોના નામકરણ અંગે અભ્યાસ કરી ચૂક્યા છો. આલ્કેનનું નામકરણ અને સમઘટકતાને કેટલાક વધુ ઉદાહરણો દ્વારા વિશેષ સમજ શકાય છે. સામાન્ય નામ કૌંસમાં આપવામાં આવેલું છે. પ્રથમ ત્રણ સભ્યો મિથેન, ઈથેન અને પ્રોપેનમાં માત્ર એક જ બંધારણ જોવા મળે છે, જ્યારે ઉચ્ચતર આલ્કેન સંયોજનોમાં એક કરતા વધુ બંધારણો જોવા મળે છે. ચાલો આપણે  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ના બંધારણો લખીએ.  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ માં ચાર કાર્બન પરમાણુઓ સરળ શૃંખલામાં અથવા શાખિત શૃંખલામાં નીચે દર્શાવ્યા મુજબ બે રીતે જોડાયેલા હોય છે.



બ્યુટેન (n-બ્યુટેન), (ઉ.બિં. 273 K)

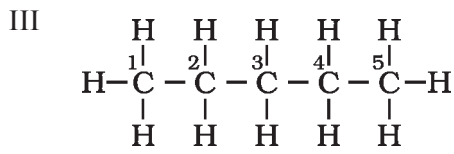




2-મિથાઈલપ્રોપેન (આઈસોબ્યુટેન)

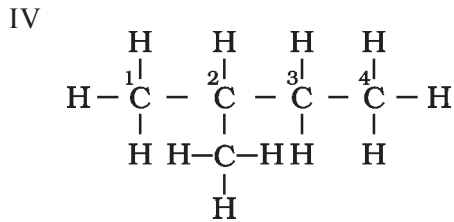
(ઉ.બિં. 261 K)

તમે  $\text{C}_5\text{H}_{12}$ માં રહેલા પાંચ કાર્બન પરમાણુઓ અને બાર હાઈડ્રોજન પરમાણુઓને કેટલી રીતે જોડી શકો છો ? તેઓને બંધારણો III-Vમાં દર્શાવ્યા મુજબ ત્રણ રીતે ગોઠવી શકાય છે.



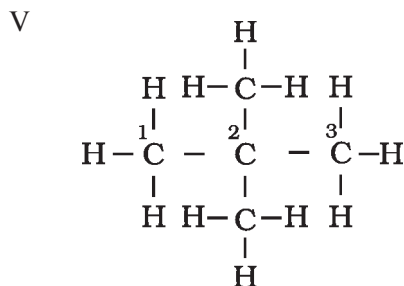
પેન્ટેન (n-પેન્ટેન)

(ઉ.બિં. 309 K)



2-મિથાઈલબ્યુટેન (આઈસોપેન્ટેન)

(ઉ.બિં. 301 K)



2,2-ડાયમિથાઈલપ્રોપેન (નિયોપેન્ટેન)

(ઉ.બિં. 282.5 K)

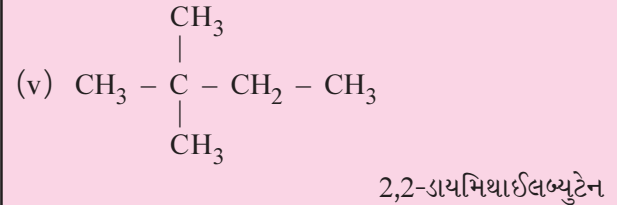
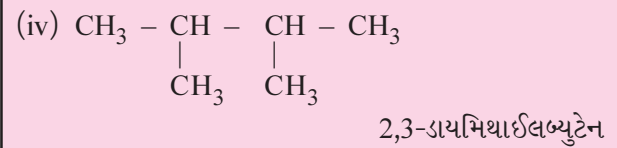
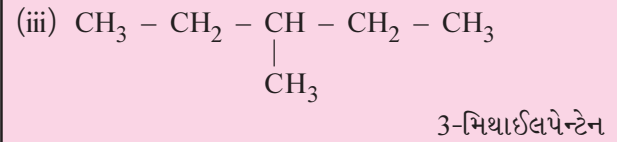
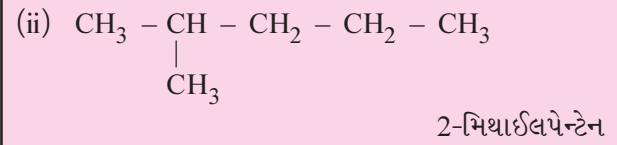
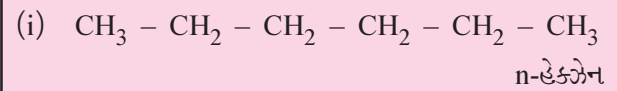
બંધારણો I અને II સમાન આણ્વીય સૂત્રો ધરાવે છે, પણ તેઓના ઉત્કલનબિંદુ અને અન્ય ગુણધર્મો જુદા જુદા છે. તેવી જ રીતે બંધારણો III, IV અને V સમાન આણ્વીય સૂત્રો ધરાવે છે, પણ તેઓના ગુણધર્મો જુદા જુદા છે. બંધારણો I અને II બ્યુટેનના સમઘટકો છે, જ્યારે બંધારણો III, IV અને V પેન્ટેનના સમઘટકો છે. તેઓના ગુણધર્મોમાં જોવા મળતો તફાવત તેઓના બંધારણોમાં જોવા મળતા તફાવતને કારણે છે. આથી તેઓને **બંધારણીય સમઘટકો** (structural isomers) કહે છે. વધુમાં બંધારણ I અને III સરળ શૃંખલાવાળું બંધારણ

ધરાવે છે. જ્યારે બંધારણ II, IV અને V શાખિત શૃંખલાવાળા બંધારણો ધરાવે છે. આમ, એવા બંધારણીય સમઘટકો કે જેઓ કાર્બન પરમાણુની શૃંખલાને કારણે જુદા પડે છે, તેઓને **શૃંખલા સમઘટકો** (chain isomers) કહેવાય છે. આમ, તમે જોયું કે  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  અને  $\text{C}_5\text{H}_{12}$  અનુક્રમે બે અને ત્રણ શૃંખલા સમઘટકો ધરાવે છે.

**કોયડો 13.1**

આણ્વીય સૂત્ર  $\text{C}_6\text{H}_{14}$  વાળા અણુના વિભિન્ન શૃંખલા સમઘટકો લખો તથા તેઓના IUPAC નામ પણ લખો.

ઉકેલ :



કાર્બન પરમાણુ સાથે જોડાયેલા અન્ય કાર્બન પરમાણુઓની સંખ્યાના આધારે કાર્બન પરમાણુઓને પ્રાથમિક ( $1^\circ$ ), દ્વિતીયક ( $2^\circ$ ), તૃતીયક ( $3^\circ$ ) અને ચતુર્થક ( $4^\circ$ ) કાર્બન પરમાણુ કહે છે. મિથેનમાં જેમ એક કાર્બન પરમાણુ સાથે અન્ય કોઈ કાર્બન પરમાણુ જોડાયેલો નથી તેવા કાર્બનને અથવા ઈથેનમાં જેમ એક કાર્બન પરમાણુ સાથે અન્ય એક કાર્બન પરમાણુ જોડાયેલો છે તેવા કાર્બનને પ્રાથમિક કાર્બન કહે છે. અંતિમ છેડે રહેલા કાર્બન પરમાણુ હંમેશાં પ્રાથમિક પ્રકારના હોય છે. જે કાર્બન પરમાણુ અન્ય બે કાર્બન પરમાણુઓ સાથે જોડાયેલો હોય તેને દ્વિતીયક કાર્બન કહે છે. તૃતીયક કાર્બન ત્રણ કાર્બન પરમાણુઓ સાથે તથા નિયો અથવા ચતુર્થક કાર્બન અન્ય ચાર કાર્બન પરમાણુઓ સાથે જોડાયેલા હોય છે. શું તમે બંધારણ I થી V માં  $1^\circ$ ,  $2^\circ$ ,  $3^\circ$  અને  $4^\circ$  કાર્બન પરમાણુઓને ઓળખી શકશો ? જો તમે ઉચ્ચતર આલ્કેનના બંધારણો બનાવતા રહેશો

તો કેટલાય પ્રકારના સમઘટકો મળશે.  $C_6H_{14}$ ના પાંચ,  $C_7H_{16}$ ના નવ અને  $C_{10}H_{22}$ ના પંચોતેર સમઘટકો શક્ય છે.

બંધારણો II, IV અને Vમાં તમે જોયું કે  $-CH_3$  સમૂહ બીજા કાર્બન સાથે જોડાયેલો છે. આલ્કેનના કાર્બન પરમાણુઓ અથવા અન્ય વર્ગોના સંયોજનોમાં  $-CH_3$ ,  $-C_2H_5$ ,  $-C_3H_7$  જેવા સમૂહોને આલ્કાઈલ સમૂહ કહેવાય છે. કારણ કે તેઓને

આલ્કેનના હાઈડ્રોજન પરમાણુના વિસ્થાપન દ્વારા પ્રાપ્ત કરી શકાય છે. આલ્કાઈલ સમૂહનું સામાન્ય સૂત્ર  $C_nH_{2n+1}$  (એકમ 12) છે.

ચાલો આપણે અગાઉ એકમ 12માં ચર્ચેલા નામકરણના સામાન્ય નિયમોને યાદ કરીએ. વિસ્થાપિત આલ્કેનના નામકરણને નીચેના કોયડાને ધ્યાને લઈને સમજી શકીશું.

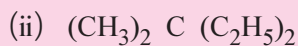
કોયડો 13.2	
<p><math>C_5H_{11}</math> આણ્વીય સૂત્રવાળા આલ્કાઈલ સમૂહના વિવિધ સમઘટકોના બંધારણો લખો તથા વિભિન્ન કાર્બન શૃંખલા પર <math>-OH</math> સમૂહ જોડાવાથી બનતા આલ્કોહોલના IUPAC નામ જણાવો.</p> <p>ઉકેલ :</p>	
$C_5H_{11}$ સમૂહના બંધારણો	અનુવર્તી આલ્કોહોલ
(i) $CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_2 -$	$CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - OH$ પેન્ટેન-1-ઓલ
(ii) $CH_3 - CH - CH_2 - CH_2 - CH_3$   OH	$CH_3 - CH - CH_2 - CH_2 - CH_3$   OH પેન્ટેન-2-ઓલ
(iii) $CH_3 - CH_2 - CH - CH_2 - CH_3$   OH	$CH_3 - CH_2 - CH - CH_2 - CH_3$   OH પેન્ટેન-3-ઓલ
(iv) $CH_3 - CH - CH_2 - CH_2 -$   CH <sub>3</sub>	$CH_3 - CH - CH_2 - CH_2 - OH$ 3-મિથાઈલબ્યુટેન-1-ઓલ
(v) $CH_3 - CH_2 - CH - CH_2 -$   CH <sub>3</sub>	$CH_3 - CH_2 - CH - CH_2 - OH$ 2-મિથાઈલબ્યુટેન-1-ઓલ
(vi) $CH_3 - C - CH_2 - CH_3$   CH <sub>3</sub>	$CH_3 - C - CH_2 - CH_3$   OH 2-મિથાઈલબ્યુટેન-2-ઓલ
(vii) $CH_3 - C - CH_2 -$   CH <sub>3</sub>	$CH_3 - C - CH_2OH$   CH <sub>3</sub> 2,2-ડાયમિથાઈલપ્રોપેન-1-ઓલ
(viii) $CH_3 - CH - CH - CH_3$         CH <sub>3</sub> OH	$CH_3 - CH - CH - CH_3$         CH <sub>3</sub> OH 3-મિથાઈલબ્યુટેન-2-ઓલ

## કોષ્ટક 13.1 કેટલાક કાર્બનિક સંયોજનોનું નામકરણ

બંધારણ અને IUPAC નામ	નોંધ
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \quad \quad \text{CH}_2-\text{CH}_3 \\   \quad \quad   \\ {}^1\text{CH}_3-{}^2\text{CH}-{}^3\text{CH}_2-{}^4\text{CH}-{}^5\text{CH}_2-{}^6\text{CH}_3 \\ (4\text{-ઇથાઇલ-2-મિથાઇલહેક્ઝેન}) \end{array}$	ન્યૂનતમ સરવાળો અને અંગ્રેજી મૂળાક્ષરોના ક્રમમાં ગોઠવણી
$\begin{array}{c} \quad \quad \quad \text{CH}_2-\text{CH}_3 \\ \quad \quad \quad   \\ {}^8\text{CH}_3-{}^7\text{CH}_2-{}^6\text{CH}_2-{}^5\text{CH}-{}^4\text{CH}-{}^3\text{C}-{}^2\text{CH}_2-{}^1\text{CH}_3 \\ \quad \quad \quad   \quad   \quad   \\ \quad \quad \quad \text{CH} \quad \text{CH}_3 \quad \text{CH}_2-\text{CH}_3 \\ \quad \quad \quad / \quad \backslash \\ \quad \quad \quad \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \end{array}$ <p>(3,3-ડાયઇથાઇલ-5-આઇસોપ્રોપાઇલ-4-મિથાઇલઓક્ટેન)</p>	ન્યૂનતમ સરવાળો અને અંગ્રેજી મૂળાક્ષરોના ક્રમમાં ગોઠવણી
$\begin{array}{c} \text{CH}(\text{CH}_3)_2 \\   \\ {}^1\text{CH}_3-{}^2\text{CH}_2-{}^3\text{CH}_2-{}^4\text{CH}-{}^5\text{CH}-{}^6\text{CH}_2-{}^7\text{CH}_2-{}^8\text{CH}_2-{}^9\text{CH}_2-{}^{10}\text{CH}_3 \\   \\ \text{H}_3\text{C}-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \end{array}$ <p>(5-દ્વિતીયક-બ્યુટાઇલ-4-આઇસોપ્રોપાઇલડેકેન)</p>	અંગ્રેજી મૂળાક્ષરોની ગોઠવણીમાં દ્વિતીયક(secondary)ને ગણતરીમાં નથી લેવાતો, આઇસોપ્રોપાઇલને એક શબ્દ માનવામાં આવે છે.
$\begin{array}{c} {}^1\text{CH}_3-{}^2\text{CH}_2-{}^3\text{CH}_2-{}^4\text{CH}_2-{}^5\text{CH}-{}^6\text{CH}_2-{}^7\text{CH}_2-{}^8\text{CH}_2-{}^9\text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{CH}_3-{}^2\text{C}-\text{CH}_3 \\   \\ {}^3\text{CH}_3 \end{array}$ <p>5-(2,2-ડાયમિથાઇલપ્રોપાઇલ)નોનેન</p>	ઉપશાખામાં વિસ્થાપકોને પુનઃ ક્રમ આપવામાં આવે છે.
$\begin{array}{c} {}^1\text{CH}_3-{}^2\text{CH}_2-{}^3\text{CH}-{}^4\text{CH}_2-{}^5\text{CH}-{}^6\text{CH}_2-{}^7\text{CH}_3 \\   \quad \quad   \\ \text{CH}_2-\text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \end{array}$ <p>3-ઇથાઇલ-5-મિથાઇલહેપ્ટેન</p>	અંગ્રેજી મૂળાક્ષરોના ક્રમમાં અગ્રીમતાક્રમ

## કોયડો 13.3

નીચે દર્શાવેલા સંયોજનોના IUPAC નામ લખો :



(iii) ટેટ્રા-તૃતીયક-બ્યુટાઇલમિથેન

ઉકેલ :

(i) 2,2,4,4-ટેટ્રામિથાઇલપેન્ટેન

(ii) 3,3-ડાયમિથાઇલપેન્ટેન

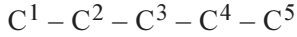
(iii) 3,3-ડાય-તૃતીયક-બ્યુટાઇલ-2,2,4,4-ટેટ્રામિથાઇલપેન્ટેન

જો આપેલા બંધારણ પરથી તેનું સાચું IUPAC નામ લખવું મહત્વપૂર્ણ છે તો આપેલા IUPAC નામ પરથી તેનું સાચું બંધારણ લખવું તેટલું જ મહત્વનું છે. તે માટે સૌપ્રથમ જનક આલેકેનના કાર્બન પરમાણુઓની દીર્ઘતમ શૃંખલાને લખવામાં આવે છે. ત્યારબાદ કાર્બન પરમાણુઓને ક્રમ આપવામાં આવે છે. બાદમાં વિસ્થાપક સમૂહોને યોગ્ય કાર્બન પરમાણુ સાથે જોડવામાં આવે છે અને અંતમાં હાઈડ્રોજન પરમાણુની યોગ્ય સંખ્યા દ્વારા કાર્બન પરમાણુની સંયોજકતાને સંતોષવામાં આવે છે. આ બાબતને 3-ઇથાઇલ-2,2-ડાયમિથાઇલપેન્ટેનના બંધારણીય સૂત્રને નીચે જણાવેલા તબક્કા પ્રમાણે દોરીને સ્પષ્ટ કરી શકાય છે.

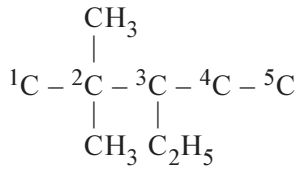
(i) પાંચ કાર્બન પરમાણુઓની શૃંખલા દોરો :



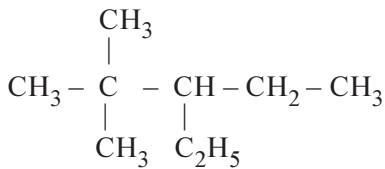
(ii) કાર્બન પરમાણુઓને ક્રમ આપો :



(iii) ત્રીજા કાર્બન પર ઇથાઈલ સમૂહ અને બીજા કાર્બન પર બે મિથાઈલ સમૂહો જોડો :



(iv) પ્રત્યેક કાર્બન પરમાણુની સંયોજકતાને ડાઈડ્રોજન પરમાણુઓની આવશ્યક સંખ્યા વડે સંતોષો :



આમ, આપણે સાચા બંધારણ સુધી પહોંચી જઈએ છીએ. જો તમે આપેલા નામ પરથી બંધારણ લખતા સમજી લીધું હોય તો નીચે દર્શાવેલા કોયડાના ઉકેલ આપો :

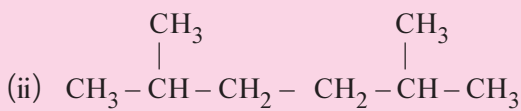
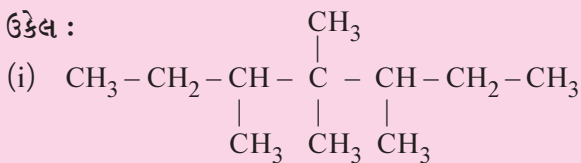
#### કોયડો 13.4

નીચે દર્શાવેલા સંયોજનોના બંધારણીય સૂત્રો લખો :

(i) 3,4,4,5-ટેટ્રામિથાઈલહેક્ઝેન

(ii) 2,5-ડાયમિથાઈલહેક્ઝેન

ઉકેલ :



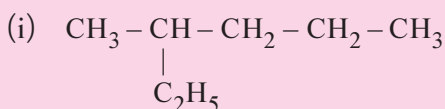
#### કોયડો 13.5

નીચે દર્શાવેલા દરેક સંયોજનના બંધારણ દોરો. લખેલા નામ શા માટે ખોટા છે? સાચા IUPAC નામ લખો.

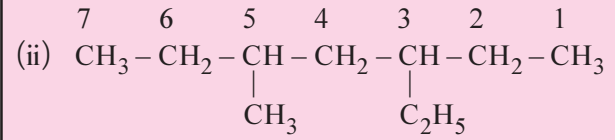
(i) 2-ઇથાઈલપેન્ટેન

(ii) 5-ઇથાઈલ-3-મિથાઈલહેક્ઝેન

ઉકેલ :



આ સંયોજનની દીર્ઘતમ શૃંખલા પાંચ કાર્બન પરમાણુઓની નહિ પણ છ કાર્બન પરમાણુઓની હોવી જોઈએ, તેથી સાચું નામ 3-મિથાઈલહેક્ઝેન છે.



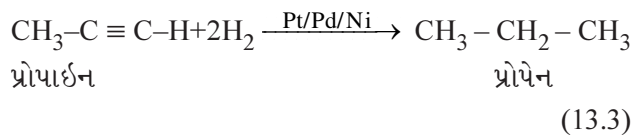
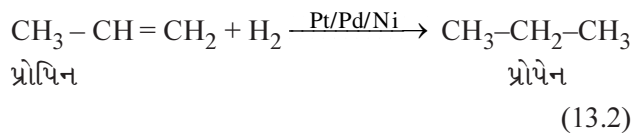
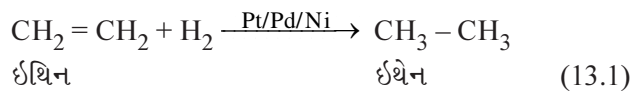
આ સંયોજનમાં કાર્બન પરમાણુઓનો ક્રમ એ છેડેથી શરૂ કરવો જોઈએ કે જે છેડે ઇથાઈલ સમૂહને ક્રમ ઓછો મળે. તેથી સાચું નામ 3-ઇથાઈલ-5-મિથાઈલહેક્ઝેન છે.

### 13.2.2 બનાવટ (Preparation)

આલ્કેનના મુખ્ય સ્ત્રોત પેટ્રોલિયમ અને કુદરતી વાયુઓ છે, તેમ છતાં આલ્કેન સંયોજનોને નીચે દર્શાવેલી પદ્ધતિઓ દ્વારા બનાવી શકાય છે.

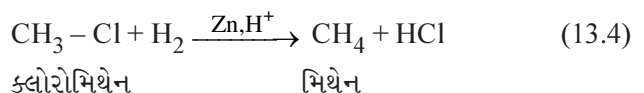
#### 1. અસંતૃપ્ત હાઈડ્રોકાર્બન સંયોજનોમાંથી :

સૂક્ષ્મ વિભાજિત ઉદ્દીપક જેવા કે પ્લેટિનમ, પેલેડિયમ અથવા નિકલની હાજરીમાં આલ્કીન અને આલ્કાઈન સંયોજનોમાં ડાયહાઈડ્રોજન વાયુ ઉમેરાઈને આલ્કેન સંયોજનો બને છે. આ પ્રક્રિયાને હાઈડ્રોજનીકરણ કહે છે. આ ધાતુઓ ડાયહાઈડ્રોજન વાયુને પોતાની સપાટી પર શોષે છે અને હાઈડ્રોજન-હાઈડ્રોજન બંધને સક્રિય કરે છે. પ્લેટિનમ અને પેલેડિયમ ઓરડાના તાપમાને પ્રક્રિયાને ઉદ્દીપિત (catalyse) કરે છે, પરંતુ નિકલ ઉદ્દીપક માટે ઊંચા તાપમાન અને દબાણની જરૂરિયાત રહે છે.



#### 2. આલ્કાઈલ હેલાઈડ સંયોજનોમાંથી :

(i) આલ્કાઈલ હેલાઈડ સંયોજનોનું (ફ્લોરાઈડ સિવાય) ઝિંક અને મંદ હાઈડ્રોક્લોરિક એસિડ વડે રિડક્શન થઈ આલ્કેન સંયોજનો પ્રાપ્ત થાય છે.





પ્રકૃતિ ધરાવે છે તો તેમ સાચા છે. પદાર્થની દ્રાવકમાં દ્રાવ્યતા અંગે સામાન્ય રીતે એવું જોવા મળ્યું છે કે ધ્રુવીય પદાર્થ ધ્રુવીય દ્રાવકમાં અને અધ્રુવીય પદાર્થ અધ્રુવીય દ્રાવકમાં દ્રાવ્ય થાય છે, એટલે કે સમાન સમાનને ઓગાળે છે.

કોષ્ટક 13.2માં વિભિન્ન આલ્કેન સંયોજનોના ઉત્કલનબિંદુ (b.p.) આપવામાં આવ્યા છે. તેના પરથી સ્પષ્ટ થાય છે કે આણ્વીય દળમાં વધારો થવાના સાથે આલ્કેન સંયોજનોના ઉત્કલનબિંદુમાં નિયત વધારો થાય છે. આ તે સત્ય પર આધારિત છે કે આણ્વીય કદ અથવા અણુની સપાટીનું ક્ષેત્રફળ વધવાની સાથે સાથે તેમાં આંતરઆણ્વીય વાનુ ડર વાલ્સ બળ વધે છે.

પેન્ટેનના ત્રણ સમઘટકો (પેન્ટેન, 2-મિથાઈલબ્યુટેન અને 2,2-ડાયમિથાઈલપ્રોપેન)ના ઉત્કલનબિંદુઓનું (કોષ્ટક 13.1) અવલોકન કરવાથી માલૂમ પડે છે કે પાંચ કાર્બન પરમાણુઓવાળી પેન્ટેનની સરળ શૃંખલાનું ઉત્કલનબિંદુ સૌથી ઊંચું (309.1 K), જ્યારે 2,2-ડાયમિથાઈલપ્રોપેન 282.2 K તાપમાને ઉકળે છે. શાખાઓની સંખ્યા વધવાની સાથે સાથે અણુનો આકાર લગભગ ગોળાકાર (spherical) થઈ જાય છે, તેથી આવા અણુની સંપર્ક સપાટીનું ક્ષેત્રફળ નાનું થઈ જાય છે. પરિણામે ગોળાકાર અણુઓ વચ્ચેના નિર્બળ આંતર આણ્વીય બળને કારણે તેઓનું ઉત્કલનબિંદુ નીચું હોય છે.

### રાસાયણિક ગુણધર્મો :

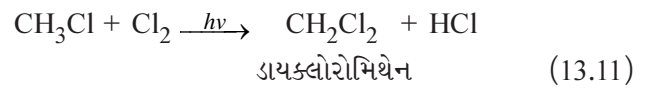
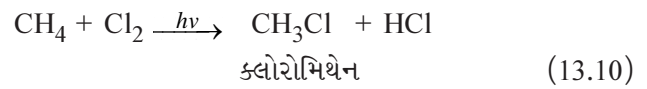
અગાઉ જણાવ્યું છે તેમ આલ્કેન સંયોજનો સામાન્ય રીતે એસિડ, બેઈઝ, ઓક્સિડેશનકર્તા અને રિડક્શનકર્તા પ્રત્યે

નિષ્ક્રિય હોય છે. તેમ છતાં વિશેષ પરિસ્થિતિઓમાં આલ્કેન સંયોજનો નીચે દર્શાવેલી પ્રક્રિયાઓ આપે છે.

### 1. વિસ્થાપન પ્રક્રિયાઓ

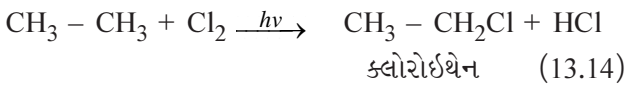
આલ્કેન સંયોજનના એક અથવા વધુ હાઈડ્રોજન પરમાણુઓ હેલોજન, નાઈટ્રોસમૂહ અને સલ્ફોનિક એસિડ સમૂહ વડે વિસ્થાપન પામે છે. હેલોજનેશન ઊંચા તાપમાને (573-773K) કે વિસરિત સૂર્યપ્રકાશ કે પારજાંબલી પ્રકાશની હાજરીમાં થાય છે. નિમ્ન આલ્કેન સંયોજનો (નીચા આણ્વીયદળ-વાળા) નાઈટ્રેશન કે સલ્ફોનેશન પ્રક્રિયા આપતા નથી. આ પ્રક્રિયાઓમાં હાઈડ્રોજન પરમાણુઓનું વિસ્થાપન થાય છે, તેથી તેમને વિસ્થાપન પ્રક્રિયાઓ કહેવામાં આવે છે. મિથેનનું ક્લોરિનેશન ઉદાહરણ સ્વરૂપે નીચે દર્શાવ્યું છે.

### હેલોજનેશન

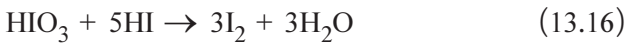


### કોષ્ટક 13.2 આલ્કેન સંયોજનાના ગલનબિંદુ અને ઉત્કલનબિંદુમાં તફાવત

આણ્વીય સૂત્ર	નામ	આણ્વીય દળ/u	ઉ.બિં./(K)	ગ.બિં./(K)
CH <sub>4</sub>	મિથેન	16	111.0	90.5
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	ઈથેન	30	184.4	101.0
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	પ્રોપેન	44	230.9	85.3
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	બ્યુટેન	58	272.4	134.6
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	2-મિથાઈલપ્રોપેન	58	261.0	114.7
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	પેન્ટેન	72	309.1	143.3
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	2-મિથાઈલબ્યુટેન	72	300.9	113.1
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	2,2-ડાયમિથાઈલપ્રોપેન	72	282.5	256.4
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	હેક્ઝેન	86	341.9	178.5
C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	હેપ્ટેન	100	371.4	182.4
C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	ઓક્ટેન	114	398.7	216.2
C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	નોનેન	128	423.8	222.0
C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	ડેકેન	142	447.1	243.3
C <sub>20</sub> H <sub>42</sub>	આઈકોસેન	282	615.0	236.2



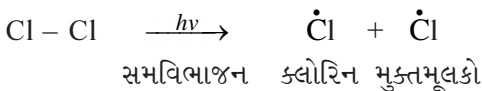
આલ્કેન સંયોજનોની હેલોજન સાથેની પ્રક્રિયાના વેગનો ક્રમ  $\text{F}_2 > \text{Cl}_2 > \text{Br}_2 > \text{I}_2$  છે. આલ્કેન સંયોજનોમાં હાઈડ્રોજન પરમાણુના વિસ્થાપન પ્રક્રિયાના વેગનો ક્રમ  $3^\circ > 2^\circ > 1^\circ$  છે. ફ્લોરિનેશન પ્રક્રિયા પ્રચંડ હોવા છતાં નિયંત્રિત કરી શકાય છે, જ્યારે આયોડિનેશન વધુ ધીમું અને પ્રતિવર્તી હોય છે. આ પ્રક્રિયા  $\text{HIO}_3$  અથવા  $\text{HNO}_3$  જેવા ઓક્સિડેશનકર્તાની હાજરીમાં થાય છે.



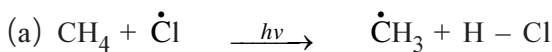
મુક્તમૂલક શૃંખલા પ્રક્રિયા દ્વારા થતા હેલોજનેશનની ક્રિયાવિધિમાં સંકળાયેલા ત્રણ તબક્કાઓ પ્રારંભન (initiation), સંચરણ (propagation) અને સમાપન (termination) નીચે દર્શાવ્યા છે.

### ક્રિયાવિધિ

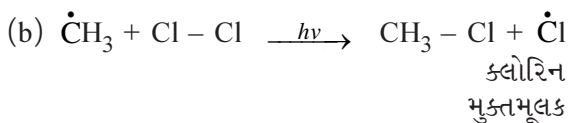
(i) પ્રારંભન : આ પ્રક્રિયા પ્રકાશ અથવા ગરમીની હાજરીમાં ક્લોરિન અણુના સમવિભાજનથી પ્રારંભ થાય છે.  $\text{Cl}-\text{Cl}$  બંધ,  $\text{C}-\text{C}$  અને  $\text{C}-\text{H}$  બંધ કરતાં નિર્બળ છે તેથી તે સરળતાથી તૂટી શકે છે.



(ii) સંચરણ : ક્લોરિન મુક્તમૂલક મિથેન અણુ પર હુમલો કરી,  $\text{C}-\text{H}$  બંધને તોડીને પ્રક્રિયાને પુરોગામી દિશામાં આગળ ધકેલી મિથાઈલ મુક્તમૂલક અને  $\text{H}-\text{Cl}$  બનાવે છે.

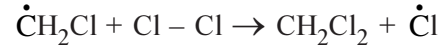
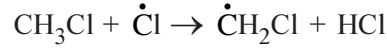


આ મિથાઈલ મુક્તમૂલક બીજા ક્લોરિન અણુ પર હુમલો કરવાથી ક્લોરિન અણુના સમવિભાજનથી બીજો ક્લોરિન મુક્તમૂલક મળે છે અને  $\text{CH}_3 - \text{Cl}$  બને છે.

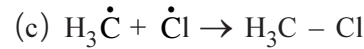
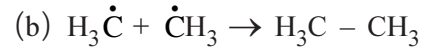
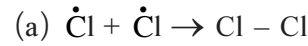


પ્રક્રિયા (a) અને પ્રક્રિયા (b) દરમિયાન અનુક્રમે ઉત્પન્ન થયેલા મિથાઈલ અને ક્લોરિન મુક્તમૂલક પુનઃયોગ્ય સ્થિતિ પ્રાપ્ત કરી શૃંખલા પ્રક્રિયાનો પ્રારંભ કરે છે. સંચરણ તબક્કામાં

પ્રક્રિયા (a) અને (b)થી વધુ પ્રમાણમાં હેલોજનયુક્ત નીપજો નીચે દર્શાવ્યા મુજબ મળે છે :



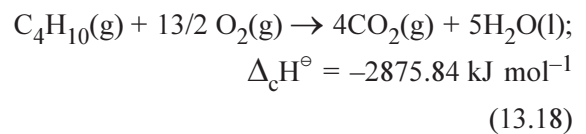
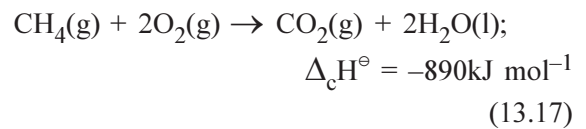
(iii) સમાપન : કેટલાક સમય બાદ પ્રક્રિયક વપરાઈ જવાથી કે નીચે જણાવ્યા મુજબની આડપ્રક્રિયાઓ થવાથી પ્રક્રિયા થંભી જાય છે.



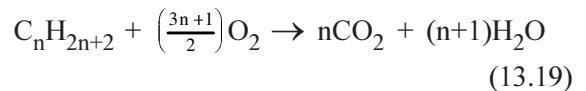
અહીં પ્રક્રિયા (c)માં  $\text{CH}_3 - \text{Cl}$  એક નીપજ મળે છે, પણ મુક્તમૂલકો વપરાઈ જાય છે અને શૃંખલાનું સમાપન થાય છે. ઉપરની ક્રિયાવિધિ આપણને મિથેનના ક્લોરિનેશન દરમિયાન ઉપપેદાશ તરીકે ઈથેન મળવાનું કારણ સમજવામાં મદદરૂપ થાય છે.

### 2. દહન

આલ્કેન વાયુઓને હવા અથવા ડાયઓક્સિજનની હાજરીમાં ગરમ કરવાથી તેઓનું સંપૂર્ણ ઓક્સિડેશન થઈ કાર્બન ડાયોક્સાઈડ અને પાણી બને છે અને સાથે સાથે અધિક માત્રામાં ઉષ્મા ઉત્પન્ન થાય છે.

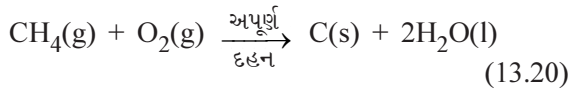


કોઈ પણ આલ્કેનના દહન માટેનું સામાન્ય સૂત્ર :



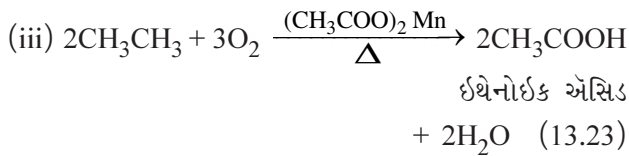
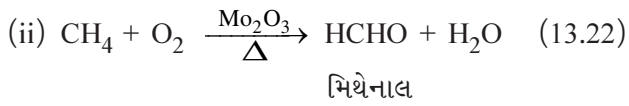
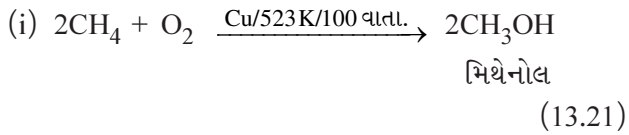
આલ્કેન સંયોજનના દહન દરમિયાન અધિક માત્રામાં ઉષ્મા પેદા થવાના કારણે તેઓનો ઉપયોગ ઈંધણ તરીકે થાય છે.

અપૂરતી હવા અથવા અપૂરતા ડાયઓક્સિજનને કારણે આલ્કેન સંયોજનોનું અપૂર્ણ દહન થાય છે. આ પ્રક્રિયા દરમિયાન કાર્બન બ્લેક નામનો પદાર્થ મળે છે, જેનો ઉપયોગ શાહી, પ્રિન્ટરની શાહી તથા કાળા વર્ણકોના ઉત્પાદનમાં થાય છે. ઉપરાંત કાર્બન બ્લેક કેટલાક સ્થાનોએ પૂરક પદાર્થ (filler) તરીકે ઉપયોગમાં લેવાય છે.

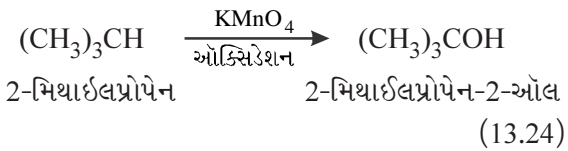


### 3. નિયંત્રિત ઓક્સિડેશન

આલ્કેન સંયોજનોની ઊંચા દબાણે હવા કે ડાયઑક્સિજનના નિયંત્રિત પ્રવાહ સાથે યોગ્ય ઉદ્દીપકની હાજરીમાં પ્રક્રિયા થવાથી વિવિધ પ્રકારની ઓક્સિડેશન નીપજ મળે છે.

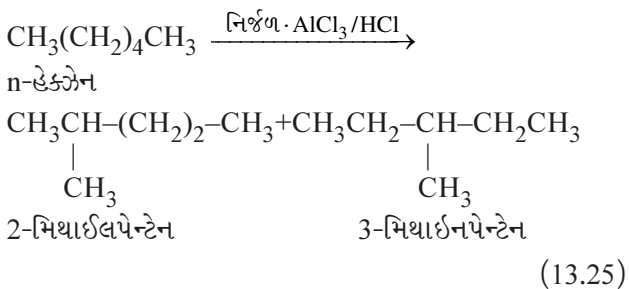


(iv) સામાન્ય રીતે આલ્કેન સંયોજનો ઓક્સિડેશનને અવરોધે છે, પરંતુ તૃતીયક હાઇડ્રોજન પરમાણુવાળા આલ્કેન પોટેશિયમ પરમેંગેનેટ દ્વારા ઓક્સિડેશન પામી અનુવર્તી આલ્કોહોલ બનાવે છે.



### 4. સમઘટકીકરણ

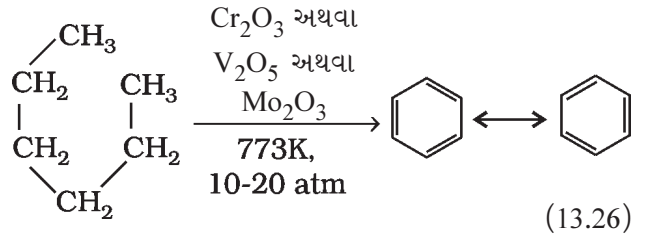
n-આલ્કેન સંયોજનોને નિર્જળ એલ્યુમિનિયમ ક્લોરાઇડ અને હાઇડ્રોજન ક્લોરાઇડ વાયુની હાજરીમાં ગરમ કરતાં તેઓ શાખિત શૃંખલામાં સમઘટકીકૃત થાય છે. મુખ્ય નીપજ નીચે સમીકરણમાં દર્શાવેલી છે. કેટલીક અલ્પ પ્રમાણમાં બનતી નીપજ પણ શક્ય હોય છે, જેના વિશે તમે વિચારી શકો છો. સામાન્ય રીતે કાર્બનિક પ્રક્રિયામાં અલ્પપ્રમાણમાં મળતી નીપજોને દર્શાવવામાં આવતી નથી.



### 5. ઍરોમેટિકીકરણ

છ કે તેથી વધુ કાર્બન પરમાણુવાળા n-આલ્કેન સંયોજનોને એલ્યુમિનાના આધાર પર રહેલા વેનેરિયમ, મોલિબ્ડેનમ અથવા

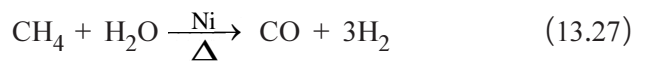
ક્રોમિયમના ઓક્સાઇડ સંયોજનોની હાજરીમાં 773 K તાપમાને અને 10-20 વાતાવરણ દબાણે ગરમ કરવાથી તેઓ વિહાઇડ્રોજનીકૃત (dehydrogenated) થઈને બેન્ઝિન અને તેના સમાનધર્મીઓમાં ચક્રિયકૃત થાય છે. આ પ્રક્રિયાને ઍરોમેટિકીકરણ અથવા પુનર્નિર્માણ (reforming) કહે છે.



ટોલ્યુઇન (C<sub>7</sub>H<sub>8</sub>) બેન્ઝિનની મિથાઇલ વ્યુત્પન્ન છે. તમે ટોલ્યુઇનની બનાવટ માટે કયું આલ્કેન સંયોજન સૂચવો છો ?

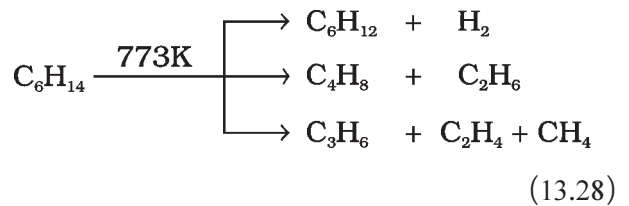
### 6. વરાળ સાથે પ્રક્રિયા

મિથેન 1273 K તાપમાને નિકલ ઉદ્દીપકની હાજરીમાં વરાળ સાથે પ્રક્રિયા કરી કાર્બન મોનોક્સાઇડ અને ડાયહાઇડ્રોજન બનાવે છે. આ પદ્ધતિ ડાયહાઇડ્રોજનના ઔદ્યોગિક ઉત્પાદન માટે ઉપયોગમાં લેવાય છે.

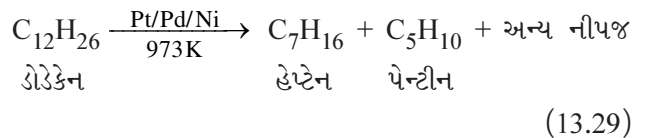


### 7. ઉષ્મીય વિભાજન

ઉચ્ચતર આલ્કેન સંયોજનોને ઊંચા તાપમાને ગરમ કરતાં તેઓ નિમ્નતર આલ્કેન કે આલ્કીન સંયોજનોમાં વિઘટન પામે છે. ઉષ્માના ઉપયોગથી નાના ઘટકોમાં રૂપાંતર પામવાની આ વિઘટન પ્રક્રિયાને ઉષ્મીય વિભાજન (pyrolysis) કે ઉષ્મીય ભંજન કહે છે.



આલ્કેનના ઉષ્મીય વિભાજનને એક મુક્તમૂલક પ્રક્રિયા માનવામાં આવે છે. કેરોસીન તેલ અથવા પેટ્રોલમાંથી તેલ વાયુ (oil gas) અથવા પેટ્રોલ વાયુ (petrol gas) બનાવવાની પ્રક્રિયામાં ઉષ્મીય વિભાજનનો સિદ્ધાંત સમાયેલો છે. દા.ત., ડોડેકેન કે જે કેરોસીન તેલનો ઘટક છે તેને 973 K તાપમાને પ્લેટિનમ, પેલેડિયમ અથવા નિકલ ઉદ્દીપકની હાજરીમાં ગરમ કરવાથી હેપ્ટેન અને પેન્ટીનનું મિશ્રણ મળે છે.





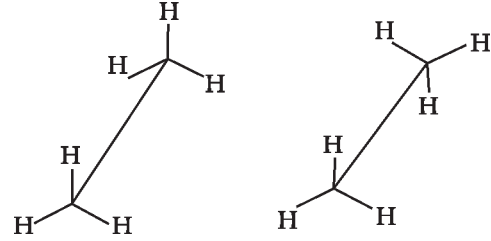
### 13.2.4 સંરૂપણ (Conformation)

આલ્કેન સંયોજનોમાં કાર્બન-કાર્બન સિગ્મા ( $\sigma$ ) બંધો હોય છે. કાર્બન-કાર્બન (C-C) બંધના આંતરકેન્દ્રિય અક્ષની ચારે બાજુ સિગ્મા આણ્વીય કક્ષકનું ઇલેક્ટ્રોન વિતરણ સમમિત હોય છે, કે જે તેના અક્ષની આસપાસ થતા ભ્રમણથી ખલેલ પામતું નથી. તેથી C-C એકલ બંધની આસપાસ મુક્ત ભ્રમણ થાય છે. આ ભ્રમણના પરિણામે અવકાશમાં પરમાણુઓની વિભિન્ન અવકાશીય ગોઠવણીઓ શક્ય બને છે કે જે એકબીજામાં પરિવર્તન પામી શકે છે. પરમાણુઓની આવી અવકાશીય ગોઠવણી કે જે C-C એકલ બંધના ભ્રમણને કારણે એકબીજામાં પરિવર્તન પામી શકે છે. તેને **સંરૂપણ** (conformation) અથવા **સંરૂપણીય સમઘટકો** (conformers) અથવા **ધૂર્ણી** (rotamers) કહેવાય છે. આમ, આલ્કેનમાં C-C એકલ બંધના ભ્રમણના કારણે અસંખ્ય સંરૂપણ શક્ય છે, પરંતુ એ બાબત ધ્યાનમાં રાખવી જોઈએ કે C-C એકલ બંધનું ભ્રમણ સંપૂર્ણ મુક્ત નથી હોતું. આ અવરોધ સંલગ્ન બંધો વચ્ચેના નિર્બળ અપાકર્ષણીય પારસ્પરિક્રિયાને કારણે ઉદ્ભવતા  $1-20 \text{ kJ mol}^{-1}$  ઊર્જા અવરોધના પરિણામે હોય છે. આ પ્રકારની અપાકર્ષણીય આંતરક્રિયાને **મરોડીવિકૃતિ** (torsional strain) કહેવાય છે.

**ઈથેનનું સંરૂપણ :** ઈથેન ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ) અણુમાં કાર્બન-કાર્બન એકલ બંધ હોય છે, જેમાં પ્રત્યેક કાર્બન પરમાણુ પર ત્રણ હાઈડ્રોજન પરમાણુ જોડાયેલા હોય છે. ઈથેનના દડા અને સળી મોડેલને લઈને જો આપણે એક કાર્બનને સ્થિર રાખી બીજા કાર્બન પરમાણુને C-C અક્ષ પર ભ્રમણ કરાવીએ તો એક કાર્બન પરમાણુના હાઈડ્રોજન બીજા કાર્બન પરમાણુના હાઈડ્રોજનના સંદર્ભમાં અસંખ્ય અવકાશીય ગોઠવણી દર્શાવે છે. જેને **સંરૂપણીય સમઘટકો** (conformational isomers) (Conformers) કે સંરૂપો કહે છે. આમ, ઈથેનને અસંખ્ય સંરૂપો હોય છે. જોકે તેમાંથી બે સંરૂપોનો ચરમ (Extreme) કિસ્સામાં સમાવેશ થાય છે. એક સંરૂપમાં બંને કાર્બન પરમાણુ પરના હાઈડ્રોજન પરમાણુઓ એકબીજાની વધુ નજીક થઈ જાય છે, જેને **ગ્રસ્ત** (Eclipsed) સંરૂપણ કહે છે. બીજા સંરૂપમાં હાઈડ્રોજન પરમાણુ બીજા કાર્બન પરમાણુના હાઈડ્રોજન પરમાણુઓથી બહુ દૂર હોય છે, જેને **સાંતરિત** (Staggered) સંરૂપણ કહે છે. આ સિવાયના કોઈ પણ મધ્યવર્તી સંરૂપણ **વિષમતલીય** (Skew) સંરૂપણ કહેવાય છે. અહીં એ બાબત યાદ રહે કે બધા સંરૂપણોમાં બંધ કોણ અને બંધ લંબાઈ સમાન રહે છે. ગ્રસ્ત અને સાંતરિત સંરૂપણોને **સોહોર્સ** (Sawhorse) અને **ન્યુમેન** (Newman) પ્રક્ષેપણ (Projection) દ્વારા દર્શાવી શકાય છે.

### 1. સોહોર્સ પ્રક્ષેપણ :

આ પ્રક્ષેપણમાં અણુને આણ્વીય અક્ષની દિશામાં જોવામાં આવે છે. કાગળ પર મધ્યસ્થ C-C દર્શાવવા માટે લાંબી સીધી લીટી દોરવામાં આવે છે. આ લીટીનો ઉપરનો છેડો સહેજ જમણી કે ડાબી બાજુ તરફ નમેલો હોય છે. આગળના કાર્બનને લીટીના નીચેના છેડે દર્શાવવામાં આવે છે, જ્યારે પાછળના કાર્બનને લીટીના ઉપરના છેડે દર્શાવવામાં આવે છે. દરેક કાર્બનને જોડાયેલા ત્રણ હાઈડ્રોજન પરમાણુઓને ત્રણ લીટી દોરીને દર્શાવી શકાય છે. આ લીટીઓ એકબીજા સાથે  $120^\circ$  નો ખૂણો બનાવીને નમેલી રહે છે. ઈથેનના ગ્રસ્ત અને સાંતરિત સંરૂપણોને સોહોર્સ પ્રક્ષેપણ દ્વારા આકૃતિ 13.2માં દર્શાવ્યા મુજબ રજૂ કરી શકાય છે.

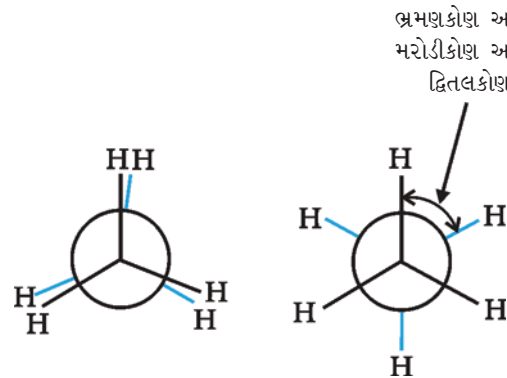


(i) ગ્રસ્ત (Eclipsed) (ii) સાંતરિત (Staggered)

આકૃતિ 13.2 ઈથેનના સોહોર્સ પ્રક્ષેપણો

### 2. ન્યુમેન પ્રક્ષેપણ

આ પ્રક્ષેપણમાં અણુને સામેની તરફથી જોવામાં આવે છે. આંખની નજીકના કાર્બનને એક બિંદુ દ્વારા દર્શાવવામાં આવે છે. આગળના કાર્બન સાથે જોડાયેલા ત્રણ હાઈડ્રોજન પરમાણુઓને એકબીજા સાથે  $120^\circ$ ના ખૂણે રહે તેવી ત્રણ લીટીઓથી દર્શાવવામાં આવે છે. અન્ય કાર્બન પરમાણુને (આંખથી દૂર રહેલો કાર્બન પરમાણુ) વર્તુળ દ્વારા દર્શાવી તેની સાથે જોડાયેલા ત્રણ હાઈડ્રોજન પરમાણુઓને એકબીજા સાથે  $120^\circ$ ના ખૂણે રહે તેવી ત્રણ ટૂંકી લીટીઓથી દર્શાવવામાં આવે છે. ન્યુમેન પ્રક્ષેપણોને આકૃતિ 13.3માં દર્શાવ્યા છે.



(i) ગ્રસ્ત

(ii) સાંતરિત

આકૃતિ 13.3 ઈથેનના ન્યુમેન પ્રક્ષેપણો

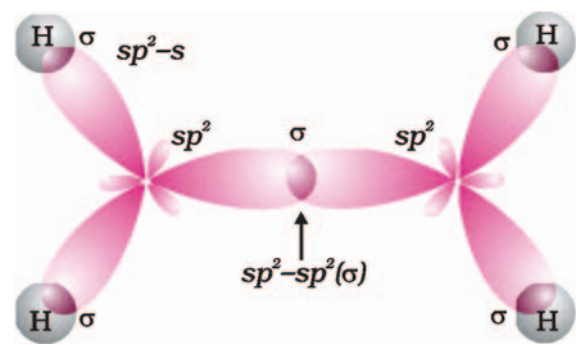
**સંરૂપણોની સાપેક્ષ સ્થાયીતા :** અગાઉ જણાવ્યું છે તે મુજબ ઈથેનના સાંતરિત (સ્ટેગર્ડ) સંરૂપણમાં કાર્બન-હાઇડ્રોજન બંધના ઈલેક્ટ્રોન વાદળ એકબીજાથી મહત્તમ અંતરે હોય છે. તેથી તેમાં ન્યૂનતમ અપાકર્ષણબળ, ન્યૂનતમ ઊર્જા તથા અણુની મહત્તમ સ્થાયીતા હોય છે. બીજી તરફ જ્યારે સાંતરિત સંરૂપણ ગ્રસ્ત (ઇકલિપ્સ) સંરૂપણમાં પરિવર્તન પામે છે ત્યારે કાર્બન-હાઇડ્રોજન બંધનું ઈલેક્ટ્રોન વાદળ એકબીજાની એટલા નજીક હોય છે કે તેમના ઈલેક્ટ્રોન વાદળો વચ્ચે અપાકર્ષણ વધતું જાય છે. આ વધેલા અપાકર્ષણને દૂર કરવા માટે અણુને વધુ ઊર્જાની જરૂર પડે છે, તેથી તેની સ્થાયીતા ઘટી જાય છે. અગાઉ જણાવ્યા મુજબ ઈલેક્ટ્રોન વાદળો વચ્ચેની અપાકર્ષી પારસ્પરિક ક્રિયા કે જે સંરૂપણની સ્થાયીતાને અસર કરે છે તેને **મરોડી વિકૃતિ** કહે છે. મરોડી વિકૃતિની માત્રા C-C એકલબંધના ભ્રમણકોણ પર આધાર રાખે છે. આ ખૂણાને **દ્વિતલકોણ (dihedral angle)** અથવા **મરોડીકોણ** પણ કહે છે. ઈથેનના બધા સંરૂપણોમાં, મરોડીકોણ સાંતરિત સંરૂપણમાં ન્યૂનતમ અને ગ્રસ્ત સંરૂપણમાં મહત્તમ હોય છે. આમ એ તારણ કાઢવામાં આવે છે કે ઈથેનમાં C-C બંધનું ભ્રમણ સંપૂર્ણ મુક્ત નથી. બે ચરમ સંરૂપણો વચ્ચે ઊર્જાનો તફાવત  $12.5 \text{ kJ mol}^{-1}$  છે, જે અત્યંત ઓછો છે. સામાન્ય તાપમાને ઈથેન અણુ આંતરઆણ્વીય સંઘાત (collisions) દ્વારા ઉષ્મીય અને ગતિજ ઊર્જા મેળવે છે, જે  $12.5 \text{ kJ mol}^{-1}$  જેટલા ઊર્જા અવરોધને પાર કરવા માટે પૂરતી હોય છે. આમ, ઈથેનમાં કાર્બન-કાર્બન એકલ બંધના ભ્રમણ બધા પ્રાયોગિક કાર્ય માટે લગભગ મુક્ત હોય છે. ઈથેનના વિવિધ સંરૂપણોને અલગ કરવા શક્ય નથી.

### 13.3 આલ્કીન સંયોજનો (Alkenes)

આલ્કીન સંયોજનો ઓછામાં ઓછો એક દ્વિબંધ ધરાવનારા અસંતૃપ્ત હાઇડ્રોકાર્બન સંયોજનો છે. આલ્કીન સંયોજનોનું સામાન્ય સૂત્ર શું હોવું જોઈએ ? જો આલ્કીન સંયોજનોમાં બે કાર્બન પરમાણુઓ વચ્ચે એક દ્વિબંધ હોય તો તેઓમાં આલ્કેન સંયોજનો કરતાં બે હાઇડ્રોજન પરમાણુઓ ઓછા હોવા જોઈએ. આમ, આલ્કીન સંયોજનોનું સામાન્ય સૂત્ર  $C_nH_{2n}$  હોવું જોઈએ. આલ્કીન સંયોજનો કે જેને ઓલીફીન (તૈલી સંયોજનો બનાવનાર) પણ કહે છે. તેના પ્રથમ સભ્ય ઈથીલીન અથવા ઈથીનની ક્લોરિન સાથેની પ્રક્રિયાથી તૈલી પ્રવાહી પ્રાપ્ત થાય છે.

#### 13.3.1 દ્વિબંધનું બંધારણ (Structure of Double Bond)

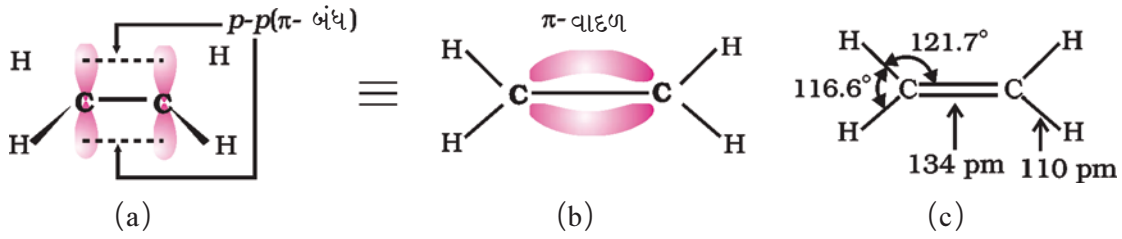
આલ્કીન સંયોજનોમાં કાર્બન-કાર્બન દ્વિબંધ હોય છે, જે પૈકીનો એક મજબૂત સિગ્મા ( $\sigma$ ) બંધ (બંધ એન્થાલ્પી આશરે  $397 \text{ kJ mol}^{-1}$ ) હોય છે, જે કાર્બન પરમાણુઓની  $sp^2$  સંકૃત કક્ષકોના સમ્મુખ (બંધરેખા પર) સંમિશ્રણથી બને છે, જ્યારે બે કાર્બન પરમાણુઓની બે  $2p$  અસંકૃત કક્ષકોના બાજુથી થતાં સંમિશ્રણના પરિણામે એક નિર્બળ પાઈ ( $\pi$ ) બંધ (બંધ એન્થાલ્પી આશરે  $284 \text{ kJ mol}^{-1}$ ) બને છે. કાર્બન-કાર્બન દ્વિબંધની બંધ લંબાઈ ( $134 \text{ pm}$ ), કાર્બન-કાર્બન એકલ બંધની બંધલંબાઈ ( $154 \text{ pm}$ ) કરતાં ઓછી હોય છે. તમે અગાઉ શીખ્યા છો કે  $\pi$  બંધ બે  $2p$  કક્ષકોના બાજુએથી થતાં નિર્બળ સંમિશ્રણના કારણે નિર્બળ હોય છે. તેથી  $\pi$  બંધવાળા આલ્કીન સંયોજનોને નિર્બળ બંધિત ગતિશીલ ઈલેક્ટ્રોનના સ્રોત કહેવાય છે. પરિણામે એવા પ્રક્રિયકો અથવા સંયોજનો કે જે ઈલેક્ટ્રોનની શોધમાં હોય છે, તેઓ સરળતાથી આલ્કીન સંયોજનો પર હુમલો કરી શકે છે. આવા પ્રક્રિયકોને **ઈલેક્ટ્રોન અનુરાગી પ્રક્રિયકો** કહે છે. નિર્બળ  $\pi$  બંધની હાજરી આલ્કીન સંયોજનોને આલ્કેન સંયોજનોની સાપેક્ષે અસ્થાયી બનાવે છે. તેથી આલ્કીન સંયોજનો ઈલેક્ટ્રોન અનુરાગી પ્રક્રિયક સાથે જોડાઈને એકલ બંધવાળા સંયોજનો બનાવે છે. કાર્બન-કાર્બન દ્વિબંધની મજબૂતાઈ (બંધ એન્થાલ્પી,  $681 \text{ kJ mol}^{-1}$ ) ઈથેનમાં રહેલા કાર્બન-કાર્બન એકલ બંધની મજબૂતાઈ (બંધ એન્થાલ્પી,  $384 \text{ kJ mol}^{-1}$ ) કરતાં વધુ હોય છે. ઈથીન અણુની કક્ષકીય રેખાકૃતિ આકૃતિ 13.4 અને 13.5માં દર્શાવેલ છે.



આકૃતિ 13.4 માત્ર  $\sigma$  બંધને દર્શાવતું ઈથીનનું કક્ષકીય ચિત્ર

#### 13.3.2 નામકરણ (Nomenclature)

આલ્કીન સંયોજનના IUPAC નામકરણ માટે કાર્બન પરમાણુઓની દ્વિબંધયુક્ત દીર્ઘતમ શૃંખલાને પસંદ કરવામાં આવે છે. દ્વિબંધ નજીક હોય તેવા છેડેથી કાર્બન શૃંખલામાં કાર્બન પરમાણુઓને ક્રમ આપવામાં આવે છે. આલ્કેન નામમાં રહેલા પ્રત્યય ‘એન’ (ane)ને બદલે ‘ઈન’ (ene) પ્રત્યય લખવામાં



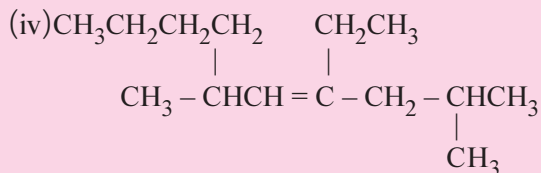
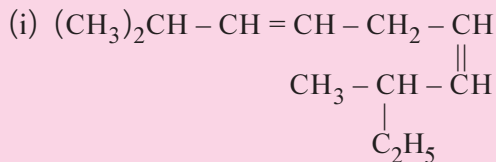
**આકૃતિ 13.5** ઈથીનનું ક્ષત્રીય ચિત્ર કે જે દર્શાવે છે (a)  $\pi$ -બંધનું નિર્માણ (b)  $\pi$  ઇલેક્ટ્રોન વાદળનું નિર્માણ (c) બંધકોણ અને બંધ લંબાઈ

આવે છે. એ યાદ રહેવું જોઈએ કે આલ્કીન શ્રેણીનું પ્રથમ સભ્ય  $\text{CH}_2$  ( $\text{C}_n\text{H}_{2n}$  માં n ના સ્થાને 1 મૂકવાથી) છે, જે મિથિન તરીકે ઓળખાય છે, પરંતુ તેનું આયુષ્ય અતિ ટૂંકું છે. અગાઉ જણાવ્યું છે તે પ્રમાણે આલ્કીન શ્રેણીનો પ્રથમ સભ્ય  $\text{C}_2\text{H}_4$  કે જે ઈથીલીન (સામાન્ય નામ) અથવા ઈથીનથી (IUPAC નામ) ઓળખાય છે. કેટલાક આલ્કીન સંયોજનોના IUPAC નામ નીચે દર્શાવ્યા છે.

બંધારણ	IUPAC નામ
$\text{CH}_3 - \text{CH} = \text{CH}_2$	પ્રોપિન
$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH} = \text{CH}_2$	બ્યુટ-1-ઈન
$\text{CH}_3 - \text{CH} = \text{CH} - \text{CH}_3$	બ્યુટ-2-ઈન
$\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{CH} = \text{CH}_2$	બ્યુટા-1,3-ડાઈન
$\text{CH}_2 = \text{C} - \text{CH}_3$   $\text{CH}_3$	2-મિથાઈલપ્રોપ-1-ઈન
$\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{CH} - \text{CH}_3$   $\text{CH}_3$	3-મિથાઈલબ્યુટ-1-ઈન

**કોયડો 13.7**

નીચે દર્શાવેલા સંયોજનોના IUPAC નામ લખો.



**ઉકેલ :**

- (i) 2,8-ડાયમિથાઈલડેકા-3,6-ડાઈન
- (ii) ઓક્ટા-1,3,5,7-ટેટ્રાઈન
- (iii) 2-n-પ્રોપાઈલપેન્ટ-1-ઈન
- (iv) 4-ઇથાઈલ-2,6-ડાયમિથાઈલડેક-4-ઈન

**કોયડો 13.8**

ઉપરના બંધારણોમાં (i - iv) રહેલા સિગ્મા ( $\sigma$ ) અને પાઈ ( $\pi$ ) બંધોની સંખ્યાની ગણતરી કરો :

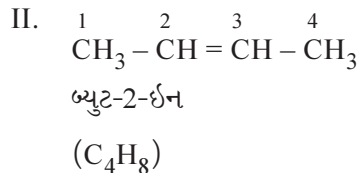
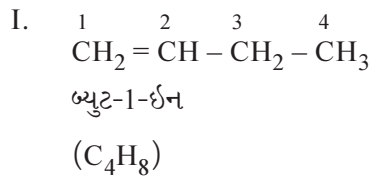
**ઉકેલ :**

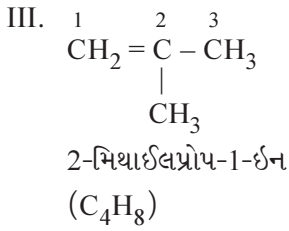
- $\sigma$  બંધ : 33,  $\pi$  બંધ : 2
- $\sigma$  બંધ : 17,  $\pi$  બંધ : 4
- $\sigma$  બંધ : 23,  $\pi$  બંધ : 1
- $\sigma$  બંધ : 41,  $\pi$  બંધ : 1

**13.3.3 સમઘટકતા (Isomerism)**

આલ્કીન સંયોજનો બંધારણીય અને ભૌમિતિક એમ બંને પ્રકારની સમઘટકતા દર્શાવે છે.

**બંધારણીય સમઘટકતા :** આલ્કેન સંયોજનોની જેમ ઈથીન ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ) અને પ્રોપિન ( $\text{C}_3\text{H}_6$ )માં માત્ર એક જ બંધારણ હોય છે, પરંતુ પ્રોપિનથી ઉચ્ચતમ આલ્કીન સંયોજનો જુદા જુદા બંધારણ ધરાવે છે.  $\text{C}_4\text{H}_8$  આણ્વીય સૂત્રવાળા આલ્કીન સંયોજનને નીચે મુજબ ત્રણ રીતે દર્શાવી શકાય છે.



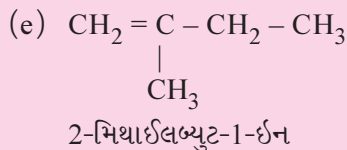
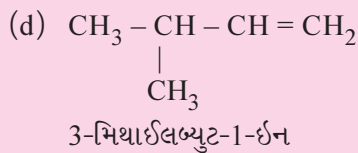
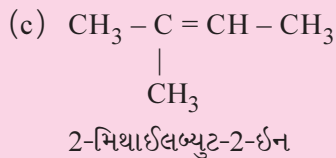
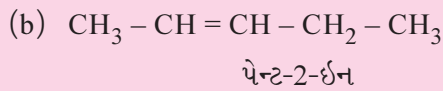
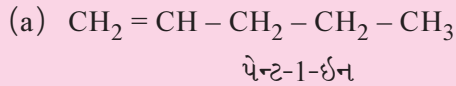


બંધારણો I અને III તથા II અને III શૃંખલા સમઘટકતાના ઉદાહરણો છે, જ્યારે બંધારણો I અને II સ્થાન સમઘટકો છે.

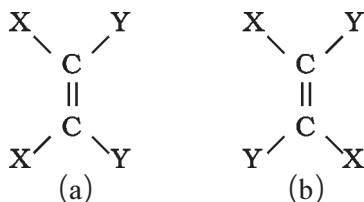
### કોયડો 13.9

C<sub>5</sub>H<sub>10</sub> વાળા આલ્કીન સંયોજનોના વિભિન્ન બંધારણીય સમઘટકોના બંધારણો અને IUPAC નામ લખો.

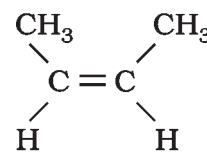
ઉકેલ :



**ભૌમિતિક સમઘટકતા :** દ્વિબંધિત કાર્બન પરમાણુઓની બાકીની બે સંયોજકતાઓ બે પરમાણુ અથવા સમૂહો જોડાઈને સંતોષાય છે. જો પ્રત્યેક કાર્બનની સાથે જોડાયેલા બે પરમાણુઓ અથવા સમૂહો જુદા જુદા હોય તો તે YXC = CXY જેવું બંધારણ દર્શાવે છે. YXC = CXYની અવકાશીય ગોઠવણી નીચે મુજબ બે રીતે દર્શાવી શકાય છે :

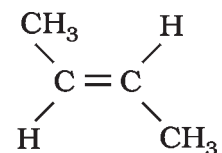


બંધારણ (a)માં બે સમાન પરમાણુઓ એટલે કે બંને X અથવા બંને Y દ્વિબંધથી જોડાયેલા કાર્બન પરમાણુઓ સાથે એક જ બાજુ જોડાયેલા છે, જ્યારે બંધારણ (b)માં બંને X અથવા બંને Y દ્વિબંધથી જોડાયેલા કાર્બન પરમાણુઓ સાથે વિરુદ્ધ દિશામાં જોડાયેલા છે. પરમાણુઓ અને સમૂહોની અવકાશમાં ભિન્ન ગોઠવણીને કારણે બે જુદી જુદી ગોઠવણી એટલે કે જુદા જુદા ભૌમિતિક બંધારણો (a) અને (b) જોવા મળે છે. તેથી તેઓ અવકાશીય સમઘટકો (stereoisomers) છે. તેઓની ભૂમિતિ સમાન ત્યારે થાય કે જ્યારે C=Cની આસપાસ પરમાણુઓ કે સમૂહોનું ભ્રમણ થઈ શકે, પરંતુ C=Cની આસપાસ મુક્ત ભ્રમણ થતું નથી. તે પ્રતિબંધિત (restricted) હોય છે. આ સંકલ્પનાને સમજવા માટે, બે સખત જાડા પૂંઠાના ટુકડા લો. તે બંનેને બે ખીલીઓની મદદથી જોડો. એક પૂંઠાને એક હાથથી પકડીને બીજા પૂંઠાને ભ્રમણ આપવાનો પ્રયાસ કરો. શું વાસ્તવમાં તમે બીજા પૂંઠાનું ભ્રમણ કરી શકો છો ? ના. કારણ કે તે ભ્રમણ પ્રતિબંધિત છે. આમ, પરમાણુઓ અને સમૂહોનું દ્વિબંધથી જોડાયેલા કાર્બન પરમાણુઓની આસપાસનું ભ્રમણ પ્રતિબંધિત હોવાના કારણે આવા સંયોજનો ભિન્ન ભૌમિતિક આકાર દર્શાવે છે. આ પ્રકારના અવકાશીય સમઘટકોને ભૌમિતિક સમઘટકો (geometrical isomers) કહે છે. આ પૈકીના જે સમઘટકમાં બે સમાન પરમાણુઓ કે સમૂહો દ્વિબંધથી જોડાયેલા કાર્બન પરમાણુઓની સાથે એક જ દિશામાં જોડાયેલા હોય તે તેને સિસ (સમપક્ષ) (cis) સમઘટક કહે છે. ઉપરાંત અન્ય સમઘટક કે જેમાં સમાન પરમાણુઓ કે સમૂહો દ્વિબંધથી જોડાયેલા કાર્બન પરમાણુઓની સાથે વિરુદ્ધ દિશામાં જોડાયેલા હોય તો તેને ટ્રાન્સ (વિપક્ષ) (trans) સમઘટક કહે છે. આમ, સિસ અને ટ્રાન્સ સમઘટકો સમાન બંધારણ ધરાવે છે પણ તેમનો વિન્યાસ (અવકાશમાં પરમાણુઓ અને સમૂહોની ગોઠવણી) ભિન્ન હોય છે. પરમાણુઓ અને સમૂહોની અવકાશમાં ભિન્ન ગોઠવણીના કારણે આ સમઘટકો તેઓના ગુણધર્મો જેવા કે ગલનબિંદુ, ઉત્કલનબિંદુ, દ્વિધ્રુવ ચાકમાત્રા, દ્રાવ્યતા વગેરેમાં તફાવત દર્શાવે છે. બ્યુટ-2-ઈનના ભૌમિતિક અથવા સિસ-ટ્રાન્સ સમઘટકોને નીચે દર્શાવવામાં આવ્યા છે.



સિસ-બ્યુટ-2-ઈન

(ઉ.બિં. 277 K)

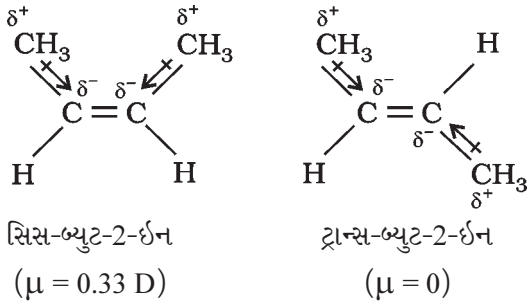


ટ્રાન્સ-બ્યુટ-2-ઈન

(ઉ.બિં. 274 K)

આલ્કીનના સિસ સમઘટક, ટ્રાન્સ સમઘટકની સાપેક્ષે વધુ ધ્રુવીય હોય છે. દા.ત., સિસ-બ્યુટ-2-ઈનની દ્વિધ્રુવ ચાકમાત્રા 0.33 ડીબાય છે, જ્યારે ટ્રાન્સ-બ્યુટ-2-ઈન માટે તેનું મૂલ્ય લગભગ શૂન્ય હોય છે, જે દર્શાવે છે કે ટ્રાન્સ-બ્યુટ-2-ઈન

અધ્રુવીય છે. આ બંને સમઘટકોના નીચે દર્શાવ્યા મુજબ વિભિન્ન બંધારણો દોરવાથી તે સ્પષ્ટ થયું કે ટ્રાન્સ-બ્યુટ-2-ઈનમાં બે મિથાઈલ સમૂહો એકબીજાની વિરુદ્ધ દિશામાં જોડાયેલા હોય છે, તેથી તેમાં રહેલા C-CH<sub>3</sub> બંધ એકબીજાની દ્વિધ્રુવ ચાકમાત્રાને નષ્ટ કરે છે, આમ ટ્રાન્સ સમઘટક અધ્રુવીય હોય છે.



ધન સંયોજનોના કિસ્સામાં, ટ્રાન્સ સમઘટકનું ગલનબિંદુ સિસ સમઘટક કરતાં ઊંચું હોય છે.

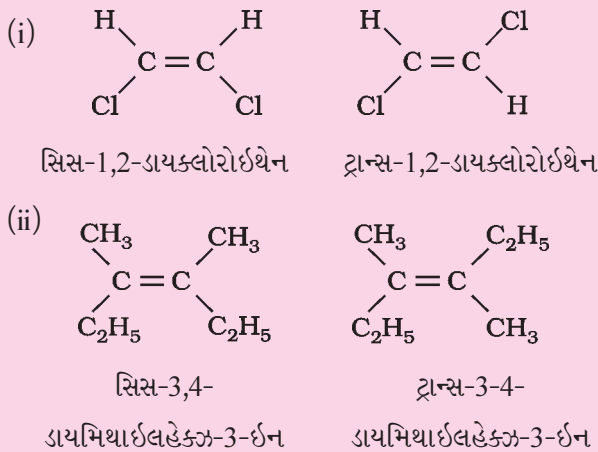
ભૌમિતિક અથવા સિસ-ટ્રાન્સ સમઘટકતા  $XYC = CXZ$  અને  $XYC = CZW$  પ્રકારના આલ્કીન સંયોજનો દ્વારા પણ દર્શાવી શકાય છે.

**કોયડો 13.10**

નીચે દર્શાવેલા સંયોજનોના સિસ અને ટ્રાન્સ સમઘટકો દોરો અને તેમના IUPAC નામ લખો.

- (i)  $\text{CHCl} = \text{CHCl}$
- (ii)  $\text{C}_2\text{H}_5\text{CCH}_3 = \text{CCH}_3\text{C}_2\text{H}_5$

ઉકેલ :



**કોયડો 13.11**

નીચે દર્શાવેલા કયા સંયોજનો સિસ-ટ્રાન્સ સમઘટકતા દર્શાવે છે ?

- (i)  $(\text{CH}_3)_2\text{C} = \text{CH} - \text{C}_2\text{H}_5$

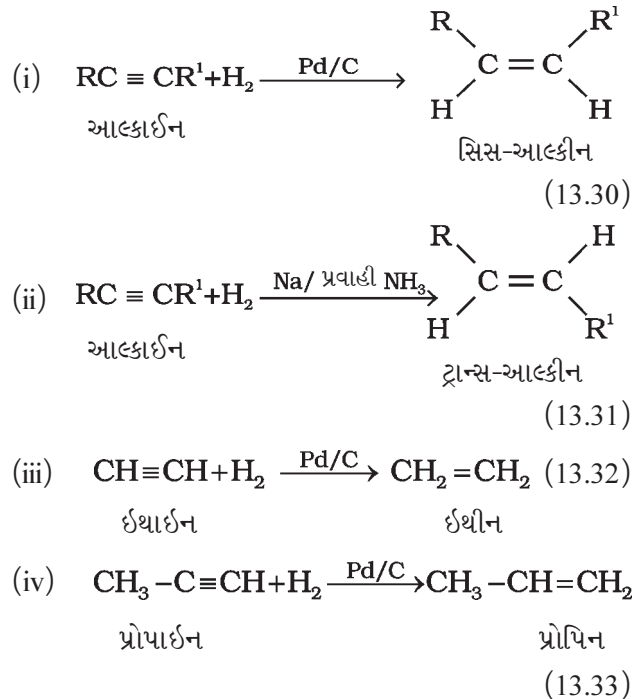
- (ii)  $\text{CH}_2 = \text{CBr}_2$
- (iii)  $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH} = \text{CH} - \text{CH}_3$
- (iv)  $\text{CH}_3\text{CH} = \text{CClCH}_3$

ઉકેલ :

(iii) અને (iv). બંધારણ (i) અને (ii)માં બે સમાન સમૂહો દ્વિબંધ ધરાવતા કોઈ એક જ કાર્બન પરમાણુ સાથે જોડાયેલા છે.

**13.3.4 બનાવટ (Preparation)**

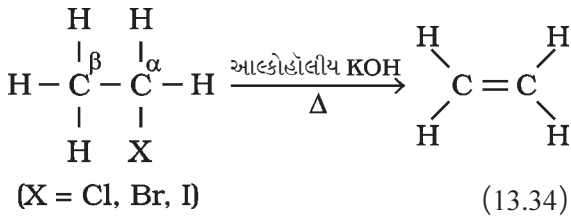
1. આલ્કાઈન સંયોજનોમાંથી : આલ્કાઈન સંયોજનોનું ડાયહાઈડ્રોજનના ગણતરીપૂર્વકના જથ્થા સાથે પેલેડિક્ટ યારકોલ કે જેને સલ્ફર સંયોજનો અથવા ક્વીનોલીન જેવા ઝેરી પદાર્થોથી નિષ્ક્રિય કરવામાં આવ્યો હોય છે તેની હાજરીમાં આંશિક રિડક્શન થવાથી આલ્કીન સંયોજનો બને છે. આંશિક રીતે નિષ્ક્રિય બનેલા પેલેડિક્ટ યારકોલને લિંડલાર ઉદીપક (Lindlar's catalyst) કહે છે. આ રીતે પ્રાપ્ત થતા આલ્કીન સંયોજનોનું બંધારણ સિસ પ્રકારનું હોય છે. જ્યારે આલ્કાઈન સંયોજનોનું પ્રવાહી એમોનિયામાં રહેલા સોડિયમ સાથે રિડક્શન થવાથી ટ્રાન્સ આલ્કીન સંયોજનો બને છે.



શું આ રીતે પ્રાપ્ત પ્રોપીન ભૌમિતિક સમઘટકતા દર્શાવશે ? તમારા જવાબની તરફેણ માટેનું કારણ શોધો.

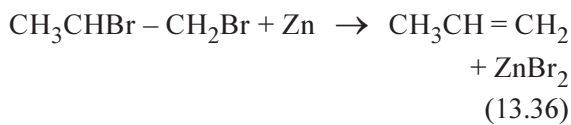
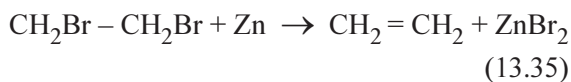
2. આલ્કાઈલ હેલાઈડ સંયોજનોમાંથી : આલ્કાઈલ હેલાઈડ સંયોજનોને (R-X) આલ્કોહોલીય પોટાશની (પોટેશિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડને ઈથેનોલ જેવા આલ્કોહોલમાં દ્રાવ્ય

કરવાથી) હાજરીમાં ગરમ કરવાથી હેલોજન એસિડના એક અણુનું વિલોપન થઈ આલ્કીન સંયોજન બને છે. આ પ્રક્રિયાને ડિહાઇડ્રોહેલોજનેશન કહેવાય છે. આ પ્રક્રિયા  $\beta$ -વિલોપન પ્રક્રિયાનું ઉદાહરણ છે. કારણ કે  $\beta$ -કાર્બન પરમાણુ (જે કાર્બન સાથે હેલોજન પરમાણુ જોડાયેલો છે, તેની પછીનો કાર્બન પરમાણુ) પરથી હાઇડ્રોજન પરમાણુનું વિલોપન થાય છે.



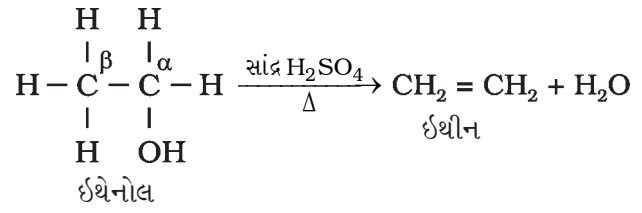
હેલોજન પરમાણુનો સ્વભાવ અને આલ્કાઇલ સમૂહ આ પ્રક્રિયાનો વેગ નક્કી કરે છે. હેલોજન પરમાણુ માટેનો ક્રમ આ મુજબનો જોવા મળ્યો છે : આયોડિન > બ્રોમિન > ક્લોરિન. જ્યારે આલ્કાઇલ સમૂહો માટેનો ક્રમ : તૃતીયક > દ્વિતીયક > પ્રાથમિક જોવા મળ્યો છે.

3. વિસિનલ ડાયહેલાઇડ સંયોજનોમાંથી : એવા ડાયહેલાઇડ સંયોજનો કે જેમાં બે સંલગ્ન કાર્બન પરમાણુઓ પર બે હેલોજન પરમાણુઓ જોડાયેલા હોય તો તેને વિસિનલ (સંનિધિ) ડાયહેલાઇડ સંયોજનો કહે છે. વિસિનલ ડાયહેલાઇડની ઝિંક ધાતુ સાથે પ્રક્રિયાથી  $\text{ZnX}_2$  અણુ દૂર થઈ આલ્કીન બને છે. આ પ્રક્રિયાને ડિહેલોજનેશન (dehalogenation) કહે છે.



4. આલ્કોહોલ સંયોજનોમાંથી એસિડિક નિર્જનીકરણ દ્વારા : એકમ 12માં વિભિન્ન સમાનધર્મી શ્રેણીના નામકરણ દરમિયાન તમે વાંચ્યું હશે કે આલ્કોહોલ સંયોજનો, આલ્કેન સંયોજનોના હાઇડ્રોક્સિ વ્યુત્પન્નો છે. તેઓને  $\text{R}-\text{OH}$  વડે દર્શાવાય છે. જ્યાં  $\text{R}=\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$ . આલ્કોહોલ સંયોજનોને સાંદ્ર સલ્ફ્યુરિક એસિડ સાથે ગરમ કરતાં પાણીનો એક અણુ દૂર થઈ આલ્કીન સંયોજન બને છે. આમ, એસિડની હાજરીમાં આલ્કોહોલ અણુમાંથી પાણીનો અણુ દૂર થાય છે. આ પ્રક્રિયાને આલ્કોહોલ સંયોજનોનું એસિડિક નિર્જનીકરણ કહેવાય છે. આ પ્રક્રિયા  $\beta$ -વિલોપન

પ્રક્રિયાનું ઉદાહરણ છે. કારણ કે  $-\text{OH}$  સમૂહ  $\beta$ -કાર્બન પરમાણુ પરના H પરમાણુનું વિલોપન કરે છે.



### 13.3.5 ગુણધર્મો (Properties)

#### ભૌતિક ગુણધર્મો :

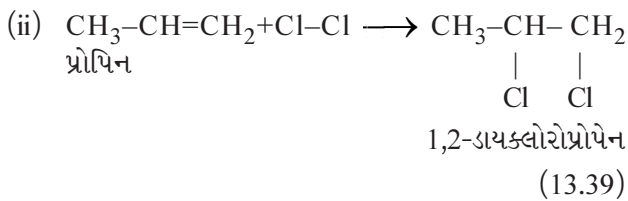
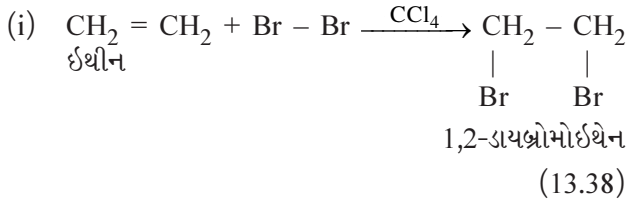
સમઘટકતાના પ્રકારો અને ધ્રુવીય સ્વભાવ સિવાયના ભૌતિક ગુણધર્મોમાં આલ્કીન સંયોજનો, આલ્કેન સંયોજનો સાથે સમાનતા દર્શાવે છે. પ્રથમ ત્રણ સભ્યો વાયુ, પછીના ચૌદ સભ્યો પ્રવાહી અને તેથી વધુ કાર્બન સંખ્યાવાળા સભ્યો ઘનસ્વરૂપે હોય છે. ઇથીન રંગવિહીન અને થોડી મીઠી સુગંધવાળો વાયુ છે. અન્ય બધા આલ્કીન સંયોજનો રંગવિહીન, વાસવિહીન, પાણીમાં અદ્રાવ્ય પણ અધ્રુવીય દ્રાવકો જેવા કે બેન્ઝિન, પેટ્રોલિયમ ઇથર વગેરેમાં દ્રાવ્ય હોય છે. અણુનું કદ વધવાની સાથે તેના ઉત્કલનબિંદુમાં નિયમિત વધારો થાય છે, એટલે કે, પ્રત્યેક  $-\text{CH}_2$  સમૂહ ઉમેરાવાથી તેના ઉત્કલનબિંદુમાં 20-30 Kનો વધારો થાય છે. આલ્કેન સંયોજનોની જેમ સરળ શૃંખલાવાળા આલ્કીન સંયોજનોના ઉત્કલનબિંદુ, સમઘટકીય શાખિત શૃંખલાવાળા આલ્કીન સંયોજનોની સરખામણીમાં ઊંચા હોય છે.

#### રાસાયણિક ગુણધર્મો :

આલ્કીન સંયોજનો નિર્બળ બંધિત  $\pi$  ઇલેક્ટ્રોનના મહત્વના સ્ત્રોત છે. તેથી તેઓ યોગશીલ પ્રક્રિયા દર્શાવે છે, જેમાં ઇલેક્ટ્રોન અનુરાગી પ્રક્રિયક કાર્બન-કાર્બન દ્વિબંધ પર જોડાઈને યોગશીલ નીપજ બનાવે છે. કેટલાક પ્રક્રિયકો મુક્તમૂલક ક્રિયાવિધિથી પણ ઉમેરાય છે. કેટલીક વિશેષ પરિસ્થિતિઓમાં આલ્કીન સંયોજનો મુક્તમૂલક પ્રક્રિયાઓ દર્શાવે છે. આલ્કીન સંયોજનોમાં ઓક્સિડેશન અને ઓઝોનોલિસીસ પ્રક્રિયા મુખ્ય છે. આલ્કીન સંયોજનોની વિભિન્ન પ્રક્રિયાનું સંક્ષિપ્ત વર્ણન નીચે આપવામાં આવ્યું છે.

1. ડાયહાઇડ્રોજનનું ઉમેરણ : આલ્કીન સંયોજનોમાં સૂક્ષ્મ વિભાજિત નિકલ, પેલેડિયમ અથવા પ્લેટિનમની હાજરીમાં ડાયહાઇડ્રોજન વાયુનો એક અણુ ઉમેરાઈને આલ્કેન સંયોજનો બનાવે છે (મુદ્દા નં. 13.2.2).
2. હેલોજન તત્ત્વોનું ઉમેરણ : આલ્કીન સંયોજનોમાં બ્રોમિન અથવા ક્લોરિન જેવા હેલોજન તત્ત્વો ઉમેરાઈને વિસિનલ ડાયહેલાઇડ બનાવે છે. જોકે આયોડિન સામાન્ય પરિસ્થિતિમાં યોગશીલ પ્રક્રિયા દર્શાવતું નથી, જ્યારે

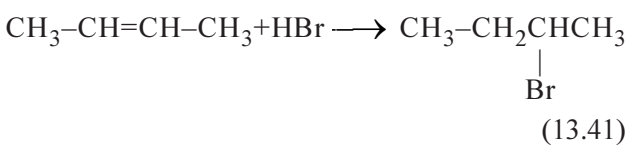
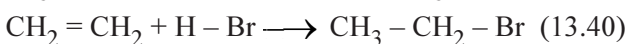
બ્રોમિન અસંતૃપ્ત સ્થાન સાથે જોડાય છે ત્યારે તેનો લાલ-નારંગી રંગ દૂર થાય છે. આ પ્રક્રિયા અસંતૃપ્તતાની પરખ માટે ઉપયોગમાં લેવાય છે. આલ્કીનમાં હેલોજનનું ઉમેરણ ઈલેક્ટ્રોન અનુરાગી યોગશીલ પ્રક્રિયાનું ઉદાહરણ છે. જેમાં ચક્રિય હેલોનિયમ આયનનું નિર્માણ સંકળાયેલું છે. જેનો અભ્યાસ તમે પછીના ધોરણમાં કરશો.



3. હાઈડ્રોજન હેલાઈડ સંયોજનોનું ઉમેરણ : આલ્કીન સંયોજનોમાં હાઈડ્રોજન હેલાઈડ સંયોજનો (HCl, HBr, HI) ઉમેરાઈને આલ્કાઈલ હેલાઈડ સંયોજનો બનાવે છે. હાઈડ્રોજન સંયોજનોની પ્રતિક્રિયાત્મકતાનો ક્રમ HI > HBr > HCl છે. આલ્કીન સંયોજનોમાં હેલોજન તત્વોના ઉમેરણની જેમ આલ્કીન સંયોજનોમાં હાઈડ્રોજન હેલાઈડ સંયોજનોનું ઉમેરણ ઈલેક્ટ્રોન અનુરાગી યોગશીલ પ્રક્રિયાનું ઉદાહરણ છે. હવે આપણે આ બાબતને સમમિત અને અસમમિત આલ્કીન સંયોજનોની HBr સાથેની યોગશીલ પ્રક્રિયાના ઉદાહરણથી સમજાવે.

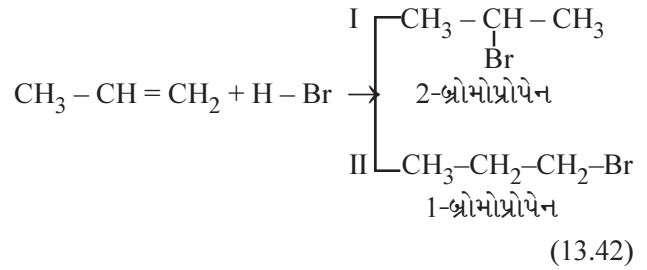
#### સમમિત આલ્કીન સંયોજનોમાં HBrની યોગશીલ પ્રક્રિયા

સમમિત આલ્કીન સંયોજનોમાં (દ્વિબંધ સાથે સમાન સમૂહો જોડાયેલા હોય છે) HBrની યોગશીલ પ્રક્રિયા ઈલેક્ટ્રોન અનુરાગી યોગશીલ પ્રક્રિયાની ક્રિયાવિધિ મુજબ થાય છે.



#### અસમમિત આલ્કીન સંયોજનોમાં HBrની યોગશીલ પ્રક્રિયા (માર્કોવનીકોવનો નિયમ)

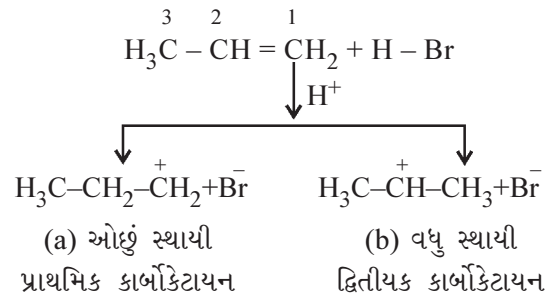
પ્રોપીનમાં HBr કેવી રીતે ઉમેરાશે ? તેમાં બે સંભવિત નીપજો I અને II છે.



રશિયન રસાયણવિજ્ઞાની માર્કોવનીકોવે (Markovnikov) આવી પ્રક્રિયાઓનો ઊંડાણમાં અભ્યાસ કર્યા બાદ 1869માં એક સામાન્ય નિયમ રજૂ કર્યો કે જેને માર્કોવનીકોવનો નિયમ કહે છે. આ નિયમ મુજબ ઉમેરાનાર અણુનો ઋણ ભાગ આલ્કીન સંયોજનમાં જે કાર્બન પર હાઈડ્રોજન પરમાણુઓ ઓછા હોય ત્યાં ઉમેરાય છે. આમ, આ નિયમ મુજબ નીપજ (I) એટલે કે 2-બ્રોમોપ્રોપેન અપેક્ષિત છે. વાસ્તવિક વ્યવહારમાં નીપજ (I) તે પ્રક્રિયાની મુખ્ય નીપજ છે. માર્કોવનીકોવના નિયમના સામાન્યીકરણને પ્રક્રિયાની ક્રિયાવિધિ દ્વારા સારી રીતે સમજી શકાય છે.

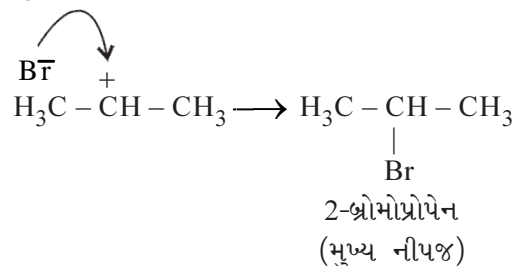
#### ક્રિયાવિધિ

હાઈડ્રોજન બ્રોમાઈડ ઈલેક્ટ્રોન અનુરાગી પ્રક્રિયક H<sup>+</sup> આપે છે કે જે દ્વિબંધ પર હુમલો કરી નીચે દર્શાવ્યા મુજબ કાર્બોકેટાયન બનાવે છે.



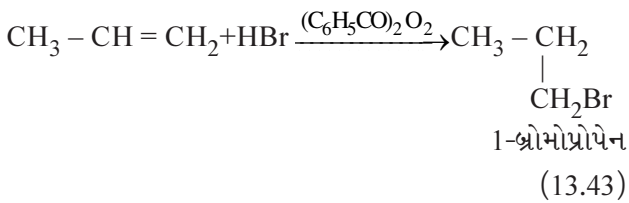
(i) દ્વિતીયક કાર્બોકેટાયન (b), પ્રાથમિક કાર્બોકેટાયન (a) કરતાં વધુ સ્થાયી છે, તેથી દ્વિતીયક કાર્બોકેટાયન વિશેષ પ્રમાણમાં બનશે કારણ કે તે ઝડપી બને છે.

(ii) કાર્બોકેટાયન (b) પર Br<sup>-</sup>ના હુમલાથી નીચે દર્શાવ્યા મુજબની નીપજ બને છે.

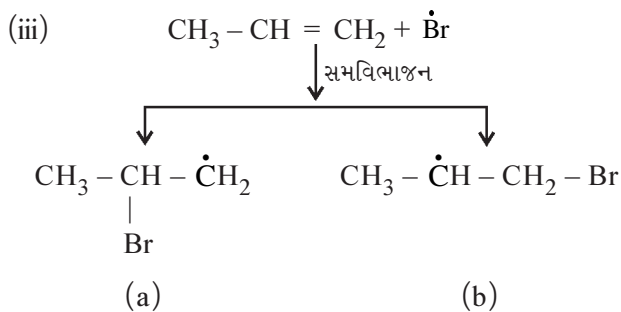
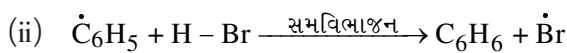
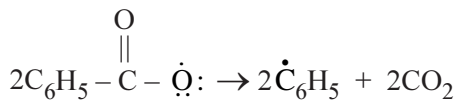
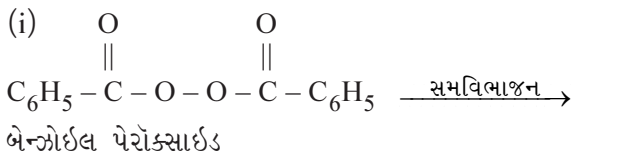


### પ્રતિમાર્કોવનીકોવ યોગશીલ અથવા પેરોક્સાઈડ અસર અથવા ખરાશ અસર

પેરોક્સાઈડની હાજરીમાં પ્રોપિન જેવા અસમમિત આલ્કીન સંયોજનોમાં HBrનું ઉમેરણ માર્કોવનીકોવ નિયમથી ઊલટું જોવા મળે છે. આવું માત્ર HBr સાથે જોવા મળે છે, પરંતુ HCl અને HI સાથે આવું જોવા મળતું નથી. આ યોગશીલ પ્રક્રિયાનો અભ્યાસ 1933માં શિકાગો યુનિવર્સિટીમાં એમ. એસ. ખરાશ (M. S. Kharash) અને એફ. આર. મેયો (F. R. Mayo) દ્વારા કરવામાં આવ્યો હતો. આ પ્રક્રિયાને પેરોક્સાઈડ અથવા ખરાશ અસર અથવા પ્રતિમાર્કોવનીકોવ યોગશીલ પ્રક્રિયા કહેવામાં આવે છે.

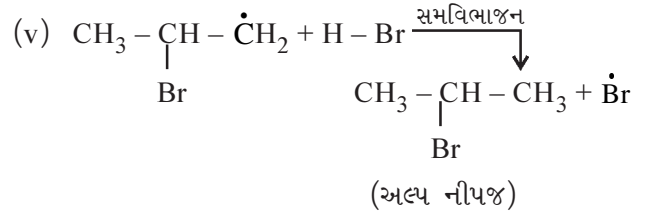
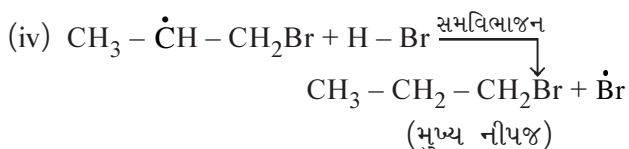


**ક્રિયાવિધિ :** પેરોક્સાઈડ અસર, જે મુક્તમૂલક શૃંખલા ક્રિયાવિધિ દ્વારા થાય છે, તે નીચે દર્શાવેલ છે.



(ઓછું સ્થાયી પ્રાથમિક મુક્તમૂલક)

(વધુ સ્થાયી દ્વિતીયક મુક્તમૂલક)



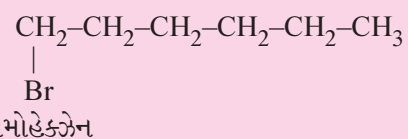
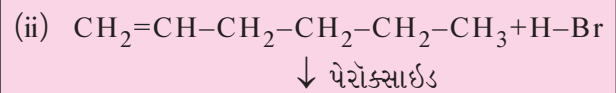
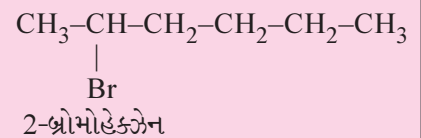
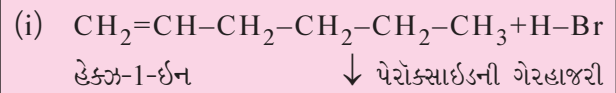
ઉપરોક્ત ક્રિયાવિધિ (તબક્કો (iii)) બનેલા દ્વિતીયક મુક્તમૂલક, પ્રાથમિક મુક્તમૂલકની સરખામણીમાં વધુ સ્થાયી છે. તેથી 1-બ્રોમોપ્રોપેન મુખ્ય નીપજ તરીકે પ્રાપ્ત થાય છે. આ બાબત ધ્યાન રાખવા જેવી છે કે પેરોક્સાઈડ અસર HCl અને HIની યોગશીલ પ્રક્રિયામાં જોવા મળતી નથી. આમ થવાનું કારણ એ છે કે H-Cl બંધ (430.5 kJ mol<sup>-1</sup>) H-Br બંધ (363.7 kJ mol<sup>-1</sup>) કરતાં વધુ મજબૂત હોય છે, જેનું મુક્તમૂલક દ્વારા ખંડન થતું નથી, જ્યારે H-I બંધ (296.8 kJ mol<sup>-1</sup>) નિર્બળ હોય છે, તેથી આયોડિન મુક્તમૂલક દ્વિબંધમાં ઉમેરાવાના બદલે એકબીજા સાથે જોડાઈને આયોડિન અણુ બનાવે છે.

#### કોયડો 13.12

હેક્ઝ-1-ઈનની HBr સાથેની યોગશીલ પ્રક્રિયાથી મળતી નીપજોના IUPAC નામ લખો.

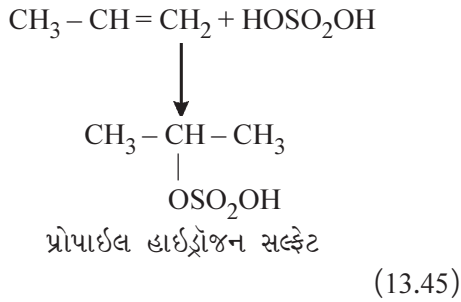
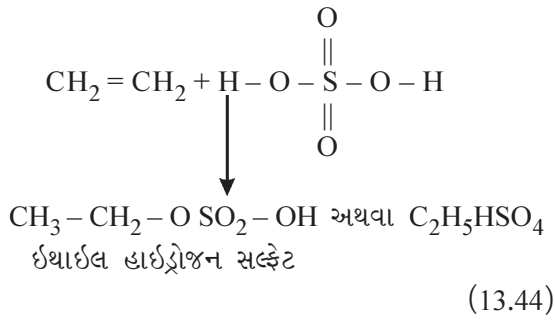
- પેરોક્સાઈડની ગેરહાજરીમાં
- પેરોક્સાઈડની હાજરીમાં

**ઉકેલ :**

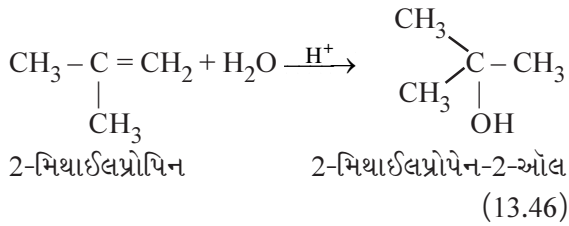


4. સલ્ફ્યુરિક એસિડનું ઉમેરણ : આલ્કીન સંયોજનોમાં ઠંડા સાંદ્ર સલ્ફ્યુરિક એસિડને ઉમેરવામાં આવે છે ત્યારે માર્કોવનીકોવના નિયમ મુજબ ઈલેક્ટ્રોન અનુરાગી યોગશીલ પ્રક્રિયા દ્વારા આલ્કાઈલ હાઈડ્રોજન સલ્ફેટ બને છે.



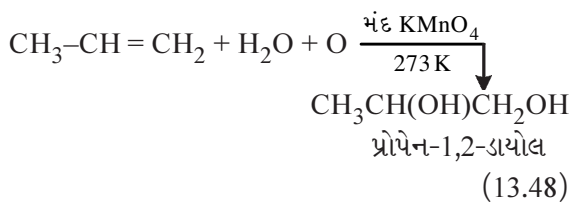
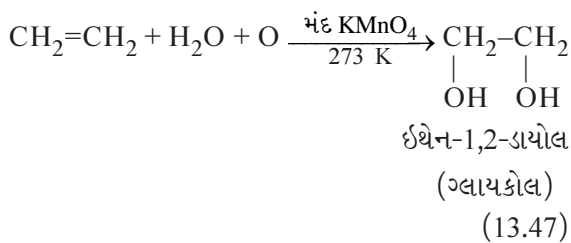


5. **પાણીનું ઉમેરણ :** સાંદ્ર સફ્યુરિક એસિડના થોડા ટીપાઓની (drops) હાજરીમાં આલ્કીન સંયોજનો પાણી સાથે પ્રક્રિયા કરી માર્કોવનીકોવના નિયમ મુજબ આલ્કોહોલ સંયોજનો બનાવે છે.



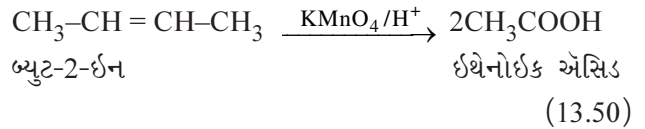
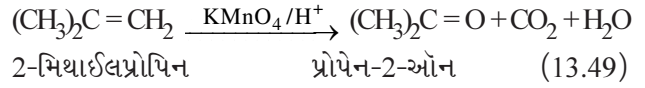
6. **ઓક્સિડેશન :**

- (a) આલ્કીન સંયોજનો ઠંડા, મંદ પોટેશિયમ પરમંગેનેટના જલીય દ્રાવણ (બેયર પ્રક્રિયક) સાથે પ્રક્રિયા કરી વિસિનલ ગ્લાયકોલ બનાવે છે.  $\text{KMnO}_4$  નું દ્રાવણ રંગવિહીન બનવાની પ્રક્રિયા, અસંતૃપ્તાની પરખ માટેની ક્સોટી તરીકે ઉપયોગમાં લેવાય છે.

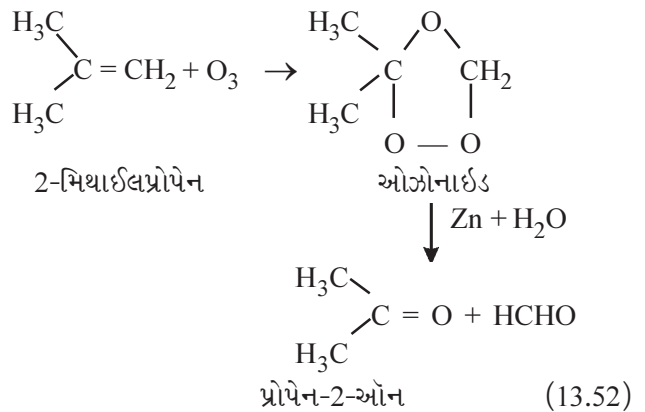
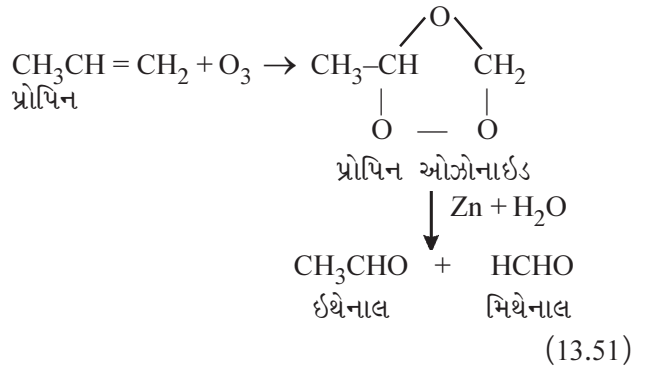


- (b) આલ્કીન સંયોજનો એસિડિક પોટેશિયમ પરમંગેનેટ અથવા એસિડિક પોટેશિયમ ડાયકોમેટ દ્વારા કિટોન

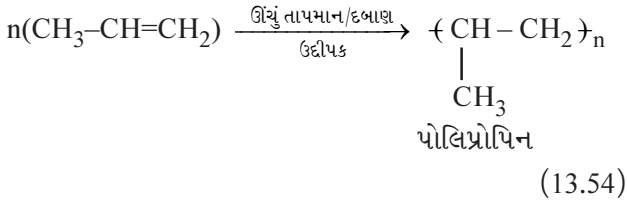
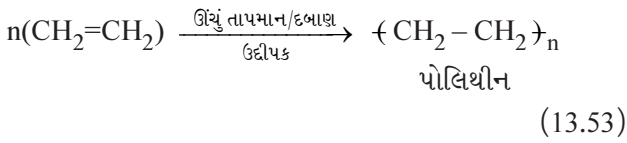
અને/અથવા એસિડ સંયોજનોમાં ઓક્સિડેશન પામે છે. આ પ્રક્રિયાની નીપજ આલ્કીનના સ્વભાવ અને પ્રક્રિયાની પરિસ્થિતિ પર આધાર રાખે છે.



7. **ઓઝોનોલિસીસ :** આલ્કીન સંયોજનમાં ઓઝોન અણુ ઉમેરાઈને ઓઝોનાઈડ બનાવે છે, જે  $\text{Zn} - \text{H}_2\text{O}$  દ્વારા તૂટીને નાના અણુઓમાં ફેરવાય છે. આ પ્રક્રિયાને ઓઝોનોલિસીસ કહે છે. આ પ્રક્રિયા આલ્કીન અથવા અસંતૃપ્ત સંયોજનોમાં દ્વિબંધનું સ્થાન નક્કી કરવામાં વધુ ઉપયોગી છે.



8. **પોલિમરાઈઝેશન (બહુલીકરણ) :** તમે પોલિથીન થેલીઓ અને પોલિથીન શીટથી પરિચિત હશો. ઊંચા તાપમાને, ઊંચા દબાણે અને ઉદ્દીપકની હાજરીમાં અનેક ઈથીન અણુઓ એકબીજા સાથે જોડાઈને પોલિથીન બનાવે છે. આ રીતે મળતા મોટા અણુને પોલિમર કહે છે. આ પ્રક્રિયાને **પોલિમરાઈઝેશન (બહુલીકરણ)** કહે છે. જે સાદા અણુઓમાંથી પોલિમર બને છે તે સાદા અણુને **મોનોમર** કહે છે. અન્ય આલ્કીન સંયોજનો પણ પોલિમરાઈઝેશન દર્શાવે છે.



પોલિમર સંયોજનોનો ઉપયોગ પ્લાસ્ટિકની બેગ, બોટલ, રેફ્રિજરેટર, ડિશ, રમકડાં, પાઈપો, રેડિયો અને ટી.વી. કેબિનેટ વગેરે બનાવવામાં થાય છે. પોલિપ્રોપિલીનનો ઉપયોગ ટૂંકના કુરેટ, પ્લાસ્ટિકની ડોલો અને અન્ય ચોક્કસ બીબાં ઢાળીને બનાવાતી (moulded) વસ્તુઓ વગેરે બનાવવામાં થાય છે. જો કે હાલમાં પોલિથીન અને પ્રોલિપ્રોપિલીનનો વધુ પડતો ઉપયોગ આપણા માટે ચિંતાનો વિષય બની ગયો છે.

### 13.4 આલ્કાઈન સંયોજનો (Alkynes)

આલ્કીન સંયોજનોની જેમ આલ્કાઈન સંયોજનો પણ અસંતૃપ્ત હાઈડ્રોકાર્બન સંયોજનો છે. તેમાં બે કાર્બનની વચ્ચે ઓછામાં ઓછો એક ત્રિબંધ આવેલો હોય છે. આલ્કેન અથવા આલ્કીન સંયોજનોની સરખાણીમાં આલ્કાઈન સંયોજનોમાં હાઈડ્રોજન પરમાણુઓની સંખ્યા ઓછી હોય છે. તેમનું સામાન્ય સૂત્ર C<sub>n</sub>H<sub>2n-2</sub> છે.

આલ્કાઈન શ્રેણીનું પ્રથમ સ્થાયી સભ્ય ઈથાઈન છે કે જે એસિટિલીનના નામથી પ્રચલિત છે. એસિટિલીનનો ઉપયોગ આર્ક વેલ્ડિંગ માટેની ઓક્સિએસિટિલીન જ્યોતમાં થાય છે કે જે ઓક્સિજન વાયુ અને એસિટિલીનના મિશ્રણથી બને છે. આલ્કાઈન સંયોજનો ઘણા કાર્બનિક સંયોજનોની બનાવટ માટે પ્રારંભિક પદાર્થ તરીકે વપરાય છે. આમ કાર્બનિક સંયોજનોના આ વર્ગનો અભ્યાસ રસપ્રદ છે.

#### 13.4.1 નામકરણ અને સમઘટકતા (Nomenclature and Isomerism)

સામાન્ય પદ્ધતિમાં આલ્કાઈન સંયોજનો એસિટિલીન વ્યુત્પન્નોના નામથી ઓળખાય છે. IUPAC પદ્ધતિમાં તેમના

નામકરણ માટે અનુવર્તી આલ્કેનના પ્રત્યય ‘એન’ સ્થાને ‘આઈન’ પ્રત્યય લગાવવામાં આવે છે. ત્રિબંધનું સ્થાન ત્રિબંધની સાથે જોડાયેલ પ્રથમ કાર્બનના ક્રમથી દર્શાવવામાં આવે છે. આલ્કાઈન શ્રેણીના કેટલાક સભ્યોના સામાન્ય અને IUPAC નામ કોષ્ટક 13.2માં દર્શાવ્યા છે.

તમે અગાઉ શીખ્યા છો તે પ્રમાણે ઈથાઈન અને પ્રોપાઈન અણુઓનું માત્ર એક જ બંધારણ શક્ય હોય છે, પરંતુ બ્યુટાઈનમાં બે બંધારણો શક્ય છે : (i) બ્યુટ-1-આઈન અને (ii) બ્યુટ-2-આઈન. આ બે સંયોજનોના બંધારણો તેમાં રહેલા ત્રિબંધના સ્થાનને કારણે જુદા પડે છે, તેથી તેઓને **સ્થાન સમઘટકો** કહે છે. પછીનો સમાનધર્મી શ્રેણીનો ઘટક એટલે પછીનું આલ્કાઈન સંયોજન કે જેનું આણ્વીય સૂત્ર C<sub>5</sub>H<sub>8</sub> છે. તેના બંધારણો તમે કેટલી રીતે દોરી શકશો ? તો ચાલો આપણે પાંચ કાર્બનને સરળ શૃંખલા અને ઉપશૃંખલામાં ગોઠવવાનો પ્રયત્ન કરીએ. તેના શક્ય બંધારણો નીચે દર્શાવ્યા છે.

	બંધારણ	IUPAC નામ
I.	$\begin{array}{cccccc} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ \text{HC} & \equiv & \text{C} & - & \text{CH}_2 & - & \text{CH}_2 & - & \text{CH}_3 \end{array}$	પેન્ટ-1-આઈન
II.	$\begin{array}{cccccc} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ \text{H}_3\text{C} & - & \text{C} & \equiv & \text{C} & - & \text{CH}_2 & - & \text{CH}_3 \end{array}$	પેન્ટ-2-આઈન
III.	$\begin{array}{cccccc} & 4 & 3 & 2 & 1 \\ \text{H}_3\text{C} & - & \text{CH} & - & \text{C} & \equiv & \text{CH} \\ & &   & & & & \\ & & \text{CH}_3 & & & & \end{array}$	3-મિથાઈલબ્યુટ-1-આઈન

બંધારણો I અને II સ્થાન સમઘટકો અને બંધારણો I અને III તથા II અને III શૃંખલા સમઘટકો છે.

#### કોયડો 13.13

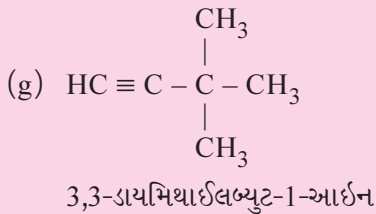
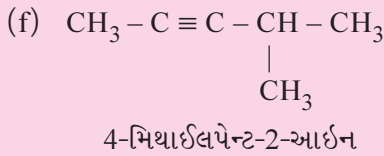
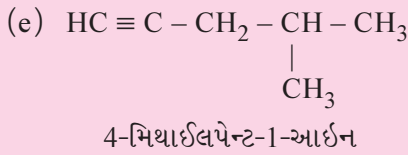
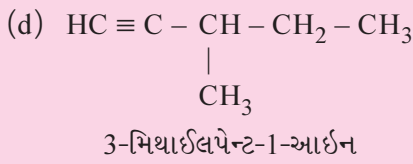
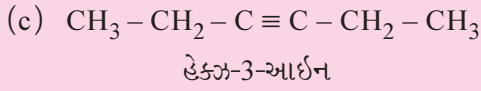
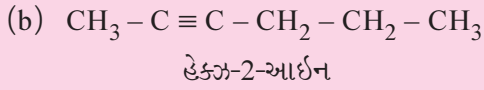
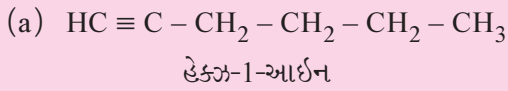
આલ્કાઈન શ્રેણીના પાંચમા સભ્યના વિભિન્ન સમઘટકો દોરો અને તેઓના IUPAC નામ લખો. વિભિન્ન પ્રકારના સમઘટકોની જોડીઓ કઈ સમઘટકતા દર્શાવે છે ?

ઉકેલ :

આલ્કાઈન શ્રેણીના પાંચમા સભ્યનું આણ્વીય સૂત્ર C<sub>5</sub>H<sub>10</sub> છે. તેના શક્ય સમઘટકો :

કોષ્ટક 13.2 આલ્કાઈન સંયોજનોના સામાન્ય અને IUPAC નામ (C<sub>n</sub>H<sub>2n-2</sub>)

nનું મૂલ્ય	સૂત્ર	બંધારણ	સામાન્ય નામ	IUPAC નામ
2	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	H-C≡CH	એસિટિલીન	ઈથાઈન
3	C <sub>3</sub> H <sub>4</sub>	CH <sub>3</sub> -C≡CH	મિથાઈલએસિટિલીન	પ્રોપાઈન
4	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> -C≡CH	ઈથાઈલએસિટિલીન	બ્યુટ-1-આઈન
4	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>	CH <sub>3</sub> -C≡C-CH <sub>3</sub>	ડાયમિથાઈલએસિટિલીન	બ્યુટ-2-આઈન

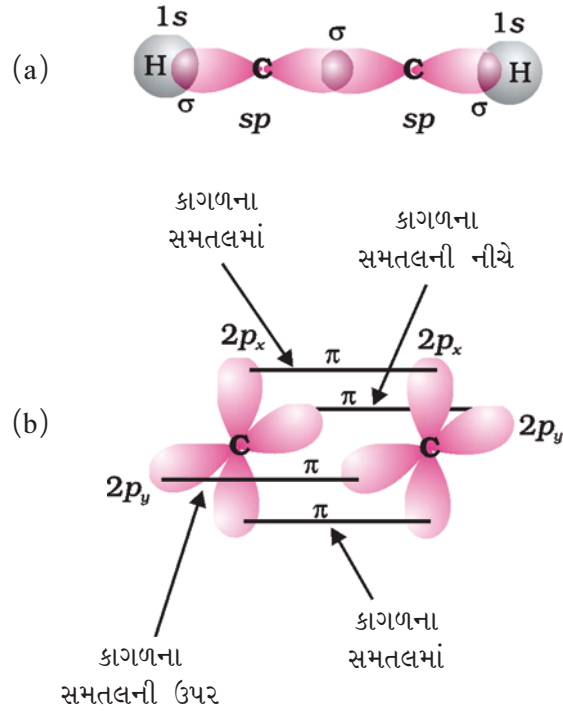


વિભિન્ન સમઘટકોની જોડીઓ સ્થાન અને શુંબલા સમઘટકતા દર્શાવે છે.

### 13.4.2 ત્રિબંધનું બંધારણ (Structure of Triple Bond)

ઈથાઈન આલ્કાઈન શ્રેણીનો સૌથી સાદો અણુ છે. ઈથાઈનનું બંધારણ આકૃતિ 13.6માં દર્શાવેલ છે.

ઈથાઈનના પ્રત્યેક કાર્બન પાસે બે  $sp$  સંકૃત કક્ષકો છે. ઈથાઈનના બંને કાર્બનની એક-એક  $sp$  કક્ષકો બંધરેખા પર સંમિશ્રણ પામી કાર્બન-કાર્બન સિગ્મા ( $\sigma$ ) બંધ બનાવે છે, જ્યારે બંને કાર્બનની બાકીની  $sp$  સંકૃત કક્ષકો બે હાઈડ્રોજન પરમાણુઓની એક-એક  $1s$  કક્ષક સાથે આંતરકેન્દ્રિય અક્ષ પર સંમિશ્રણ પામી બે  $\text{C-H}$  સિગ્મા બંધ બનાવે છે. તેથી  $\text{H-C-C}$  બંધકોણ  $180^\circ$ નો હોય છે. પ્રત્યેક કાર્બન પાસે બે અસંકૃત  $p$  કક્ષકો હોય છે જે એકબીજાને લંબ અને  $\text{C-C}$



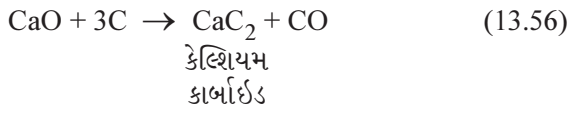
આકૃતિ 13.6 ઈથાઈનની કક્ષકીય આકૃતિમાં (a) સિગ્મા સંમિશ્રણ (b) પાઈ સંમિશ્રણ

સિગ્માબંધના સમતલને પણ લંબ હોય છે. એક કાર્બનની  $2p$  કક્ષકો બીજા કાર્બનની  $2p$  કક્ષકોને સમાંતર હોય છે, કે જેઓ બાજુએથી સંમિશ્રણ પામી બે કાર્બન પરમાણુઓ વચ્ચે બે પાઈ ( $\pi$ ) બંધો બનાવે છે. આમ, ઈથાઈન અણુ એક  $\text{C-C}$   $\sigma$  બંધ, બે  $\text{C-H}$   $\sigma$  બંધ અને બે  $\text{C-C}$   $\pi$  બંધ ધરાવે છે.  $\text{C} \equiv \text{C}$  બંધ (બંધ એન્થાલ્પી  $823 \text{ kJ mol}^{-1}$ ),  $\text{C} = \text{C}$  બંધ (બંધ એન્થાલ્પી  $681 \text{ kJ mol}^{-1}$ ) અને  $\text{C-C}$  બંધ (બંધ એન્થાલ્પી  $348 \text{ kJ mol}^{-1}$ ) કરતાં વધુ મજબૂત છે.  $\text{C} \equiv \text{C}$  બંધલંબાઈ ( $120 \text{ pm}$ ),  $\text{C} = \text{C}$  ( $133 \text{ pm}$ ) અને  $\text{C-C}$  ( $154 \text{ pm}$ ) બંધલંબાઈ કરતાં ટૂંકી છે. ઇલેક્ટ્રોન વાદળ બે કાર્બન પરમાણુઓ વચ્ચેના આંતરકેન્દ્રિય અક્ષ પર નળાકારીય સમમિતિય રીતે છવાયેલું હોય છે. આમ, ઈથાઈન એક રેખીય અણુ છે.

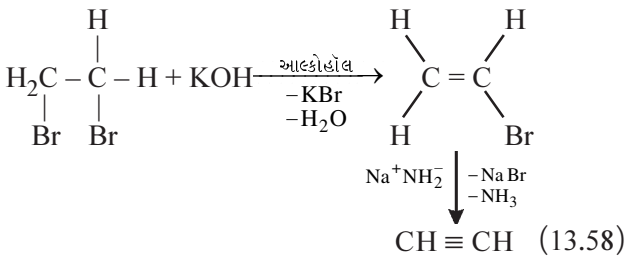
### 13.4.3 બનાવટ (Preparation)

1. કેલ્શિયમ કાર્બાઈડમાંથી : ઔદ્યોગિક સ્તરે ઈથાઈનને કેલ્શિયમ કાર્બાઈડની પાણી સાથેની પ્રક્રિયાથી બનાવવામાં આવે છે. કળી ચૂનાને (quick lime) કોક સાથે ગરમ કરવાથી કેલ્શિયમ કાર્બાઈડ બનાવી શકાય છે. કળી ચૂનો નીચે દર્શાવ્યા પ્રમાણે ચૂનાના પથ્થરને ગરમ કરવાથી મેળવી શકાય છે.





2. વિસિનલ ડાયહેલાઈડ સંયોજનોમાંથી : વિસિનલ ડાયહેલાઈડ સંયોજનોની આલ્કોહોલીય પોટેશિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડ સાથે પ્રક્રિયા થવાથી ડિહાઈડ્રોહેલોજનેશન થાય છે. હાઈડ્રોજન હેલાઈડના એક અણુનું વિલોપન થવાથી આલ્કીનાઈલ (alkenyl) હેલાઈડ બને છે, જેની સોડાલાઈમ સાથે પ્રક્રિયા થવાથી આલ્કાઈન મળે છે.



### 13.4.4 ગુણધર્મો (Properties)

#### ભૌતિક ગુણધર્મો

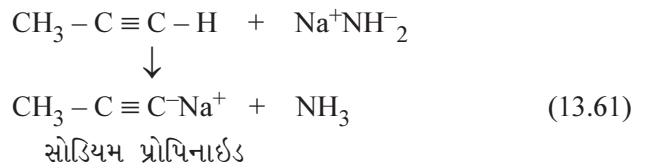
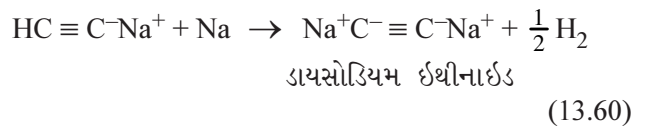
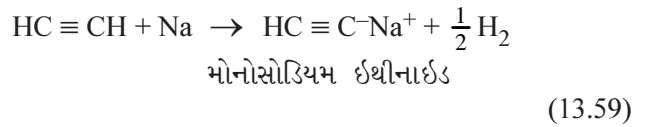
આલ્કાઈન સંયોજનોના ભૌતિક ગુણધર્મો, આલ્કીન અને આલ્કેન સંયોજનોના ભૌતિક ગુણધર્મોના વલણને અનુસરે છે. આલ્કાઈન શ્રેણીના પ્રથમ ત્રણ સભ્યો વાયુ, તે પછીના આઠ સભ્યો પ્રવાહી અને તેથી વધુ કાર્બન ધરાવતા સભ્યો ઘન સ્વરૂપમાં હોય છે. બધા આલ્કાઈન સંયોજનો રંગવિહીન હોય છે. ઈથાઈન લાક્ષણિક વાસ ધરાવે છે, જ્યારે અન્ય સભ્યો વાસવિહીન હોય છે. આલ્કાઈન સંયોજનો નિર્બળ ધ્રુવીય સ્વભાવ ધરાવે છે. તેઓ પાણી કરતાં હલકા અને પાણી સાથે અમિશ્રિત હોય છે, પરંતુ કાર્બનિક દ્રાવકો જેવા કે ઈથર, કાર્બન ટેટ્રાક્લોરાઈડ અને બેન્ઝિનમાં દ્રાવ્ય હોય છે. તેઓના મોલરદળ વધવાની સાથે ગલનબિંદુ, ઉત્કલનબિંદુ અને ઘનતા વધતી જાય છે.

#### રાસાયણિક ગુણધર્મો

આલ્કાઈન સંયોજનો નીચે દર્શાવ્યા પ્રમાણે એસિડિક સ્વભાવ, યોગશીલ પ્રક્રિયા અને પોલિમરાઈઝેશન પ્રક્રિયાઓ આપે છે.

**A. આલ્કાઈનનો એસિડિક સ્વભાવ :** સોડિયમ ધાતુ અને સોડામાઈડ ( $\text{NaNH}_2$ ) પ્રબળ બેઈઝ છે. તેઓ ઈથાઈન સાથે પ્રક્રિયા કરી ડાયહાઈડ્રોજન વાયુ મુક્ત કરીને સોડિયમ એસિટલાઈડ બનાવે છે. ઈથીન અને ઈથેન આવી પ્રક્રિયાઓ આપતા નથી જે દર્શાવે છે કે ઈથીન અને ઈથેનની સાપેક્ષમાં

ઈથાઈન એસિડિક સ્વભાવ ધરાવે છે. આવું કેમ ? શું તેના બંધારણ અને સંકરણના કારણે થતું હશે ? તમે એ શીખ્યા છો કે ઈથાઈનમાં હાઈડ્રોજન પરમાણુ  $sp$  સંકૃત કાર્બન સાથે, ઈથીનમાં  $sp^2$  સંકૃત કાર્બન પરમાણુ સાથે તથા ઈથેનમાં  $sp^3$  સંકૃત કાર્બન પરમાણુ સાથે જોડાયેલા હોય છે. ઈથાઈન અણુમાં કાર્બન પરમાણુની  $sp$  સંકૃત કક્ષકમાં  $s$  લાક્ષણિકતા વધુ હોવાથી (50 %) તેની વિદ્યુતઋણતા વધુ હોય છે. તેથી ઈથાઈન અણુમાં કાર્બન પરમાણુની  $sp$  સંકૃત કક્ષક  $\text{C}-\text{H}$  બંધના સહિયારા ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મને પોતાની તરફ, ઈથીનમાં રહેલા કાર્બનની  $sp^2$  સંકૃત કક્ષક અને ઈથેનમાં રહેલા કાર્બનની  $sp^3$  સંકૃત કક્ષક કરતાં વધુ પ્રમાણમાં આકર્ષે છે. તેથી ઈથેન અને ઈથીન કરતાં ઈથાઈનમાં રહેલો હાઈડ્રોજન પરમાણુ વધુ સરળતાથી પ્રોટોન તરીકે છૂટો પડી શકે છે. આમ, ઈથાઈનમાં ત્રિબંધ ધરાવનાર કાર્બન પરમાણુઓ સાથે જોડાયેલા હાઈડ્રોજન પરમાણુઓ એસિડિક સ્વભાવ ધરાવે છે. તમે નોંધી શકો છો કે આલ્કાઈન સંયોજનોના બધા હાઈડ્રોજન પરમાણુઓ એસિડિક સ્વભાવ ધરાવતા નથી, પરંતુ માત્ર ત્રિબંધ બનાવનાર કાર્બન પરમાણુઓ સાથે જોડાયેલા હાઈડ્રોજન પરમાણુઓ જ એસિડિક સ્વભાવ ધરાવે છે.

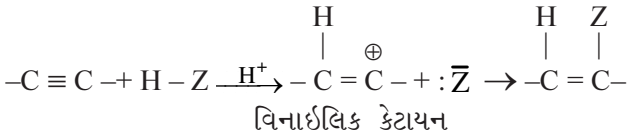


આ પ્રક્રિયાઓ આલ્કેન અને આલ્કીન સંયોજનો આપતા નથી. તેથી આ પ્રક્રિયા આલ્કેન, આલ્કીન અને આલ્કાઈન સંયોજનોને વિભેદિત કરવા માટે ઉપયોગમાં લેવાય છે. બ્યુટ-1-આઈન તથા બ્યુટ-2-આઈન સાથે ઉપરોક્ત પ્રક્રિયા કરવામાં આવે તો શું થશે ? આલ્કેન, આલ્કીન અને આલ્કાઈન સંયોજનોના એસિડિક સ્વભાવનો ક્રમ નીચે દર્શાવેલ છે.

- (i)  $\text{HC}\equiv\text{CH} > \text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2 > \text{CH}_3-\text{CH}_3$   
(ii)  $\text{HC}\equiv\text{CH} > \text{CH}_3-\text{C}\equiv\text{CH} \gg \text{CH}_3-\text{C}\equiv\text{C}-\text{CH}_3$

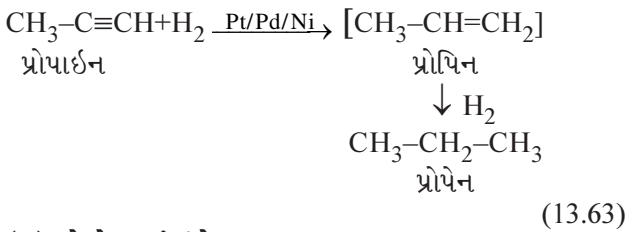
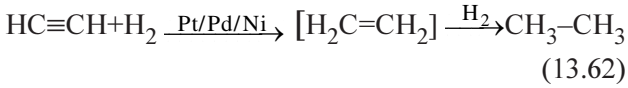
**B. યોગશીલ પ્રક્રિયાઓ :** આલ્કાઈન સંયોજનોમાં ત્રિબંધ હોય છે. તેથી તેઓ ડાયહાઈડ્રોજન, હેલોજન, હાઈડ્રોજન

હેલાઈડ વગેરેના બે અણુઓને ઉમેરી શકે છે. યોગશીલ નીપજ નીચે દર્શાવેલા તબક્કા મુજબ બને છે.

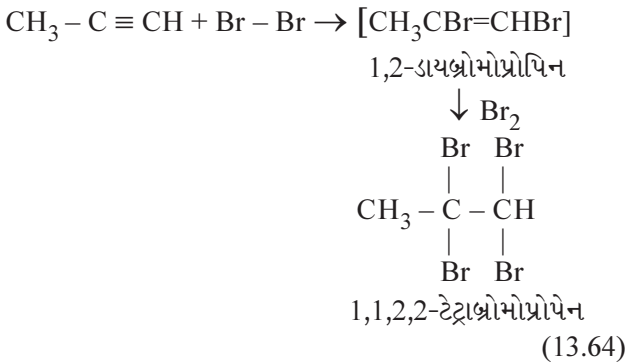


બનતી યોગશીલ નીપજનો આધાર વિનાઈલિક કેટાયનની સ્થાયીતા પર છે. અસમમિત આલ્કાઈન સંયોજનોમાં યોગશીલ પ્રક્રિયા માર્કોવનીકોવના નિયમ મુજબ થાય છે. આલ્કાઈન સંયોજનોની મોટા ભાગની પ્રક્રિયાઓ ઈલેક્ટ્રોન અનુરાગી યોગશીલ પ્રક્રિયાઓના ઉદાહરણો છે. કેટલીક યોગશીલ પ્રક્રિયાઓ નીચે દર્શાવેલી છે.

(i) ડાયહાઈડ્રોજનનું ઉમેરણ :



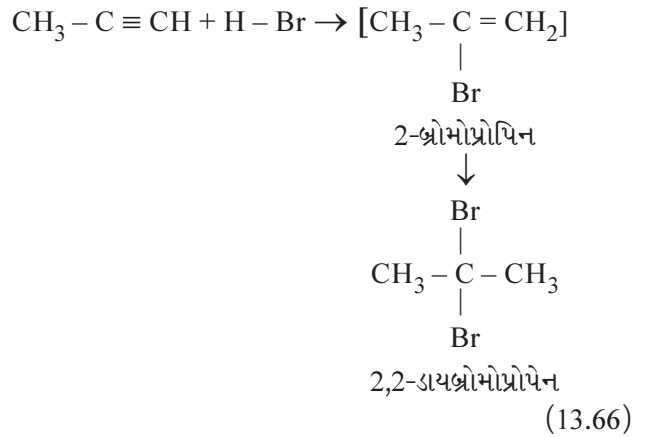
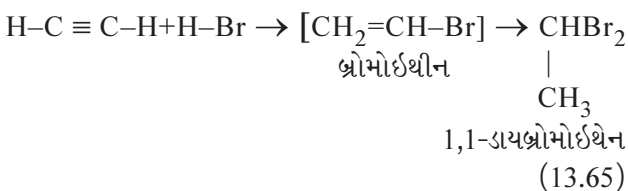
(ii) હેલોજનનું ઉમેરણ :



આ પ્રક્રિયાથી કાર્બન ટેટ્રાક્લોરાઈડમાં બનાવેલા બ્રોમિન દ્રાવણનો લાલાશ પડતો કેસરી રંગ દૂર થાય છે. તેથી આ પ્રક્રિયા અસંતૃપ્તતાની પરખ માટેની ક્સોટીમાં વપરાય છે.

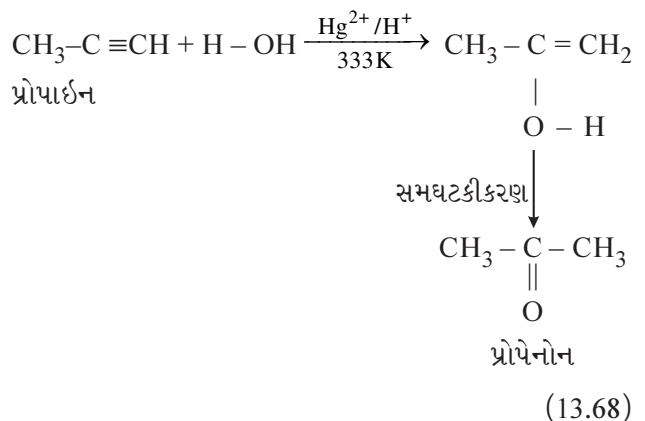
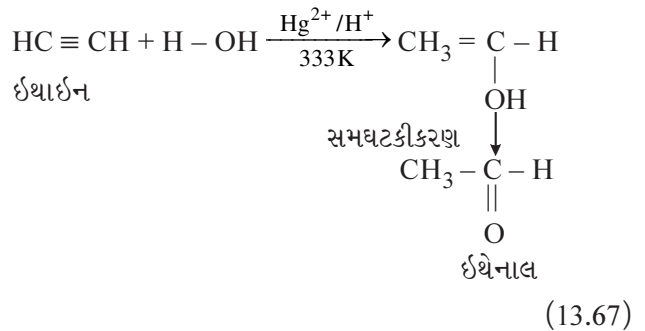
(iii) હાઈડ્રોજન હેલાઈડ સંયોજનોનું ઉમેરણ :

આલ્કાઈન સંયોજનોમાં હાઈડ્રોજન હેલાઈડ સંયોજનોના (HCl, HBr, HI) બે અણુઓ ઉમેરાઈને જેમ ડાયહેલાઈડ સંયોજનો (gem dihalides) (જેમાં એક જ કાર્બન પરમાણુ સાથે બે હેલોજન જોડાયેલ હોય છે) બનાવે છે.



(iv) પાણીનું ઉમેરણ :

આલ્કેન અને આલ્કીન સંયોજનોની જેમ આલ્કાઈન સંયોજનો પણ પાણી સાથે અમિશ્રિત રહે છે અને પાણી સાથે પ્રક્રિયા કરતું નથી. આલ્કાઈન સંયોજનોમાં 333 K તાપમાને મરક્યુરિક સલ્ફેટ અને મંદ સલ્ફ્યુરિક એસિડની હાજરીમાં પાણીનો એક અણુ ઉમેરાઈને કાર્બોનિલ સંયોજનો બનાવે છે.

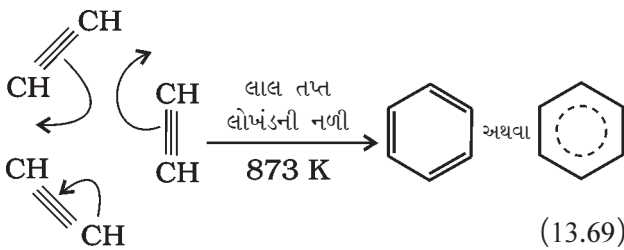


(v) પોલિમરાઈઝેશન

(a) રેખિય પોલિમરાઈઝેશન : અનુકૂળ પરિસ્થિતિઓમાં ઈથાઈનનું રેખિય પોલિમરાઈઝેશન થઈ પોલિએસિટિલિન અથવા પોલિઈથાઈન બને છે જે ઊંચા આણ્વીયદળ ધરાવતો પોલિઈન છે. તે  $[CH = CH - CH = CH]$  પુનરાવર્તિત એકમો ધરાવે છે. જેને  $\{CH = CH - CH = CH\}_n$  વડે

દર્શાવાય છે. અનુકૂળ પરિસ્થિતિમાં આ પોલિમર વીજસુવાહક બને છે. પોલિએસિટિલિનની પાતળી ફિલ્મ બેટરીમાં ઇલેક્ટ્રોડ તરીકે વપરાય છે. આ ફિલ્મ ધાતુ સુવાહક કરતા વધુ સુવાહક, હલકી અને સસ્તી હોય છે.

(b) ચક્રિય પોલિમરાઈઝેશન : ઇથાઈનને લાલ ચોળ (રક્ત તપ્ત) લોખંડની નળીમાંથી 873 K તાપમાને પસાર કરવાથી તેનું ચક્રિય પોલિમરાઈઝેશન થાય છે. ઇથાઈનના ત્રણ અણુઓના પોલિમરાઈઝેશનથી બેન્ઝિન બને છે. જે બેન્ઝિન વ્યુત્પન્નો, રંગકો, ઔષધો અને અનેક કાર્બનિક સંયોજનોની બનાવટ માટેનો પ્રારંભિક અણુ છે. એલિફેટિક સંયોજનોને એરોમેટિક સંયોજનોમાં રૂપાંતરિત કરવાનો આ સર્વોત્તમ રસ્તો છે.



**કોયડો 13.14**

ઇથેનોઈક એસિડને બેન્ઝિનમાં કેવી રીતે પરિવર્તિત કરશો ? ઉકેલ :

$$\text{CH}_3\text{COOH} \xrightarrow{\text{NaOH(aq)}} \text{CH}_3\text{COONa} \xrightarrow[\Delta]{\text{સોડા લાઈમ}} \text{CH}_4 \xrightarrow{\text{Cl}_2, \text{hv}} \text{CH}_3\text{Cl}$$

$$\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl} \xleftarrow{\text{Cl}_2} \text{C}_2\text{H}_6 \xleftarrow[\text{વુટર્ઝ પ્રક્રિયા}]{\text{Na/શુક્રઈથર}} \text{CH}_3\text{Cl}$$

↓ આલ્કોહોલીય KOH

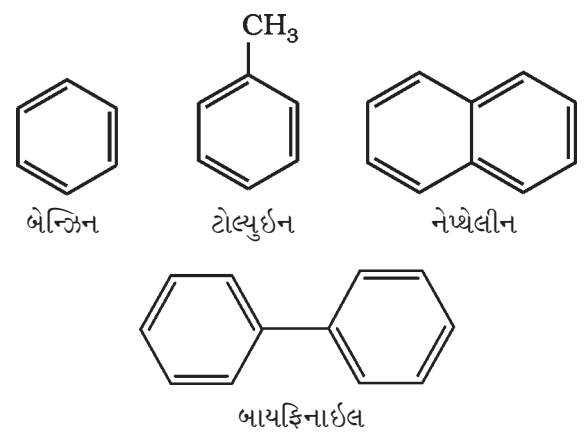
$$\text{CH}_2=\text{CH}_2 \xrightarrow{\text{Br}_2} \begin{array}{c} \text{CH}_2\text{Br} \\ | \\ \text{CH}_2\text{Br} \end{array} \xrightarrow{\text{આલ્કોહોલીય KOH}} \text{CH}_2=\text{CHBr} \xrightarrow{\text{NaNH}_2} \text{CH}\equiv\text{CH}$$

↓ લાલ તપ્ત લોખંડની નળી 873 K

### 13.5 એરોમેટિક હાઈડ્રોકાર્બન (Aromatic Hydrocarbon)

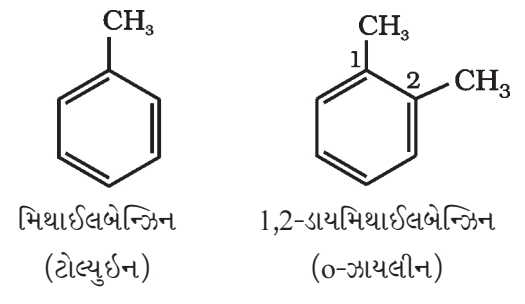
એરોમેટિક હાઈડ્રોકાર્બન સંયોજનોને ‘એરીન સંયોજનો’ પણ કહેવામાં આવે છે કારણ કે તેના મોટા ભાગના સંયોજનો વિશિષ્ટ વાસ (ગ્રીક શબ્દ ‘એરોમા’ જેનો અર્થ સુગંધ થાય છે) ધરાવે છે. આ સંયોજનોને ‘એરોમેટિક સંયોજનો’ કહે છે. મોટા

ભાગે આવા સંયોજનો બેન્ઝિન વલય ધરાવતા હોય છે. બેન્ઝિન વલય વધુ અસંતૃપ્ત છે, પરંતુ એરોમેટિક સંયોજનોની મોટા ભાગની પ્રક્રિયામાં આ અસંતૃપ્ત બેન્ઝિન વલય સચવાઈ રહે છે. જોકે એરોમેટિક હાઈડ્રોકાર્બનના કેટલાક ઉદાહરણો એવા છે કે જેમાં બેન્ઝિન વલયને બદલે અન્ય ઉચ્ચ અસંતૃપ્ત વલય હોય છે. બેન્ઝિન વલય ધરાવતા એરોમેટિક સંયોજનોને **બેન્ઝેનોઈડ સંયોજનો** તથા બેન્ઝિન વલય ન ધરાવતા એરોમેટિક સંયોજનોને **નોન-બેન્ઝેનોઈડ સંયોજનો** કહે છે. એરીન સંયોજનોના કેટલાક ઉદાહરણો નીચે દર્શાવ્યા છે.



#### 13.5.1 નામકરણ અને સમઘટકતા (Nomenclature and Isomerism)

એરોમેટિક સંયોજનોના નામકરણ અને સમઘટકતાની ચર્ચા આપણે એકમ 12માં કરી છે. બેન્ઝિનના બધા છ હાઈડ્રોજન પરમાણુઓ સમાન છે, તેથી તે એક અને માત્ર એક પ્રકારની એક વિસ્થાપિત નીપજ બનાવે છે. જો બેન્ઝિનના બે હાઈડ્રોજન પરમાણુઓ બે સમાન અથવા જુદા જુદા એક સંયોજક પરમાણુઓ અથવા સમૂહોથી વિસ્થાપિત થાય તો ત્રણ જુદા જુદા સ્થાન સમઘટકો શક્ય બને છે. જે 1, 2 અથવા 1, 6 કે જે ઓર્થો (o-); 1, 3 અથવા 1, 5 કે જે મેટા (m-) અને 1, 4 કે જે પેરા (p-) દ્વિવિસ્થાપિત સંયોજનો છે. બેન્ઝિન વ્યુત્પન્નોના કેટલાક ઉદાહરણો નીચે દર્શાવ્યા છે.



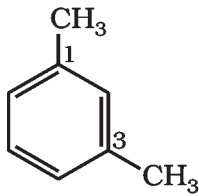
જર્મન રસાયણવિજ્ઞાની ફ્રેડરિક ઓગસ્ટ કેક્યૂલે (Friedrich August Kekulé)નો જન્મ 1829માં જર્મનીના ડાર્મસ્ટ (Darmstadt) નામના નગરમાં થયો હતો. તે 1856માં પ્રોફેસર અને 1875માં રોયલ સોસાયટીના ફેલો બન્યા. બંધારણીય કાર્બનિક રસાયણવિજ્ઞાન ક્ષેત્રે તેમણે બે મહત્વપૂર્ણ યોગદાન આપ્યા. પ્રથમ 1958માં જ્યારે તેમણે એ રજૂઆત કરી કે અનેક કાર્બન પરમાણુઓ એકબીજા સાથે બંધ બનાવીને શૃંખલાઓનું નિર્માણ કરી શકે છે. બીજું તેમને 1865માં બેન્ઝિનનું બંધારણ સમજાવવામાં યોગદાન આપ્યું, જ્યારે તેમને એવી રજૂઆત કરી કે કાર્બન પરમાણુઓની શૃંખલાઓ છેડેથી જોડાઈને વલય બનાવી શકે છે ત્યારબાદ તેમને બેન્ઝિનના ગતિક બંધારણની રજૂઆત કરી, જેના પર બેન્ઝિનની ઈલેક્ટ્રોનીય રચના આધારિત છે. ત્યારબાદ તેઓએ બેન્ઝિનના બંધારણની શોધને નીચે મુજબ વર્ણવી હતી :



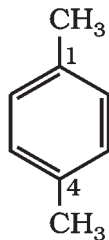
ફ્રેડરિક  
ઓગસ્ટ કેક્યૂલે  
(7-9-1829 -  
13-7-1896)

“હું પાઠ્યપુસ્તક લખી રહ્યો હતો, પરંતુ કાર્ય આગળ વધતું ન હતું. કારણ કે મારો વિચાર કંઈક બીજો હતો. ત્યારે મેં મારી ખુરશીને અગ્નિ તરફ કરી. થોડા સમય પછી મને ઊંઘ આવી ગઈ. સ્વપ્નમાં મારી આંખોની સામે પરમાણુ નાચી રહ્યા હતા. અનેક પ્રકારના વિન્યાસના બંધારણો મારા મસ્તિષ્કની આંખ સામે ઘૂમી રહ્યા હતા. હું સ્પષ્ટ રીતે લાંબી-લાંબી શૃંખલાઓ જોઈ રહ્યો હતો. જે ક્યારેક-ક્યારેક નજીક આવી રહી હતી. તે સાપની જેમ ફરી રહી હતી, ત્યારે મેં જોયું કે એક સાપે પોતાની પૂંછડી મોંમા દબાવી લીધી છે. આ રીતે બનેલા બંધારણને હું સ્પષ્ટ રીતે જોઈ રહ્યો હતો, ત્યારે અચાનક મારી આંખ ખુલી ગઈ તથા રાત્રિનો બાકીનો સમય મેં મારા સપનાને સમજીને ઉપર્યુક્ત નિષ્કર્ષ કાઢવામાં વ્યતિત કર્યો. તેઓ આગળ કહે છે કે - સજ્જનો! આપણે સ્વપ્ના જોવાની આદત પાડવી જોઈએ, તો જ આપણે સત્યનો સાક્ષાત્કાર કરી શકીશું. પરંતુ આપણે આપણા સ્વપ્નાને ભૂલી જઈએ તે પહેલા અન્ય કોઈને તે કહી દેવું જોઈએ.” (1890)

સો વર્ષ પછી કેક્યૂલેની જન્મ શતાબ્દી સમારોહના પ્રસંગે પોલિબેન્ઝોનોઈડ સંયોજનોના વર્ગને કેક્યૂલીન નામ આપવામાં આવ્યું.



1,3-ડાયમિથાઈલબેન્ઝિન  
(m-ઝાયલીન)

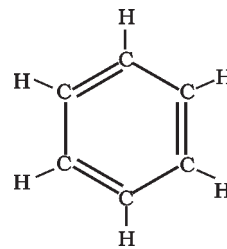


1,4-ડાયમિથાઈલબેન્ઝિન  
(p-ઝાયલીન)

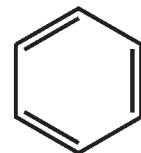
તેમાં રહેલા ત્રિબંધની હાજરી સૂચવે છે. વધુમાં બેન્ઝિન એક અને માત્ર એક જ એક વિસ્થાપિત વ્યુત્પન્ન બનાવે છે, જે બેન્ઝિનના છ કાર્બન અને છ હાઈડ્રોજન પરમાણુની સમાનતા સૂચવે છે. આ બધા અવલોકનોને આધારે ઓગસ્ટ કેક્યૂલેએ 1865માં બેન્ઝિનનું એક બંધારણ સૂચવ્યું જેમાં છ કાર્બન પરમાણુની ચક્રિય રચના છે. તેમાં એકાંતરે દ્વિબંધ આવેલા છે તથા પ્રત્યેક કાર્બન પરમાણુની સાથે હાઈડ્રોજન પરમાણુઓ જોડાયેલા છે.

### 13.5.2 બેન્ઝિનનું બંધારણ (Structure of Benzene)

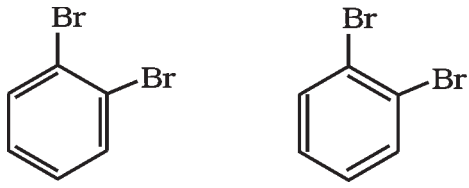
બેન્ઝિનને સૌપ્રથમ માઈકલ ફેરાડેએ (Michael Faraday) 1825માં મેળવ્યું હતું. બેન્ઝિનનું આણ્વીય સૂત્ર  $C_6H_6$  છે. જે ઉચ્ચ અસંતૃપ્તતા દર્શાવે છે. આ આણ્વીય સૂત્ર તેને અનુરૂપ આલ્કેન, આલ્કીન કે આલ્કાઈન સંયોજનો કે જેનો અભ્યાસ તમે આ એકમની શરૂઆતમાં કર્યો છે તેની સાથે કોઈ સંબંધ દર્શાવતું નથી. તમે તેના સંભવિત બંધારણ વિશે શું વિચારો છો? તેના વિશિષ્ટ ગુણધર્મો અને અસામાન્ય સ્થાયીતાના કારણે તેનું બંધારણ નક્કી કરવામાં ઘણા વર્ષો નીકળી ગયા. બેન્ઝિન એક સ્થાયી અણુ છે. તે ટ્રાયઓઝોનોઈડ બનાવે છે, જે



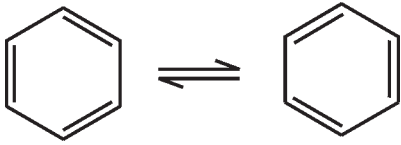
અથવા



કેક્યૂલે બંધારણ 1,2-ડાયબ્રોમો બેન્ઝિનના બે સમઘટકોની સંભાવના દર્શાવે છે. એક સમઘટકમાં બ્રોમિનના બંને પરમાણુઓ દ્વિબંધિત કાર્બન પરમાણુઓ સાથે જોડાયેલા છે, જ્યારે બીજા સમઘટકમાં એકલબંધિત કાર્બન પરમાણુઓ સાથે જોડાયેલા છે.



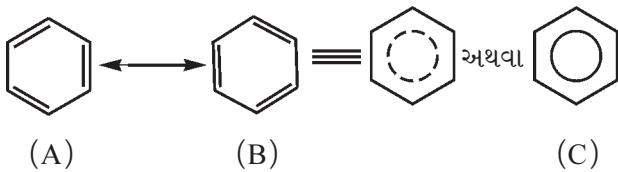
પરંતુ બેન્ઝિન માત્ર એક જ ઓર્થો દ્વિવિસ્થાપિત નીપજ બનાવે છે. આ સમસ્યાનું નિવારણ કેક્યૂલેએ બેન્ઝિનમાં રહેલા દ્વિબંધોના દોલાયમાન (oscillating) સ્વભાવની સંકલ્પના નીચે મુજબ રજૂ કરીને કર્યું હતું.



આ સુધારો પણ કેક્યૂલેના બેન્ઝિન બંધારણની અસામાન્ય સ્થાયીતા તથા યોગશીલ પ્રક્રિયાની સાપેક્ષે વિસ્થાપન પ્રક્રિયાની પ્રાથમિકતા સમજાવવામાં નિષ્ફળ રહ્યો હતો. જેને બાદમાં સસ્પંદન (resonance) દ્વારા સમજાવવામાં આવ્યું.

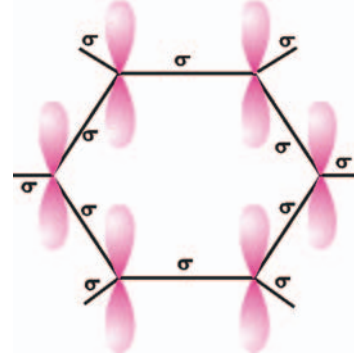
### સસ્પંદન અને બેન્ઝિનની સ્થાયીતા

સંયોજકતા સિદ્ધાંત મુજબ બેન્ઝિનમાં દ્વિબંધ દોલન સંકલ્પનાને સસ્પંદન દ્વારા સમજાવવામાં આવી છે. બેન્ઝિન વિભિન્ન સસ્પંદન બંધારણોનું સંકર સૂત્ર છે. કેક્યૂલેએ સૂચવેલા બે બંધારણો A અને B મુખ્ય યોગદાન આપનાર બંધારણો છે. સંકૃત બંધારણને ષટ્કોણ રચનાની અંદર વર્તુળાકાર અથવા બિંદુ દ્વારા વર્તુળાકાર દોરીને દર્શાવાય છે (C). અંદરનું વલય બેન્ઝિન વલયના છ કાર્બન પરમાણુઓ પર વિસ્થાનીકૃત થયેલા છ ઈલેક્ટ્રોન દર્શાવે છે.

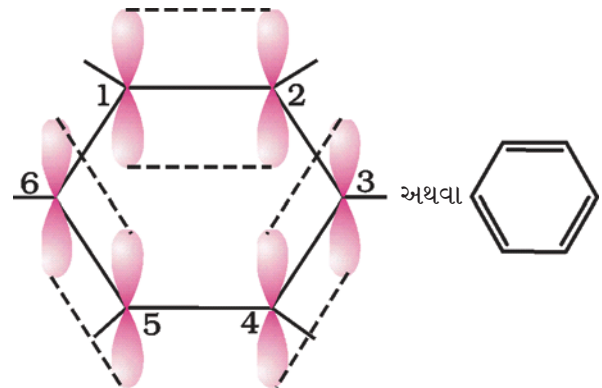


કક્ષકીય સંમિશ્રણ બેન્ઝિનના બંધારણ અંગે વિશેષ ખ્યાલ આપે છે. બેન્ઝિનમાં બધા છ કાર્બન પરમાણુઓ  $sp^2$  સંકરણ ધરાવે છે. કાર્બનની બે  $sp^2$  સંકૃત કક્ષકો તેને સંલગ્ન અન્ય બે કાર્બન પરમાણુઓની  $sp^2$  સંકૃત કક્ષકો સાથે સંમિશ્ર થઈ કુલ છ C-C સિગ્મા બંધ બનાવે છે, જે ષટ્કોણીય સમતલ રચના બનાવે છે. દરેક કાર્બનની બાકી રહેલી એક-એક  $sp^2$  સંકૃત કક્ષક છ હાઈડ્રોજન પરમાણુની એક-એક 1s કક્ષક સાથે સંમિશ્ર થઈ કુલ છ C-H સિગ્મા બંધ બનાવે છે. દરેક કાર્બન

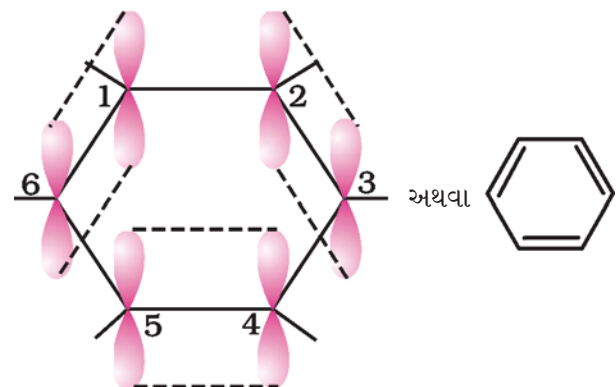
પાસે એક અસંકૃત p કક્ષક છે કે જે નીચે દર્શાવ્યા મુજબ વલયના સમતલને લંબ ગોઠવાય છે.



કાર્બન પરમાણુની અસંકૃત p-કક્ષકોનું બાજુએથી સંમિશ્રણ થઈ  $\pi$  બંધ બને છે.  $C_1-C_2$ ,  $C_3-C_4$ ,  $C_5-C_6$  અથવા  $C_2-C_3$ ,  $C_4-C_5$ ,  $C_6-C_1$ ની p-કક્ષકોના સંમિશ્રણથી અનુક્રમે નીચે આકૃતિમાં દર્શાવ્યા મુજબ ત્રણ  $\pi$  બંધ બનવાની બે પ્રકારની શક્યતાઓ રહેલી છે.



આકૃતિ 13.7 (a)

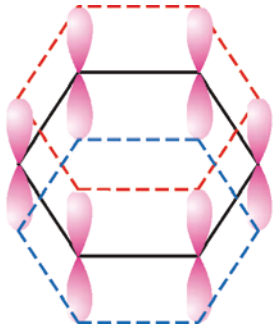


આકૃતિ 13.7 (b)

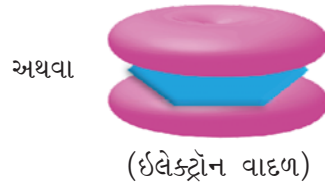
આકૃતિ 13.7(a) અને 13.7(b)માં દર્શાવેલા બંધારણો કેક્યૂલેના સ્થાયીકૃત થયેલા  $\pi$  બંધવાળા બે બંધારણોને અનુરૂપ છે. ક્ષ-કિરણ વિવર્તન દ્વારા નક્કી થયું કે વલયમાં રહેલા કાર્બન



પરમાણુઓના આંતરકેન્દ્રિય અંતર સમાન છે. ઉપરાંત દરેક કાર્બન પરમાણુની  $p$ -કક્ષકનું સંલગ્ન કાર્બન પરમાણુની  $p$ -કક્ષક સાથેનું સંમિશ્રણ થવાની સંભાવના સમાન છે. (આકૃતિ 13.7(c)), જેને (આકૃતિ 13.7(d)) ઈલેક્ટ્રોન વાદળના વલય સ્વરૂપે દર્શાવવામાં આવે છે. આમ નીચે આકૃતિમાં દર્શાવ્યા મુજબ ષટ્કોણીય સમતલ રચનાની ઉપર એક અને નીચે એક ઈલેક્ટ્રોન વાદળ રહે છે તેમ માનવામાં આવે છે.



આકૃતિ 13.7 (c)



આકૃતિ 13.7 (d)

આકૃતિ 13.6(a) અને (b)માં દર્શાવ્યા મુજબ છ  $\pi$  ઈલેક્ટ્રોન કોઈ પણ બે કાર્બન કેન્દ્રો પર રહેવાના બદલે વિસ્થાનીકૃત થઈ છ કાર્બન કેન્દ્રો પર મુક્ત રીતે ઘૂમી શકે છે. બે કાર્બન પરમાણુઓ વચ્ચે સ્થાનીકૃત થયેલા ઈલેક્ટ્રોન વાદળ કરતા બધા કાર્બન પરમાણુઓના કેન્દ્ર દ્વારા વિસ્થાનીકૃત  $\pi$  ઈલેક્ટ્રોન વાદળ વધુ પ્રબળતાથી આકર્ષાયેલા હોય છે. તેથી બેન્ઝિનમાં વિસ્થાનીકૃત  $\pi$  ઈલેક્ટ્રોનની હાજરીથી બેન્ઝિનની સ્થાયીતા પરિકલ્પિત સાયક્લોહેક્ઝાટ્રાઈનની સાપેક્ષે વધુ હોય છે.

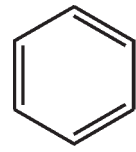
ક્ષ-કિરણ વિવર્તનના પરિણામો સૂચવે છે કે બેન્ઝિન સમતલીય અણુ છે. ઉપર જણાવેલ બેન્ઝિનના બંધારણોમાંથી કોઈ એક બંધારણ (A અથવા B) સાચું હોય તો બંને પ્રકારના કાર્બન-કાર્બન બંધની બંધલંબાઈ વિશે વિચારી શકાય, પરંતુ ક્ષ-કિરણ વિવર્તનના પરિણામો સૂચવે છે કે બધી છ કાર્બન-કાર્બન બંધલંબાઈ સમાન (139 pm) છે, કે જે કાર્બન-કાર્બન એકલબંધ (154 pm) અને કાર્બન-કાર્બન દ્વિબંધની (133 pm) મધ્યવર્તી છે. આમ, બેન્ઝિનમાં શુદ્ધ દ્વિબંધની ગેરહાજરી સામાન્ય પરિસ્થિતિમાં બેન્ઝિનમાં યોગશીલ પ્રક્રિયા થતી રોકે છે. આમ, આ બાબત બેન્ઝિનની અસામાન્ય વર્તણૂકનું સ્પષ્ટીકરણ છે.

### 13.5.3 એરોમેટિકતા (Aromaticity)

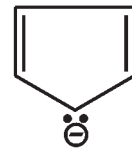
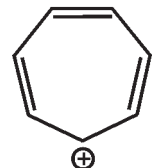
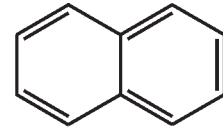
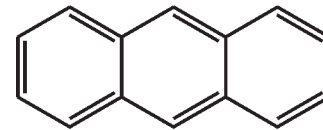
શરૂઆતમાં બેન્ઝિનને એરોમેટિક સંયોજનોનું જનક સંયોજન ગણવામાં આવતું હતું. હાલમાં એરોમેટિક નામ બધી વલય પ્રણાલીઓ માટે વપરાય છે કે જે નીચેના ગુણધર્મો ધરાવતું હોય, પછી તેમાં બેન્ઝિન વલય હોય કે ના હોય.

- સમતલીયતા
  - વલયમાં રહેલા  $\pi$  ઈલેક્ટ્રોનનું સંપૂર્ણ વિસ્થાનીકરણ
  - વલયમાં  $(4n + 2) \pi$  ઈલેક્ટ્રોનની હાજરી. જ્યાં,  $n =$  પૂર્ણાંક સંખ્યા ( $n = 0, 1, 2, \dots$ )
- આને **હ્યુકેલનો નિયમ (Hückel Rule)** તરીકે ઓળખવામાં આવે છે.

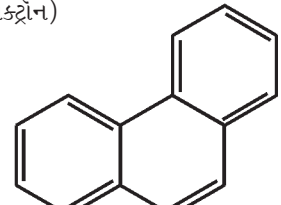
એરોમેટિક સંયોજનોના કેટલાક ઉદાહરણો નીચે દર્શાવ્યા છે :



બેન્ઝિન

સાયક્લોપેન્ટાડાયનાઈલ  
એનાયન  
( $n = 1, 6\pi$  ઈલેક્ટ્રોન)સાયક્લોહેપ્ટાટ્રાઈનાઈલ  
કેટાયનનેપ્થેલીન  
( $n = 2, 10\pi$  ઈલેક્ટ્રોન)

એન્થ્રેસીન



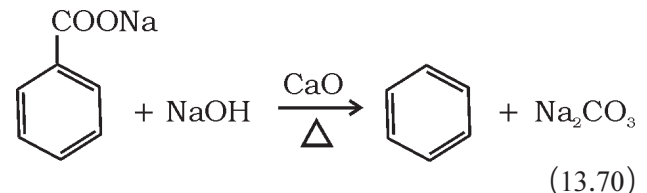
ફિનાન્થ્રીન

(n = 3, 14 $\pi$  ઈલેક્ટ્રોન)

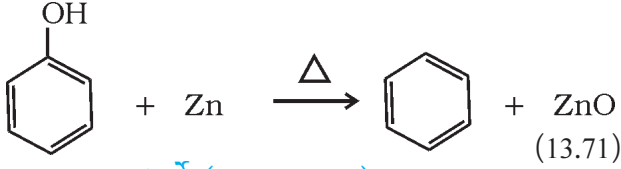
### 13.5.4 બેન્ઝિનની બનાવટ (Preparation of Benzene)

બેન્ઝિનને વ્યાપારિક ધોરણે કોલટારમાંથી મેળવાય છે. જોકે તેને પ્રયોગશાળામાં નીચે દર્શાવેલી પદ્ધતિઓ દ્વારા મેળવવામાં આવે છે.

- ઈથાઈનનું ચક્રિય પોલિમરાઈઝેશન : (મુદ્દા નં. 13.4.4)
- એરોમેટિક એસિડનું ડિકાર્બોક્સિલેશન : બેન્ઝોઈક એસિડના સોડિયમ ક્ષારને સોડા લાઈમ સાથે ગરમ કરતાં બેન્ઝિન મળે છે.



(iii) ફિનોલનું રિડક્શન : ફિનોલની બાષ્પને ઝિંક ધાતુના ગરમ ભૂકા પરથી પસાર કરતાં ફિનોલનું બેન્ઝિનમાં રિડક્શન થાય છે.



### 13.5.5 ગુણધર્મો (Properties)

#### ભૌતિક ગુણધર્મો

એરોમેટિક હાઇડ્રોકાર્બન સંયોજનો અધ્રુવીય અણુઓ છે. સામાન્ય રીતે તેઓ વિશિષ્ટ વાસવાળા તથા રંગવિહીન પ્રવાહી અથવા ઘનપદાર્થો છે. તેમને નેથેલીનની (ડામરની) ગોળીઓથી પરિચિત હશે જ કે જે વિશિષ્ટ વાસ ધરાવે છે અને જીવાત પ્રતિકર્ષી (કંસારી, પતંગિયા વગેરેને દૂર રાખવાનો) ગુણધર્મ ધરાવે છે. તેથી તેનો ઉપયોગ શૌચાલયમાં અને કપડાંને સુરક્ષિત રાખવામાં થાય છે. એરોમેટિક હાઇડ્રોકાર્બન સંયોજનો પાણી સાથે અમિશ્રિત રહે છે, પરંતુ કાર્બનિક દ્રાવકો સાથે તરત જ મિશ્રિત થાય છે. તેઓ મેશવાળી જ્યોતથી બળે છે.

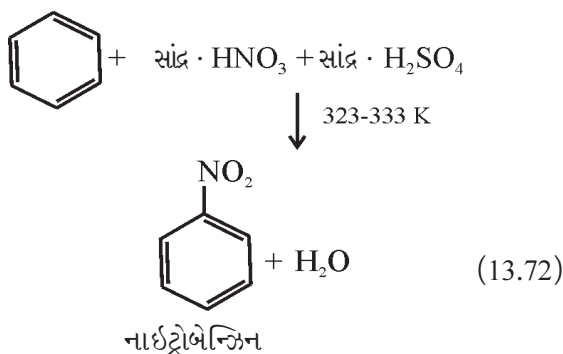
#### રાસાયણિક ગુણધર્મો

એરીન સંયોજનો ઈલેક્ટ્રોન અનુરાગી વિસ્થાપન પ્રક્રિયાઓ આપે છે, તેમ છતાં વિશિષ્ટ પરિસ્થિતિમાં તેઓ યોગશીલ અને ઓક્સિડેશન પ્રક્રિયાઓ પણ આપે છે.

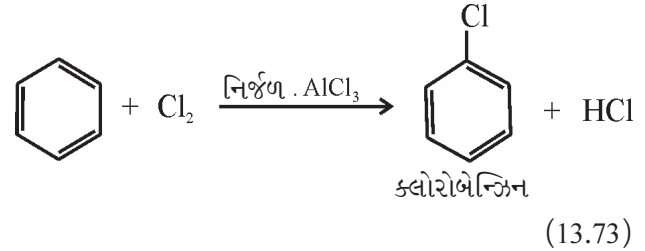
#### ઈલેક્ટ્રોન અનુરાગી વિસ્થાપન પ્રક્રિયાઓ

નાઈટ્રેશન, હેલોજનેશન, સલ્ફોનેશન, ફ્રિડલ-ક્રાફ્ટ્સ આલ્કાઈલેશન અને ફ્રિડલ-ક્રાફ્ટ્સ એસાઈલેશન વગેરે એરીન સંયોજનોની સામાન્ય ઈલેક્ટ્રોન અનુરાગી વિસ્થાપન પ્રક્રિયાઓ છે કે જેમાં ઈલેક્ટ્રોન અનુરાગી પ્રક્રિયક ( $E^+$ ) હુમલો કરનાર પ્રક્રિયક છે.

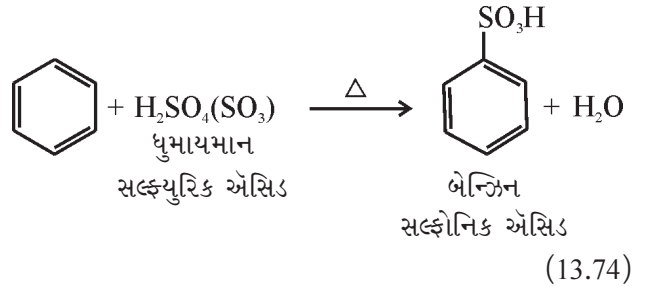
(i) નાઈટ્રેશન : જ્યારે બેન્ઝિનને સાંદ્ર નાઈટ્રિક એસિડ અને સાંદ્ર સલ્ફ્યુરિક એસિડના મિશ્રણ (નાઈટ્રેટિંગ મિશ્રણ) સાથે ગરમ કરવામાં આવે ત્યારે બેન્ઝિન વલયમાં નાઈટ્રો સમૂહને દાખલ કરી શકાય છે.



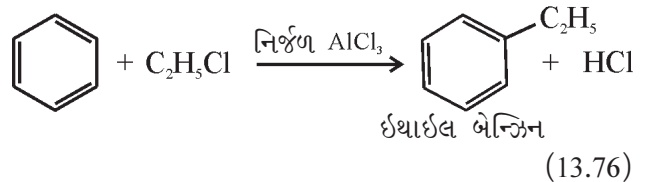
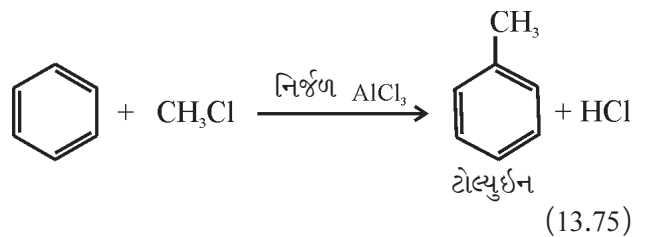
(ii) હેલોજનેશન : એરીન સંયોજનો લુઈસ એસિડ જેવા કે નિર્જળ  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{FeBr}_3$  અથવા  $\text{AlCl}_3$ ની હાજરીમાં હેલોજન સાથે પ્રક્રિયા કરતાં હેલોએરીન સંયોજનો આપે છે.



(iii) સલ્ફોનેશન : વલયમાં હાઇડ્રોજનનું સલ્ફોનિક એસિડ સમૂહ વડે થતા વિસ્થાપનને સલ્ફોનેશન કહે છે. આ પ્રક્રિયામાં બેન્ઝિનને ધુમાયમાન સલ્ફ્યુરિક એસિડ (ઓલિયમ) સાથે ગરમ કરવામાં આવે છે.

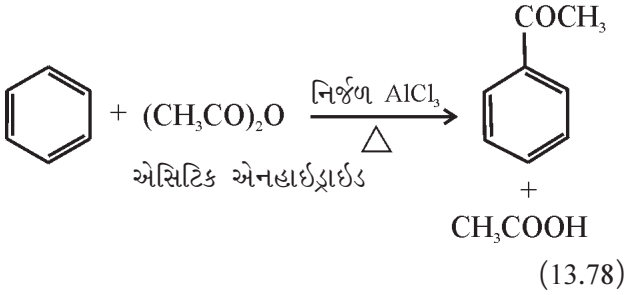
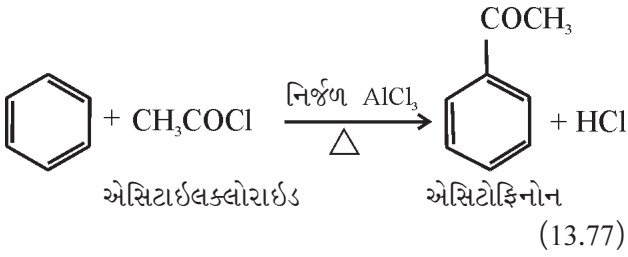


(iv) ફ્રિડલ-ક્રાફ્ટ્સ આલ્કાઈલેશન પ્રક્રિયા : જ્યારે બેન્ઝિનને નિર્જળ એલ્યુમિનિયમ ક્લોરાઈડની હાજરીમાં આલ્કાઈલ હેલાઈડ સાથે ગરમ કરવામાં આવે છે ત્યારે આલ્કાઈલ બેન્ઝિન મળે છે.

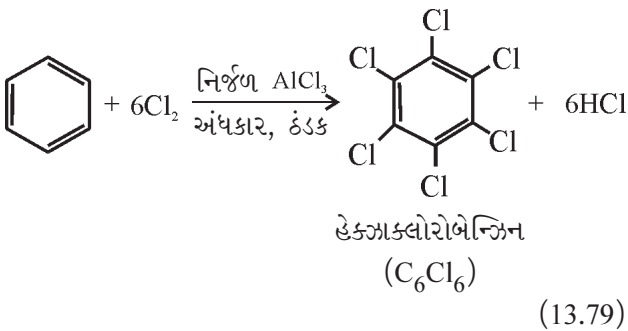


બેન્ઝિનની 1-ક્લોરોપ્રોપેન સાથેની પ્રક્રિયાથી શા માટે n-પ્રોપાઈલ બેન્ઝિનના બદલે આઈસો પ્રોપાઈલ બેન્ઝિન મળે છે ?

(v) ફ્રિડલ-ક્રાફ્ટ્સ એસાઈલેશન પ્રક્રિયા : બેન્ઝિન લુઈસ એસિડ( $\text{AlCl}_3$ )ની હાજરીમાં એસાઈલ હેલાઈડ અથવા એસિડ એનહાઈડ્રાઈડ સાથે પ્રક્રિયા કરી એસાઈલ બેન્ઝિન બનાવે છે.



જો ઇલેક્ટ્રોન અનુરાગી પ્રક્રિયકનો વધુ પ્રમાણમાં ઉપયોગ કરવામાં આવે તો વિસ્થાપન પ્રક્રિયા આગળને આગળ ચાલુ રહે છે કે જેમાં બેન્ઝિન વલયના બીજા હાઈડ્રોજન પરમાણુઓનું વિસ્થાપન ઇલેક્ટ્રોન અનુરાગી પ્રક્રિયક દ્વારા થતું રહે છે. દા.ત., બેન્ઝિનની નિર્જળ AlCl<sub>3</sub> ની હાજરીમાં વધુ પ્રમાણમાં ક્લોરિન સાથે પ્રક્રિયા થવાથી હેક્ઝાક્લોરોબેન્ઝિન (C<sub>6</sub>Cl<sub>6</sub>) મળે છે.



### ઇલેક્ટ્રોન અનુરાગી વિસ્થાપન પ્રક્રિયાઓની ક્રિયાવિધિ

પ્રાયોગિક સત્યોના આધારે S<sub>E</sub> (S = Substitution = વિસ્થાપન, E = Electrophilic = ઇલેક્ટ્રોન અનુરાગી) પ્રક્રિયાઓ નીચે દર્શાવેલા ત્રણ તબક્કા મુજબ થાય છે.

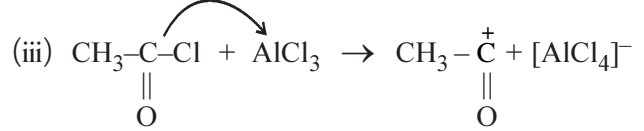
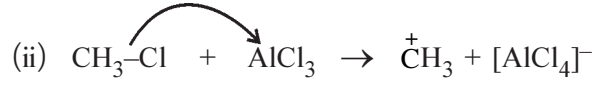
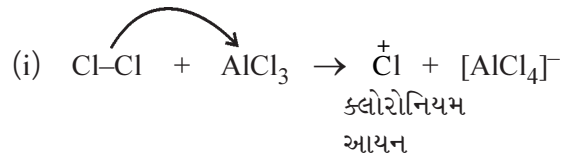
(a) ઇલેક્ટ્રોન અનુરાગી પ્રક્રિયકની ઉત્પત્તિ

(b) મધ્યવર્તી કાર્બોકેટાયનની બનાવટ

(c) મધ્યવર્તી કાર્બોકેટાયનમાંથી પ્રોટોનનું દૂર થવું.

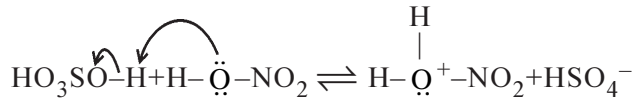
(a) ઇલેક્ટ્રોન અનુરાગી પ્રક્રિયક (E<sup>⊕</sup>)ની ઉત્પત્તિ :

બેન્ઝિનના ક્લોરિનેશન, આલ્કાઈલેશન અને એસાઈલેશન દરમિયાન લુઈસ એસિડ તરીકે નિર્જળ AlCl<sub>3</sub>, હુમલો કરનાર પ્રક્રિયક સાથે પ્રક્રિયા કરી ઇલેક્ટ્રોન અનુરાગી પ્રક્રિયકો અનુક્રમે Cl<sup>+</sup>, R<sup>+</sup> અને RC<sup>+</sup>O (એસાઈલિયમ આયન) આપે છે.

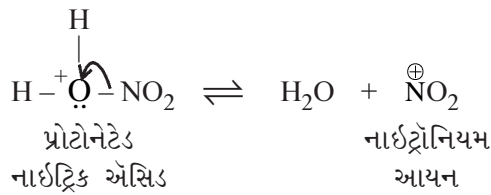


નાઈટ્રેશનના કિસ્સામાં, નીચે દર્શાવ્યા મુજબ નાઈટ્રિક એસિડ પર પ્રોટોન સ્થાનાંતર (સલ્ફ્યુરિક એસિડમાંથી) થવાથી ઇલેક્ટ્રોન અનુરાગી પ્રક્રિયક, નાઈટ્રોનિયમ આયન <sup>+</sup>NO<sub>2</sub> બને છે.

તબક્કો I



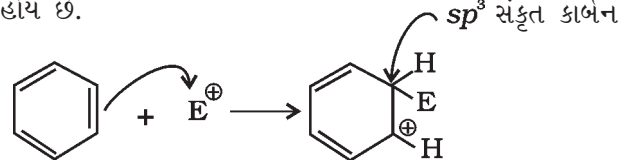
તબક્કો II



અહીં નોંધવા જેવી રસપ્રદ બાબત એ છે કે નાઈટ્રોનિયમ આયનની ઉત્પત્તિની પ્રક્રિયામાં સલ્ફ્યુરિક એસિડ, એસિડ તરીકે અને નાઈટ્રિક એસિડ, બેઈઝ તરીકે વર્તે છે. આમ તે સામાન્ય એસિડ બેઈઝ સંતુલન છે.

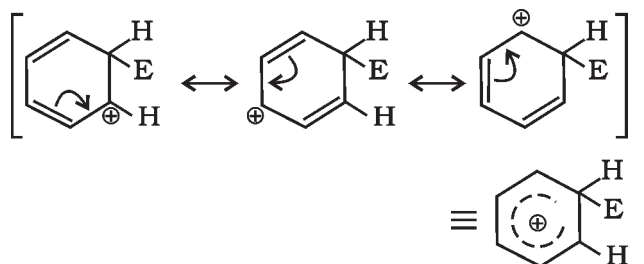
(b) કાર્બોકેટાયનની બનાવટ (એરેનિયમ આયન) :

ઇલેક્ટ્રોન અનુરાગી પ્રક્રિયકના હુમલાથી σ-સંકીર્ણ અથવા એરેનિયમ આયન બને છે કે જેમાં એક કાર્બન sp<sup>3</sup> સંકૃત હોય છે.



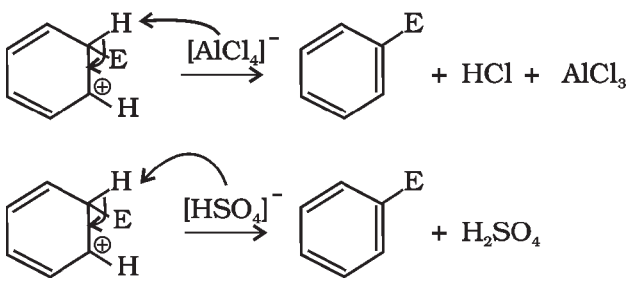
સિગ્મા સંકીર્ણ (એરેનિયમ આયન)

એરેનિયમ આયન સસ્પેન્ડન દ્વારા સ્થાયીતા પ્રાપ્ત કરે છે.



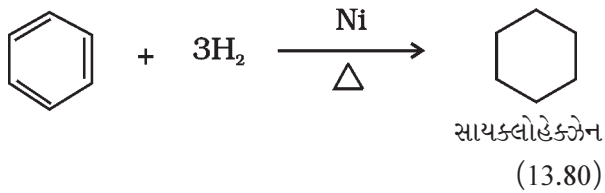
સિગ્મા સંકીર્ણ અથવા એરેનિયમ આયનમાં  $sp^3$  સંકૃત કાર્બન પરમાણુ આગળ ઇલેક્ટ્રોનનું વિસ્થાનીકરણ અટકી જાય છે, જેના કારણે સિગ્મા સંકીર્ણ અથવા એરેનિયમ આયન એરોમેટિક ગુણ ગુમાવે છે.

(c) પ્રોટોનનું દૂર થવું : એરોમેટિક ગુણને પુનઃપ્રાપ્ત કરવા માટે  $\sigma$  સંકીર્ણ તેમાં રહેલા  $sp^3$  સંકૃત કાર્બન પર  $(AlCl_4)^-$  (હેલોજનેશન, આલ્કાઈલેશન અને એસાઈલેશનના કિસ્સામાં) અને  $HSO_4^-$  ના (નાઈટ્રેશનના કિસ્સામાં) હુમલા દ્વારા પ્રોટોન ગુમાવે છે.

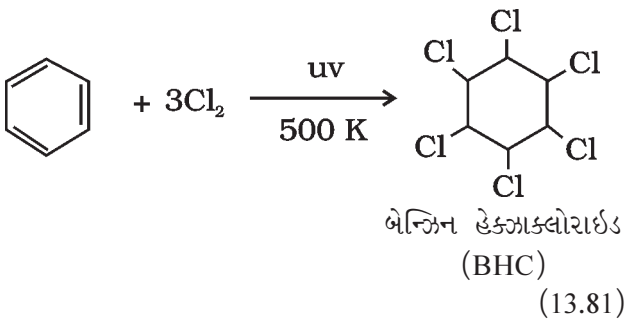


### યોગશીલ પ્રક્રિયાઓ

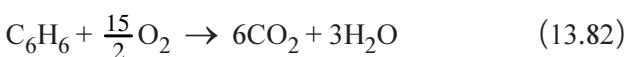
પ્રબળ પરિસ્થિતિઓમાં એટલે કે ઊંચા તાપમાને અને/અથવા દબાણે તથા નિકલ ઉદ્દીપકની હાજરીમાં બેન્ઝિનનું હાઈડ્રોજનેશન થઈને સાયક્લોહેક્ઝેન મળે છે.



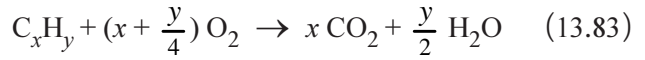
પારજાંબલી પ્રકાશની હાજરીમાં ક્લોરિનના ત્રણ અણુઓ બેન્ઝિન અણુમાં ઉમેરાઈને બેન્ઝિન હેક્ઝાક્લોરાઈડ ( $C_6H_6Cl_6$ ) બનાવે છે, જેને ગેમેક્ષીન પણ કહે છે.



દહન : જ્યારે બેન્ઝિનને હવાની હાજરીમાં ગરમ કરવામાં આવે છે ત્યારે તે મેશવાળી જ્યોતથી બળે છે તથા  $CO_2$  અને  $H_2O$  ઉત્પન્ન કરે છે.



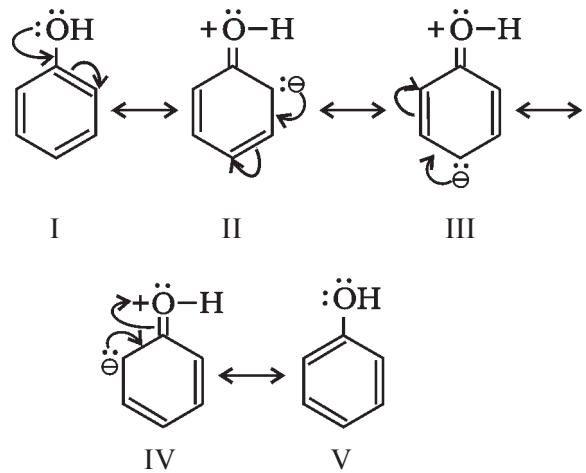
કોઈ પણ હાઈડ્રોકાર્બનની સામાન્ય દહન પ્રક્રિયાને નીચે દર્શાવેલા રાસાયણિક સમીકરણ દ્વારા દર્શાવી શકાય છે.



### 13.5.6 એક વિસ્થાપિત બેન્ઝિનમાં ક્રિયાશીલ સમૂહની સ્થાન નિર્દેશક અસર (Directive Influence of a Functional Group in Monosubstituted Benzene)

જ્યારે એક વિસ્થાપિત બેન્ઝિનનું પુનઃવિસ્થાપન કરવામાં આવે તો સંબંધિત ત્રણ દ્વિવિસ્થાપિત નીપજો સમાન પ્રમાણમાં પ્રાપ્ત થતી નથી. અહીં બે પ્રકારની વર્તણૂક જોવા મળે છે. ઓર્થો અને પેરા નીપજો મુખ્ય નીપજ તરીકે અથવા મેટા નીપજો મુખ્ય નીપજ તરીકે. આ વર્તણૂકનો આધાર બેન્ઝિન વલયમાં નવા દાખલ થનાર સમૂહના સ્વભાવ પર નહિ, પરંતુ અગાઉથી વિસ્થાપન પામીને દાખલ થયેલા સમૂહના સ્વભાવ પર રહેલો છે. આને વિસ્થાપકોની સ્થાન નિર્દેશક અસર કહે છે. સમૂહોના ઓર્થો/પેરા અથવા મેટા સ્થાન નિર્દેશકના સ્વભાવ માટેના કારણોની ચર્ચા નીચે કરવામાં આવી છે.

**ઓર્થો અને પેરા સ્થાનનિર્દેશક સમૂહો :** જે સમૂહો નવા દાખલ થનાર સમૂહને ઓર્થો અને પેરા સ્થાનનો નિર્દેશ કરે છે તેઓને ઓર્થો અને પેરા સ્થાન નિર્દેશક સમૂહો કહે છે. ઉદાહરણ તરીકે આપણે ફિનોલિક સમૂહની ( $-OH$ ) સ્થાન નિર્દેશક અસર ચર્ચાએ. ફિનોલ નીચે દર્શાવેલા સસંપંદન બંધારણોનું સંકૃત બંધારણ છે.



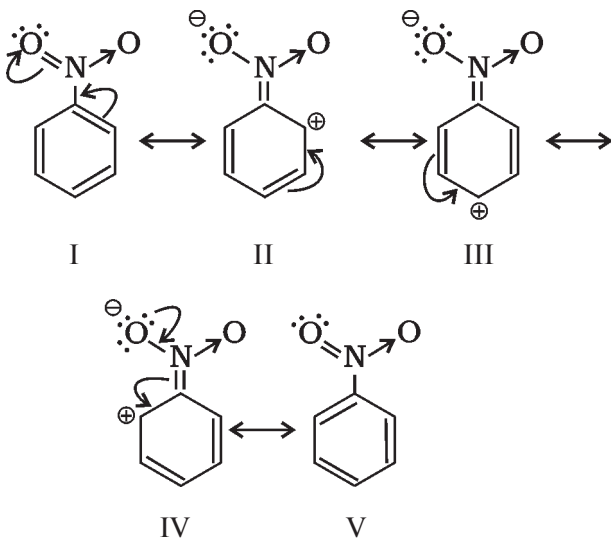
ઉપર દર્શાવેલ સસંપંદન સૂત્રો પરથી સ્પષ્ટ થાય છે કે  $o-$  અને  $p-$  સ્થાનમાં ઇલેક્ટ્રોન ઘનતા વધુ છે. તેથી વિસ્થાપન પ્રક્રિયા મુખ્યત્વે આ સ્થાનો પર થાય છે. વિશેષમાં નોંધવા યોગ્ય

બાબત એ છે કે  $-OH$  સમૂહની  $-I$  અસરને કારણે બેન્ઝિન વલયમાં ઓર્થો અને પેરા સ્થાનોમાં થોડીક ઇલેક્ટ્રોન ઘનતા ઘટે છે. પરંતુ સસ્પંદનના કારણે વલયના આ સ્થાનો પર એકંદર ઇલેક્ટ્રોન ઘનતા વધે છે. તેથી  $-OH$  સમૂહ બેન્ઝિન વલયને ઇલેક્ટ્રોન અનુરાગી પ્રક્રિયકના હુમલા માટે સક્રિય કરે છે. અન્ય સક્રિયકારક સમૂહોના ઉદાહરણો  $-NH_2$ ,  $-NHR$ ,  $-NHCOCH_3$ ,  $-OCH_3$ ,  $-CH_3$ ,  $-C_2H_5$  વગેરે છે.

એરાઈલ હેલાઈડના કિસ્સામાં, હેલોજન મધ્યમ સક્રિયકારક છે, કારણ કે તેઓની પ્રબળ  $-I$  અસરને કારણે બેન્ઝિન વલયની અંદર એકંદર ઇલેક્ટ્રોન ઘનતા ઘટે છે. તેથી પછીનું વિસ્થાપન મુશ્કેલ બને છે. જો કે સસ્પંદનના કારણે  $o-$  અને  $p-$  સ્થાનો પર ઇલેક્ટ્રોન ઘનતા  $m-$ સ્થાન કરતાં વધુ હોય છે. તેથી તેઓ પણ  $o-$  અને  $p-$  સ્થાન નિર્દેશક સમૂહો છે.

**મેટા સ્થાન નિર્દેશક સમૂહો :** જે સમૂહો નવા દાખલ થનાર સમૂહને મેટા સ્થાનનો નિર્દેશ કરે છે તેઓને મેટા સ્થાન નિર્દેશક સમૂહો કહે છે. મેટા સ્થાન નિર્દેશક સમૂહોના કેટલાક ઉદાહરણો  $-NO_2$ ,  $-CN$ ,  $-CHO$ ,  $-COR$ ,  $-COOH$ ,  $-COOR$ ,  $-SO_3H$  વગેરે છે.

હવે આપણે નાઈટ્રો સમૂહનું ઉદાહરણ લઈએ, નાઈટ્રો સમૂહ તેની પ્રબળ  $-I$  અસરને કારણે બેન્ઝિન વલયમાં ઇલેક્ટ્રોન ઘનતા ઓછી કરે છે. નાઈટ્રો બેન્ઝિન નીચે દર્શાવેલા સસ્પંદન બંધારણોનું સંકૃત બંધારણ છે.

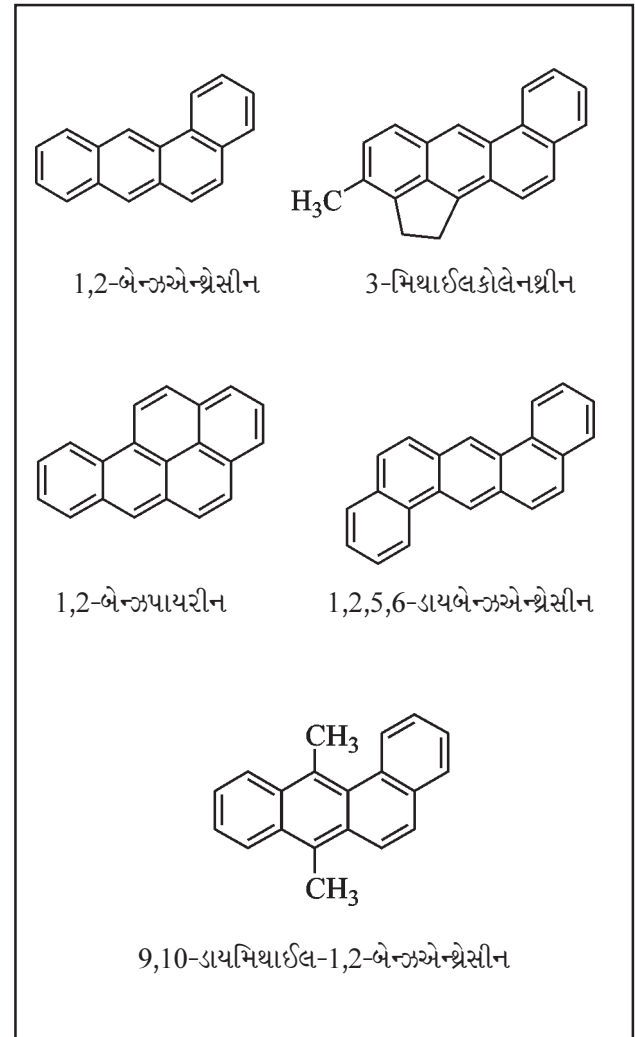


આ કિસ્સામાં બેન્ઝિનમાં એકંદર ઇલેક્ટ્રોન ઘનતા ઘટે છે, જે પુનઃવિસ્થાપન પ્રક્રિયાને મુશ્કેલ બનાવે છે. તેથી

આ સમૂહોને સક્રિયકારક સમૂહો પણ કહે છે. મેટા સ્થાનની સાપેક્ષે ઓર્થો અને પેરા સ્થાનમાં ઇલેક્ટ્રોન ઘનતા ઓછી હોય છે. પરિણામે ઇલેક્ટ્રોન અનુરાગી પ્રક્રિયક ઇલેક્ટ્રોન ઘનિક મેટા સ્થાન તરફ આકર્ષાય છે અને વિસ્થાપન પ્રક્રિયા મેટા સ્થાનમાં થાય છે.

### 13.6 કેન્સરજન્યતા અને વિષાલુતા (Carcinogenicity and Toxicity)

બેન્ઝિન અને બહુચક્રિય હાઈડ્રોકાર્બન સંયોજનો (જે બે કરતાં વધુ બેન્ઝિન વલય ધરાવે છે) વિષાલુ અને કેન્સર પ્રેરક સંયોજનો છે. કેટલાક બહુચક્રિય હાઈડ્રોકાર્બન સંયોજનો કાર્બનિક પદાર્થો જેવા કે તમાકુ, કોલસો અને પેટ્રોલિયમના અપૂર્ણ દહનથી ઉત્પન્ન થાય છે. જે માનવશરીરમાં પ્રવેશીને કેટલીક જૈવરાસાયણિક પ્રક્રિયા દ્વારા અંતમાં DNAને નષ્ટ કરીને કેન્સર ઉત્પન્ન કરે છે. કેટલાક કેન્સર પ્રેરક હાઈડ્રોકાર્બન સંયોજનો નીચે આકૃતિમાં દર્શાવ્યા છે (જૂઓ બોક્સ).



## સારાંશ

હાઈડ્રોકાર્બન માત્ર કાર્બન અને હાઈડ્રોજનના સંયોજનો છે. હાઈડ્રોકાર્બન સંયોજનો મુખ્યત્વે કોલસા અને પેટ્રોલિયમમાંથી પ્રાપ્ત થાય છે, જે ઊર્જાના મુખ્ય સ્ત્રોત છે. પેટ્રોરસાયણો અનેક મહત્વપૂર્ણ વ્યાવસાયિક નીપજોના ઉત્પાદન માટે મુખ્ય પ્રારંભિક પદાર્થ છે. ઘરના ઈંધણ તથા સ્વયં-સંચાલિત વાહનોના મુખ્ય ઊર્જાસ્ત્રોત LPG (Liquified Petroleum Gas) અને સંકોચિત કુદરતી વાયુ (Compressed Natural Gas) છે, જેને પેટ્રોલિયમમાંથી પ્રાપ્ત કરવામાં આવે છે. હાઈડ્રોકાર્બન સંયોજનોને તેમના બંધારણોને આધારે સરળ શૃંખલાવાળા સંતૃપ્ત સંયોજનો (આલ્કેન સંયોજનો), અસંતૃપ્ત સંયોજનો (આલ્કીન અને આલ્કાઈન સંયોજનો), ચક્રિય (એલિસાયક્લિક) અને ઍરોમેટિક સંયોજનોમાં વર્ગીકૃત કરવામાં આવે છે.

આલ્કેન સંયોજનોની મુખ્ય પ્રક્રિયાઓ મુક્તમૂલક વિસ્થાપન, દહન, ઓક્સિડેશન અને ઍરોમેટિકીકરણ છે. આલ્કીન અને આલ્કાઈન સંયોજનો યોગશીલ પ્રક્રિયાઓ દર્શાવે છે. જે મુખ્યત્વે ઈલેક્ટ્રોન અનુરાગી યોગશીલ પ્રક્રિયા હોય છે. ઍરોમેટિક હાઈડ્રોકાર્બન અસંતૃપ્ત હોવા છતાં મુખ્યત્વે ઈલેક્ટ્રોન અનુરાગી વિસ્થાપન પ્રક્રિયા આપે છે. આ સંયોજનો વિશિષ્ટ પરિસ્થિતિઓમાં યોગશીલ પ્રક્રિયાઓ દર્શાવે છે.

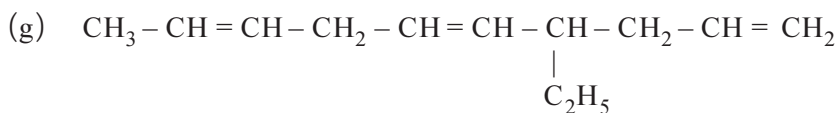
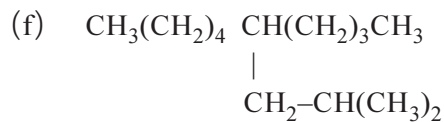
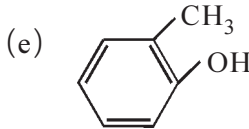
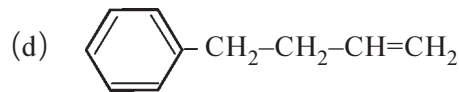
આલ્કેન સંયોજનો C-C સિગ્મા બંધના મુક્ત ભ્રમણના કારણે સંરૂપણીય સમઘટકો દર્શાવે છે. ઈથેનના સાંતરિત (staggered) અને ગ્રસ્ત (eclipsed) સંરૂપણોમાંથી સાંતરિત સંરૂપણમાં હાઈડ્રોજન પરમાણુઓ એકબીજાથી દૂર ગોઠવાયેલા હોવાથી તેની સ્થાયીતા વધુ હોય છે. આલ્કીન સંયોજનોમાં કાર્બન-કાર્બન દ્વિબંધની આસપાસ ભ્રમણ પ્રતિબંધિત હોવાથી ભૌમિતિક સમઘટકતા (સિસ-ટ્રાન્સ) જોવા મળે છે.

બેન્ઝિન અને બેન્ઝોઈડ સંયોજનો ઍરોમેટિક લાક્ષણિકતા દર્શાવે છે. સંયોજનોની ઍરોમેટિક લાક્ષણિકતા હ્યુકેલના નિયમ  $(4n + 2)\pi$  ઈલેક્ટ્રોનના આધારે નક્કી કરી શકાય છે. બેન્ઝિન વલયમાં જોડાયેલા સમૂહો અથવા વિસ્થાપકોનો સ્વભાવ પુનઃવિસ્થાપન પ્રક્રિયા માટે વલયની સક્રિયતા અથવા અક્રિયતા તથા દ્વાપલ થનાર સમૂહના સ્થાનને અસર કરે છે. કેટલાક બહુચક્રિય હાઈડ્રોકાર્બનમાં બેન્ઝિન વલય એકબીજા સાથે જોડાયેલા હોય છે, જે કેન્સરજનક પ્રકૃતિ દર્શાવે છે.

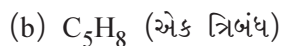
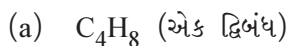
## સ્વાધ્યાય

13.1 મિથેનના ક્લોરિનેશન દરમિયાન ઈથેન બને છે તે તમે કેવી રીતે સમજાવશો ?

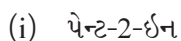
13.2 નીચે દર્શાવેલા સંયોજનોના IUPAC નામ લખો.



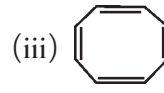
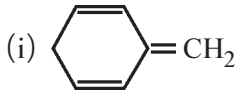
13.3 નીચે દર્શાવેલા સંયોજનો કે જેમાં રહેલા દ્વિબંધ અથવા ત્રિબંધની સંખ્યા દર્શાવેલી છે, તેઓના સંભવિત બધા સમઘટકોના બંધારણીય સૂત્રો અને IUPAC નામ લખો.



13.4 નીચે દર્શાવેલા સંયોજનોના ઓઝોનોલિસીસથી મળતી નીપજના IUPAC નામ લખો.



- 13.5 કોઈ આલ્કીન સંયોજન 'A'ના ઓઝોનોલિસીસથી ઈથેનોલ અને પેન્ટેન-3-ઓનનું મિશ્રણ મળે છે, તો સંયોજન Aનું બંધારણ અને IUPAC નામ લખો.
- 13.6 કોઈ આલ્કીન સંયોજન A ત્રણ C-C, આઠ C-H  $\sigma$  બંધ અને એક C-C  $\pi$  બંધ ધરાવે છે. Aનું ઓઝોનોલિસીસ થઈ 44 u મોલરદળ ધરાવતા બે મોલ આલ્ડિહાઈડ બને છે. Aનું IUPAC નામ લખો.
- 13.7 પ્રોપેનાલ અને પેન્ટેન-3-ઓન કોઈ એક આલ્કીનના ઓઝોનોલિસીસથી મળતી નીપજ છે, તો તે આલ્કીનનું બંધારણીય સૂત્ર લખો.
- 13.8 નીચે દર્શાવેલા હાઈડ્રોકાર્બન સંયોજનોની દહન પ્રક્રિયાના રાસાયણિક સમીકરણ લખો. (i) બ્યુટેન (ii) પેન્ટીન (iii) હેક્ઝાઈન (iv) ટોલ્યુઈન
- 13.9 હેક્ઝ-2-ઈનના સિસ અને ટ્રાન્સ સમઘટકોના બંધારણ દોરો. કયાં સમઘટકનું ઉત્કલનબિંદુ ઊંચું હશે ? શા માટે ?
- 13.10 બેન્ઝિનમાં ત્રણ દ્વિબંધ હોવા છતાં તે અતિસ્થાયી શા માટે છે ?
- 13.11 કોઈ પ્રણાલીને એરોમેટિકતા દર્શાવવા કઈ શરતો આવશ્યક છે ?
- 13.12 નીચે દર્શાવેલી પ્રણાલીઓ શા માટે એરોમેટિકતા દર્શાવતી નથી ? સમજાવો.



- 13.13 બેન્ઝિનને નીચે દર્શાવેલા સંયોજનોમાં કેવી રીતે પરિવર્તિત કરશો ?  
 (i) *p*-નાઈટ્રોબ્રોબેન્ઝિન (ii) *m*-નાઈટ્રોકલોરોબેન્ઝિન  
 (iii) *p*-નાઈટ્રોટોલ્યુઈન (iv) એસિટોફિનોન
- 13.14 આલ્કેન  $H_3C - CH_2 - C(CH_3)_2 - CH_2 - CH(CH_3)_2$  માં  $1^\circ$ ,  $2^\circ$ ,  $3^\circ$  કાર્બન પરમાણુઓને ઓળખો અને તે પ્રત્યેક કાર્બનની સાથે જોડાયેલા હાઈડ્રોજન પરમાણુઓની સંખ્યા પણ જણાવો.
- 13.15 આલ્કેન શૃંખલામાં શાખાના કારણે તેના ઉત્કલનબિંદુ પર શું અસર પડે છે ?
- 13.16 પ્રોપિનમાં HBr ઉમેરાવાથી 2-બ્રોમોપ્રોપેન નીપજ મળે છે, જ્યારે બેન્ઝોઈલ પેરોક્સાઈડની હાજરીમાં આ પ્રક્રિયાથી 1-બ્રોમોપ્રોપેન મળે છે, ક્રિયાવિધિ સહિત સમજાવો.
- 13.17 1,2-ડાયમિથાઈલબેન્ઝિન(ઠ-ઝાયલીન)ના ઓઝોનોલિસીસથી મળતી નીપજો લખો. આ પરિણામ બેન્ઝિનના કેક્યુલે બંધારણની તરફેણ કેવી રીતે કરે છે ?
- 13.18 બેન્ઝિન, *n*-હેક્ઝેન અને ઈથાઈનને તેમની એસિડિક વર્તણૂકના ઉત્તરતા ક્રમમાં ગોઠવો. આ વર્તણૂકના કારણો પણ આપો.
- 13.19 શા માટે બેન્ઝિનમાં ઈલેક્ટ્રોન અનુરાગી વિસ્થાપન પ્રક્રિયા સરળ અને કેન્દ્રાનુરાગી વિસ્થાપન પ્રક્રિયા મુશ્કેલ છે ?
- 13.20 નીચે દર્શાવેલા સંયોજનોને કેવી રીતે બેન્ઝિનમાં રૂપાંતરિત કરી શકાય ?  
 (i) ઈથાઈન (ii) ઈથીન (iii) હેક્ઝેન
- 13.21 એવા બધા આલ્કીન સંયોજનોના બંધારણો દોરો કે જે હાઈડ્રોજીનેશન દ્વારા 2-મિથાઈલબ્યુટેન આપે છે.
- 13.22 નીચે દર્શાવેલા સંયોજનોને તેમની ઈલેક્ટ્રોન અનુરાગી પ્રક્રિયક  $E^+$  પ્રત્યેની સાપેક્ષ પ્રતિક્રિયાત્મકતાના ઉત્તરતા ક્રમમાં ગોઠવો.  
 (a) ક્લોરોબેન્ઝિન, 2,4-ડાયનાઈટ્રોકલોરોબેન્ઝિન, *p*-નાઈટ્રોકલોરોબેન્ઝિન  
 (b) ટોલ્યુઈન, *p*- $H_3C-C_6H_4-NO_2$ , *p*- $O_2N-C_6H_4-NO_2$
- 13.23 બેન્ઝિન, *m*-ડાયનાઈટ્રોબેન્ઝિન અને ટોલ્યુઈનમાંથી કોનું નાઈટ્રેશન વધુ સરળતાથી થશે ? શા માટે ?
- 13.24 બેન્ઝિનના ઈથાઈલેશન દરમિયાન નિર્જળ એલ્યુમિનિયમ ક્લોરાઈડના બદલે કયો લુઈસ એસિડ વાપરી શકાય તે સૂચવો.
- 13.25 કાર્બન પરમાણુની એકી સંખ્યા ધરાવતા આલ્કેનની બનાવટ માટે વુટ્ઝ પ્રક્રિયા શા માટે પસંદ કરવામાં આવતી નથી ? તમારા ઉત્તરને કોઈ એક ઉદાહરણ દ્વારા સ્પષ્ટ કરો.

## પર્યાવરણીય રસાયણવિજ્ઞાન (Environmental Chemistry)

હેતુઓ :

આ એકમના અભ્યાસ પછી તમે...

- પર્યાવરણીય રસાયણવિજ્ઞાનનો અર્થ સમજી શકશો.
- વાતાવરણીય પ્રદૂષણને વ્યાખ્યાયિત કરી શકશો, ગ્લોબલ વોર્મિંગ, ગ્રીન હાઉસ અસર અને ઍસિડ વર્ષાના કારણોની યાદી બનાવી શકશો.
- ઓઝોન સ્તરના ક્ષયનના કારણો તથા તેની અસરોને જાણી શકશો.
- જલપ્રદૂષણના કારણો કહી શકશો અને પીવાના પાણી માટેના આંતરરાષ્ટ્રીય ધોરણો (માનાંક) અંગે જાણી શકશો.
- જમીન પ્રદૂષણના કારણો વર્ણવી શકશો.
- પર્યાવરણીય પ્રદૂષણના નિયંત્રણ માટેની યોજના બનાવી શકશો અને અપનાવી શકશો.
- રોજિંદા જીવનમાં હરિયાળું રસાયણવિજ્ઞાનના મહત્વને સ્વીકારી શકશો.

“વિશ્વે ડહાપણ (wisdom) વિનાની ચમક અને વિવેકહીન શક્તિ પ્રાપ્ત કરી લીધી છે. આપણું વિશ્વ કેન્દ્રિય રીતે મહાદાનવ તથા નૈતિક રીતે શિશુ છે.”

અગાઉના ધોરણોમાં તમે પર્યાવરણનો અભ્યાસ કરેલો છે. પર્યાવરણીય અભ્યાસ આપણી આસપાસના સામાજિક, આર્થિક, જૈવિક, ભૌતિક અને રાસાયણિક પરિબળોના આંતરસંબંધને સમજાવે છે. આ એકમમાં આપણે પર્યાવરણીય રસાયણવિજ્ઞાન પર ધ્યાન કેન્દ્રિત કરીશું. પર્યાવરણીય રસાયણવિજ્ઞાન રાસાયણિક સ્પીસિઝના ઉદ્ભવસ્થાનો, વહન, પ્રક્રિયાઓ, અસરો અને નિર્માણ સાથે સંબંધિત છે. ચાલો આપણે પર્યાવરણીય રસાયણવિજ્ઞાનના કેટલાક અગત્યના પાસાઓ ચર્ચાએ.

### 14.1 પર્યાવરણીય પ્રદૂષણ (Environmental Pollution)

પર્યાવરણીય પ્રદૂષણ આપણી આસપાસના અનિચ્છનીય ફેરફારોનું પરિણામ છે, જે વનસ્પતિઓ, પ્રાણીઓ અને માનવજાત માટે નુકસાનકર્તા છે. જે પદાર્થ પ્રદૂષણ ફેલાવે છે તેને પ્રદૂષક કહે છે. પ્રદૂષકો ઘન, પ્રવાહી કે વાયુ સ્વરૂપના હોઈ શકે છે. આ પ્રદૂષકોનું પ્રમાણ કુદરત સર્જિત કે માનવસર્જિત પ્રવૃત્તિઓને કારણે પર્યાવરણમાં વધતું જોવા મળે છે. શું તમે જાણો છો કે સામાન્ય માણસને ખોરાક કરતાં 12-15 ગણી હવાની જરૂર હોય છે ? આમ, ખોરાકમાં અલ્પપ્રમાણમાં રહેલા પ્રદૂષક જેટલા જ પ્રમાણમાં પ્રદૂષક હવામાં રહેલો હોય તો તે પ્રમાણ અર્થસૂચક બની જાય છે. પ્રદૂષકોનું વિઘટન થઈ શકે છે. જેમ કે શાકભાજીના કચરાનું કુદરતી રીતે વિઘટન ઝડપી થાય છે, જ્યારે બીજી તરફ કેટલાક પ્રદૂષકોનું વિઘટન ધીમું થાય છે, તેથી તેવા પ્રદૂષકો પર્યાવરણમાં ફેરફાર પામ્યા વિના ઘણા દશકાઓ સુધી મૂળ અવસ્થામાં પડ્યા રહે છે. દા.ત., ડાયક્લોરોડાયફિનાઇલટ્રાયક્લોરોઇથેન (DDT), પ્લાસ્ટિક પદાર્થો, ભારે ધાતુઓ, ઘણા રસાયણો, રેડિયોસક્રિય કચરો જેવા પદાર્થો એક વખત પર્યાવરણમાં દાખલ થયા બાદ તેઓને દૂર કરવા મુશ્કેલ છે. આ પદાર્થોનું કુદરતી રીતે વિઘટન થતું નથી અને તેઓ જીવસૃષ્ટિ માટે ખૂબ જ હાનિકારક હોય છે. પર્યાવરણીય પ્રદૂષણમાં પ્રદૂષક વિભિન્ન સ્ત્રોતમાંથી ઉત્પન્ન થાય છે



અને તે હવા દ્વારા અથવા પાણી દ્વારા અથવા મનુષ્ય દ્વારા તેમને જમીનમાં દાટવાથી વહન પામે છે.

## 14.2 વાતાવરણીય પ્રદૂષણ (Atmospheric Pollution)

પૃથ્વીની આસપાસ રહેલા વાતાવરણના સ્તરની જાડાઈ પૃથ્વીથી બધી ઊંચાઈએ સમાન હોતી નથી એટલે કે હવાના જુદા જુદા સંકેન્દ્રિત સ્તર અથવા ક્ષેત્રો હોય છે અને દરેક સ્તર જુદી જુદી ઘનતા ધરાવે છે. વાતાવરણનો નીચેનો વિસ્તાર જ્યાં માનવ સહિતની સમગ્ર જીવસૃષ્ટિ વસે છે તેને ક્ષોભ-આવરણ (Troposphere) કહે છે. તે દરિયાની સપાટીથી લગભગ 10 kmની ઊંચાઈ સુધી વિસ્તરેલું છે. દરિયાની સપાટીથી 10 km થી 50 kmની વચ્ચેના વિસ્તારને સમતાપ આવરણ (Stratosphere) કહે છે. ક્ષોભ-આવરણ અશાંત ધૂળના કણોનું ક્ષેત્ર છે, જેમાં વધુ પ્રમાણમાં પાણીની બાષ્પ અને વાદળો હોય છે. આ ક્ષેત્રમાં પ્રબળ હવાના પ્રવાહ અને વાદળોનું નિર્માણ થાય છે. જ્યારે સમતાપ આવરણમાં ડાયનાઈટ્રોજન, ડાયઑક્સિજન, ઓઝોન અને સૂક્ષ્મ પ્રમાણમાં પાણીની બાષ્પ હોય છે.

પર્યાવરણીય પ્રદૂષણમાં મુખ્યત્વે ક્ષોભ-આવરણીય અને સમતાપ આવરણીય પ્રદૂષણનો અભ્યાસ થાય છે. સૂર્યના હાનિકારક પારજાંબલી કિરણોનાં 99.5 % ભાગને, સમતાપ આવરણમાં રહેલો ઓઝોન પૃથ્વીની સપાટી સુધી પહોંચતા રોકે છે તથા તેની અસરોથી માનવજાત અને અન્ય પ્રાણીઓનું રક્ષણ કરે છે.

### 14.2.1 ક્ષોભ-આવરણીય પ્રદૂષણ (Tropospheric Pollution)

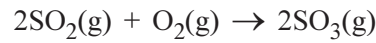
હવામાં રહેલા અનિચ્છનીય ઘન અથવા વાયુમય કણોને કારણે ક્ષોભ-આવરણીય પ્રદૂષણ થાય છે. ક્ષોભ-આવરણમાં રહેલા મુખ્યત્વે વાયુમય અને રજકણ સ્વરૂપના પ્રદૂષકો નીચે દર્શાવ્યા છે.

1. વાયુમય હવા પ્રદૂષકો : સલ્ફર, નાઈટ્રોજન અને કાર્બનના ઓક્સાઈડ, હાઈડ્રોજન સલ્ફાઈડ, હાઈડ્રોકાર્બન, ઓઝોન અને અન્ય ઓક્સિડેશનકર્તાઓ વગેરે.
2. રજકણ સ્વરૂપના પ્રદૂષકો : ધૂળ (dust), ધૂમ્મસ (mist), ધૂમ (fumes), ધૂમાડો (smoke), ધૂમ્ર-ધૂમ્મસ (smog) વગેરે.

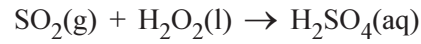
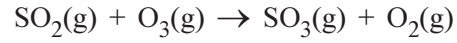
#### 1. વાયુમય હવા પ્રદૂષકો :

(a) સલ્ફરના ઓક્સાઈડ સંયોજનો : જ્યારે સલ્ફરયુક્ત અશ્મિગત બળતણનું દહન થાય છે ત્યારે સલ્ફરના ઓક્સાઈડ સંયોજનો ઉત્પન્ન થાય છે. સલ્ફર ડાયોક્સાઈડ સામાન્ય વાયુમય

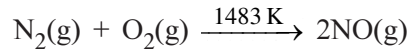
સ્પીસિઝ છે, જે પ્રાણી અને વનસ્પતિસૃષ્ટિ માટે ઝેરી છે. સલ્ફર ડાયોક્સાઈડના ઓછા પ્રમાણની હાજરીથી પણ મનુષ્યજાતિમાં શ્વસનતંત્રને લગતા રોગો જેવા કે દમ (અસ્થમા), શ્વાસનળીમાં સોજો અને બળતરા વગેરે થાય છે. સલ્ફર ડાયોક્સાઈડના કારણે આંખમાં બળતરા થવી, લાલ થવી અને આંખમાંથી પાણી નીકળવું વગેરે તકલીફો પણ થાય છે. સલ્ફર ડાયોક્સાઈડના વધુ પ્રમાણથી ફૂલની કળી કડક થઈ છોડ પરથી ખરી પડે છે. સલ્ફર ડાયોક્સાઈડનું ઓક્સિડેશન ઉદ્દીપક વગર ધીમું થાય છે, પણ પ્રદૂષિત હવામાં રજકણો ઉદ્દીપક તરીકે વર્તી સલ્ફર ડાયોક્સાઈડનું સલ્ફર ટ્રાયોક્સાઈડમાં રૂપાંતર કરે છે.



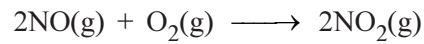
આ પ્રક્રિયા ઓઝોન અને હાઈડ્રોજન પેરોક્સાઈડ દ્વારા પણ થઈ શકે છે.



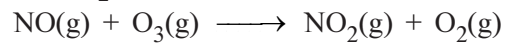
(b) નાઈટ્રોજનના ઓક્સાઈડ સંયોજનો : ડાયનાઈટ્રોજન અને ડાયઑક્સિજન હવાના મુખ્ય ઘટકો છે. સામાન્ય તાપમાને આ બે વાયુઓ એકબીજા સાથે પ્રક્રિયા કરતા નથી, પરંતુ વધુ ઊંચાઈએ જ્યારે વીજળીનો ચમકારો થાય છે ત્યારે તેઓ એકબીજા સાથે જોડાઈને નાઈટ્રોજનના ઓક્સાઈડ બનાવે છે. આ  $\text{NO}_2$  નું ઓક્સિડેશન થઈ  $\text{NO}_3^-$  બને છે, જે જમીનમાં પ્રવેશે છે ત્યારે ખાતર તરીકે કામ કરે છે. વાહનોમાં ઊંચા તાપમાને અશ્મિગત બળતણનું દહન થાય છે ત્યારે ડાયનાઈટ્રોજન અને ડાયઑક્સિજન સંયોજવાથી નાઈટ્રિક ઓક્સાઈડ (NO) અને નાઈટ્રોજન ડાયોક્સાઈડનો ( $\text{NO}_2$ ) અસરકારક જથ્થો ઉત્પન્ન થાય છે.



NO તરત જ ઓક્સિજન સાથે પ્રક્રિયા કરી  $\text{NO}_2$  આપે છે.



સમતાપ આવરણમાંના નાઈટ્રિક ઓક્સાઈડ સાથે ઓઝોનની પ્રક્રિયાથી  $\text{NO}_2$  બનવાની પ્રક્રિયાનો વેગ ઝડપી હોય છે.



ગીચતાવાળા અને ટ્રાફિકવાળા વિસ્તારોમાં સર્જાતું દાહક લાલ ધૂંધળું વાતાવરણ નાઈટ્રોજન ઓક્સાઈડના કારણે હોય છે.  $\text{NO}_2$ નું વધુ પ્રમાણ વનસ્પતિના પર્ણોને નુકસાન પહોંચાડે છે અને પ્રકાશસંશ્લેષણની પ્રક્રિયા ધીમી પાડે છે.  $\text{NO}_2$  ફેફસાં માટે દાહક પદાર્થ છે તેનાથી બાળકોમાં શ્વસનતંત્રના ગંભીર રોગ થાય છે. તે સજીવપેશીઓ માટે પણ નુકસાનકારક છે. ઉપરાંત તે ધાતુઓ અને કાપડના રેસાઓને પણ નુકસાન પહોંચાડે છે.

(c) હાઈડ્રોકાર્બન સંયોજનો : હાઈડ્રોકાર્બન સંયોજનો માત્ર કાર્બન અને હાઈડ્રોજન પરમાણુઓના બનેલા હોય છે. વાહનોમાં ઈંધણના અપૂર્ણ દહનથી તેઓ ઉત્પન્ન થાય છે. હાઈડ્રોકાર્બન સંયોજનો કેન્સરપ્રેરક પદાર્થો છે, એટલે કે તેનાથી કેન્સર થાય છે. તેઓ છોડની પેશીઓને તોડીને, કાલપકવન (ઘડપણ) દ્વારા તથા પર્ણો, ફૂલો અને કાંટા પર આવરણ બનાવીને છોડને નુકસાન પહોંચાડે છે.

(d) કાર્બનના ઓક્સાઈડ સંયોજનો :

(i) કાર્બન મોનોક્સાઈડ : કાર્બન મોનોક્સાઈડ અતિગંભીર હવા પ્રદૂષક છે. તે રંગવિહીન અને વાસવિહીન છે. તે સજીવસૃષ્ટિ માટે ભારે હાનિકારક છે. તે વિવિધ અંગો અને પેશીઓને પહોંચતા ઓક્સિજનના પ્રવાહને રોકવાની ક્ષમતા ધરાવે છે. કાર્બન મોનોક્સાઈડ કાર્બનના અપૂર્ણ દહનથી ઉત્પન્ન થાય છે. વાહનોમાંથી નીકળતા ધુમાડામાં કાર્બન મોનોક્સાઈડ વિશેષ પ્રમાણમાં હોય છે. આ ઉપરાંત તે લાકડાં, કોલસા અને પેટ્રોલિયમ જેવી પેદાશોના અપૂર્ણ દહનથી પણ ઉત્પન્ન થાય છે. વિશ્વમાં છેલ્લા કેટલાક વર્ષોથી વાહનોની સંખ્યામાં વધારો થતો જાય છે. વાહનોની નિયમિત મરામત (service) ન થવાના કારણે અને વાહનોમાં જરૂરી પ્રદૂષણ-નિયંત્રક સામગ્રીના અભાવે આ વાહનો વધુ જથ્થામાં કાર્બન મોનોક્સાઈડ અને અન્ય પ્રદૂષણકર્તા વાયુઓ બહાર કાઢે છે. શું તમે જાણો છો કે કાર્બન મોનોક્સાઈડ શા માટે ઝેરી છે ? તે રુધિરમાંના હિમોગ્લોબિન સાથે જોડાઈ કાર્બોક્સિ હિમોગ્લોબિન સંકીર્ણ બનાવે છે, જે ઓક્સિજન-હિમોગ્લોબિન સંકીર્ણ સંયોજન કરતાં 300 ગણુ વધુ સ્થાયી છે. જ્યારે આપણા રુધિરમાં કાર્બોક્સિહિમોગ્લોબિનનું પ્રમાણ 3થી 4 % જેટલું થાય છે, ત્યારે રુધિરમાંના હિમોગ્લોબિનની ઓક્સિજન વહન કરવાની ક્ષમતા ઘટતી જાય છે. ઓક્સિજનની આ ઊણપના કારણે માથામાં દુઃખાવો, આંખોની દષ્ટિમાં નબળાઈ, બેચેની તથા હૃદય અને રક્તવાહિનીઓના કાર્યમાં ખલેલ પહોંચે છે. આ કારણે લોકોને ધૂમ્રપાન ન કરવાની સલાહ પણ આપવામાં આવે છે. સગર્ભા સ્ત્રીને ધૂમ્રપાનની આદત હોય તો તેના રુધિરમાં COનું પ્રમાણ વધવાને કારણે કસુવાવડ (premature birth), સ્વયંભૂગર્ભપાત (spontaneous abortion) અને બાળકમાં વિકૃતિ આવવાની શક્યતાઓ વધી જાય છે.

(ii) કાર્બન ડાયોક્સાઈડ : વાતાવરણમાં શ્વસન દરમિયાન, ઊર્જા મેળવવા માટે અશ્મિગત બળતણના દહનથી અને સિમેન્ટના ઉત્પાદન દરમિયાન ચૂનાના પથ્થરના વિઘટન દ્વારા કાર્બન ડાયોક્સાઈડ વાયુ મુક્ત થાય છે. જવાળામુખી ફાટી નીકળવાથી પણ કાર્બન ડાયોક્સાઈડ વાયુ મુક્ત થાય છે.

કાર્બન ડાયોક્સાઈડ વાયુ માત્ર ક્ષોભ-આવરણમાં જ હોય છે. સામાન્ય રીતે તેનું પ્રમાણ આશરે વાતાવરણના કદના 0.03 % જેટલું હોય છે. અશ્મિગત બળતણના વધુ ઉપયોગથી વાતાવરણમાં કાર્બન ડાયોક્સાઈડનું પ્રમાણ વધતું જાય છે. કાર્બન ડાયોક્સાઈડના વધુ પ્રમાણને લીલી વનસ્પતિના ઉછેર દ્વારા ઘટાડીને વાતાવરણમાં CO<sub>2</sub>નું યોગ્ય પ્રમાણ જાળવી શકાય છે. લીલી વનસ્પતિ પ્રકાશસંશ્લેષણની ક્રિયા માટે કાર્બન ડાયોક્સાઈડનો ઉપયોગ કરે છે અને ઓક્સિજન મુક્ત કરે છે, તેથી વાતાવરણમાં કાર્બન ડાયોક્સાઈડ અને ઓક્સિજન વાયુનું સમતોલન જળવાઈ રહે છે. તમે જાણો છો તે પ્રમાણે જંગલોને કાપવાથી તથા વધુ અશ્મિગત બળતણના દહનથી કાર્બન ડાયોક્સાઈડનું પ્રમાણ વધે છે અને વાતાવરણનાં સમતોલનમાં ખલેલ પહોંચે છે. હવામાં કાર્બન ડાયોક્સાઈડનું વધતું જતું પ્રમાણ ગ્લોબલ વોર્મિંગ માટે જવાબદાર છે.

ગ્લોબલ વોર્મિંગ અને ગ્રીન હાઉસ અસર : સૌર-ઊર્જાનો 75 % ભાગ પૃથ્વીની સપાટી દ્વારા અવશોષિત થાય છે, જેથી પૃથ્વીના તાપમાનમાં વધારો થાય છે. બાકીની ઉષ્મા વાતાવરણમાં પાછી જાય છે. આ ઉષ્માના કેટલાક ભાગને વાતાવરણના વાયુઓ જેવા કે કાર્બન ડાયોક્સાઈડ, મિથેન, ઓઝોન, પાણીની બાષ્પ તથા ક્લોરોફ્લોરોકાર્બન સંયોજનો (CFCs) જકડી રાખે છે. આમ, વાતાવરણનું તાપમાન વધે છે, તેથી પૃથ્વીનું તાપમાન પણ વધે છે.

આપણે જાણીએ છીએ તે પ્રમાણે ઠંડા વિસ્તારમાં ફૂલો, શાકભાજીઓ અને ફળોને કાચના આવરણવાળા વિસ્તારમાં ઊગાડવામાં આવે છે કે જેને ગ્રીન હાઉસ (હરિતગૃહ) કહેવામાં આવે છે. શું તમે જાણો છો કે આપણે મનુષ્યો પણ ગ્રીન હાઉસમાં રહીએ છીએ ? જો કે આપણી આસપાસ કાચનું આવરણ નથી પરંતુ હવાનું એક આવરણ છે કે જેને વાતાવરણ કહે છે. આ વાતાવરણે સૈકાઓથી પૃથ્વીના તાપમાનને અચળ રાખ્યું છે, પરંતુ આજકાલ તેમાં ધીમું પરિવર્તન થઈ રહ્યું છે. જેવી રીતે ગ્રીન હાઉસમાં કાચ સૂર્યની ગરમીને અંદર પકડી રાખે છે તેવી જ રીતે વાતાવરણ સૂર્યની ગરમીને પૃથ્વીની સપાટીની નજીક જકડી રાખે છે અને પૃથ્વીને ગરમ રાખે છે. આને કુદરતી ગ્રીન હાઉસ અસર કહે છે, જે પૃથ્વીનું તાપમાન જાળવીને જીવસૃષ્ટિ માટે યોગ્ય બનાવે છે. સૂર્ય પ્રકાશ પારદર્શક કાચમાંથી પસાર થઈ જમીન અને છોડને ગરમ રાખે છે. આ ગરમ જમીન અને છોડ અવરક્ત વિકિરણોનું (Infrared radiations) ઉત્સર્જન કરે છે. જો કે અવરક્ત વિકિરણો (ગરમી) માટે કાચ અપારદર્શક હોય છે તેથી આ વિકિરણોનો આંશિક ભાગ કાચ દ્વારા શોષાય છે અને આંશિક ભાગ પરાવર્તન પામે છે. આ ક્રિયાવિધિ ગ્રીન હાઉસમાં સૌરઊર્જાને

જકડી રાખે છે. આ જ પ્રમાણે કાર્બન ડાયોક્સાઇડ અણુઓ ઉષ્માને જકડી રાખે છે, કારણ કે તે સૂર્યપ્રકાશ માટે પારદર્શક હોય છે પણ ઉષ્માવિકિરણો માટે નહીં. જો કાર્બન ડાયોક્સાઇડનું પ્રમાણ 0.03 %થી વધી જાય તો કુદરતી ગ્રીનહાઉસના સમતોલનમાં ખલેલ પહોંચે છે. ગ્લોબલ વોર્મિંગમાં કાર્બન ડાયોક્સાઇડનું મુખ્ય યોગદાન છે.

કાર્બન ડાયોક્સાઇડ વાયુ સિવાય મિથેન, પાણીની બાષ્પ, નાઇટ્રસ ઓક્સાઇડ, CFCs અને ઓઝોન વગેરે અન્ય ગ્રીન હાઉસ વાયુઓ છે. જ્યારે વનસ્પતિઓને ઓક્સિજનની ગેરહાજરીમાં બાળવામાં આવે, વિઘટન કરવામાં આવે અથવા સડવા દેવામાં આવે ત્યારે મિથેન વાયુ ઉત્પન્ન થાય છે. ડાંગરના ખેતર, કોલસાની ખાણ, સડેલા કચરાને દાટ્યો હોય તે જગ્યાએથી અને અશ્મિગત બળતણ દ્વારા વધુ પ્રમાણમાં મિથેન વાયુ ઉત્પન્ન થાય છે. ક્લોરોફ્લોરોકાર્બન (CFCs) માનવનિર્મિત ઔદ્યોગિક રસાયણ છે, જે એરકન્ડિશનર વગેરેમાં વપરાય છે. CFCs પણ ઓઝોન સ્તરને નુકસાન પહોંચાડે છે (મુદ્દો 14.2.2). નાઇટ્રસ ઓક્સાઇડ વાતાવરણમાં કુદરતી રીતે ઉત્પન્ન થાય છે. હાલના વર્ષોમાં તેઓના પ્રમાણમાં રાસાયણિક ખાતરના ઉપયોગથી અને અશ્મિગત બળતણના દહનથી તેમાં અસરકારક વધારો થયો છે. જો આ મુજબની પરિસ્થિતિ ચાલુ રહી તો પૃથ્વીનું સરેરાશ તાપમાન વધશે પરિણામે ધ્રુવ પ્રદેશોનો ભરફ પીગળશે અને પૃથ્વીના નીચાણવાળા ભાગમાં પૂર આવશે. પૃથ્વીના સરેરાશ તાપમાન વધવાના કારણે ડેન્જુ, મેલેરિયા, પીળો તાવ, નિદ્રારોગ વગેરે રોગો ફેલાવાની શક્યતાઓ વધી જાય છે.

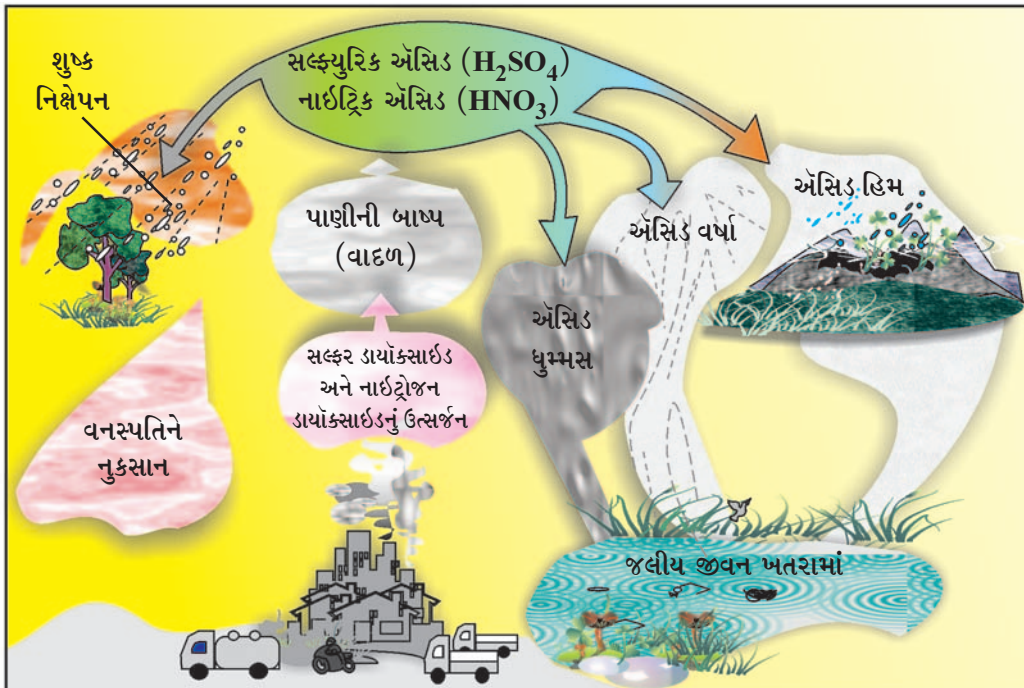
### ફરીથી વિચાર કરો

ગ્લોબલ વોર્મિંગનો વેગ ઘટાડવા આપણે શું કરી શકીએ?

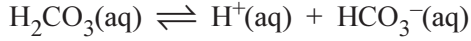
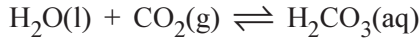
અશ્મિગત બળતણના દહનથી, જંગલો તથા વૃક્ષોને કાપવાથી વાતાવરણમાં ગ્રીન હાઉસ વાયુઓનો ઉમેરો થાય છે, તેઓના યોગ્ય, ક્ષમતાપૂર્વકના તથા ન્યાયપૂર્ણ ઉપયોગ માટેના ઉપાયો આપણે શોધવા પડશે, જે વાતાવરણના તાપમાનમાં ઘટાડો કરવામાં મદદરૂપ થાય. આ માટેના એક સામાન્ય ઉપાય તરીકે વાહનોનો ઉપયોગ ઘટાડવો જોઈએ તે માટે પરિસ્થિતિને અનુરૂપ સાઈકલ કે જાહેર વાહન વ્યવહારનો ઉપયોગ અથવા વ્યક્તિગત પ્રવાસના બદલે સહિયારો પ્રવાસ (car pooling) કરવો જોઈએ. આપણે વધુ વૃક્ષો ઉછેરીને હરિત આવરણને વધારવું જોઈએ. સૂકા પાંદડાં કે લાકડાંને બાળવા જોઈએ નહીં. જાહેર સ્થળોએ કે કાર્યસ્થળોએ ધૂમ્રપાન કરવું ગેરકાયદેસર છે કારણ કે તે ધૂમ્રપાન કરનારને જ માત્ર નહીં પણ આસપાસની અન્ય વ્યક્તિઓને માટે નુકસાનકારક છે. તેથી આપણે સૌએ ધૂમ્રપાનને ત્યાગવું જોઈએ. હજુ ઘણી વ્યક્તિઓને ગ્રીન હાઉસ અસર અને ગ્લોબલ વોર્મિંગ અંગે સમજ નથી તો આપણે તેઓને આ માહિતીથી અવગત કરાવવા જોઈએ.

### એસિડ વર્ષા

આપણે સૌ જાણીએ છીએ તે પ્રમાણે વરસાદી પાણીની pH 5.6ની આસપાસ હોય છે. કારણ કે પાણી વાતાવરણના CO<sub>2</sub> સાથે પ્રક્રિયા કરી H<sup>+</sup> ઉત્પન્ન કરે છે.



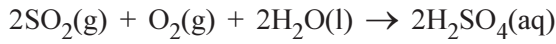
આકૃતિ 14.1 એસિડ નિક્ષેપન



જ્યારે વરસાદના પાણીની pH 5.6 કરતાં ઓછી હોય તો તેવા વરસાદને એસિડ વર્ષા કહે છે.

એસિડ વર્ષાથી વાતાવરણમાં રહેલો એસિડ પૃથ્વીની સપાટી પર જમા થાય છે. એસિડ પ્રકૃતિવાળા નાઈટ્રોજન અને સલ્ફરના ઓક્સાઈડ વાતાવરણના ઘનકણો સાથે હવામાં વહીને છેલ્લે જમીન પર શુષ્ક નિક્ષેપન સ્વરૂપે અથવા પાણી, ઘુમ્મસ અને હિમમાં ભીના નિક્ષેપન સ્વરૂપે જમા થાય છે (આકૃતિ 14.1).

એસિડ વર્ષા માનવજાતની એવી વિવિધ પ્રવૃત્તિઓની ઉપનીપજ છે કે જે દરમિયાન સલ્ફર અને નાઈટ્રોજનના ઓક્સાઈડ સંયોજનો ઉત્પન્ન થઈ વાતાવરણમાં ભળતા હોય છે. અગાઉ જણાવ્યા મુજબ અશ્મિગત બળતણ (જે સલ્ફર અને નાઈટ્રોજન- જન્ય પદાર્થ ધરાવે છે) જેવા કે વિદ્યુતમથક અને ભટ્ટીઓમાં કોલસા કે ઓઈલ તથા વાહનોના એન્જિનમાં પેટ્રોલ કે ડીઝલના દહનથી સલ્ફર ડાયોક્સાઈડ અને નાઈટ્રોજનના ઓક્સાઈડ સંયોજનો ઉત્પન્ન થાય છે. આ NO<sub>2</sub> અને SO<sub>2</sub> ઓક્સિડેશન બાદ પાણી સાથે પ્રક્રિયા કરી એસિડ વર્ષાના નિર્માણમાં મહત્વનું યોગદાન આપે છે, કારણ કે પ્રદૂષિત હવામાં રહેલા રજકણો આ ઓક્સિડેશન પ્રક્રિયા માટે ઉદ્દીપક તરીકે વર્તતા હોય છે.



અહીં એમોનિયમ ક્ષારો પણ ઉત્પન્ન થાય છે અને તે ધૂંધળું વાતાવરણ (બારિક કણોનું એરોસોલ) બનાવે છે. વરસાદી પાણીના બિંદુઓમાં ઓક્સાઈડ સંયોજનોના એરોસોલ કણો અથવા એમોનિયમ ક્ષારોનું ભીનું નિક્ષેપન થાય છે. જમીન પરની ઘન અને પ્રવાહી સપાટી પર SO<sub>2</sub> વાયુ પણ સીધો જ શોષાઈને શુષ્ક નિક્ષેપન દર્શાવે છે.

એસિડ વર્ષા ખેતીવાડી, વૃક્ષો અને છોડ માટે નુકસાનકારક છે કારણ કે તે તેઓની વૃદ્ધિ માટે જરૂરી પોષક તત્ત્વોને ઓગાળી દે છે અથવા ધોઈ નાખે છે. એસિડ વર્ષા મનુષ્ય અને પ્રાણીઓ માટે શ્વસન અવરોધ ઉત્પન્ન કરે છે. જ્યારે એસિડ વર્ષા ભૌમજળની (ground water) જેમ વહીને નદી અને તળાવને મળે છે ત્યારે પાણીમાં રહેલી વનસ્પતિઓ અને પ્રાણીઓના જીવનને અસર કરે છે. તે પાણીની પાઈપોનું ખવાણ કરે છે. તેથી પીવાના પાણીમાં આયર્ન, લેડ અને કૉપર જેવી ભારે ધાતુઓ ભળે છે. એસિડ વર્ષા પથ્થર અને ધાતુઓથી બનેલા મકાનો કે બાંધકામોને નુકસાન પહોંચાડે છે. ભારતમાં આવેલો તાજમહેલ એસિડ વર્ષાથી અસર પામેલો છે.

### પ્રવૃત્તિ 1

તમે તમારા નજીકના વિસ્તારમાં જઈને વિભિન્ન પાણીના નમૂના એકત્ર કરી તેની pH નોંધો. વર્ગખંડમાં તમારા પરિણામોની ચર્ચા કરો. ચાલો આપણે ચર્ચા કરીએ કે એસિડ વર્ષાના નિર્માણને ઘટાડવા આપણે શું કરી શકીએ ?

વાતાવરણમાં સલ્ફર ડાયોક્સાઈડ અને નાઈટ્રોજન ડાયોક્સાઈડના ઉત્સર્જનને ઘટાડીને એસિડ વર્ષાના નિર્માણને ઘટાડી શકાય છે. આપણે અશ્મિગત બળતણથી ચાલતા વાહનોનો ઓછો ઉપયોગ કરવો જોઈએ, વિદ્યુતમથક તથા ઉદ્યોગોમાં ઓછું સલ્ફર ધરાવતા અશ્મિગત બળતણનો ઉપયોગ કરવો જોઈએ. આપણે સલ્ફરનું પ્રમાણ ઓછું હોય તેવા કોલસાનો ઉપયોગ કરવો જોઈએ અથવા કોલસા કરતા ઉત્તમ બળતણ એવા કુદરતી વાયુનો ઉપયોગ કરવો જોઈએ. મોટરગાડીમાં ઉદ્દીપકીય પરિવર્તકનો ઉપયોગ કરવો જ જોઈએ. જેથી ઉત્સર્જિત થતા ધુમાડાની વાતાવરણ પર થતી અસરને ઘટાડી શકાય છે. આ પરિવર્તકના મુખ્ય ભાગ તરીકે સિરામિકનો બનેલો મધપૂડો હોય છે, જેની પર દુર્લભ ધાતુઓ Pd, Pt અને Rhનું સ્તર લાગેલું હોય છે. ઉત્સર્જિત થતા વાયુઓમાં બળ્યા વિનાનું બળતણ, CO અને NO<sub>x</sub> હોય છે. જ્યારે તે 573 K તાપમાને પરિવર્તકમાંથી પસાર થાય છે ત્યારે CO<sub>2</sub> અને N<sub>2</sub>માં પરિવર્તન પામે છે. આપણે જમીનમાં ચૂનાના પથ્થરને ઉમેરીને જમીનની એસિડિકતા ઘટાડી તેને તટસ્થ બનાવવી જોઈએ. ઘણા વ્યક્તિઓને એસિડ વર્ષા અને તેની હાનિકારક અસરોની જાણકારી હોતી નથી. આપણે તેઓને આ માહિતી પહોંચાડીને જાગૃત કરી શકીએ છીએ અને પર્યાવરણને બચાવી શકીએ છીએ.

### તાજમહેલ અને એસિડ વર્ષા

આગ્રા શહેરમાં આવેલા તાજમહેલની આજુબાજુની હવામાં સલ્ફર અને નાઈટ્રોજનના ઓક્સાઈડનું ઊંચું પ્રમાણ હોય છે. આમ થવાનું કારણ તેની આસપાસ વધુ સંખ્યામાં રહેલા ઉદ્યોગો અને વિદ્યુત મથકો છે. નીચી ગુણવત્તાવાળા કોલસા, કેરોસીન અને લાકડાનો બળતણ તરીકે ઉપયોગ કરવાથી આ સમસ્યા વધતી જાય છે. જેના પરિણામે એસિડ વર્ષા તાજમહેલના આરસપહાણ (CaCO<sub>3</sub>) સાથે પ્રક્રિયા (CaCO<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> → CaSO<sub>4</sub> + H<sub>2</sub>O + CO<sub>2</sub>) કરે છે અને આખા વિશ્વને આકર્ષિત કરનાર આ અદ્ભુત સ્મારકને નુકસાન પહોંચે છે. એસિડ વર્ષાને કારણે આ સ્મારક ધીરે ધીરે વિરૂપ (disfigured) બને છે અને પોતાની કુદરતી સુંદરતા ગુમાવતું જાય છે. આ ઐતિહાસિક સ્મારકને નુકસાન થતું બચાવવા માટે ભારત સરકારે 1995 પહેલા એક એક્શન પ્લાન શરૂ કરવાની જાહેરાત કરી હતી. મથુરા રિફાઈનરીએ

ઝેરી વાયુઓના ઉત્સર્જનના નિયંત્રણ માટે અગાઉથી જ ઉપર્યુક્ત પગલાં ભર્યા છે.

આ યોજના અંતર્ગત 'તાજ ટ્રેપેઝિયમ'નો હેતુ આગ્રા, ફિરોજાબાદ, મથુરા તથા ભરતપુર વગેરે શહેરોની હવાને શુદ્ધ કરવાનો છે. આ યોજના અનુસાર ટ્રેપેઝિયમ સ્થિત 2000થી વધુ પ્રદૂષણ કરનારા ઉદ્યોગો કોલસા અને ઓઈલના બદલે કુદરતી વાયુ અથવા પ્રવાહીકૃત પેટ્રોલિયમ વાયુનો ઉપયોગ કરે છે. આ માટે કુદરતી વાયુ માટેની નવી પાઈપલાઈન નખાઈ રહી છે. જેની મદદથી 5 લાખ ઘનમીટર કુદરતી વાયુને આ ક્ષેત્રમાં લાવી શકાશે. શહેરના રહેવાસીઓને દૈનિક જીવનમાં કોલસા, કેરોસીન અને લાકડાના બદલે LPGનો ઉપયોગ કરવા પ્રોત્સાહિત કરવામાં આવશે. તાજમહેલની આજુબાજુ મુખ્ય ધોરી માર્ગો પર ચાલતા વાહનોમાં ઓછા સલ્ફરવાળા ડીઝલનો ઉપયોગ કરવાની પ્રેરણા આપવામાં આવશે.

## 2. રજકણ પ્રદૂષકો

રજકણ-પ્રદૂષકો હવામાં સૂક્ષ્મ ઘનકણ અથવા પ્રવાહીના સૂક્ષ્મબિંદુ સ્વરૂપના હોય છે. વાહનોમાંથી ઉત્સર્જિત થતા પદાર્થો, આગમાંથી નીકળતો ધૂમાડો, ધૂળ અને ઉદ્યોગોમાંથી નીકળતી રાખમાં આ પ્રકારનાં પ્રદૂષકો હાજર હોય છે. વાતાવરણમાં બે પ્રકારની રજકણો-જીવસહિત અને જીવરહિત હોય છે. જીવાણુ (bacteria), ફૂગ (fungi) અને શેવાળ કે લીલ (algae) વગેરે સૂક્ષ્મજીવો જે વાતાવરણમાં ફેલાયેલા હોય છે તે જીવસહિતના રજકણ પ્રદૂષકો છે. હવામાં જોવા મળતી કેટલીક ફૂગ માનવજાતમાં એલર્જી ઉત્પન્ન કરે છે. તેઓ વનસ્પતિમાં રોગ પણ ઉત્પન્ન કરે છે.

જીવરહિત રજકણોનું તેમની લાક્ષણિકતા અને કદના આધારે નીચે દર્શાવ્યા મુજબ વર્ગીકરણ કરવામાં આવે છે.

- ધુમાડો (smoke) કાર્બનિક પદાર્થોના દહન દરમિયાન ઉત્પન્ન થતાં ઘન અથવા ઘન અને પ્રવાહી કણોનું મિશ્રણ છે. દા.ત., બીડી-સિગારેટનો ધુમાડો, અશ્મિગત બળતણ, સૂકા પાંદડાં અને કચરો બાળવાથી ઉત્પન્ન થતો ધુમાડો.
- ધૂળ (dust) બારિક ઘન કણ છે (વ્યાસ 1  $\mu\text{m}$  થી વધુ). ઘન પદાર્થોને વાટતાં કે દળતાં આવા કણ પેદા થાય છે. પવનના જોરદાર સપાટાથી ઉડતી રેતી, લાકડાંને વહેરવાથી ઉત્પન્ન થતો લાકડાંનો વહેર, કોલસાને તોડવાથી ઉત્પન્ન થતો ભૂકો, ઔદ્યોગિક કારખાનાઓમાંથી ઉડતી રાખ અને સિમેન્ટ, ધૂળની ડમરીઓ વગેરે આ પ્રકારના રજકણ ઉત્સર્જનના વિશિષ્ટ ઉદાહરણો છે.
- ધુમ્મસ (mist) ફેલાયેલા પ્રવાહીના કણોથી અને હવામાંની વરાળની ઠારણ પ્રક્રિયાથી ઉત્પન્ન થાય છે.

દા.ત., સલ્ફ્યુરિક એસિડ ધુમ્મસ અને નીંદણનાશક, જંતુનાશક જેમને પોતાના લક્ષ્યને ગુમાવ્યો છે તેઓ હવામાં ફેલાઈને ધુમ્મસ બનાવે છે.

- ધૂમ (fumes) સામાન્ય રીતે ઉર્ધ્વપાતન, નિસ્ચંદન, પ્રવાહીના ઉકળવાથી અને કેટલાક અન્ય રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ દરમિયાન ઉત્પન્ન થતી બાષ્પની ઠારણ ક્રિયાથી ઉત્પન્ન થાય છે. સામાન્ય રીતે કાર્બનિક દ્રાવકો, ધાતુઓ અને ધાતુઓના ઓક્સાઈડ ધૂમ રજકણો બનાવે છે.

રજકણ પ્રદૂષકોની અસર મુખ્યત્વે તેના કણના કદ પર આધારિત હોય છે. હવામાં ઉત્પન્ન થતાં રજકણો જેવા કે ધૂળ, ધૂમ, ધુમ્મસ વગેરે માનવજાતની તંદુરસ્તી માટે હાનિકારક છે. 5 માઈકોનથી વધુ કદના રજકણો નાકના માર્ગમાં જમા થાય છે, જ્યારે 1 માઈકોન જેટલા કદના રજકણો ફેફસાં સુધી સરળતાથી પ્રવેશી શકે છે.

વાહનોમાંથી ઉત્સર્જિત થતું લેડ એક મુખ્ય વાયુ પ્રદૂષક છે. ભારતના શહેરોમાં હવામાં લેડના ઉત્સર્જન માટેનો મુખ્ય સ્રોત લેડયુક્ત પેટ્રોલ છે. હાલમાં ભારતના શહેરોમાં લેડ રહિત પેટ્રોલના ઉપયોગ દ્વારા આ સમસ્યાને નિવારી શકાઈ છે. લેડ રક્તકણોના વિકાસ અને પરિપક્વતામાં અવરોધ ઊભો કરે છે.

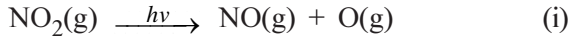
**ધૂમ્ર-ધુમ્મસ (smog) :** ધૂમ્ર-ધુમ્મસ ધુમાડો (smoke) અને હવામાંના ભેજ (fog) શબ્દોના જોડાણથી બનેલો શબ્દ છે. વિશ્વના ઘણા શહેરોમાં સામાન્ય રીતે હવાના પ્રદૂષણ તરીકે ધૂમ્ર-ધુમ્મસ જોવા મળે છે. ધૂમ્ર-ધુમ્મસ બે પ્રકારના જોવા મળે છે.

- પારંપારિક ધૂમ્ર-ધુમ્મસ (classical smog) ઠંડા ભેજવાળા વાતાવરણમાં ઉત્પન્ન થાય છે. તે ધુમાડા, હવામાંના ભેજ અને સલ્ફર ડાયોક્સાઈડનું મિશ્રણ છે. તે રાસાયણિક રીતે રિડક્શનકર્તા મિશ્રણ હોવાથી તેને રિડક્શનકર્તા ધૂમ્ર-ધુમ્મસ કહે છે.
- પ્રકાશ રાસાયણિક ધૂમ્ર-ધુમ્મસ (Photochemical smog) ગરમ, શુષ્ક અને સૂર્યપ્રકાશવાળા હવામાનમાં ઉત્પન્ન થાય છે. તે વાહનો અને ઔદ્યોગિક એકમોમાંથી ઉત્પન્ન થતાં નાઈટ્રોજન ઓક્સાઈડ અને હાઈડ્રોકાર્બન સંયોજનો પર સૂર્યપ્રકાશ પડવાથી ઉત્પન્ન થાય છે. ધૂમ્ર-ધુમ્મસ ઓક્સિડેશનકર્તાની ઊંચી સાંદ્રતા ધરાવતું હોવાથી તેને ઓક્સિડેશનકર્તા ધૂમ્ર-ધુમ્મસ કહે છે.

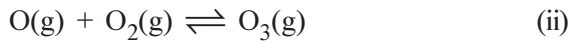
### પ્રકાશરાસાયણિક ધૂમ્ર-ધુમ્મસનું નિર્માણ

જ્યારે અશ્મિગત બળતણનું દહન થાય ત્યારે જુદા જુદા પ્રકારના પ્રદૂષકો પૃથ્વીના ક્ષોભ-આવરણમાં ઉત્સર્જિત થાય છે. આ પૈકીના નાઈટ્રિક ઓક્સાઈડ (NO) અને હાઈડ્રોકાર્બનનું પૂરતું ઊંચું પ્રમાણ જ્યારે જમા થાય છે ત્યારે સૂર્યપ્રકાશની

હાજરીમાં તેમની વચ્ચે શૃંખલા પ્રક્રિયા થઈ  $\text{NO}_2$  બને છે. આ  $\text{NO}_2$  સૂર્યપ્રકાશમાંથી મળતી ઊર્જા શોષી નાઈટ્રિક ઓક્સાઈડ અને મૂક્ત ઓક્સિજન પરમાણુમાં ફેરવાય છે (આકૃતિ 14.2).



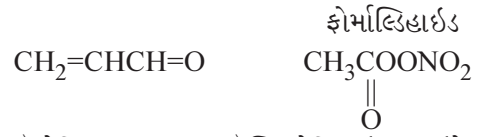
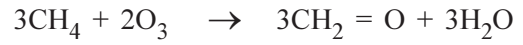
મૂક્ત ઓક્સિજન પરમાણુ વધુ પ્રતિક્રિયાત્મક હોવાથી હવામાં રહેલા ઓક્સિજન વાયુ સાથે સંયોજાઈ ઓઝોન બનાવે છે.



પ્રક્રિયા (ii) દ્વારા બનેલો ઓઝોન વાયુ પ્રક્રિયા (i) દ્વારા બનેલા  $\text{NO}(\text{g})$  સાથે ખૂબ જ ઝડપી પ્રક્રિયા કરી ફરીથી  $\text{NO}_2(\text{g})$  બનાવે છે.  $\text{NO}_2$  કથ્થાઈ રંગનો વાયુ છે. તેનું પૂરતું ઊંચું પ્રમાણ વાતાવરણને ધૂંધળું બનાવે છે.



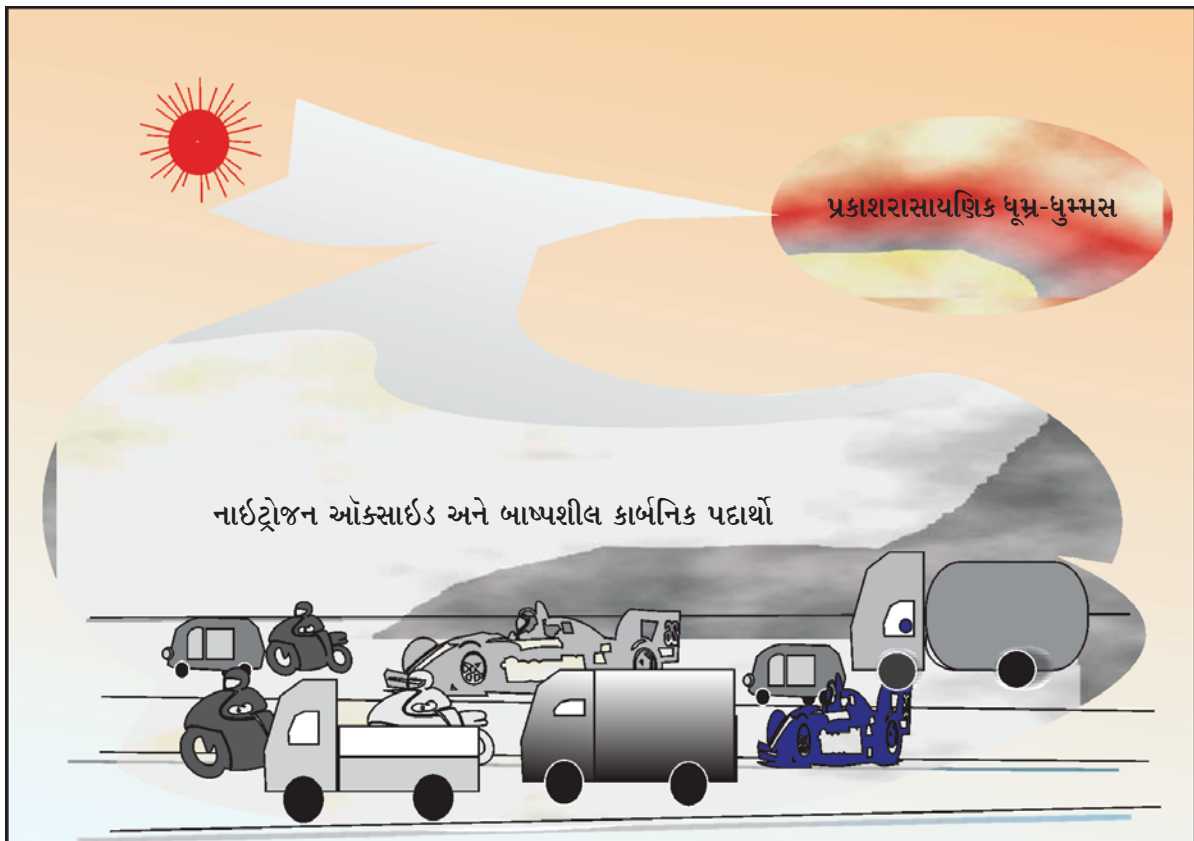
ઓઝોન ઝેરી વાયુ છે તથા  $\text{NO}_2$  અને  $\text{O}_3$  બંને પ્રબળ ઓક્સિડેશનકર્તા છે. તે પ્રદૂષિત હવામાંના દહન ન પામેલા હાઈડ્રોકાર્બન સાથે પ્રક્રિયા કરી ફોર્માલ્ડિહાઈડ, એકોલિન અને પરઓક્સિએસિટાઈલ નાઈટ્રેટ (PAN) બનાવે છે.



એકોલિન પરઓક્સિએસિટાઈલ નાઈટ્રેટ (PAN)

પ્રકાશરાસાયણિક ધૂમ્ર-ધુમ્મસની અસરો

પ્રકાશરાસાયણિક ધૂમ્ર-ધુમ્મસના સામાન્ય ઘટકો ઓઝોન, નાઈટ્રિક ઓક્સાઈડ, એકોલિન, ફોર્માલ્ડિહાઈડ અને પરઓક્સિએસિટાઈલ નાઈટ્રેટ (PAN) છે. પ્રકાશ રાસાયણિક ધૂમ્ર-ધુમ્મસની આરોગ્ય પર ગંભીર અસર થાય છે. ઓઝોન અને PAN આંખોમાં તીવ્ર બળતરા પેદા કરે છે. ઓઝોન અને નાઈટ્રિક ઓક્સાઈડ નાક અને ગળામાં બળતરા પેદા કરે છે. તેમની ઊંચી સાંદ્રતાથી માથું દુઃખવું, છાતીમાં દુઃખાવો થવો, ગળું શુષ્ક થવું, કફ થવો અને શ્વાસ લેવામાં તકલીફ પડવી વગેરે આરોગ્ય સંબંધિત તકલીફો ઊભી થાય છે. ધૂમ્ર-ધુમ્મસ રબરને તોડે છે અને વનસ્પતિસૃષ્ટિને નુકસાન પહોંચાડે છે. તેનાથી ધાતુઓ, પથ્થરો, બાંધકામ માટેની સામગ્રી, રબર અને રંગેલી સપાટીનું અપક્ષરણ પણ થાય છે.



આકૃતિ 14.2 જ્યારે વાહન પ્રદૂષકો પર સૂર્યપ્રકાશ પડે છે ત્યારે પ્રકાશરાસાયણિક ધૂમ્ર-ધુમ્મસ રચાય છે.

પ્રકાશરાસાયણિક ધૂમ્ર-ધુમ્મસને કેવી રીતે નિયંત્રિત કરશો ?

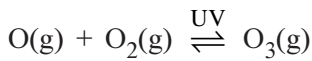
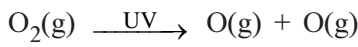
પ્રકાશરાસાયણિક ધૂમ્ર-ધુમ્મસને નિયંત્રિત કરવા અનેક પ્રવિધિઓ વપરાય છે. જો પ્રકાશરાસાયણિક ધૂમ્ર-ધુમ્મસના પ્રાથમિક પૂર્વવર્તી (Precursors) જેવા કે NO<sub>2</sub> અને હાઈડ્રોકાર્બન સંયોજનો તથા દ્વિતીયક પૂર્વવર્તી જેવા કે ઓઝોન અને PANને નિયંત્રિત કરીએ તો પ્રકાશરાસાયણિક ધૂમ્ર-ધુમ્મસ આપોઆપ ઘટી જાય છે. સામાન્ય રીતે વાહનોમાં ઉદ્દીપકીય રૂપાંતરકોના ઉપયોગ દ્વારા નાઈટ્રોજન ઓક્સાઈડ અને હાઈડ્રોકાર્બન સંયોજનોને વાતાવરણમાં ભળતાં ઘટાડી શકાયા છે. કેટલાક વૃક્ષો જેવા કે પીનસ (Pinus), જુનીપેરસ (Juniperus), ક્વેરકસ (Quercus), પાયરસ (Pyrus) અને વિટિસ (Vitis), જે નાઈટ્રોજન ઓક્સાઈડનું ચયાપચયન (metabolise) કરી શકે છે તેથી તેઓની વાવણી આ સંદર્ભે મદદરૂપ થઈ શકે છે.

### 14.2.2 સમતાપ આવરણીય પ્રદૂષણ (Stratospheric Pollution)

#### ઓઝોન વાયુનું નિર્માણ અને ખંડન

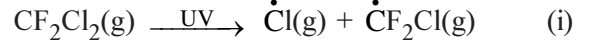
સમતાપ આવરણના ઉપરના ભાગમાં ઓઝોન વાયુ (O<sub>3</sub>)નો વધુ જથ્થો આવેલો હોય છે, જે સૂર્યમાંથી આવતા હાનિકારક પારજાંબલી (UV) વિકિરણોથી (λ = 255 nm) આપણને રક્ષણ આપે છે. આ વિકિરણોથી માનવજાતમાં ચામડીનું કેન્સર (મેલાનોમા) થાય છે. તેથી ઓઝોન સ્તરને જાળવી રાખવું ખૂબ અગત્યનું છે.

સમતાપ આવરણમાં પારજાંબલી કિરણો જ્યારે ડાયઑક્સિજન (O<sub>2</sub>) અણુ પર પડે છે, ત્યારે તેમાંથી બે મૂક્ત ઑક્સિજન પરમાણુઓ બને છે. આ ઑક્સિજન પરમાણુ ડાયઑક્સિજન અણુ સાથે સંયોજાઈ ઓઝોન બનાવે છે.

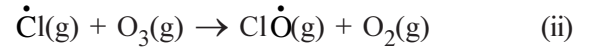


ઓઝોન ઉષ્માગતિશાસ્ત્ર રીતે અસ્થાયી હોય છે અને ઑક્સિજન અણુમાં વિઘટન પામે છે. તેથી ઓઝોન અણુના નિર્માણ અને વિઘટન વચ્ચે ગતિશીલ સંતુલન સ્થપાય છે. હાલના સમયમાં સમતાપ આવરણમાં રહેલા કેટલાક રસાયણોને કારણે ઓઝોન સુરક્ષા સ્તરનું ક્ષયન થયાનું નોંધાયું છે. ઓઝોન સ્તરનું ક્ષયન થવાનું મુખ્ય કારણ ક્લોરોફ્લોરોકાર્બન સંયોજનો (CFCs)નું ઉત્સર્જન છે, જેને ફિઓન કહેવાય છે. આ સંયોજનો અપ્રતિક્રિયાત્મક, અજ્વલનશીલ, બિનઝેરી કાર્બનિક સંયોજનો છે. તેથી તેઓનો ઉપયોગ રેફ્રિજરેટર, એરકન્ડિશનર, પ્લાસ્ટિક ફોમના ઉત્પાદનમાં અને કમ્પ્યુટરના ભાગોની સફાઈ માટે

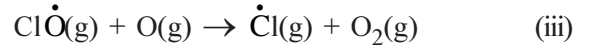
ઇલેક્ટ્રોનિક ઉદ્યોગોમાં થાય છે. CFCs વાતાવરણમાં ભળી, વાતાવરણના વાયુઓ સાથે મિશ્ર થઈ સમતાપ આવરણમાં પહોંચે છે. સમતાપ આવરણમાં તેઓ પ્રબળ પારજાંબલી કિરણોથી ખંડિત થઈને ક્લોરિન મુક્તમૂલક ઉત્પન્ન કરે છે.



આ ક્લોરિન મુક્તમૂલક સમતાપ આવરણમાં રહેલા ઓઝોન સાથે પ્રક્રિયા કરી ક્લોરિન મોનોક્સાઈડ મુક્તમૂલક અને ઑક્સિજન અણુ બનાવે છે.



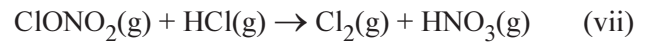
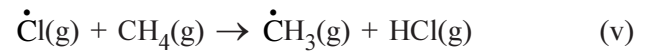
આ ક્લોરિન મોનોક્સાઈડ મુક્તમૂલક ઑક્સિજન પરમાણુ સાથે પ્રક્રિયા કરી ક્લોરિન મુક્તમૂલક બનાવે છે.



આમ, ક્લોરિન મુક્તમૂલક સતત બનતો જ રહે છે જે ઓઝોન વાયુનું ક્ષયન કરે છે. તેથી CFCs સમતાપ આવરણમાં ક્લોરિન મુક્તમૂલક ઉત્પન્ન કરવાવાળા અને ઓઝોન સ્તરને નુકસાન પહોંચાડનાર પરિવહનીયકારકો છે.

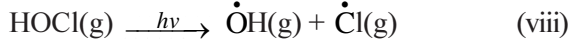
#### ઓઝોન સ્તરમાં ગાબડું

1980માં એન્ટાર્કટિકામાં અભ્યાસ કરનાર વાતાવરણીય વૈજ્ઞાનિકાએ દક્ષિણ ધ્રુવની ઉપર ઓઝોન સ્તરનું ક્ષયન થયું હોવાનું જણાવ્યું હતું. તેને ઓઝોન ગાબડું પણ કહે છે. આ અંગે જાણવા મળ્યું કે ઓઝોન ગાબડા માટે પરિસ્થિતિઓનો વિશેષ સમૂહ જવાબદાર હતો. ઉનાળામાં નાઈટ્રોજન ડાયોક્સાઈડ અને મિથેન; ક્લોરિન મોનોક્સાઈડ (પ્રક્રિયા iv) અને ક્લોરિન પરમાણુઓ (પ્રક્રિયા v) સાથે પ્રક્રિયા કરી ક્લોરિનયુક્ત નીપજ બનાવે છે. જે ઓઝોનના ક્ષયનને વધુ હદ સુધી રોકે છે, જ્યારે શિયાળામાં એન્ટાર્કટિકા પર વિશિષ્ટ પ્રકારનું વાદળ રચાય છે જેને ધ્રુવીય સમતાપ વાદળ કહે છે. આ વાદળ એવી સપાટી પ્રદાન કરે છે જેના પર બનેલો ક્લોરિન નાઈટ્રેટ (પ્રક્રિયા iv) જળવિભાજન પામી હાઈપોક્લોરસ એસિડ (પ્રક્રિયા vi) બનાવે છે. ક્લોરિન નાઈટ્રેટ, હાઈડ્રોજન ક્લોરાઈડ સાથે પણ પ્રક્રિયા કરી પ્રક્રિયા (vii) મુજબ ક્લોરિન અણુ બનાવે છે.



જ્યારે વસંતઋતુમાં એન્ટાર્કટિકા પર સૂર્યપ્રકાશ પાછો ફરે છે ત્યારે સૂર્યની ગરમી આ વાદળને વિખંડિત કરે છે અને

પ્રક્રિયા (viii) અને (ix)માં દર્શાવ્યા મુજબ સૂર્યપ્રકાશ દ્વારા HOCl અને Cl<sub>2</sub> નું પ્રકાશીય વિભાજન થાય છે.



આમ, ક્લોરિન મુક્તમૂલક બને છે. જે અગાઉ જણાવ્યા મુજબ ઓઝોનના ક્ષયન માટેની શૃંખલા પ્રક્રિયાનો પ્રારંભ કરે છે.

### ઓઝોન સ્તરના ક્ષયનની અસરો

ઓઝોન સ્તરના ક્ષયનની સાથે જ વધુ પારજાંબલી વિકિરણો ક્ષોભ-આવરણમાં પ્રવેશે છે. આ પારજાંબલી વિકિરણોના કારણે ચામડી જીર્ણ થવી, આંખમાં મોતિયો આવવો, સૂર્યની ગરમીથી દઝાવું, ચામડીનું કેન્સર થવું, જલજ વનસ્પતિનો નાશ થવો, માછલીની પ્રજનન ક્ષમતામાં ઘટાડો થવો વગેરે થાય છે. એક બાબત નોંધવામાં આવી છે કે પારજાંબલી વિકિરણો વનસ્પતિ પ્રોટીનને પણ અસર કરે છે. તેઓ વનસ્પતિ કોષમાં નુકસાનકારક ઉત્પરિવર્તન (mutation) લાવે છે. તેનાથી વનસ્પતિના પર્ણો પર રહેલા છિદ્રો દ્વારા પાણીનું બાષ્પીભવન થાય છે અને જમીનમાં રહેલા ભેજનું પ્રમાણ ઘટે છે. આમ, ભૂપૃષ્ઠી જળનું (surface water) બાષ્પીભવન વધે છે. પારજાંબલી વિકિરણોના વધુ પ્રમાણથી રંગ અને રેસાઓને નુકસાન થાય છે અને તેઓ જલ્દી ઝાંખા પડી જાય છે.

### 14.3 જળ પ્રદૂષણ (Water Pollution)

પાણી જીવન માટે અતિઆવશ્યક છે. પાણી વિના જીવન શક્ય નથી. સામાન્ય રીતે આપણે પાણીને શુદ્ધ માનીએ છીએ, પરંતુ આપણે પાણીની ગુણવત્તા નક્કી કરવી જ જોઈએ. પાણીના પ્રદૂષણની શરૂઆત માનવીની પ્રવૃત્તિઓ દ્વારા થાય છે. વિભિન્ન રીતે આ પ્રદૂષણ ભૂપૃષ્ઠી જળ અને ભૌમ જળ

સુધી પહોંચે છે. પ્રદૂષણના જ્ઞાત સ્રોત અથવા સ્થળોને ‘બિંદુ સ્રોત’ કહેવામાં આવે છે. દા.ત., નગરપાલિકા અને ઔદ્યોગિક કચરાના નિકાલ માટેની નળીઓ દ્વારા પ્રદૂષકો જળસ્રોતમાં પ્રવેશે છે. જ્યાં પ્રદૂષણના સ્રોત સહેલાઈથી જાણી શકાતા નથી. તેઓને પ્રદૂષણના ‘અબિંદુ સ્રોત’ કહે છે. દા.ત., કૃષિ કચરો (ખેતર, પ્રાણીઓ અને પાકની જમીન વગેરે દ્વારા), એસિડ વર્ષા, ઝડપી પાણી નિકાલ વ્યવસ્થા (શેરીઓ, ઉદ્યાનો અને લોન દ્વારા) વગેરે. કોષ્ટક 14.1માં મુખ્ય જળપ્રદૂષકો અને તેના સ્રોત દર્શાવેલા છે.

#### 14.3.1 જળપ્રદૂષણના કારણો (Causes of Water Pollution)

(i) રોગકારકો : રોગ પેદા કરનાર અતિ ગંભીર જળપ્રદૂષકોને રોગકારકો કહે છે. ઘરેલુ સુએજ અને પ્રાણીઓના મળમૂત્રોમાંથી બેક્ટેરિયા અને અન્ય સૂક્ષ્મજીવો સહિતના રોગકારકો પાણીમાં પ્રવેશે છે. માનવ મળમૂત્રમાં ઇસ્ટેરેશિયા કોલાઈ અને સ્ટેપ્ટોકોકસ ફેકેલીસ જેવા બેક્ટેરિયા રહેલા હોય છે. જે જઠર સંદર્ભના રોગો માટે જવાબદાર હોય છે.

(ii) કાર્બનિક કચરો : કાર્બનિક કચરાને પણ મુખ્ય જળપ્રદૂષક તરીકે ગણવામાં આવે છે. જેમાં પાંદડાં, ઘાસ, કૃષિ કચરો વગેરેનો સમાવેશ થાય છે. તેઓ પાણીને પ્રદૂષિત કરે છે. પાણીમાં વધુ જલજ વનસ્પતિ પણ જળપ્રદૂષણનું એક કારણ છે. આ કચરો જૈવવિઘટનીય હોય છે.

બેક્ટેરિયાની વધુ સંખ્યા પાણીમાં રહેલા કાર્બનિક પદાર્થનું વિઘટન કરે છે. તેઓ પાણીમાં રહેલા દ્રાવ્ય ઓક્સિજનનો ઉપયોગ કરે છે. જલીય દ્રાવણમાં દ્રાવ્ય ઓક્સિજનનું પ્રમાણ સીમિત હોય છે. ઠંડા પાણીમાં દ્રાવ્ય ઓક્સિજનની સાંદ્રતા 10 ppm (parts per million) જ્યારે હવામાં ઓક્સિજનની સાંદ્રતા 2,00,000 ppm હોય છે. આ કારણથી થોડા પ્રમાણમાં

કોષ્ટક 14.1 જળપ્રદૂષકો

પ્રદૂષક	સ્રોત
સૂક્ષ્મ જીવાણુઓ	ઘરેલુ ગંદા પાણીની નિકાલ વ્યવસ્થા
કાર્બનિક કચરો	ઘરેલુ સુએજથી, પ્રાણીઓના મળમૂત્રથી, પ્રાણીઓ અને વનસ્પતિના અવશેષોના કોહવાટથી, ખાદ્ય પદાર્થોનું ઉત્પાદન કરતાં એકમો દ્વારા ઉત્પન્ન થતાં કચરાથી
વનસ્પતિના પોષક તત્ત્વો	રાસાયણિક ખાતરોમાંથી
ઝેરી ભારે ધાતુઓ	રાસાયણિક કારખાનાઓ અને ઉદ્યોગો દ્વારા
ભારે કચરો (sediments)	કૃષિ ઉદ્યોગ અને ખનિજ ઉદ્યોગથી જમીનનું ધોવાણ થવાથી
કીટનાશકો	જંતુઓ, ફૂગ તેમજ નીંદામણનો નાશ કરવા વપરાતા રસાયણોથી
કિરણોત્સર્ગી પદાર્થો	યુરેનિયમ ધરાવતા ખનિજના ઉત્પાદનમાંથી
ઉષ્મીય	ઉદ્યોગોમાં શીતક તરીકે વપરાતા પાણીમાંથી



રહેલા કાર્બનિક પદાર્થના વિઘટનથી પાણીમાં રહેલા દ્રાવ્ય ઓક્સિજનનું પ્રમાણ ઘટે છે. જલીય જીવસૃષ્ટિ માટે પાણીમાં રહેલા દ્રાવ્ય ઓક્સિજનની સાંદ્રતા ખૂબ અગત્યની હોય છે. જો પાણીમાં દ્રાવ્ય ઓક્સિજનની સાંદ્રતા 6 ppm થી ઓછી હોય તો માછલીઓનું સંવર્ધન રોકાઈ જાય છે. પાણીમાં ઓક્સિજન વાતાવરણ દ્વારા અથવા જલીય લીલી વનસ્પતિઓ દ્વારા સૂર્યપ્રકાશની હાજરીમાં થતાં પ્રકાશસંશ્લેષણ મારફતે પ્રવેશે છે. રાત્રિના સમય દરમિયાન પ્રકાશસંશ્લેષણ થતું નથી, પરંતુ વનસ્પતિની શ્વસનક્રિયા ચાલુ હોય છે. પરિણામે દ્રાવ્ય ઓક્સિજનનું પ્રમાણ ઘટે છે. સૂક્ષ્મજીવો કાર્બનિક પદાર્થના ઓક્સિડેશન માટે પણ દ્રાવ્ય ઓક્સિજનનો ઉપયોગ કરે છે.

જો પાણીમાં વધુ પ્રમાણમાં કાર્બનિક પદાર્થ ઉમેરવામાં આવે તો તેમાં ઉપલબ્ધ ઓક્સિજન વપરાઈ જાય છે. પરિણામે ઓક્સિજન પર આધારિત જલીય જીવસૃષ્ટિ નાશ પામે છે. આમ અજારક બેક્ટેરિયા (જેને ઓક્સિજનની જરૂર નથી) કાર્બનિક કચરાનું વિઘટન કરે છે અને ખરાબ વાસવાળા રસાયણો ઉત્પન્ન કરે છે, જે માનવ સ્વાસ્થ્ય માટે હાનિકારક છે. જારક બેક્ટેરિયા (જેને ઓક્સિજનની જરૂર હોય છે) કાર્બનિક કચરાનું વિઘટન કરે છે અને પાણીમાં દ્રાવ્ય ઓક્સિજનનું પ્રમાણ ઘટાડે છે.

આમ, નિશ્ચિત કદના પાણીના નમૂનામાં રહેલા કાર્બનિક પદાર્થોના વિઘટન માટે જરૂરી ઓક્સિજનના જથ્થાને જૈવ-રાસાયણિક ઓક્સિજન જરૂરિયાત (Biochemical Oxygen Demand) (BOD) કહે છે. આમ, પાણીમાં BODનું મૂલ્ય કાર્બનિક પદાર્થના જૈવવિઘટન માટે જરૂરી ઓક્સિજનનો જથ્થો સૂચવે છે. સ્વચ્છ પાણીનું BOD મૂલ્ય 5 ppm થી ઓછું હોય છે જ્યારે વધુ પ્રદૂષિત પાણીનું BOD નું મૂલ્ય 17 ppm કે તેથી વધુ હોય છે.

(iii) રાસાયણિક પ્રદૂષકો : આપણે જાણીએ છીએ તે મુજબ પાણી ઉત્તમ દ્રાવક છે. કેડમિયમ, મરક્યુરી, નિકલ વગેરે ભારે ધાતુઓ ધરાવતા પાણીમાં દ્રાવ્ય અકાર્બનિક સંયોજનોનો સમાવેશ પ્રદૂષકોના અગત્યના વર્ગમાં થાય છે. આ બધી ધાતુઓ માનવજાત માટે નુકસાનકારક છે કારણ કે આપણું શરીર તેમનો નિકાલ કરી શકતું નથી. સમય જતાં તેઓનું પ્રમાણ સ્વીકાર્ય હદ કરતાં વધી જાય છે. આ ધાતુઓ કિડની, મધ્યસ્થ ચેતાતંત્ર, યકૃત વગેરેને નુકસાન પહોંચાડે છે. ખનીજ ઉદ્યોગના નકામા કચરામાં આવતો એસિડ (સલ્ફ્યુરિક એસિડ જેવા) અને ઠંડા વાતાવરણ દરમિયાન હિમ અને બરફને પીગાળવા માટે ઉપયોગમાં લેવાતાં પાણીમાં દ્રાવ્ય એવા ક્ષારો (સોડિયમ ક્લોરાઇડ અને કેલ્શિયમ ક્લોરાઇડ) રાસાયણિક પ્રદૂષકો છે.

પ્રદૂષિત પાણીમાં મળી આવતા અન્ય સંયોજનો કાર્બનિક રસાયણો છે. પેટ્રોલિયમ પેદાશો પાણીના ઘણા સ્ત્રોતોને પ્રદૂષિત કરે છે. દા.ત., સમુદ્રમાં ઢોળાયેલ તેલ. બીજું ગંભીર કાર્બનિક સંયોજન કીટનાશક છે. જે ધીમે ધીમે જમીનમાં નીચે ઉતરે છે. બિન્ન ઔદ્યોગિક રસાયણો જેવા કે પોલિક્લોરિનેટેડ બાયફિનાઇલ (PCBs) જે સફાઈ માટેના દ્રાવક તરીકે, ડિટરજન્ટ તરીકે અને ખાતર તરીકે વપરાય છે. તેઓને પણ જળપ્રદૂષકોની યાદીમાં ઉમેરવામાં આવ્યા છે. PCBs કેન્સરપ્રેરક સંયોજનો છે. હાલના સમયમાં મોટા ભાગના ઉપલબ્ધ ડિટરજન્ટ જૈવવિઘટનીય હોય છે. તેમ છતાં તેઓ અન્ય મુશ્કેલીઓ ઊભી કરે છે. બેક્ટેરિયાને ડિટરજન્ટ સાથે ઉમેરવામાં આવે છે. ત્યારે બેક્ટેરિયાની વૃદ્ધિ ઝડપી થાય છે. જ્યારે બેક્ટેરિયા વૃદ્ધિ પામે છે ત્યારે તેઓ પાણીમાંના દ્રાવ્ય ઓક્સિજનનો ઉપયોગ કરે છે. ઓક્સિજનની ઊણપને કારણે જલીય જૈવસૃષ્ટિના અન્ય ઘટકો જેવા કે માછલીઓ અને વનસ્પતિઓ નાશ પામે છે. ખાતરમાં ફોસ્ફેટ હોય છે. પાણીમાં આ ફોસ્ફેટ ઉમેરતાં લીલની વૃદ્ધિ ઝડપી થાય છે. આવી લીલ પાણીની સપાટી પર છવાઈ જાય છે અને પાણીમાં ઓક્સિજનની સાંદ્રતા ઘટાડે છે. પરિણામે અજારક પરિસ્થિતિ ઉત્પન્ન થાય છે. જેથી દુર્ગંધવાળી કોહવાણની પ્રક્રિયા શરૂ થાય છે અને જલીય જીવોના મૃત્યુનું કારણ બને છે. આ રીતે પુષ્પકુંજ(bloom)વાળું પાણી અન્ય જીવોની વૃદ્ધિને અવરોધે છે. જળાશયોમાં પોષક તત્ત્વોના વધુ પ્રમાણના કારણે વનસ્પતિનું પ્રમાણ વધે છે, તેથી પાણીમાં ઓક્સિજનનું પ્રમાણ ઘટે છે જે અન્ય જીવોનો નાશ કરે છે અને અંતે જૈવવિવિધતા ગુમાવાય છે જેને સુપોષણ (Eutrophication) કહે છે.

### 14.3.2 પીવાના પાણીના આંતરરાષ્ટ્રીય ધોરણો (International Standards for Drinking Water)

પીવાના પાણીના આંતરરાષ્ટ્રીય ધોરણો નીચે દર્શાવ્યા છે જેનું પાલન થવું જ જોઈએ.

**ફ્લોરાઇડ :** પીવાના પાણીમાં ફ્લોરાઇડ આયનની સાંદ્રતા જાણવી જરૂરી છે. પીવાના પાણીમાં તેની ઊણપ માનવજાત માટે નુકસાનકારક છે અને દાંતનું ક્ષયન થવું જેવા રોગ ઉત્પન્ન કરે છે. મોટા ભાગે પીવાના પાણીમાં દ્રાવ્ય ફ્લોરાઇડ ઉમેરવામાં આવે છે જેથી તેની સાંદ્રતા 1 ppm અથવા 1 mg dm<sup>-3</sup> થાય. ફ્લોરાઇડ આયન દાંતના કઠણ આવરણ હાઇડ્રોક્સિ એપેટાઇટ [3(Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> · Ca(OH)<sub>2</sub>]ને વધુ કઠણ આવરણ ફ્લોર એપેટાઇટ [3(Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> · CaF<sub>2</sub>)]માં

રૂપાંતર કરે છે. વધુમાં  $F^-$  આયનની સાંદ્રતા 2 ppm કરતા વધુ હોય તો તેનાથી દાંત પર કથ્થાઈ રંગના ડાઘા પડે છે, જ્યારે  $F^-$  નું પ્રમાણ વધુ હોય (10 ppmથી વધુ) તો રાજસ્થાનના કેટલાક વિસ્તારોમાં જોવા મળ્યા મુજબ હાડકાં અને દાંતને નુકસાન કરે છે.

**લેડ :** જ્યારે પીવાના પાણીનું પરિવહન લેડ પાઈપ દ્વારા કરવામાં આવે છે ત્યારે લેડ પાણીમાં ભળે છે. પીવાના પાણીમાં લેડના પ્રમાણની નિર્ધારિત ઉપલી સીમા 50 ppb છે. લેડ કિડની, યકૃત અને પ્રજનન તંત્રને નુકસાન પહોંચાડે છે.

**સલ્ફેટ :** પીવાના પાણીમાં સલ્ફેટનું વધુ પ્રમાણ (> 500 ppm) માનવીમાં વિરેચક અસર (laxative effect) પેદા કરે છે. તેનું મધ્યમસરનું પ્રમાણ નુકસાનરહિત હોય છે.

**નાઈટ્રેટ :** પીવાના પાણીમાં નાઈટ્રેટની નિર્ધારિત મહત્તમ સીમા 50 ppm છે. પીવાના પાણીમાં નાઈટ્રેટનું વધુ પ્રમાણ મિથિમોગ્લોબીનેમિયા (methemoglobinemia) (બ્લ્યુબેબી) જેવો રોગ પ્રેરે છે.

**અન્ય ધાતુઓ :** પીવાના પાણીમાં કેટલીક ધાતુઓની મહત્તમ સાંદ્રતાને કોષ્ટક 14.2માં દર્શાવવામાં આવી છે.

**કોષ્ટક 14.2** પીવાના પાણીમાં કેટલીક ધાતુઓની મહત્તમ નિર્ધારિત સાંદ્રતા

ધાતુ	મહત્તમ સાંદ્રતા (ppm અથવા $mgdm^{-3}$ )
Fe	0.2
Mn	0.05
Al	0.2
Cu	3.0
Zn	5.0
Cd	0.005

### પ્રવૃત્તિ 2

તમે સ્થાનિક પાણીના સ્ત્રોત જેવા કે નદી / સરોવર / ટાંકી / તળાવની મુલાકાત લઈ, અવલોકન કરી તેઓ અપ્રદૂષિત / આંશિક પ્રદૂષિત / મધ્યમ પ્રદૂષિત અથવા વધુ પ્રદૂષિત છે તેમ નક્કી કરો. આ તમે પાણીને જોવાથી અથવા તેની pH જાણવાથી નક્કી કરી શકશો. જળાશયની નજીકમાં રહેલા શહેરી કે ઔદ્યોગિક વિસ્તાર જ્યાંથી પ્રદૂષણ ઉત્પન્ન થાય છે તેના નામની નોંધ કરો. તમે આ વિગત પ્રદૂષણ નિયંત્રણ માટે કાર્યરત સરકારી તંત્રને જણાવો તથા ચોક્કસ કાર્યવાહી નક્કી કરો. તમે આ વિગત મીડિયાને પણ આપી

શકો છો. ઘરેલુ કે ઔદ્યોગિક કચરાને (ગટરને) સીધેસીધો નદી, તળાવ, ઝરણું કે સરોવરમાં ઠાલવવો જોઈએ નહીં. બગીચામાં રાસાયણિક ખાતરને બદલે કોમ્પોસ્ટ(સેન્દ્રિય ખાતર)નો ઉપયોગ કરવો જોઈએ. DDT, મેલાથિયોન જેવા કિટનાશકોનો ઉપયોગ ટાળીને સૂકા લીમડાના પાનનો ઉપયોગ કિટનાશક તરીકે કરવો જોઈએ. તમારા ઘરની પાણીની ટાંકીમાં પોટેશિયમ પરમેંગેનેટ( $KMnO_4$ )ના થોડા સ્ફટિક અથવા બ્લીચિંગ પાઉડર નાખવો જોઈએ.

## 14.4 જમીનનું પ્રદૂષણ (Soil Pollution)

ભારત એક કૃષિ આધારિત અર્થ વ્યવસ્થાવાળો દેશ છે, જ્યાં કૃષિ, મત્સ્ય તથા પશુધનના વિકાસને પ્રાથમિકતા આપવામાં આવે છે. દુષ્કાળના સમય માટે વધારાના ઉત્પાદનનો સંગ્રહ સરકારી તથા બિનસરકારી સંસ્થાઓ દ્વારા કરવામાં આવે છે. સંગ્રહ દરમિયાન ખાદ્ય સામગ્રીમાં થનારા ઘટાડા તરફ વિશેષ ધ્યાન આપવું આવશ્યક છે. શું તમે ક્યારેય જંતુઓ (insects), કૃન્તકો (rodents), નિંદામણ (weeds) અને પાકને લાગુ પડતી બીમારીઓ દ્વારા પાક અને ખાદ્ય પદાર્થોને થતું નુકસાન જોયું છે ? તેને આપણે કેવી રીતે બચાવી શકીએ ? પાકના રક્ષણ માટે ઉપયોગમાં લેવાતાં કેટલાક જંતુનાશકો અને કીટનાશકોથી તમે પરિચિત છો. આ જંતુનાશકો, કીટનાશકો અને નિંદામણનાશકો જમીનના પ્રદૂષણ માટે જવાબદાર છે. આમ તેમનો વિવેકપૂર્ણ ઉપયોગ જરૂરી છે.

### 14.4.1 કીટનાશકો (Pesticides)

બીજા વિશ્વયુદ્ધ પૂર્વે કુદરતી રીતે મળી આવતા અનેક રસાયણો જેવા કે નિકોટીનનો (પાકની સાથે ખેતરમાં તમાકુના છોડ ઊગાડીને) ઉપયોગ અનેક પાકો માટે કીટકોના નિયંત્રણ માટે કર્યો હતો.

બીજા વિશ્વયુદ્ધ દરમિયાન મેલેરિયા તથા અન્ય જંતુઓ દ્વારા થતા રોગોના નિયંત્રણ માટે DDT બહુ ઉપયોગી રસાયણ ગણાતું હતું. તેથી વિશ્વયુદ્ધ પછી કૃષિમાં જંતુઓ, કૃન્તકો, નિંદામણ અને પાકોના બિન્ન રોગોના નિયંત્રણ માટે DDTનો ઉપયોગ થવા લાગ્યો. જો કે તેની પ્રતિકૂળ અસરોના કારણે ભારતમાં તેના ઉપયોગ પર પ્રતિબંધ મૂકવામાં આવ્યો છે.

કીટનાશકો મૂળસ્વરૂપે સંશ્લેષિત ઝેરી રસાયણો છે. જે પર્યાવરણીય પ્રતિઘાતી છે. એક જ પ્રકારના કીટનાશકના વારંવાર ઉપયોગથી કીટકોમાં કીટનાશકો પ્રત્યે પ્રતિરોધ ક્ષમતા ઉત્પન્ન થાય છે. જે કીટનાશકોને બિનઅસરકારક બનાવે છે.

તેથી DDTની પ્રત્યે પ્રતિરોધકતામાં વધારો થવા લાગ્યો; અન્ય કાર્બનિક વિષ જેવા કે આલ્ડ્રીન અને ડાયએલ્ડ્રીનને કીટનાશક ઉદ્યોગો દ્વારા બજારમાં ઉપલબ્ધ કરાવવામાં આવ્યા. મોટા ભાગના કાર્બનિક વિષ પાણીમાં અદ્રાવ્ય અને જૈવ-અવિઘટનીય હોય છે. આ વધુ અસરકારક કાર્બનિક વિષ આહારશૃંખલા દ્વારા નિમ્નપોષી સ્તરથી ઉચ્ચપોષી સ્તર સુધી સ્થાનાંતર પામે છે (આકૃતિ 14.3). સમયની સાથે સાથે ઉચ્ચ પ્રાણીઓમાં કાર્બનિક વિષની સાંદ્રતા એટલી હદે વધી જાય છે કે ચયાપચય તથા દેહધાર્મિક ક્રિયાઓમાં ખલેલ પહોંચે છે.



**આકૃતિ 14.3** પ્રત્યેક પોષી સ્તર પર પ્રદૂષકનું પ્રમાણ 10 ગણું વધતું જાય છે.

વધુ સ્થાયીતાવાળા ક્લોરિનયુક્ત કાર્બનિક વિષના પ્રત્યુત્તરમાં ઓછી સ્થાયીતાવાળા અને વધુ જૈવ-વિઘટનીય નીપજો જેવી કે ઓર્ગેનોફોસ્ફેટ અને કાર્બામેટને બજારમાં લાવવામાં આવી હતી. પરંતુ આ રસાયણો ગંભીર ચેતા (nerve) વિષ છે. તેથી તે માનવજાત માટે વધુ નુકસાનકારક છે. પરિણામે આવા કીટનાશકોના કારણે ખેતરમાં કામ કરનાર મજૂરના મૃત્યુ થયાની વિગતો નોંધાયેલી જોવા મળે છે. જંતુઓ પણ આ જંતુનાશકો પ્રત્યે પ્રતિરોધી બન્યા છે. તેથી જંતુનાશક ઉદ્યોગો નવા જંતુનાશકો બનાવવામાં વ્યસ્ત છે, પરંતુ આપણે વિચારવું પડશે કે કીટકોના ખતરા સામે માત્ર આ જ ઉકેલ છે ?

હાલમાં કીટનાશક ઉદ્યોગોએ પોતાનું ધ્યાન નિંદામણ નાશકો જેવા કે સોડિયમ ક્લોરેટ ( $\text{NaClO}_3$ ), સોડિયમ આર્સિનાઇટ ( $\text{Na}_3\text{AsO}_3$ ) અને અન્ય બીજા નિંદામણ નાશકો તરફ વાળ્યું છે. ગઈ શતાબ્દીના પૂર્વાર્ધમાં યાંત્રિકથી રાસાયણિક

નિંદામણ નિયંત્રણ તરફના બદલાવના કારણે ઉદ્યોગોને સમૃદ્ધ આર્થિક બજાર પ્રાપ્ત થયું છે, પરંતુ આપણે એ ધ્યાન રાખવું જરૂરી છે કે આ પણ પર્યાવરણ માટે અનુકૂળ નથી.

મોટા ભાગના નિંદામણ નાશકો સસ્તન વર્ગના પ્રાણીઓ માટે હાનિકારક હોય છે. પરંતુ તેઓ ઓર્ગેનોક્લોરાઇડ જેવા સ્થાયી હોતા નથી. આ રસાયણો ઓછા મહિનાઓમાં વિઘટન પામે છે. ઓર્ગેનોક્લોરાઇડની જેમ તે પણ આહાર જાળ પર સંકેન્દ્રિત થાય છે. કેટલાક નિંદામણ નાશક માનવમાં જન્મજાત ખામી પેદા કરે છે. આ સંદર્ભે થયેલા અભ્યાસના પરિણામો સૂચવે છે કે મકાઈના ખેતરમાં નિંદામણ નાશકોના કરેલા છટકાંવથી જંતુઓનો હુમલો અને છોડમાં થતા રોગોનું પ્રમાણ હાથથી નિંદામણ દૂર કરવામાં આવનાર ખેતર કરતા વધુ જોવા મળ્યું હતું.

વ્યાપકરૂપે ફેલાયેલા રાસાયણિક પ્રદૂષણમાં કીટનાશકો અને નિંદામણ નાશકો પ્રદૂષણના નાના ભાગનું પ્રતિનિધિત્વ કરે છે. વિભિન્ન વસ્તુઓના ઉત્પાદનની ઔદ્યોગિક અને રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓમાં નિયમિતપણે ઉપયોગમાં લેવાનારા અનેક સંયોજનો એક અથવા બીજા સ્વરૂપે વાતાવરણમાં ભળે છે.

### 14.5 ઔદ્યોગિક કચરો (Industrial Waste)

ઔદ્યોગિક ઘન કચરાને પણ જૈવ-વિઘટનીય અને જૈવ-અવિઘટનીય કચરામાં વર્ગીકૃત કરી શકાય છે. સુતરાઉ કાપડની મિલો, ખાદ્ય પદાર્થની બનાવટના એકમો, કાગળ બનાવવાની મિલો અને કાપડની મિલો જૈવ-વિઘટનીય કચરો ઉત્પન્ન કરે છે.

ઉષ્મીય વિદ્યુતમથક જે ઉડતી રાખ (fly ash) ઉત્પન્ન કરે છે તથા લોખંડ અને સ્ટીલનો સંયુક્ત પ્લાન્ટ જે વાતભઢીની સ્લેગ અને પીગલિત સ્ટીલની સ્લેગ ઉત્પન્ન કરે છે. ઉત્પન્ન થતાં આ પદાર્થો જૈવ-અવિઘટનીય કચરો છે. એલ્યુમિનિયમ, ઝિંક તથા કોપરનું ઉત્પાદન કરનાર ઉદ્યોગ પંક (mud) અને છેવટનો અવશેષ (tailing) ઉત્પન્ન કરે છે. ખાતર ઉદ્યોગો જિપ્સમ પેદા કરે છે. ધાતુઓ, રસાયણો, દવાઓ, રંગકો, કીટનાશકો, રબર વગેરેનું ઉત્પાદન કરતા ઉદ્યોગો અતિજવલનશીલ પદાર્થો, મિશ્રિત વિસ્ફોટકો અથવા અતિપ્રતિક્રિયાત્મક પદાર્થો ઉત્પન્ન કરે છે.

જો જૈવ-અવિઘટનીય ઔદ્યોગિક ઘન કચરાનો યોગ્ય અને અનુકૂળ પદ્ધતિથી નિકાલ કરવામાં ન આવે તો તે પર્યાવરણ માટે ગંભીર ખતરો ઊભો કરી શકે છે. નવીન વિચારો દ્વારા કચરાના વિવિધ ઉપયોગો શોધવામાં આવ્યા છે. હાલમાં ઉડતી રાખ અને સ્ટીલ ઈન્ડસ્ટ્રીઝમાંથી નીકળતા સ્લેગનો ઉપયોગ સિમેન્ટ ઉદ્યોગમાં કરવામાં આવે છે. સામાન્ય રીતે વધુ જથ્થામાં રહેલા ઝેરી કચરાનો નિયંત્રિત ભસ્મીકરણ પદ્ધતિથી નાશ

કરવામાં આવે છે, જ્યારે ઓછા જથ્થામાં હોય તો તેને ખુલ્લી જગ્યામાં બાળીને નષ્ટ કરવામાં આવે છે. વધુમાં જો ઘન કચરાનું વ્યવસ્થાપન અસરકારક રીતે કરવામાં ન આવે તો તે પર્યાવરણના વિવિધ ઘટકોને અસર કરે છે.

### શું તમે કચરાના પુનર્યક્ષણ વિશે જાણો છો ?

- પ્લાસ્ટિકના કચરામાંથી મળતા ઈંધણનો ઓક્ટેન આંક ઊંચો હોય છે. તેમાં લેડ હોતું નથી અને તે 'હરિત ઈંધણ' (green fuel) તરીકે ઓળખાય છે.
- રસાયણ અને કાપડ ઉદ્યોગમાં થયેલા આધુનિક વિકાસના કારણે હવે પુનર્યક્તિ પ્લાસ્ટિકના વસ્ત્રો બનાવાશે. આ જલ્દીથી વિશ્વના બજારોમાં ઉપલબ્ધ થશે.
- આપણા દેશમાં શહેરો અને નગરોમાં વીજળીના કાપની સમસ્યાનો સામનો કરવો પડે છે. ચારે તરફ સડતા કચરાના ઢગલાં પણ જોવા મળે છે. એક સારી ખબર એ છે કે આ બંને સમસ્યાઓનો એક સાથે છૂટકારો મેળવી શકાય છે. હાલમાં એવી ટેકનોલોજી વિકસિત કરવામાં આવી છે કે જેથી કચરામાંથી વિદ્યુત ઉત્પન્ન કરી શકાય છે. પ્રાયોગિક ધોરણે એક મોડેલ તૈયાર કરાયું છે જેમાં કચરામાંથી લોખંડ, પ્લાસ્ટિક, કાચ, કાગળ વગેરેને અલગ કરી બાકી રહેલા ભાગને પાણી સાથે મિશ્ર કરવામાં આવે છે. તેમાં બેક્ટેરિયાનો કેટલોક જથ્થો ઉમેરવામાં આવે છે, જે મિથેન ઉત્પન્ન કરે છે. સામાન્ય રીતે તે બાયોગેસ તરીકે ઓળખાય છે. આ રીતે મળતો બાયોગેસ વીજળી ઉત્પન્ન કરવામાં વપરાય છે અને તેની ઉપનીપજ ખાતર તરીકે ઉપયોગમાં લેવાય છે.

## 14.6 પર્યાવરણીય પ્રદૂષણ-નિયંત્રણના પગલાં (Strategies to Control Environmental Pollution)

આ એકમમાં સમાવિષ્ટ હવા પ્રદૂષણ, જળ પ્રદૂષણ, જમીન પ્રદૂષણ અને ઔદ્યોગિક કચરા દ્વારા થતા પ્રદૂષણના અભ્યાસ બાદ હવે તમે પર્યાવરણ પ્રદૂષણના નિયંત્રણની આવશ્યકતાને મહેસૂસ કરતા હશો. તમે તમારી નજીકના પર્યાવરણને કેવી રીતે બચાવી શકો છો ? તમે તમારા પડોશમાં જોવા મળતાં ઉપર્યુક્ત પ્રદૂષણોના નિયંત્રણ માટે ક્યા ક્યા પગલાં/પ્રવૃત્તિઓ કરી શકો છો તેના વિશે વિચાર કરો. અહીં કચરાના વ્યવસ્થાપન માટેના ઉપાયો સંબંધિત એક વિચાર રજૂ કરવામાં આવ્યો છે.

### 14.6.1 કચરાનું વ્યવસ્થાપન (Waste Management)

ઘન કચરો માત્ર એ જ નથી કે જે તમને તમારી કચરાપેટીમાં જોવા મળે છે. નકામી ઘરેલુ ચીજવસ્તુઓ સિવાય

પણ અનેક કચરો જોવા મળે છે, જેમ કે ચિકિત્સકીય કચરો, કૃષિ કચરો, ઔદ્યોગિક કચરો અને ખનીજ કચરો. પર્યાવરણનું સ્તર નીચું ઉતરવાનું એક મુખ્ય કારણ કચરાનો અયોગ્ય રીતે નિકાલ છે. તેથી કચરાનું વ્યવસ્થાપન અતિ આવશ્યક છે.

### એકત્રિકરણ અને નિકાલ

ઘરેલુ કચરાને નાના પાત્રમાં એકત્ર કરવામાં આવે છે, જેને અંગત અથવા નગરપાલિકાના કામદાર દ્વારા સામૂહિક પાત્રમાં સ્થાનાંતરિત કરવામાં આવે છે. આ સામૂહિક પાત્રોને નિકાલના સ્થળે પહોંચાડવામાં આવે છે. તે સ્થળે આ કચરાને જૈવ-વિઘટનીય અને જૈવ-અવિઘટનીય કચરા તરીકે અલગ પાડવામાં આવે છે. જૈવ-અવિઘટનીય કચરો જેવો કે પ્લાસ્ટિક, કાચ, ધાતુની વસ્તુઓ વગેરેને પુનર્યક્ષણ માટે મોકલવામાં આવે છે, જ્યારે જૈવ-વિઘટનીય કચરાને ખુલ્લી જમીનમાં દાટી દેવામાં આવે છે, જે થોડા સમય બાદ કોમ્પોસ્ટમાં રૂપાંતર પામે છે.

જો કચરાને કચરાપેટીમાં એકત્ર કરવામાં ન આવે તો તે ગટરમાં જાય છે. જેમાંના કેટલાક કચરાને ઢોર-ઢાંખર ખાઈ જાય છે. જૈવ-અવિઘટનીય કચરો જેવો કે પોલિથીન બેગ, ધાતુની વસ્તુઓ વગેરે ગટરમાં અવરોધ ઊભો કરે છે અને પ્રતિકૂળતા સર્જે છે. જો પોલિથીન બેગને કોઈ ઢોર-ઢાંખર ગળી જાય તો તે તેના મૃત્યુનું કારણ પણ બની શકે છે.

તેથી સામાન્ય વ્યવહારમાં બધા ઘરેલુ કચરાને યોગ્ય રીતે એકત્રિત કર્યા બાદ તેનો નિકાલ કરવો જોઈએ. નબળા વ્યવસ્થાપનના કારણે ભૌમજળ પ્રદૂષિત થાય છે, જેના કારણે આરોગ્યને લગતા પ્રશ્નો ઊભા થાય છે. વિશેષ રીતે તે એ લોકો માટે વધુ હાનિકારક છે જે આ કચરાના સીધા સંપર્કમાં આવે છે. જેમકે જૂનો સામાન અને કચરો વીણનાર અને એવા કામદારો જે કચરાના નિકાલના કામ સાથે સંકળાયેલા છે. આ એવા વ્યક્તિઓ છે જે મોજાં અથવા જળરોધી બૂટ અને ગેસ માસ્ક જેવી સુરક્ષા માટેની સાધનસામગ્રીનો ઉપયોગ કરતા નથી. તમે તેમના માટે શું કરી શકો છો ?

## 14.7 હરિયાળું રસાયણવિજ્ઞાન (Green Chemistry)

### 14.7.1 પ્રસ્તાવના (Introduction)

આપણે સૌ જાણીએ છીએ કે આપણા દેશે 20મી સદીના અંત સુધીમાં ખાતર અને કીટનાશકોના ઉપયોગથી તથા કૃષિની સુધારેલી પદ્ધતિઓનો ઉપયોગ કરી, ઊંચી ગુણવત્તાવાળા બીજ, સિંચાઈ વગેરેની મદદથી ખાદ્ય પદાર્થોના ક્ષેત્રમાં આત્મનિર્ભરતા પ્રાપ્ત કરી લીધી છે, પરંતુ જમીનનું વધુ શોષણ

કરવાથી તથા ખાતર અને કીટનાશકોના વધુ ઉપયોગથી જમીન, પાણી અને હવાની ગુણવત્તા ઘટી છે.

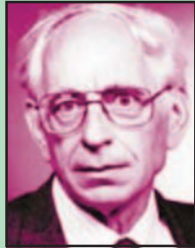
આ સમસ્યાનો ઉકેલ વિકાસની પ્રક્રિયાને રોકવાનો નહીં પરંતુ એવી પદ્ધતિઓને શોધવાનો છે જે વાતાવરણને પ્રદૂષિત થતું રોકી શકે. રસાયણવિજ્ઞાન અને અન્ય વિજ્ઞાનના સિદ્ધાંતો તથા વર્તમાન જ્ઞાનના ઉપયોગથી પર્યાવરણ પર થતી અવળી અસરોને ઓછી કરવાના વિચારો કે રસ્તાઓને હરિયાળું રસાયણવિજ્ઞાન કહે છે. હરિયાળું રસાયણવિજ્ઞાન ઉત્પાદનની એવી પદ્ધતિ છે જે પર્યાવરણમાં ન્યૂનતમ પ્રદૂષણ કે ખરાબી લાવે છે. પ્રક્રિયા દરમિયાન ઉત્પન્ન થતી ઉપપેદાશનો લાભદાયક ઉપયોગ ન કરી શકાય તો તે પર્યાવરણના પ્રદૂષણમાં ઉમેરો કરે છે. આવી પ્રક્રિયાઓ માત્ર પર્યાવરણની દૃષ્ટિએ હાનિકારક છે, તેવું નથી પરંતુ તે મોંઘી પણ પડે છે. નકામા પદાર્થો બનવા અને તેનો નિકાલ બંને આર્થિક દૃષ્ટિએ નુકસાનકારક છે. વિકાસના કાર્યોની સાથે સાથે રાસાયણિક નુકસાનને ઘટાડવામાં વર્તમાન જ્ઞાનની મદદ લેવી તે હરિયાળું રસાયણવિજ્ઞાનનો પાયો છે. શું તમે

હરિયાળું રસાયણવિજ્ઞાનના વિચારને ગ્રહણ કર્યો છે ? આપણે જાણીએ છીએ કે કાર્બનિક દ્રાવકો જેવા કે બેન્ઝિન, ટોલ્યુઈન, કાર્બન ટેટ્રાક્લોરાઈડ વગેરે અત્યંત ઝેરી છે. તેમનો ઉપયોગ કરતા સમયે કાળજી રાખવી જરૂરી છે.

તમે જાણો છો તે મુજબ કોઈ રાસાયણિક પ્રક્રિયાનો વ્યાપ તાપમાન, દબાણ અને ઉદ્દીપકના ઉપયોગ પર રહેલો છે. જો પર્યાવરણીય મિત્ર સ્વરૂપના માધ્યમની મદદથી જો પ્રક્રિયકો સંપૂર્ણપણે પર્યાવરણીય મિત્ર સ્વરૂપની નીપજોમાં ફેરવાય તો પર્યાવરણમાં કોઈ રાસાયણિક પ્રદૂષક ઉમેરાતું નથી.

સંશ્લેષણ દરમિયાન પ્રારંભિક પદાર્થની પસંદગી સમયે એ બાબત ધ્યાનમાં રાખવી જોઈએ કે જ્યારે તે અંતિમ નીપજમાં પરિવર્તન પામે ત્યારે 100 % નીપજ બને છે. જેને સંશ્લેષણ પ્રક્રિયા દરમિયાન અનુકૂળ પરિસ્થિતિઓ ગોઠવીને મેળવી શકાય છે. પાણીની ઊંચી વિશિષ્ટ ઉષ્મા તથા નીચી બાષ્પશીલતાના કારણે તેને સંશ્લેષણ પ્રક્રિયાઓમાં માધ્યમ તરીકે ઉપયોગમાં લેવાય છે. પાણી સસ્તું, અપ્રજ્વલનશીલ તથા અકેન્સરપ્રેરક માધ્યમ છે.

### હરિયાળું રસાયણ વિજ્ઞાનીઓને નોબેલ પુરસ્કાર



યસ ચૌવિન



રોબર્ટ એચ. ગ્રુબ્સ



રિચાર્ડ આર. શ્રોક

યસ ચૌવિન, ઈન્સ્ટીટ્યૂટ ફેક્સ ડૂ પેટ્રોલે, રુઈનલ-મેલમેસન, ફ્રાન્સ; રોબર્ટ એચ. ગ્રુબ્સ, કેલિફોર્નિયા ઈન્સ્ટીટ્યૂટ ઓફ ટેકનોલોજી (કેલટેક), પાસાડેના, CA, USA અને રિચાર્ડ આર. શ્રોક, માસાચુસેટ્સ ઈન્સ્ટીટ્યૂટ ઓફ ટેકનોલોજી (MIT), કેમ્બ્રિજ, MA, USAને નવા રસાયણોના નિર્માણ દરમિયાન ઉત્પન્ન થતાં ઝેરી નકામા પદાર્થોને ઘટાડવાના કાર્ય માટે 2005માં નોબેલ પુરસ્કાર એનાયત કરવામાં આવ્યો હતો. તે ત્રણેયે કાર્બનિક સંશ્લેષણમાં સ્થાનાંતરણ (મેટાથેસિસ) પદ્ધતિના વિકાસ માટે પુરસ્કાર મેળવ્યો હતો. આમાં અણુની અંદર પરમાણુ પુનર્વિન્યાસ પામતા રહે છે. રોયલ સ્વીડિશ એકેડેમી ઓફ સાયન્સે તેની તુલના એવા નૃત્ય સાથે કરી, જેમાં યુગલ પોતાના જોડીદાર બદલતા રહે છે. મેટાથેસિસનો મહત્વનો વ્યાપારિક ઉપયોગ ઔષધો, બાયોટેકનોલોજી અને ખાદ્ય ઉદ્યોગમાં થાય છે. આનો ઉપયોગ પર્યાવરણીય મૈત્રી સ્વરૂપના પોલિમર પદાર્થોના ક્રાંતિકારી વિકાસમાં પણ થાય છે.

આ હરિયાળું રસાયણવિજ્ઞાન એક મોટા પગલાંનું પ્રતિનિધિત્વ છે. કુશળ ઉત્પાદન દ્વારા હાનિકારક નકામા પદાર્થોને ઘટાડી શકાય છે. મેટાથેસિસ એ વાતાવરણને ઉદાહરણ છે કે મૂળવિજ્ઞાનનો ઉપયોગ મનુષ્ય, સમાજ અને પર્યાવરણના લાભ માટે કેવી રીતે કરી શકાય.

## 14.7.2 રોજિંદા જીવનમાં હરિયાળું રસાયણવિજ્ઞાન (Green Chemistry in day-to-day Life)

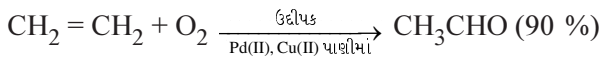
### (i) ક્ષણિક ડાયક્લોરોઇથિન

(Cl<sub>2</sub>C=CCl<sub>2</sub>) ક્ષણિક ડાયક્લોરોઇથિનમાં દ્રાવક તરીકે વધુ વપરાતો હતો. તે ભૌમજલને પ્રદૂષિત કરે છે અને કેન્સર પ્રેરક પણ છે. તેથી હાલમાં ટેટ્રાક્લોરોઇથિનના ઉપયોગને બદલે પ્રવાહીકૃત કાર્બન ડાયોક્સાઇડનો અનુકૂળ ડિટરજન્ટ સાથે ડાયક્લોરોઇથિનમાં ઉપયોગ કરાય છે. હેલોજનયુક્ત દ્રાવકને બદલે પ્રવાહી CO<sub>2</sub>ના ઉપયોગથી ભૌમજલ ઓછું પ્રદૂષિત થાય છે.

હાલના સમયમાં હાઇડ્રોજન પેરોક્સાઇડ (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)નો ઉપયોગ ક્ષણિક ધોવામાં બ્લીચિંગ એજન્ટ (વિરંજનકર્તા) તરીકે વધ્યો છે. તે પાણીના ઓછા વપરાશથી પણ સારું પરિણામ આપે છે.

(ii) કાગળના વિરંજનમાં : અગાઉ કાગળના વિરંજન માટે ક્લોરિન ગેસ ઉપયોગમાં લેવાતો હતો. હાલમાં હાઇડ્રોજન પેરોક્સાઇડ (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)નો ઉપયોગ યોગ્ય ઉદ્દીપકની હાજરીમાં કરવામાં આવે છે જેથી હાઇડ્રોજન પેરોક્સાઇડની વિરંજન અસર વધે છે.

(iii) રસાયણોનું સંશ્લેષણ : ઔદ્યોગિક રીતે ઇથિનનું એક તબક્કામાં ઓક્સિડેશન આયનીય ઉદ્દીપક અને જલીય માધ્યમની હાજરીમાં કરવામાં આવે તો લગભગ 90 % ઇથેનાલ પ્રાપ્ત થાય છે.



ટૂંકમાં, હરિયાળું રસાયણવિજ્ઞાન ઓછો ખર્ચાળ અભિગમ છે, જે ઓછા પદાર્થ, ઓછી ઊર્જાવપરાશ અને ઓછો નકામો પદાર્થ ઉત્પન્ન થવા સાથે સંબંધિત છે.

### આ વિષે વિચારો

માનવ હોવાના નાતે પર્યાવરણને સુરક્ષિત રાખવા માટે આપણી શું જવાબદારી છે? કેટલીક સંકલ્પનાઓ કોઈ વ્યક્તિ દ્વારા અનુસરવામાં આવે તો માનવજીવન અને આપણા પર્યાવરણની ગુણવત્તાને સારી બનાવવામાં ફાળો આપી શકે છે. તમારા બગીચા અથવા ઘરની કોઈ જગ્યાએ કોમ્પોસ્ટ પાત્ર હોવું જોઈએ. જેનો ઉપયોગ છોડ માટે સેન્દ્રિય ખાતર બનાવવામાં કરવો જોઈએ, જેથી રાસાયણિક ખાતરોનો ઉપયોગ ઓછો કરવો પડે. આપણે બજારમાંથી લાવવાનું થતું કરિયાણું, શાકભાજી કે અન્ય ચીજવસ્તુઓ માટે કાપડની થેલીનો ઉપયોગ કરવો જોઈએ અને પ્લાસ્ટિકની થેલીનો ઉપયોગ ટાળવો જોઈએ. તમારા વિસ્તારમાં સમાચારપત્ર, કાચ, એલ્યુમિનિયમ અને અન્ય સામગ્રીને પુનર્યક્ષણ કરનાર છે કે નહીં તે તપાસો. પર્યાવરણ સુરક્ષા માટે આવા વિકેતાઓને શોધવામાં આપણને મુશ્કેલીઓ પણ પડે છે. આપણે એવી સમજ રાખવી જોઈએ કે દરેક સમસ્યાનું નિવારણ શક્ય નથી, પરંતુ આપણે તે મુદ્દાઓ પર આપણું ધ્યાન કેન્દ્રિત કરવું જોઈએ, જેને આપણે પ્રબળ રીતે અનુભવી શકીએ અને તે માટે આપણે કાંઈક કરી શકીએ. જે આપણે કહીએ છીએ તેનો અમલ પણ આપણે કરવો જોઈએ. આપણે યાદ રાખવું જરૂરી છે કે પર્યાવરણ સંરક્ષણ હંમેશાં આપણાથી જ શરૂ થાય છે.

### સારાંશ

પર્યાવરણીય રસાયણવિજ્ઞાન પર્યાવરણમાં મહત્વની ભૂમિકા ભજવે છે. પર્યાવરણમાં રહેલી સ્પીસિઝ કુદરત દ્વારા પ્રાપ્ત થતી હોય છે અથવા માનવીની વિવિધ પ્રવૃત્તિઓના કારણે પેદા થતી હોય છે. પર્યાવરણીય પ્રદૂષણ વાતાવરણમાં થતા અનિચ્છનીય ફેરફારોની અસર છે, જે વનસ્પતિઓ, પ્રાણીઓ અને માનવજાત પર નુકસાનકારક અસર કરે છે. પ્રદૂષકો પદાર્થના ત્રણેય સ્વરૂપોમાં અસ્તિત્વ ધરાવે છે. આપણે એવા પ્રદૂષકોની ચર્ચા કરી છે કે જે માનવીય પ્રવૃત્તિઓના પરિણામે હોય અને તેને નિયંત્રિત કરી શકાય. વાતાવરણીય પ્રદૂષણનો અભ્યાસ સામાન્ય રીતે ક્ષોભ-આવરણીય અને સમતાપ-આવરણીય પ્રદૂષણ તરીકે કરવામાં આવે છે. ક્ષોભ-આવરણ વાતાવરણનું નિમ્નસ્તર (~10 km) છે, જેમાં માનવસહિત અન્યજીવ તથા વનસ્પતિ પણ રહેલી હોય છે, જ્યારે સમતાપ આવરણ, ક્ષોભ-આવરણની ઉપલી સીમાથી ઉપર અને સમુદ્રની સપાટીથી 50 kmની ઊંચાઈએ આવેલું છે. ઓઝોન સ્તર સમતાપ-આવરણનો એક મુખ્ય ભાગ છે. ક્ષોભ-આવરણીય પ્રદૂષણ મુખ્યત્વે સલ્ફર, નાઇટ્રોજન, કાર્બન, હેલોજનના ઓક્સાઇડ તથા રજકણ પ્રદૂષકોના કારણે થાય છે. વાયુમય પ્રદૂષકો પૃથ્વી પર એસિડ વર્ષાના સ્વરૂપે આવે છે. પૃથ્વી પર પહોંચતી સૌર ઊર્જાના 75 % ભાગ પૃથ્વીની સપાટી દ્વારા શોષાય છે અને બાકીની ઊર્જા વાતાવરણમાં પાછી ફેંકાય છે. ઉપર્યુક્ત વાયુઓ આ ઉષ્માને ગ્રહણ કરી પૃથ્વીનું તાપમાન વધારે છે જેને ગ્લોબલ વોર્મિંગ કહે છે. આ વાયુઓ પૃથ્વી પરના જીવન માટે પણ જવાબદાર છે, જે જીવનને ટકાવી રાખવા માટે પૃથ્વી પર સૌરઊર્જાના જરૂરી જથ્થાને ગ્રહણ કરે છે. ગ્રીન હાઉસ વાયુઓના વધુ પ્રમાણથી પૃથ્વીના વાતાવરણનું

તાપમાન વધે છે, જેથી ધ્રુવ વિસ્તારમાં રહેલો બરફ પીગળવા લાગે છે અને સમુદ્રની સપાટી ઊંચી આવે છે તેથી સમુદ્રના કિનારાના વિસ્તારોમાં પાણી ભરાઈ જાય છે. કેટલીક માનવ પ્રવૃત્તિઓ રસાયણ ઉત્પન્ન કરે છે, જે સમતાપ-આવરણમાં ઓઝોન સ્તરના ક્ષયન માટે જવાબદાર હોય છે અને તે ઓઝોનમાં ગાબડું પાડે છે. ઓઝોનના ગાબડામાંથી પારજાંબલી વિકિરણો પૃથ્વીના વાતાવરણમાં પ્રવેશીને જમીનમાં ઉત્પરિવર્તન લાવે છે. પાણી આપણા જીવન માટે ઉપયોગી છે, પરંતુ આ પાણી રોગકારકો, કાર્બનિક કચરા તથા ઝેરી ભારે ધાતુઓ, કીટનાશકો વગેરે દ્વારા પ્રદૂષિત થાય તો તે ઝેરમાં પરિવર્તિત થઈ જાય છે. તેથી આંતરરાષ્ટ્રીય ધોરણોને ધ્યાનમાં રાખીને પીવાના પાણીની ગુણવત્તા જાળવવી જોઈએ. ઔદ્યોગિક કચરો અને વધુ પ્રમાણમાં કીટનાશકોના ઉપયોગથી જમીન અને પાણીનું પ્રદૂષણ થાય છે. કૃષિ ક્ષેત્રમાં રસાયણોનો વિવેકપૂર્ણ ઉપયોગ ટકાઉ વિકાસ માટે આવશ્યક છે. **પર્યાવરણીય પ્રદૂષણને નિયંત્રિત કરવાના પગલાં :** (i) કચરાનું વ્યવસ્થાપન એટલે કે કચરાના પ્રમાણમાં ઘટાડો અને યોગ્ય નિકાલ, પદાર્થોનું અને શક્તિનું પુનર્યક્ષણ (ii) રોજિંદા જીવનમાં ઉપયોગમાં લેવાતી પદ્ધતિઓ જે પર્યાવરણીય પ્રદૂષણને ઘટાડે છે. આની બીજી પદ્ધતિ રસાયણવિજ્ઞાનની નવી શાખા છે જે **હરિયાળું રસાયણવિજ્ઞાન** તરીકે ઓળખાય છે. તે વર્તમાન જ્ઞાન અને અનુભવોનો ઉપયોગ કરીને પ્રદૂષકોના નિર્માણને ઘટાડે છે.

### સ્વાધ્યાય

- 14.1 પર્યાવરણીય રસાયણવિજ્ઞાનને વ્યાખ્યાયિત કરો.
- 14.2 ક્ષોભ-આવરણીય પ્રદૂષણને લગભગ 100 શબ્દોમાં સમજાવો.
- 14.3 કાર્બન ડાયોક્સાઈડ વાયુ કરતાં કાર્બન મોનોક્સાઈડ વાયુ વધુ ખતરનાક શા માટે છે ? સમજાવો.
- 14.4 ગ્રીન હાઉસ અસર માટે જવાબદાર વાયુઓની યાદી તૈયાર કરો.
- 14.5 એસિડ વર્ષા ભારતમાં રહેલી મૂર્તિઓ અને સ્મારકોને કેવી રીતે નુકસાન કરે છે ?
- 14.6 ધૂમ્ર-ધુમ્મસ એટલે શું ? પારંપારિક ધૂમ્ર-ધુમ્મસ પ્રકાશરાસાયણિક ધૂમ્ર-ધુમ્મસથી કેવી રીતે જુદું પડે છે ?
- 14.7 પ્રકાશરાસાયણિક ધૂમ્ર-ધુમ્મસના નિર્માણ દરમિયાન થતી રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓને લખો.
- 14.8 પ્રકાશરાસાયણિક ધૂમ્ર-ધુમ્મસ કઈ નુકસાનકારક અસરો દર્શાવે છે ? અને તેઓને કેવી રીતે નિયંત્રિત કરી શકાય ?
- 14.9 ક્ષોભ-આવરણમાં ઓઝોનના ક્ષયન માટે કઈ રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ થાય છે ?
- 14.10 ઓઝોન-સ્તરમાં ગાબડું એટલે શું ? તેના પરિણામો શું છે ?
- 14.11 જળપ્રદૂષણના મુખ્ય કારણો કયા છે ? સમજાવો.
- 14.12 શું તમે તમારા વિસ્તારમાં જળપ્રદૂષણ જોયું છે ? તેને નિયંત્રિત કરવા તમે શું સૂચવો છો ?
- 14.13 જૈવરાસાયણિક ઓક્સિજન જરૂરિયાત (BOD) એટલે શું ?
- 14.14 શું તમે તમારા પડોશી વિસ્તારમાં જમીનનું પ્રદૂષણ જોયું છે ? જમીન પ્રદૂષણને નિયંત્રિત કરવા તમે કેવા પ્રયત્નો હાથ ધરશો ?
- 14.15 કીટનાશક અને નિંદણનાશક એટલે શું ? ઉદાહરણ આપી સમજાવો.
- 14.16 હરિયાળું રસાયણવિજ્ઞાન એટલે શું ? તે પર્યાવરણીય પ્રદૂષણને ઘટાડવામાં કેવી રીતે મદદરૂપ થશે ?
- 14.17 પૃથ્વીના વાતાવરણમાં જો ગ્રીન હાઉસ વાયુઓ સંપૂર્ણપણે ગેરહાજર હોય તો શું થાય ? ચર્ચો.
- 14.18 એક તળાવમાં મોટી સંખ્યામાં મરેલી માછલીઓ તરતી જોવા મળી, તેમાં કોઈ ઝેરી પદાર્થ ન હતો, પરંતુ વિપુલ પ્રમાણમાં જલીય વનસ્પતિ જોવા મળી. માછલીઓના મરવાના કારણો સૂચવો.
- 14.19 ઘરેલું કચરાને કેવી રીતે ખાતર તરીકે ઉપયોગમાં લઈ શકશો ?
- 14.20 તમે તમારા ખેતરમાં અથવા બગીચામાં કોમ્પોસ્ટ બનાવવાના ખાડા તૈયાર કરેલા છે. ઉત્તમ કોમ્પોસ્ટ બનાવવાની પ્રક્રિયાની ચર્ચા દુર્ગંધ, માખીઓ તથા નકામા પદાર્થોના પુનર્યક્ષણના સંદર્ભમાં કરો.

## કેટલાક પસંદ કરેલા કોયડાના જવાબ

## એકમ 8

8.25 15 g

## એકમ 12

12.32 બનતા કાર્બન ડાયોક્સાઇડનું દળ = 0.505 g

બનતા પાણીનું દળ = 0.0864 g

12.33 નાઇટ્રોજનનું ટકાવાર પ્રમાણ = 56

12.34 ક્લોરિનનું ટકાવાર પ્રમાણ = 37.57

12.35 સલ્ફરનું ટકાવાર પ્રમાણ = 19.66

## એકમ 13

13.1 સમાપન પ્રક્રિયામાં થતી આડ પ્રક્રિયામાં બે મુક્તમૂલકો  $\dot{C}H_3$ ના જોડાણ થવાથી

13.2 (a) 2-મિથાઇલબ્યુટ-2-ઇન (b) પેન્ટ-1-ઇન-3-આઇન

(c) બ્યુટા-1,3-ડાઇન (d) 4-ફિનાઇલબ્યુટ-1-ઇન

(e) 2-મિથાઇલફિનોલ (f) 5-(2-મિથાઇલપ્રોપાઇલ)ડેકેન

(g) 4-ઇથાઇલડેકા-1,5,8-ટ્રાઇન

13.3 (a) (i)  $CH_2 = CH - CH_2 - CH_3$  બ્યુટ-1-ઇન(ii)  $CH_3 - CH = CH - CH_3$  બ્યુટ-2-ઇન(iii)  $CH_2 = C - CH_3$  2-મિથાઇલપ્રોપિન  
|  
 $CH_3$ (b) (i)  $HC \equiv C - CH_2 - CH_2 - CH_3$  પેન્ટ-1-આઇન(ii)  $CH_3 - C \equiv C - CH_2 - CH_3$  પેન્ટ-2-આઇન(iii)  $CH_3 - CH - C \equiv CH$  3-મિથાઇલબ્યુટ-1-આઇન  
|  
 $CH_3$ 

13.4 (i) ઈથેનાલ અને પ્રોપેનાલ (ii) બ્યુટેન-2-ઓન અને પેન્ટેન-2-ઓન

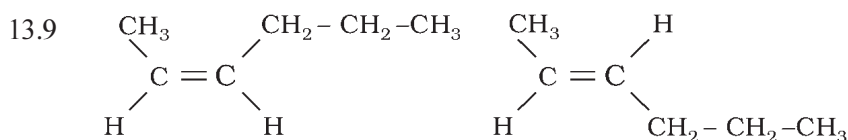
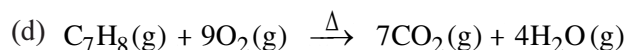
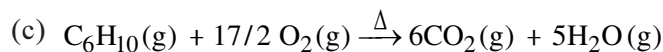
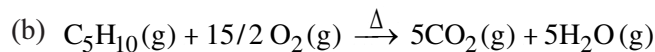
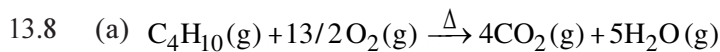
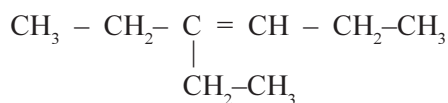
(iii) મિથેનાલ અને પેન્ટેન-3-ઓન (iv) પ્રોપેનાલ અને બેન્ઝાલ્ડિહાઇડ

13.5 3-ઇથાઇલપેન્ટ-2-ઇન

13.6 બ્યુટ-2-ઇન



13.7 4-ઇથાઇલહેક્ઝ-3-ઇન



સિસ-હેક્ઝ-2-ઇન

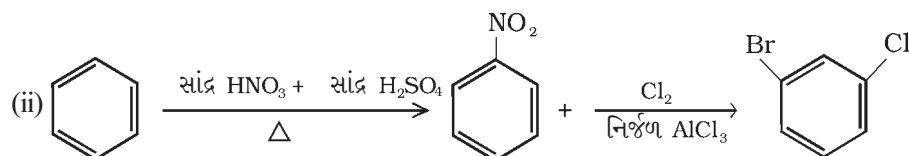
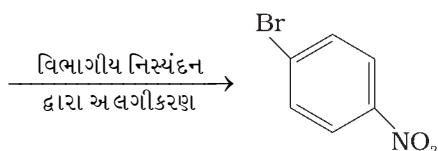
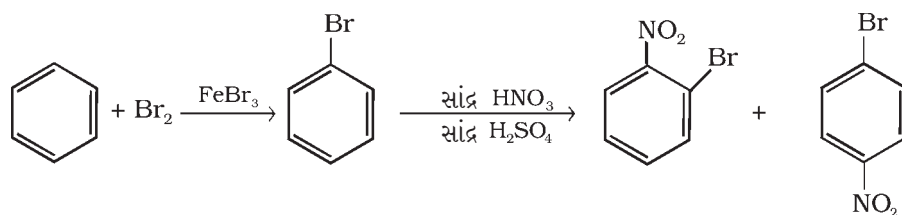
ટ્રાન્સ-હેક્ઝ-2-ઇન

વધુ ધ્રુવીય સ્વભાવના કારણે સિસ સમઘટકમાં પ્રબળ આંતરઆણ્વીય દ્વિધ્રુવ-દ્વિધ્રુવ પારસ્પરિક ક્રિયા થાય છે. તેથી આ અણુઓને અલગ કરવા વધારે ઊર્જાની જરૂર પડે છે, તેથી તેઓના ઉત્કલનબિંદુ ઊંચા હોય છે.

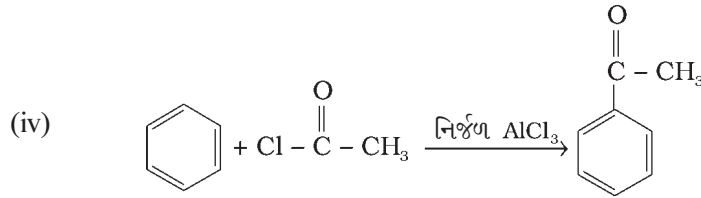
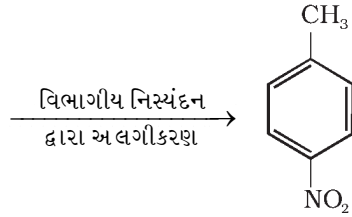
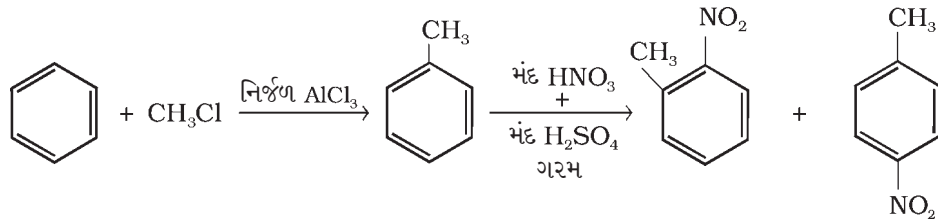
13.10 સસ્પંદનના કારણે

13.11 સમતલીય,  $(4n + 2) \pi$  ઇલેક્ટ્રોન ધરાવતી સંયુગ્મિત વલય પ્રણાલી, જ્યાં  $n$  પૂર્ણાંક સંખ્યા છે.13.12 ચક્રિય પ્રણાલી  $(4n + 2) \pi$  ઇલેક્ટ્રોનના વિસ્થાનીકૃત થવાના કારણે

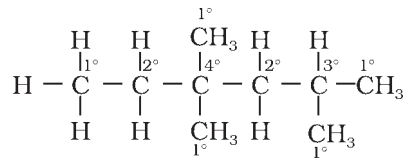
13.13 (i)



(iii)



13.14



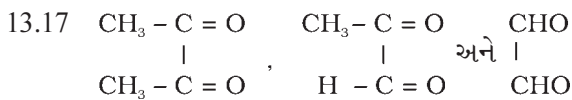
15 H 1° કાર્બન પરમાણુઓને જોડાયેલા છે.

4 H 2° કાર્બન પરમાણુઓને જોડાયેલા છે.

1 H 3° કાર્બન પરમાણુઓને જોડાયેલા છે.

13.15 આલ્કેનમાં જેટલી વધુ શાખાઓ હશે, ઉત્કલનબિંદુ તેટલું જ નીચું જશે.

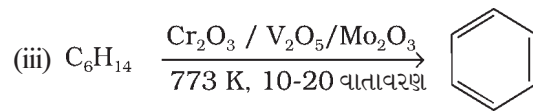
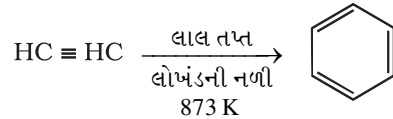
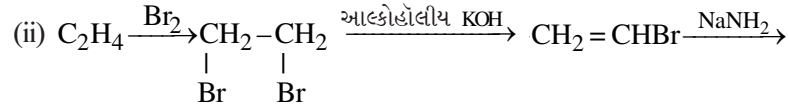
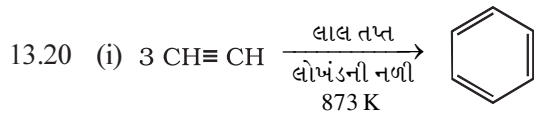
13.16 અસમમિત આલ્કીનમાં HBrની યોગશીલ પ્રક્રિયાના લખાણને વાંચો.



કોઈ એક કેક્યુલે બંધારણથી બધી ત્રણ નીપજો એક સાથે મેળવી શકાતી નથી. જે દર્શાવે છે કે બેન્ઝિન બે સસ્પંદન બંધારણોની સંકૃત રચના છે.

13.18  $\text{H} - \text{C} \equiv \text{C} - \text{H} > \text{C}_6\text{H}_6 > \text{C}_6\text{H}_{14}$ . કારણ કે બેન્ઝિનમાં s-કક્ષક લાક્ષણિક (33 %) અને n-હેક્ઝેનમાં s-કક્ષક લાક્ષણિકતા (25 %) કરતાં ઈથાઈનમાં s-કક્ષક લાક્ષણિકતા (50 %) વધુ છે.

13.19 બેન્ઝિન 6 π ઇલેક્ટ્રોનની હાજરીના કારણે ઇલેક્ટ્રોન ધનિક સ્રોત છે. તેથી ઇલેક્ટ્રોન ઊણપવાળા પ્રક્રિયકો તેના પર સરળતાથી હુમલો કરે છે.



13.22 (a) ક્લોરોબેન્ઝિન > *p*-નાઈટ્રોક્લોરોબેન્ઝિન > 2,4 - ડાયનાઈટ્રોક્લોરોબેન્ઝિન

(b) ટોલ્યુઈન > *p*-CH<sub>3</sub>-C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>-NO<sub>2</sub> > *p*-O<sub>2</sub>N-C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>-NO<sub>2</sub>

13.23 મિથાઈલ સમૂહના ઈલેક્ટ્રોન મુક્ત કરવાના સ્વભાવના કારણે ટોલ્યુઈનમાં નાઈટ્રેશન સૌથી વધુ સહેલાઈથી થાય છે.

13.24 FeCl<sub>3</sub>

13.25 ઉપનીપજ બનવાના કારણે. દા.ત., 1-બ્રોમોપ્રોપેન અને 1-બ્રોમોબ્યુટેન વચ્ચે પ્રક્રિયા કરવામાં આવે તો હેપ્ટેનની સાથે હેક્ઝેન અને ઓક્ટેન ઉપનીપજ તરીકે મળે છે.

## પારિભાષિક શબ્દો

### A

Acid rain	એસિડ વર્ષા	– uses	– ઉપયોગો
Acidic dehydration	એસિડિક નિર્જળીકરણ	– reactivity	– પ્રતિક્રિયાત્મકતા
Activating groups	સક્રિયકારક સમૂહો	– sulphates	– સલ્ફેટ સંયોજનો
Acyclic compounds	અચક્રિય સંયોજનો	Alkanes	આલકેન સંયોજનો
Alicyclic compounds	એલિફેટિક ચક્રિય સંયોજનો	– aromatisation	– ઓરોમેટીકરણ
Alkali metals	આલ્કલી ધાતુઓ	– chain isomerism	– શૃંખલા સમઘટકતા
– atomic radii	– પરમાણ્વીય ત્રિજ્યા	– combustion	– દહન
– chemical properties	– રાસાયણિક ગુણધર્મો	– controlled oxidation	– નિયંત્રિત ઓક્સિડેશન
– halides	– હેલાઈડ સંયોજનો	– geometrical isomerism	– ભૌમિતિક સમઘટકતા
– hydration enthalpy	– જલીયકરણ એન્થાલ્પી	– halogenation	– હેલોજનેશન
– hydroxides	– હાઈડ્રોક્સાઈડ સંયોજનો	– halogenation mechanism	– હેલોજનેશન ક્રિયાવિધિ
– ionic radii	– આયનીય ત્રિજ્યા	– Isomerisation	– સમઘટકતા
– ionisation enthalpy	– આયનીકરણ એન્થાલ્પી	– ozonolysis	– ઓઝોનોલિસિસ
– oxides	– ઓક્સાઈડ સંયોજનો	– pyrolysis	– ઉષ્મીય વિભાજન
– physical properties	– ભૌતિક ગુણધર્મો	– reaction with steam	– પાણીની વરાળ સાથે પ્રક્રિયા
– reactivity towards air	– હવા પ્રત્યે પ્રતિક્રિયાત્મકતા	Alkenes	આલ્કીન સંયોજનો
– reactivity towards dihydrogen	– ડાયહાઈડ્રોજન પ્રત્યે પ્રતિક્રિયાત્મકતા	– addition of dihydrogen	– ડાયહાઈડ્રોજનનું ઉમેરણ
– reactivity towards halogens	– હેલોજન પ્રત્યે પ્રતિક્રિયાત્મકતા	– addition of hydrogen halides	– હાઈડ્રોજન હેલાઈડનું ઉમેરણ
– reactivity towards water	– પાણી પ્રત્યે પ્રતિક્રિયાત્મકતા	– addition of hydrogen	– હાઈડ્રોજન હેલાઈડનું ઉમેરણ,
– reducing nature	– રિડક્શનકર્તા સ્વભાવ	– addition of hydrogen halides, mechanism	ક્રિયાવિધિ
– salts of oxoacids	– ઓક્સો એસિડના ક્ષાર	– addition of sulphuric acid	– સલ્ફ્યુરિક એસિડનું ઉમેરણ
– solution in liquid ammonia	– પ્રવાહી એમોનિયામાં દ્રાવણ	– addition of water	– પાણીનું ઉમેરણ
– uses	– ઉપયોગો	– chemical properties	– રાસાયણિક ગુણધર્મો
Alkaline earth metals	આલ્કલાઈન અર્થ ધાતુઓ	– geometrical isomers	– ભૌમિતિક સમઘટકો
– atomic radii	– પરમાણ્વીય ત્રિજ્યા	– oxidation	– ઓક્સિડેશન
– carbonates	– કાર્બોનેટ સંયોજનો	– physical properties	– ભૌતિક ગુણધર્મો
– chemical properties	– રાસાયણિક ગુણધર્મો	– position isomerism	– સ્થાન સમઘટકતા
– electronic configuration	– ઇલેક્ટ્રોનીય રચના	– preparation	– બનાવટ
– halides	– હેલાઈડ સંયોજનો	– structural isomerism	– બંધારણીય સમઘટકતા
– hydration enthalpies	– જલીયકરણ એન્થાલ્પી	Alkynes	આલ્કાઈન સંયોજનો
– hydroxides	– હાઈડ્રોક્સાઈડ સંયોજનો	– acidic characters	– એસિડિક લક્ષણ
– ionic radii	– આયનીય ત્રિજ્યા	– addition of dihydrogen	– ડાયહાઈડ્રોજનનું ઉમેરણ
– ionisation enthalpies	– આયનીકરણ એન્થાલ્પી	– addition of halogens	– હેલોજનનું ઉમેરણ
– nitrates	– નાઈટ્રેટ સંયોજનો	– addition of hydrogen halides	– હાઈડ્રોજન હેલાઈડનું ઉમેરણ
– oxides	– ઓક્સાઈડ સંયોજનો	– addition of water	– પાણીનું ઉમેરણ
– physical properties	– ભૌતિક ગુણધર્મો	– addition reaction	– યોગશીલ પ્રક્રિયા
– reactivity towards air	– હવા પ્રત્યે પ્રતિક્રિયાત્મકતા	– cyclic polymerisation	– ચક્રિય પોલિમરાઈઝેશન
– reactivity towards halogens	– હેલોજન પ્રત્યે પ્રતિક્રિયાત્મકતા	– linear polymerisation	– રેખીય પોલિમરાઈઝેશન
– reactivity towards water	– પાણી પ્રત્યે પ્રતિક્રિયાત્મકતા	– polymerisation	– પોલિમરાઈઝેશન
– reducing nature	– રિડક્શનકર્તા સ્વભાવ	– preparation	– બનાવટ
– salts of oxoacids	– ઓક્સો એસિડના ક્ષાર	Allotropes of carbon	કાર્બનના અપરરૂપો
– solution in liquid ammonia	– પ્રવાહી એમોનિયામાં દ્રાવણ	Aluminium	એલ્યુમિનિયમ
		Aluminium, uses	એલ્યુમિનિયમ, ઉપયોગો
		Angle of torsion	મરોડકોણ

Anti Markovnikov rule	પ્રતિમાર્કોવનીકોવ નિયમ
Arenes	એરિન સંયોજનો
Arenium ion, formation	એરિનિયમ આયન, બનવું
Arenium ion, stabilisation	એરિનિયમ આયન, સ્થાયીકરણ
Aromatic compounds	એરોમેટિક સંયોજનો
Aromaticity	એરોમેટિકતા
Atmospheric pollution	વાતાવરણીય પ્રદૂષણ
<b>B</b>	
Baking soda	બેકિંગ સોડા
Balancing of redox reaction	રેડોક્ષ પ્રક્રિયાનું સમતોલન
Benzene	બેન્ઝિન
– Friedel-Crafts alkylation	– ફ્રિડલ-ક્રાફ્ટ્સ આલ્કાઇલેશન
– chemical properties	– રાસાયણિક ગુણધર્મો
– combustion	– દહન
– electrophilic substitution	– ઇલેક્ટ્રોન અનુરાગી વિસ્થાપન
– Friedel-Crafts acylation	– ફ્રિડલ-ક્રાફ્ટ્સ એસાઇલેશન
– mechanism of electrophilic substitution	– ઇલેક્ટ્રોનઅનુરાગી વિસ્થાપન પ્રક્રિયાની ક્રિયાવિધિ
– nitration	– નાઇટ્રેશન
– physical properties	– ભૌતિક ગુણધર્મો
– preparation	– બનાવટ
– resonance	– સસ્પંદન
– stability	– સ્થાયીતા
– structure	– બંધારણ
– sulphonation	– સલ્ફોનેશન
Benzenoid aromatic compounds	બેન્ઝેનોઇડ એરોમેટિક સંયોજનો
Benzenoids	બેન્ઝેનોઇડ સંયોજનો
Beryllium	બેરિલિયમ
– anomalous behaviour	– અનિયમિત વર્તણૂક
– diagonal relationship with aluminium	– એલ્યુમિનિયમ સાથે વિકર્ણ સંબંધ
Biochemical oxygen demand (BOD)	જૈવરાસાયણિક ઓક્સિજન જરૂરિયાત (BOD)
Biological importance of calcium	કેલ્શિયમની જૈવિક અગત્ય
Biological importance of magnesium	મેગ્નેશિયમની જૈવિક અગત્ય
Biological importance of potassium	પોટેશિયમની જૈવિક અગત્ય
Biological importance of sodium	સોડિયમની જૈવિક અગત્ય
Bond line structural formula	બંધરેખાવાળા બંધારણીય સૂત્ર
Borax	બોરેક્સ
Borohydrides	બોરોહાઇડ્રાઇડ
Boron, anomalous properties	બોરોન, અનિયમિત ગુણધર્મો
Boron, uses	બોરોન, ઉપયોગો
Branched chain hydrocarbons	શાખિત શૃંખલા હાઇડ્રોકાર્બન

**C**

Calcium	કેલ્શિયમ
– hydroxide	– હાઇડ્રોક્સાઇડ
– oxide	– ઓક્સાઇડ
– sulphate (Plaster of Paris)	– સલ્ફેટ (પ્લાસ્ટર ઓફ પેરિસ)
– sulphate	– સલ્ફેટ
Carbocation	કાર્બોકેટાયન
Carbon	કાર્બન
– allotropes	– અપરરૂપો
– anomalous behaviour	– અનિયમિત વર્તણૂક
– uses	– ઉપયોગો
Carbon monoxide	કાર્બન મોનોક્સાઇડ
Carbon dioxide	કાર્બન ડાયોક્સાઇડ
Carcinogenicity	કેન્સરજન્યતા
Catenation	કેટેનેશન
Caustic soda	કોસ્ટિક સોડા
Cement	સિમેન્ટ
Cement, setting	સિમેન્ટ, જામી જવું
Cement, uses	સિમેન્ટ, ઉપયોગો
Chain isomerism	શૃંખલા સમઘટકતા
Chain isomers, alkanes	શૃંખલા સમઘટકતા, આલ્કેન સંયોજનો
Characteristic features of double bond	દ્વિબંધની લાક્ષણિકતાઓ
Chemical pollutants	રાસાયણિક પ્રદૂષકો
Chromatography	ક્રોમેટોગ્રાફી
Chromatography, adsorption	ક્રોમેટોગ્રાફી, અધિશોષણ
Chromatography, column	ક્રોમેટોગ્રાફી, સ્તંભ
Chromatography, partition	ક્રોમેટોગ્રાફી, વિતરણ
Chromatography, thin layer	ક્રોમેટોગ્રાફી, પાતળું સ્તર
Cis-isomer	સિસ-સમઘટક
Combination reactions	સંયોગીકરણ પ્રક્રિયાઓ
Compressed natural gas (CNG)	સંકોચિત કુદરતી વાયુ (CNG)
Condensed Structural formula	સંઘનિત બંધારણીય સૂત્ર
Conformation	સંરૂપણ
Conformation Eclipsed	ગ્રસ્ત સંરૂપણ
Conformation Staggered	સાંતરિત સંરૂપણ
Conformational isomers	સંરૂપણીય સમઘટકો
Conformations, relative stability	સંરૂપણ, સાપેક્ષ સ્થાયીતા
Crystallisation	સ્ફટિકીકરણ
<b>D</b>	
Deactivating groups	અક્રિયકારક સમૂહો
Decarboxylation	ડિકાર્બોક્સિલેશન
Decomposition reaction	વિઘટન પ્રક્રિયા
Dehalogenation	ડિહેલોજીનેશન
Detection of Carbon	કાર્બનની પરખ
Detection of hydrogen	હાઇડ્રોજનની પરખ
Deuterium	ડ્યુટેરિયમ
Diamond	હીરો

Diborane	ડાયબોરેન
Differential extraction	વિભેદન નિષ્કર્ષણ
Dihedral angle	દ્વિતલકોણ
Dihydrogen	ડાયહાઇડ્રોજન
Dihydrogen, as a fuel	ડાયહાઇડ્રોજન, ઈંધણ તરીકે
Dihydrogen, chemical properties	ડાયહાઇડ્રોજન, રાસાયણિક ગુણધર્મો
Dihydrogen, commercial production	ડાયહાઇડ્રોજન, વ્યાપારિક ઉત્પાદન
Dihydrogen, laboratory preparation	ડાયહાઇડ્રોજન, પ્રયોગશાળામાં બનાવટ
Dihydrogen, physical properties	ડાયહાઇડ્રોજન, ભૌતિક ગુણધર્મો
Dihydrogen, uses	ડાયહાઇડ્રોજન, ઉપયોગો
Directive influence of functional groups	ક્રિયાશીલ સમૂહોની સ્થાનનિર્દેશક અસર
Displacement reaction	વિસ્થાપન પ્રક્રિયા
Disproportionation reaction	વિષમીકરણ પ્રક્રિયા
Distillation under reduced pressure	નીચા દબાણે નિસ્કંદન
Distillation	નિસ્કંદન
Dry ice	સૂકો બરફ
<b>E</b>	
Effects of depletion of the ozone layer	ઑઝોન સ્તરના ક્ષયનની અસરો
Electrochemical series	વિદ્યુતરાસાયણિક શ્રેણી
Electrodes	વિદ્યુતધ્રુવ
Electrode potential	વિદ્યુતધ્રુવ પોટેન્શિયલ
Electrode process	વિદ્યુતધ્રુવ પ્રક્રમ
Electromeric effect	ઇલેક્ટ્રોમેરિક અસર
Electron deficient molecules	ઇલેક્ટ્રોન ઊણપવાળા અણુઓ
Electronic configuration	ઇલેક્ટ્રોનીય રચના
– p-block elements	– p-વિભાગના તત્ત્વો
– s-block elements	– s-વિભાગના તત્ત્વો
Electrophile	ઇલેક્ટ્રોન અનુરાગી પ્રક્રિયક
Electrophilic reaction	ઇલેક્ટ્રોન અનુરાગી પ્રક્રિયા
Electrophilic substitution reaction	ઇલેક્ટ્રોન અનુરાગી વિસ્થાપન પ્રક્રિયા
β-Elimination reaction	β-વિલોપન પ્રક્રિયા
Environment pollution, control	પર્યાવરણીય પ્રદૂષણ, નિયંત્રણ
Environmental pollution	પર્યાવરણીય પ્રદૂષણ
Estimation of halogens, Carius method	હેલોજનનું પરિમાપન, કેરિયસ પદ્ધતિ
Estimation of nitrogen, Duma's method	નાઇટ્રોજનનું પરિમાપન, ડ્યુમાની પદ્ધતિ
Estimation of nitrogen, Kjeldahl's method	નાઇટ્રોજનનું પરિમાપન, જેલ્ડાહલ પદ્ધતિ
Estimation of oxygen	ઑક્સિજનનું પરિમાપન
Estimation of phosphorous	ફોસ્ફરસનું પરિમાપન
Estimation of sulphur	સલ્ફરનું પરિમાપન
Eutrophication	સુપોષણ

**F**

Fractional distillation	વિભાગીય નિસ્કંદન
Fullerenes	ફુલેરિન સંયોજનો
Functional group isomerism	ક્રિયાશીલ સમૂહ સમઘટકતા
Functional groups	ક્રિયાશીલ સમૂહો

**G**

Gaseous air pollutants	વાયુમય હવા પ્રદૂષકો
Global warming	ગ્લોબલ વોર્મિંગ
Graphite	ગ્રેફાઇટ
Green chemistry	હરિયાળુ રસાયણવિજ્ઞાન
Green house effect	ગ્રીનહાઉસ અસર
Group 13 elements, atomic radii	સમૂહ 13ના સભ્યો, પરમાણ્વીય ત્રિજ્યા
– chemical properties	– રાસાયણિક ગુણધર્મો
– electronegativity	– વિદ્યુતઋણતા
– ionisation enthalpy	– આયનીકરણ એન્ટાલ્પી
– oxidation states	– ઓક્સિડેશન અવસ્થા
– physical properties	– ભૌતિક ગુણધર્મો
– reactivity towards acids	– એસિડ પ્રત્યે પ્રતિક્રિયાત્મકતા
– reactivity towards air	– હવા પ્રત્યે પ્રતિક્રિયાત્મકતા
– reactivity towards alkalis	– આલ્કલી પ્રત્યે પ્રતિક્રિયાત્મકતા
– reactivity towards halogens	– હેલોજન પ્રત્યે પ્રતિક્રિયાત્મકતા
– trends in chemical reactivity	– રાસાયણિક પ્રતિક્રિયાત્મકતામાં વલણો
Group 14 elements, chemical properties	સમૂહો 14ના સભ્યો, રાસાયણિક ગુણધર્મો
– covalent radius	– સહસંયોજક ત્રિજ્યા
– electronegativity	– વિદ્યુતઋણતા
– electronic configuration	– ઇલેક્ટ્રોનીય રચના
– ionization enthalpy	– આયનીકરણ એન્ટાલ્પી
– oxidation states	– ઓક્સિડેશન અવસ્થા
– physical properties	– ભૌતિક ગુણધર્મો
– reactivity towards halogens	– હેલોજન પ્રત્યે પ્રતિક્રિયાત્મકતા
– reactivity towards oxygen	– ઓક્સિજન પ્રત્યે પ્રતિક્રિયાત્મકતા
– reactivity towards water	– પાણી પ્રત્યે પ્રતિક્રિયાત્મકતા
– trends in chemical reactivity	– રાસાયણિક પ્રતિક્રિયાત્મકતામાં વલણો

**H**

Heavy hydrogen	ભારે હાઇડ્રોજન
Heterolytic cleavage	વિષમવિભાજન
Homologous series	સમાનધર્મી શ્રેણી
Homolytic cleavage	સમવિભાજન
Hückel rule	હ્યુકેલનો નિયમ
Hydrate formation	જળયુક્ત સંયોજનોનું નિર્માણ
Hydration enthalpy	s-વિભાગના તત્ત્વોની જલીયકરણ એન્ટાલ્પી
– s-block elements	એન્ટાલ્પી
Hydrides	હાઇડ્રાઇડ સંયોજનો
– covalent	– સહસંયોજક
– interstitial	– આંતરાલીય

– ionic	– આયનીય
– electron precise	– ઈલેક્ટ્રોન પરિશુદ્ધ
– electron rich	– ઈલેક્ટ્રોન ધનિક
– metallic	– ધાત્વીય
– molecular	– આણ્વીય
– non-stoichiometric	– બિનતત્ત્વયોગમિતિય
– saline	– ક્ષારીય
Hydrogen economy	હાઈડ્રોજન અર્થવ્યવસ્થા
Hydrogen peroxide	હાઈડ્રોજન પેરોક્સાઈડ
– chemical properties	– રાસાયણિક ગુણધર્મો
– oxidising action in acidic medium	– ઓક્સિડિક માધ્યમમાં ઓક્સિડેશન અસર
– oxidising action in basic medium	– બેઝિક માધ્યમમાં ઓક્સિડેશન અસર
– physical properties	– ભૌતિક ગુણધર્મો
– preparation	– બનાવટ
– reducing action in acidic medium	– ઓક્સિડિક માધ્યમમાં રિડક્શન અસર
– reducing action in basic medium	– બેઝિક માધ્યમમાં રિડક્શન અસર
– storage	– સંગ્રહ
– structure	– બંધારણ
– uses	– ઉપયોગો
Hydrogen storage	હાઈડ્રોજન સંગ્રહ
Hydrogenation	હાઈડ્રોજનેશન
Hydrolysis	જળવિભાજન
Hyperconjugation	અતિસંયુગ્મન

**I**

Ice structure	બરફનું બંધારણ
Inductive effect	પ્રેરક અસર
Industrial waste	ઔદ્યોગિક કચરો
Inert pair effect	નિષ્ક્રિય યુગ્મ અસર
Inner core	અંતર્ભાગ
International standard for drinking water	પીવાના પાણી માટેના આંતરરાષ્ટ્રીય ધોરણો
Ionisation enthalpy, s-block elements	આયનીકરણ એન્થાલ્પી, s-વિભાગના તત્ત્વો
Isomerism	સમઘટકતા
Isotopes	સમસ્થાનિકો

**K**

Kekulé, structure	કેક્યુલે, બંધારણ
Kharash effect	ખરાશ અસર
Kolbe's electrolytic method	કોલ્બેની વિદ્યુતવિભાજન પદ્ધતિ

**L**

Lassaigne's test	લેસાઈન કસોટી
Liquified petroleum gas(LPG)	પ્રવાહીકૃત પેટ્રોલિયમ વાયુ (LPG)
Lithium	લિથિયમ
– anomalous properties	– અનિયમિત ગુણધર્મો

– difference from alkali metals	– આલ્કલી ધાતુઓ સાથે તફાવત
– points of similarities with magnesium	– મેગ્નેશિયમ સાથેની સામ્યતાના મુદ્દાઓ

**M**

Markovnikov rule	માર્કોવનીકોવનો નિયમ
Meta directing groups	મેટા સ્થાનનિર્દેશક સમૂહો
Metal activity series	ધાતુ સક્રિયતા શ્રેણી
Metal carbonyles	ધાતુ કાર્બોનિલ સંયોજનો
Metamerism	મધ્યાવયવતા
Methyl carbocation	મિથાઈલ કાર્બોકેટાયન
Molecular models	આણ્વીય મોડેલ
Monomers	મોનોમર

**N**

Newman projections of ethane	ઈથેનનું ન્યુમેન પ્રક્ષેપણ સૂત્ર
Nomenclature	નામકરણ
– alkanes	– આલ્કેન સંયોજનો
– alkenes	– આલ્કીન સંયોજનો
– arenes	– એરીન સંયોજનો
– IUPAC system of substituted benzene compounds	– વિસ્થાપિત બેન્ઝીન સંયોજનોના નામકરણની IUPAC પદ્ધતિ
Non-benzenoids	નોન-બેન્ઝોઈડ સંયોજનો
Non-benzenoid aromatic compounds	નોન-બેન્ઝોઈડ એરોમેટિક સંયોજનો
Nucleophiles	કેન્દ્રાનુરાગી પ્રક્રિયક
Nucleophilic reaction	કેન્દ્રાનુરાગી પ્રક્રિયા

**O**

Ortho directing groups	ઓર્થો સ્થાનનિર્દેશક સમૂહો
Orthoboric acid	ઓર્થો બોરિક એસિડ
Oxidant	ઓક્સિડેશનકર્તા
Oxidation number	ઓક્સિડેશન આંક
Oxidation state	ઓક્સિડેશન અવસ્થા
Oxidation	ઓક્સિડેશન
Ozone hole	ઓઝોન ગાબડું

**P**

Para directing groups	પેરા સ્થાનનિર્દેશક સમૂહો
Particulate pollutant	રજકણ પ્રદૂષકો
Permanent hardness	કાયમી કઠિનતા
– removal by calagon's method	– કાલગોન પદ્ધતિ દ્વારા દૂર કરવી
– removal by ion exchange method	– આયનવિનિમય પદ્ધતિ દ્વારા દૂર કરવી
– removal by synthetic resins	– સાંશ્લેષિત રેઝીન દ્વારા દૂર કરવી
Peroxide effect	પેરોક્સાઈડ અસર
Photochemical smog	પ્રકાશરાસાયણિક ધૂમ્ર-ધુમ્મસ
Photochemical smog control	પ્રકાશરાસાયણિક ધૂમ્ર-ધુમ્મસનું નિયંત્રણ

Photochemical smog, effects	પ્રકાશરાસાયણિક ધૂમ્ર-ધુમ્મસ, અસરો
Photosynthesis	પ્રકાશસંશ્લેષણ
Plaster of paris	પ્લાસ્ટર ઓફ પેરિસ
Polar reaction	ધ્રુવીય પ્રક્રિયા
Polymerisation	પોલિમરાઇઝેશન
Portland cement	પોર્ટલેન્ડ સિમેન્ટ
Position isomerism	સ્થાન સમઘટકતા
Potassium	પોટેશિયમ
Producer gas	ઉત્પાદક વાયુ
Protium	પ્રોટ્રિયમ

**Q**

Quantitative analysis for carbon	કાર્બનનું જથ્થાત્મક પૃથ્થકરણ
Quantitative analysis for halogens	હેલોજનનું જથ્થાત્મક પૃથ્થકરણ
Quantitative analysis for hydrogen	હાઇડ્રોજનનું જથ્થાત્મક પૃથ્થકરણ
Quantitative analysis for nitrogen	નાઇટ્રોજનનું જથ્થાત્મક પૃથ્થકરણ
Quick lime	કળી ચૂનો

**R**

Redox couple	રેડોક્ષ જોડાણ
Redox reactions	રેડોક્ષ પ્રક્રિયાઓ
Redox reactions, type	રેડોક્ષ પ્રક્રિયાઓ, પ્રકાર
Reducing Agent	રિડક્શનકર્તા પદાર્થ
Reductant	રિડક્શનકર્તા
Reduction	રિડક્શન
Resonance effect	સસ્પંદન અસર
Resonance stabilisation energy	સસ્પંદન સ્થાયીકરણ ઊર્જા
Resonance structure	સસ્પંદન બંધારણ
$R_f$ value	$R_f$ મૂલ્ય
Rotamers	ધૂણી

**S**

Sawhorse projections of ethane	ઇથેનનું સોહોર્સ પ્રક્ષેપણ
Sigma complex	સિગ્મા સંકીર્ણ
Silicates	સિલિકેટ સંયોજનો
Silicic acid	સિલિકેસિક એસિડ
Silicon dioxide	સિલિકોન ડાયોક્સાઇડ
Silicones	સિલિકોન્સ
Slaked lime	ફેડેલો ચૂનો
Smog	ધૂમ્ર-ધુમ્મસ
Sodium carbonate	સોડિયમ કાર્બોનેટ
Sodium carbonate, properties	સોડિયમ કાર્બોનેટ, ગુણધર્મો
Sodium chloride	સોડિયમ ક્લોરાઇડ
Sodium hydrogencarbonate	સોડિયમ હાઇડ્રોજન કાર્બોનેટ

Sodium hydroxide	સોડિયમ હાઇડ્રોક્સાઇડ
Soil pollution	જમીનનું પ્રદૂષણ
Standard electrode potential	પ્રમાણિત વિદ્યુતધ્રુવ પોટેન્શિયલ
Steam distillation	વરાળ નિસ્સંદન
Stereoisomers, alkene	અવકાશીય સમઘટકતા, આલ્કીન સંયોજનો
Stereoisomerisms	અવકાશીય સમઘટકતા
Stock notation	સ્ટોક સંકેત પદ્ધતિ
Straight chain hydrocarbons	સરળ શૃંખલાવાળા હાઇડ્રોકાર્બન સંયોજનો
Stratospheric pollution	સમતાપ આવરણીય પ્રદૂષણ
Structural isomerism	બંધારણીય સમઘટકતા
Structural isomers, alkanes	બંધારણીય સમઘટકો, આલ્કેન સંયોજનો
Structure of double bond	દ્વિબંધનું બંધારણ
Structure of triple bond	ત્રિબંધનું બંધારણ
Sublimation	ઉર્ધ્વપાતન
Syngas	સિનગેસ
Synthesis gas	સાંશ્લેષિત વાયુ

**T**

Temporary hardness	અસ્થાયી કઠિનતા
Test for halogens	હેલોજનની કસોટી
Test for nitrogen	નાઇટ્રોજનની કસોટી
Test for phosphorous	ફોસ્ફરસની કસોટી
Test for sulphur	સલ્ફરની કસોટી
Torsional strain	મરોડી વિકૃતિ
<i>Trans</i> -isomer	ટ્રાન્સ સમઘટક
Tritium	ટ્રિટિયમ
Tropospheric pollution	ક્ષોભ-આવરણીય પ્રદૂષણ

**W**

Washing soda	ધોવાનો સોડા
Water, amphoteric nature	પાણી, ઊભયગુણી સ્વભાવ
Water, chemical properties	પાણી, રાસાયણિક ગુણધર્મો
Water, hard	પાણી, કઠિન
Water, heavy	પાણી, ભારે
Water gas	જળવાયુ
Water pollution	જલપ્રદૂષણ
Water pollution, causes	જલપ્રદૂષણ, કારણો
Water, hydrate formation	પાણી, જળયુક્ત સંયોજનનું નિર્માણ
Water, in hydrolysis reactions	પાણી, જળવિભાજન પ્રક્રિયાઓમાં
Water, physical properties	પાણી, ભૌતિક ગુણધર્મો
Water, Soft	પાણી, નરમ
Water, structure	પાણી, બંધારણ
Water-gas shift reaction	જળવાયુ સ્થાનાંતર પ્રક્રિયા
Wurtz reaction	વૂર્ટ્ઝ પ્રક્રિયા

**Z**

Zeolites	ઝિયોલાઇટ સંયોજનો
----------	------------------