# ভারতের সংবিধান

## প্রস্তাবনা

"আমরা, ভারতের জনগণ, ভারতকে সার্বভৌম, সমাজতান্ত্রিক, ধর্মনিরপেক্ষ, গণতান্ত্রিক, সাধারণতন্ত্ররূপে গড়ে তুলতে এবং তার সকল নাগরিকই যাতে সামাজিক, অর্থনৈতিক ও রাজনৈতিক, ন্যায়বিচার, চিন্তা, মতপ্রকাশ, বিশ্বাস, ধর্ম এবং উপাসনার স্বাধীনতা, সামাজিক প্রতিষ্ঠা অর্জন ও সুযোগের সমতা প্রতিষ্ঠা এবং তাদের সকলের মধ্যে ব্যক্তির মর্যাদা এবং জাতীয় ঐক্য ও সংহতি সুনিশ্চিতকরণের মাধ্যমে তাদের মধ্যে যাতে ভ্রাতৃত্বের ভাব গড়ে ওঠে তার জন্য সত্যনিষ্ঠার সঙ্গে শপথ গ্রহণ করে, আমাদের গণপরিষদে আজ, ১৯৪৯ সালের ২৬ নভেম্বর, এতদ্বারা এই সংবিধান গ্রহণ, বিধিবদ্ধ এবং নিজেদের অর্পন করছি।"

প্রস্তুতকরণ

জাতীয় শিক্ষা গবেষণা ও প্রশিক্ষণ পর্ষদ, নতুন দিল্লি ।

অনুবাদ ও অভিযোজন

রাজ্য শিক্ষা গবেষণা ও প্রশিক্ষণ পর্ষদ, ত্রিপুরা সরকার ।

© এন সি ই আর টি কর্তৃক সর্বস্বত্ব সংরক্ষিত।

এন সি ই আর টি অনুমোদিত
প্রথম বাংলা সংস্করণ-
প্রথম প্রকাশ- মার্চ, ২০২০

দ্বাদশ শ্রেণির পাঠ্যবই
এন সি ই আর টি-র
Chemistry Part-I পাঠ্যপুস্তকের
২০১৭ সালের পুনর্মুদ্রণের অনূদিত সংস্করণ।

প্রচ্ছদ : সুদীপ দাস

অক্ষর বিন্যাস : সুদীপ দাস

মূল্য: 200 টাকা মাত্র

মুদ্রক : সত্যযুগ এমপ্লয়িজ কো-অপারেটিভ ইন্ডাস্ট্রিয়াল সোসাইটি লিমিটেড
১৩ প্রফুল্ল সরকার স্ট্রিট, কলকাতা-৭২।

প্রকাশক
অধিকর্তা
রাজ্য শিক্ষা গবেষণা ও প্রশিক্ষণ পর্ষদ, ত্রিপুরা।

# ভূমিকা

২০০৬ সাল থেকে রাজ্য শিক্ষা গবেষণা ও প্রশিক্ষণ পর্ষদ প্রথম থেকে অষ্টম শ্রেণি পর্যন্ত প্রাথমিক ও উচ্চপ্রাথমিক স্তরের পাঠ্যপুস্তকের মুদ্রণ ও প্রকাশের দায়িত্ব পালন করে আসছে।

রাজ্যের বিদ্যালয়স্তরে উন্নত ও সমৃদ্ধতর পাঠ্যক্রম চালু করার লক্ষ্যে ত্রিপুরা রাজ্য শিক্ষা দপ্তরের প্রচেষ্টায় প্রথম থেকে অষ্টম, নবম ও একাদশ শ্রেণির জন্য ২০১৯ শিক্ষাবর্ষ থেকে জাতীয় শিক্ষা গবেষণা ও প্রশিক্ষণ পর্ষদের (এন সি ই আর টি) পাঠ্যপুস্তকসমূহ গ্রহণ করার সিদ্ধান্ত নেওয়া হয়।

বাংলা বিষয় ছাড়া অন্যান্য বিষয়গুলোর জন্য জাতীয় শিক্ষা গবেষণা ও প্রশিক্ষণ পর্ষদের প্রকাশিত পুস্তকগুলোর অনূদিত ও অভিযোজিত সংস্করণ ২০১৯ সালে প্রথম প্রকাশ করা হয় এবং এ বছর ওইসব পুস্তকগুলোর পুনর্মুদ্রণ করা হল। পাশাপাশি দশম ও দ্বাদশ শ্রেণির বাংলা বিষয় ছাড়া অন্যান্য বিষয়গুলোর জন্য জাতীয় শিক্ষা গবেষণা ও প্রশিক্ষণ পর্ষদের প্রকাশিত পুস্তকগুলোর অনূদিত ও অভিযোজিত সংস্করণ ২০২০ শিক্ষাবর্ষে প্রথম প্রকাশ করা হয়। এখানে উল্লেখ্য যে, বাংলা বিষয়ে পাঠ্যপুস্তক রচনা ও প্রকাশনার দায়িত্বও রাজ্য শিক্ষা গবেষণা ও প্রশিক্ষণ পর্ষদ পালন করে আসছে।

বিশাল এই কর্মকাণ্ডে যেসব শিক্ষক-শিক্ষিকা, অধ্যাপক-অধ্যাপিকা, শিক্ষাবিদ, অনুবাদক, অনুলেখক, মুদ্রণকর্মী ও শিল্পীরা আমাদের সঙ্গে থেকে নিরলসভাবে অক্লান্ত পরিশ্রমে এই উদ্যোগ বাস্তবায়িত করেছেন তাদের সবাইকে সকৃতজ্ঞ ধন্যবাদ জানাচ্ছি।

প্রকাশিত এই পাঠ্যপুস্তকটির উৎকর্ষ ও সৌন্দর্য বৃদ্ধির জন্য শিক্ষানুরাগী ও গুণীজনের মতামত ও পরামর্শ বিবেচিত হবে।

আগরতলা
মার্চ, ২০২০

**উত্তম কুমার চাকমা**
অধিকর্তা
রাজ্য শিক্ষা গবেষণা ও প্রশিক্ষণ পর্ষদ
ত্রিপুরা।

## উপদেষ্টা

১। ড. অর্ণব সেন, সহ অধ্যাপক, এন ই আর আই ই, শিলং, এন সি ই আর টি।

২। ড. অরূপ কুমার সাহা, সহ অধ্যাপক, আর আই ই, ভুবনেশ্বর, এন সি ই আর টি।

## পুস্তকটি যাঁরা অনুবাদ করেছেন

১। শৈবাল রায় (শিক্ষক)
২। সুভাষ চন্দ্র দাস (শিক্ষক)
৩। বিশ্বজিৎ চৌধুরী (শিক্ষক)
৪। গৌতম রায় বর্মন (শিক্ষক)
৫। নন্দদুলাল চৌধুরী (শিক্ষক)
৬। সমর দে (শিক্ষক)

## ভাষা পরিমার্জনায় ঃ

১। এমেলী নাগ (শিক্ষিকা)
২। গৌতম রুদ্র পাল (শিক্ষক)
৩। বিশ্বনাথ রায় (শিক্ষক)

# Foreword

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

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

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

The National Council of Educational Research and Training (NCERT) appreciates the hard work done by the textbook development committee responsible for this book. We wish to thank the Chairperson of the advisory group in science and mathematics, Professor J.V. Narlikar and the Chief Advisor for this book, Professor B. L. Khandelwal for guiding the work of this committee. Several teachers contributed to the development of this textbook; we are grateful to their principals for making this possible. We are indebted to the institutions and organisations which have generously permitted us to draw upon their resources, material and personnel. As an organisation committed to systemic reform and continuous improvement in the quality of its products, NCERT welcomes comments and suggestions which will enable us to undertake further revision and refinement.

*Director*
National Council of Educational
Research and Training

New Delhi
*20 November 2006*

# Preface

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

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

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

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

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

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

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

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

B.L. KHANDELWAL

# TEXTBOOK DEVELOPMENT COMMITTEE

**CHAIRMAN, ADVISORY GROUP FOR TEXTBOOKS IN SCIENCE AND MATHEMATICS**

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

**CHIEF ADVISOR**

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

**MEMBERS**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Editorial Committee**

B.L. Khandelwal
Brahm Parkash
K.N. Upadhayaya
K.K. Arora
R.S. Sindhu
Vijay Sarda

**Member-coordinator**

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

# ACKNOWLEDGEMENTS

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

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

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

# সূচিপত্র


| | | |
|---|---|---|
| **অধ্যায় 1** | **পদার্থের কঠিন অবস্থা** | **1** |
| 1.1 | কঠিন অবস্থার সাধারণ ধর্মাবলী | 2 |
| 1.2 | অনিয়তাকার ও নিয়তাকার কঠিন | 2 |
| 1.3 | কেলাসাকার কঠিন পদার্থের শ্রেণিবিন্যাস | 4 |
| 1.4 | কেলাস জালক এবং একক কোশসমূহ | 7 |
| 1.5 | একক কোশে পরমাণু সংখ্যা | 12 |
| 1.6 | ঘনসন্নিবিষ্ট গঠন | 14 |
| 1.7 | প্যাকিং দক্ষতা | 20 |
| 1.8 | একক কোশের মাত্রা সংক্রান্ত গণনা | 22 |
| 1.9 | কেলাসের ত্রুটি বা অপূর্ণতা | 24 |
| 1.10 | তড়িৎ ধর্ম | 26 |
| 1.11 | চৌম্বক ধর্ম | 29 |
| **অধ্যায় 2** | **দ্রবণ** | **35** |
| 2.1 | দ্রবণের প্রকারভেদ | 35 |
| 2.2 | দ্রবণের গাঢ়ত্ব প্রকাশ | 36 |
| 2.3 | দ্রাব্যতা | 39 |
| 2.4 | তরল দ্রবণের বাষ্পচাপ | 43 |
| 2.5 | আদর্শ এবং অনাদর্শ দ্রবণ | 47 |
| 2.6 | সংখ্যাগত ধর্ম এবং আণব ভর নির্ণয় | 49 |
| 2.7 | অস্বাভাবিক আণব ভর | 57 |
| **অধ্যায় 3** | **তড়িৎরসায়ন** | **65** |
| 3.1 | তড়িৎরাসায়নিক কোশ | 66 |
| 3.2 | গ্যালভানীয় কোশ | 67 |
| 3.3 | নার্নস্টের সমীকরণ | 70 |
| 3.4 | তড়িৎবিশ্লেষ্য দ্রবণের পরিবাহিতা | 75 |
| 3.5 | তড়িৎবিশ্লেষণ কোশ এবং তড়িৎবিশ্লেষণ | 85 |
| 3.6 | ব্যাটারি | 88 |
| 3.7 | জ্বালানি কোশ | 90 |
| 3.8 | অপক্ষয় | 91 |

| | | |
|---|---|---|
| **অধ্যায় 4** | **রাসায়নিক গতিবিদ্যা** | **95** |
| 4.1 | রাসায়নিক বিক্রিয়ার হার | 96 |
| 4.2 | বিক্রিয়ার হার নিয়ন্ত্রণকারী বিষয়সমূহ | 100 |
| 4.3 | সমাকলিত বিক্রিয়া-হারের সমীকরণ | 105 |
| 4.4 | ছদ্ম প্রথম ক্রমের বিক্রিয়া | 112 |
| 4.5 | বিক্রিয়ার হারের উপর উষ্ণতার প্রভাব | 113 |
| 4.6 | রাসায়নিক বিক্রিয়ার সংঘর্ষ তত্ত্ব | 117 |
| **অধ্যায় 5** | **পৃষ্ঠতলীয় রসায়ন** | **123** |
| 5.1 | অধিশোষন | 124 |
| 5.2 | অনুঘটন | 129 |
| 5.3 | কোলয়েড | 136 |
| 5.4 | কোলয়েডের শ্রেণিবিন্যাস | 136 |
| 5.5 | ইমালসন | 145 |
| 5.6 | আমাদের চারপাশের কোলয়েডসমূহ | 145 |
| **অধ্যায় 6** | **মৌলের পৃথকীকরণের সাধারণ নীতি ও পদ্ধতি সমূহ** | **149** |
| 6.1 | ধাতুর প্রাচুর্যতা | 152 |
| 6.2 | আকরিকের গাঢ়ীকরণ | 153 |
| 6.3 | গাঢ়ীকৃত আকরিক থেকে ধাতু নিষ্কাশন | 155 |
| 6.4 | ধাতুবিদ্যার তাপগতীয় নীতি | 156 |
| 6.5 | ধাতুবিদ্যার তড়িৎ রাসায়নিক নীতি সমূহ | 162 |
| 6.6 | জারণ-বিজারণ | 163 |
| 6.7 | বিশুদ্ধিকরণ | 164 |
| 6.8 | অ্যালুমিনিয়াম, কপার, জিঙ্ক এবং আয়রনের ব্যবহার | 166 |
| **অধ্যায় 7** | ***p*-ব্লক মৌলসমূহ** | **170** |
| 7.1 | 15 শ্রেণির মৌলসমূহ | 170 |
| 7.2 | ডাইনাইট্রোজেন | 174 |
| 7.3 | অ্যামোনিয়া | 175 |
| 7.4 | নাইট্রোজেনের অক্সাইডসমূহ | 177 |
| 7.5 | নাইট্রিক অ্যাসিড | 179 |
| 7.6 | ফসফরাস-রূপভেদ | 180 |
| 7.7 | ফসফিন | 181 |
| 7.8 | ফসফরাসের হ্যালাইড | 182 |
| 7.9 | ফসফরাসের অক্সোঅ্যাসিডসমূহ | 184 |
| 7.10 | 16 নং এর শ্রেণির মৌলসমূহ | 185 |

| | | |
|---|---|---|
| 7.11 | ডাইঅক্সিজেন | 189 |
| 7.12 | সাধারণ অক্সাইডসমূহ | 190 |
| 7.13 | ওজোন | 191 |
| 7.14 | সালফারের রূপভেদসমূহ | 192 |
| 7.15 | সালফার ডাইঅক্সাইড | 193 |
| 7.16 | সালফারের অক্সোঅ্যাসিডসমূহ | 194 |
| 7.17 | সালফিউরিক অ্যাসিড উৎপাদন | 195 |
| 7.18 | গ্রুপ 17 এর মৌলসমূহ | 197 |
| 7.19 | ক্লোরিন | 202 |
| 7.20 | হাইড্রোজেন ক্লোরাইড | 204 |
| 7.21 | হ্যালোজেনের অক্সোঅ্যাসিড সমূহ | 205 |
| 7.22 | আন্ত:হ্যালোজেন যৌগসমূহ | 206 |
| 7.23 | গ্রুপ 18 এর মৌলসমূহ | 208 |
| **অধ্যায় 8** | ***d*-এবং *f*-ব্লক মৌল** | **215** |
| 8.1 | পর্যায় সারণিতে অবস্থান | 216 |
| 8.2 | *d*-ব্লক মৌল সমূহের ইলেকট্রন বিন্যাস | 216 |
| 8.3 | সন্ধিগত মৌলসমূহের সাধারণ ধর্মাবলী (*d*-ব্লক) | 218 |
| 8.4 | সন্ধিগত মৌলগুলোর কয়েকটি গুরুত্বপূর্ণ যৌগ | 231 |
| 8.5 | ল্যান্থানয়েড সমূহ | 234 |
| 8.6 | অ্যাক্টিনয়েডসমূহ | 237 |
| 8.7 | *d*-এবং *f*-ব্লক মৌলসমূহের কিছু সংখ্যক প্রয়োগ | 239 |
| **অধ্যায় 9** | **সবর্গীয় যৌগ** | **244** |
| 9.1 | সবর্গীয় যৌগ সংক্রান্ত ভার্ণারের তত্ত্ব | 244 |
| 9.2 | সবর্গীয় যৌগ সংক্রান্ত কয়েকটি গুরুত্বপূর্ণ পদের সংজ্ঞা | 247 |
| 9.3 | সবর্গীয় যৌগের নামকরণ | 248 |
| 9.4 | সবর্গীয় যৌগের সমাবয়বতা | 251 |
| 9.5 | সবর্গীয় যৌগের বন্ধনের প্রকৃতি | 254 |
| 9.6 | ধাতব কার্বনিল যৌগে বন্ধন | 261 |
| 9.7 | সবর্গীয় যৌগের স্থায়িত্ব | 262 |
| 9.8 | সবর্গীয় যৌগের গুরুত্ব এবং প্রয়োগ | 263 |
| **পরিশিষ্ট** | | **268** |
| **অনুশীলনীর কিছু প্রশ্নের উত্তরমালা** | | **281** |
| **Index** | | **285** |

# Constitution of India

**Part IV A (Article 51 A)**

# Fundamental Duties

It shall be the duty of every citizen of India —

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

অধ্যায়

# 1

# পদার্থের কঠিন অবস্থা

## উদ্দেশ্য

এই অধ্যায়টি অধ্যয়নের পর তোমরা সক্ষম হবে

- কঠিন পদার্থের সাধারণ ধর্মাবলী বর্ণনা করতে;
- অনিয়তাকার ও নিয়তাকার কঠিনের মধ্যে পার্থক্য করতে;
- বন্ধন শক্তির প্রকৃতি অনুযায়ী নিয়তাকার কঠিন পদার্থের শ্রেণিবিভাগ করতে;
- কেলাস জালক এবং কোশকে সংজ্ঞায়িত করতে;
- কণার ঘনসন্নিবেশ ব্যাখ্যা করতে;
- বিভিন্ন ধরনের শূন্যস্থান এবং ঘনসন্নিবিষ্ট গঠন বর্ণনা করতে;
- বিভিন্ন প্রকারের ঘনকাকার একক কোশের প্যাকিং দক্ষতা গণনা করতে;
- পদার্থের ঘনত্ব এবং একক কোশের ধর্মাবলির মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করতে;
- কঠিন পদার্থের অপূর্ণতা বা ত্রুটি বর্ণনা করতে এবং কঠিন পদার্থের ধর্মাবলির উপর প্রভাব বর্ণনা করতে;
- কঠিন পদার্থের তড়িৎ এবং চৌম্বক ধর্ম এবং এদের গঠনের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করতে।

*উচ্চ উষ্ণতাবিশিষ্ট অতি পরিবাহী, জৈব সামঞ্জস্যপূর্ণ প্লাস্টিক, সিলিকন চিপস ইত্যাদির মত অধিকাংশ কঠিন পদার্থই বিজ্ঞানের ভবিষ্যত বিকাশের ক্ষেত্রে গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করার জন্য তৈরী করা হয়েছে।*

বিগত দিনের অধ্যয়ন থেকে আমরা জানতে পেরেছি যে তরল ও গ্যাসকে প্রবাহী বলা হয় কারণ তাদের প্রবাহিত হওয়ার সামর্থ্য আছে। উভয় প্রকার অবস্থায় প্রভাবমানতা অণুগুলোর মুক্ত গতিশীলতার জন্য সম্ভব। অপরপক্ষে, কঠিন পদার্থের উপাদান কণাগুলি নির্দিষ্ট অবস্থানে থাকে এবং তারা শুধুমাত্র তাদের গড় অবস্থানের সাপেক্ষে দোলতে পারে। এটি কঠিন পদার্থের কাঠিন্য ব্যাখ্যা করতে পারে। পদার্থের গঠনকারী কণার প্রকৃতি এবং তাদের মধ্যে ক্রিয়াশীল বন্ধন শক্তির উপর পদার্থের ধর্মগুলো নির্ভরশীল। পদার্থের গঠন এবং ধর্মের মধ্যে সম্পর্কগুলোর আকাঙ্খিত ধর্মযুক্ত নতুন কঠিন পদার্থের আবিষ্কারের সাহায্য করেছে। উদাহরণস্বরূপ, কার্বন ন্যানো টিউব হল নতুন পদার্থ যেগুলোর ইস্পাতের চেয়ে কঠিন, অ্যালুমিনিয়ামের চেয়ে হালকা এবং কপারের চেয়ে অধিক পরিবাহিতা ধর্ম বিশিষ্ট পদার্থ প্রদান করার ক্ষমতা আছে। বিজ্ঞান ও সমাজের ভবিষ্যৎ উন্নয়নের জন্য এরূপ পদার্থগুলো ব্যাপক ভূমিকা পালন করতে পারে। অন্যান্য কয়েকটি পদার্থ যারা ভবিষ্যতে গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করতে পারে তারা হল উচ্চ উষ্ণতাবিশিষ্ট অতিপরিবাহী, চৌম্বক পদার্থ, প্যাকিং এর জন্য ব্যবহৃত জৈব বিভাজ্য পলিমার, শল্য চিকিৎসার প্রয়োজনীয় প্রতিস্থাপকে (surgical implants) ব্যবহৃত জৈব নমনীয় কঠিন পদার্থ ইত্যাদি। এইজন্য এই অবস্থারটির অধ্যয়ন বর্তমান পরিস্থিতিতে খুবই গুরুত্বপূর্ণ।

এই অধ্যায়ে আমরা কণার বিভিন্ন ধরনের সম্ভাব্য বিন্যাস যা বিভিন্ন ধরনের গঠন উৎপন্ন করে তা আলোচনা করব এবং কেন গঠনগত এককের বিভিন্ন বিন্যাস কঠিন পদার্থের বিভিন্ন ধর্ম প্রদান করে তা বিশ্লেষণ করব। আমরা আরও শিখব যে, কিভাবে এই ধর্মগুলো গঠনগত অপূর্ণতা অথবা স্বল্প পরিমাণে অশুদ্ধির উপস্থিতির ফলে পরিবর্তিত হয়।

## 1.1 কঠিন অবস্থার সাধারণ ধর্মাবলী

তোমরা একাদশ শ্রেণিতে শিখেছ যে, পদার্থ তিনটি অবস্থায় যথা কঠিন, তরল ও গ্যাসীয় অবস্থায় থাকতে পারে। উষ্ণতা এবং চাপের প্রদত্ত শর্তে, কোনো পদার্থের সবচেয়ে স্থায়ী অবস্থা কোনটি হবে তা দুইটি বিপরীতধর্মী প্রভাবের কার্যকরী ফলাফলের উপর নির্ভর করে। এগুলো হল আন্ত:আণবিক বল যা অণু (বা পরমাণু বা আয়ন) গুলোকে কাছাকাছি রাখতে চায় এবং তাপীয় শক্তি যা তাদের গতি দ্রুততর করে দূরে রাখতে চায়। যথেষ্ট নিম্ন উষ্ণতায় তাপীয় শক্তি কম থাকে এবং আন্ত:আণবিক বল তাদের এত কাছে নিয়ে আসে যে তারা পরস্পরের সঙ্গে লেগে থাকে এবং নির্দিষ্ট অবস্থান লাভ করে। তখনও তারা তাদের গড় অবস্থানের সাপেক্ষে আন্দোলিত হতে পারে এবং পদার্থটি কঠিন অবস্থায় থাকে। কঠিন অবস্থার বৈশিষ্ট্যসূচক ধর্মগুলো নীচে দেওয়া হল–

(i) তাদের নির্দিষ্ট ভর, আয়তন এবং আকৃতি আছে।

(ii) আন্ত:আণবিক দূরত্ব কম।

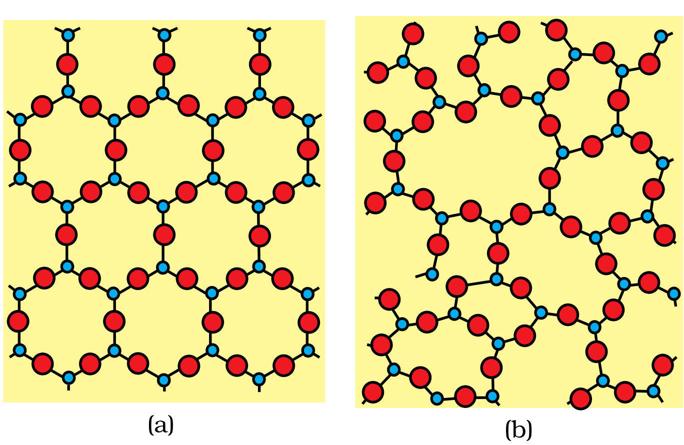
(iii) আন্ত:আণবিক বল শক্তিশালী।

(iv) তাদের গঠনকারী কণাগুলোর (পরমাণু, অণু অথবা আয়ন) নির্দিষ্ট অবস্থান থাকে এবং শুধুমাত্র তাদের গড় অবস্থানের সাপেক্ষে আন্দোলিত হতে পারে।

(v) তারা অসংনম্য এবং দৃঢ়

## 1.2 অনিয়তাকার ও নিয়তাকার কঠিন

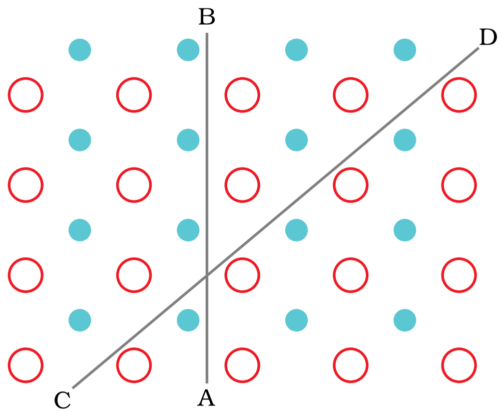
কঠিন পদার্থের গঠনকারী উপাদান কণাগুলোর বিন্যাসের প্রকৃতি অনুযায়ী কঠিন পদার্থকে নিয়তাকার অথবা অনিয়তাকার রূপে শ্রেণিবিভক্ত করা যেতে পারে। একটি নিয়তাকার কঠিন পদার্থ সাধারণত বহুসংখ্যক ছোট ছোট কেলাস দ্বারা গঠিত, যাদের প্রত্যেকটির নির্দিষ্ট বৈশিষ্ট্যযুক্ত জ্যামিতিক আকৃতি বর্তমান। একটি কেলাসের গঠনকারী কণাগুলোর (পরমাণু, অণু বা আয়ন) নিয়মিত সজ্জায় বিন্যস্ত থাকে এবং ত্রিমাত্রিক দিকে পুনরাবৃত্ত হয়। যদি আমরা কেলাসের একটি অঞ্চলের বিন্যাস পর্যবেক্ষণ করি, তবে আমরা কেলাসের অন্য যে কোনো অঞ্চলের কণাগুলির অবস্থান সঠিকভাবে নির্ণয় করতে পারি, সেই কণাগুলো পর্যবেক্ষণ অঞ্চল থাকে, যত দূরেই থাকুক। এভাবে কেলাসের বিন্যাস বহুদূর পর্যন্ত বিস্তৃত থাকে, যার দ্বারা বোঝা যায় যে কণাগুলোর সুষম বিন্যাস রয়েছে যা সমস্ত কেলাসে পর্যায়ক্রমে পুনরাবৃত্ত হয়। সোডিয়াম ক্লোরাইড এবং কোয়ার্জ হল নিয়তাকার কঠিনের বিশেষ উদাহরণ। কাঁচ, রাবার এবং বহুধরনের প্লাস্টিককে, তাদের তরল অবস্থায় ঠাণ্ডা করে কঠিনীভবন করলে কেলাস গঠন করে না। এগুলোকে অনিয়তাকার কঠিন বলে। গ্রীক শব্দ অ্যামোরফস (amorphos) থেকে অ্যামোরফাস (amorphous) শব্দটি এসেছে। যার অর্থ গঠনহীন। এরূপ কঠিনের গঠনকারী কণাগুলোর (পরমাণু, অণু বা আয়ন) সুষম বিন্যাসটি স্বল্প দূর পর্যন্ত বিস্তৃত। এরূপ বিন্যাসে একটি সুষম এবং পর্যায়ক্রমিক পুনরাবৃত্ত সজ্জাক্রম শুধুমাত্র স্বল্প দূরত্ব জুড়ে লক্ষ করা যায়। সুষম বিন্যাসটি বিক্ষিপ্ত অবস্থায় থাকে এবং এর মধ্যবর্তী অঞ্চলে বিন্যাসটি বিশৃঙ্খল প্রকৃতির হয়। কোয়ার্জ (কেলাসাকার) এবং কোয়ার্জ কাঁচ (অনিয়তাকার) এর গঠন যথাক্রমে চিত্র নং 1.1 (a) এবং (b) এ দেখানো হয়েছে। যদিও দু'টি গঠন প্রায় একই, তথাপি অনিয়তাকার কোয়ার্জ কাঁচের সুষম সজ্জাক্রমটি বহুদূর পর্যন্ত বিস্তৃত থাকে না। অনিয়তাকার কঠিনের গঠন তরলের মত। উপাদান কণার সজ্জার বিন্যাসের পার্থক্যের জন্য দুই ধরনের কঠিনের ধর্মের মধ্যে পার্থক্য দেখা যায়।




*চিত্র 1.1: (a) কোয়ার্জ এবং (b) কোয়ার্জ কাঁচ-এর দ্বিমাত্রিক গঠনচিত্র*

নিয়তাকার কঠিন পদার্থের নির্দিষ্ট গলনাঙ্ক বর্তমান। একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় এরা হঠাৎ গলতে শুরু করে এবং তরলে পরিণত হয়। অপরপক্ষে, অনিয়তাকার কঠিনগুলো প্রথমে নরম হয়, তারপর গলে যায় এবং উষ্ণতার একটি সীমার মধ্যে প্রবাহিত হতে শুরু করে এবং তখন তাদের ঢালাইয়ের সাহায্যে বা বিভিন্ন সাঁচে ফেলে ফুলানোর মাধ্যমে বিভিন্ন আকৃতি দেওয়া যায়। অনিতাকার কঠিনগুলোর গঠন তরলের মতো হয় এবং এদের অতি সান্দ্র তরল হিসাবে গণ্য করা যায়। কোনো একটি উষ্ণতায় এরা কেলাসাকার হতে পারে। প্রাচীন সভ্যতার কিছু কাঁচের বস্তুকে স্বল্প কেলাসনের জন্য দুধের মত দেখা যায়। তরলের মত অনিয়তাকার কঠিনগুলো প্রবাহিত হওয়ার প্রবণতা দেখায় যদিও তা খুব ধীর গতিতে হয়। এজন্য কখনো কখনো এদের ছদ্ম কঠিন বা অতি শীতলীকৃত তরল বলা হয়।

অনিয়তাকার কঠিনগুলো সমসারক প্রকৃতির। তাদের যান্ত্রিক শক্তি, প্রতিসারাঙ্ক এবং তড়িৎ পরিবাহিতা ইত্যাদি ধর্মগুলো সব দিকে একই থাকে। কারণ, তাদের কণাগুলোর বিন্যাস বহুদূর পর্যন্ত বিস্তৃত থাকে না এবং তাদের কণার বিন্যাস সব দিকে নির্দিষ্ট থাকে না। তাই সব দিকে সামগ্রিক বিন্যাস একই থাকে। সেজন্য, যে কোনো ভৌত ধর্মের মান যে কোনো দিক থেকেই একই থাকে।




*চিত্র 1.2: বিভিন্ন দিকে কণার পৃথক বিন্যাসের জন্য কেলাসের সমসারক ধর্ম*

কেলাসাকার কঠিনগুলো অসমসারক প্রকৃতির, অর্থাৎ এদের কিছু ভৌত ধর্ম যেমন বৈদুতিক রোধ বা প্রতিসরাঙ্ক একই কেলাসের বিভিন্ন দিকে পরিমাপ করলে বিভিন্ন মান পাওয়া যায়। বিভিন্ন দিকে কণাগুলোর বিন্যাস বিভিন্ন হয় বলেই এরকম হয়। এটি চিত্র 1.2 তে বর্ণনা করা হয়েছে। এই চিত্রটি দুই ধরনের পরমাণুর সরল দ্বিমাত্রিক বিন্যাস প্রদর্শণ করে। যান্ত্রিক ধর্ম যেমন ঘাত সহ্য করার ক্ষমতা/বাধা চিত্রে প্রদর্শিত দুইটি দিকে যথেষ্ট পরিমাণ ভিন্ন হবে। CD নির্দেশিক দিকে বিকৃতি সারিকে সরিয়ে দেয় যাতে দুইটি পৃথক আকৃতির পরমাণু থাকে যদিও AB নির্দেশিত দিকে একই ধরনের পরমাণু দ্বারা গঠিত সারি প্রতিস্থাপিত হয়। নিচের সারণি 1.1 এ নিয়তাকার ও অনিয়তাকার কঠিন পদার্থের পার্থক্য সংক্ষেপে দেওয়া হল।

### সারণি 1.1: নিয়তাকার এবং অনিয়তাকার কঠিন পদার্থের পার্থক্যকরণ

| ধর্ম | নিয়তাকার কঠিন | অনিয়তাকার কঠিন |
|---|---|---|
| আকৃতি | নির্দিষ্ট জ্যামিতিক আকারের হয়ে থাকে। | নির্দিষ্ট জ্যামিতিক আকার নেই। |
| গলনাঙ্ক | এগুলি নির্দিষ্ট এবং বিশেষ উষ্ণতায় গলে। | তাপমাত্রার একটি সীমায় ধীরে ধীরে নরম হয়। |
| ভাঙ্গান ধর্ম | যখন এদেরকে ধারালো প্রান্তযুক্ত যন্ত্র দ্বারা কেটে দু'টুকরো করা হয়, তখন নতুনভাবে উৎপন্ন পৃষ্ঠগুলি সমতলীয় ও মসৃন হয়। | যখন এদেরকে ধারালো প্রান্তযুক্ত যন্ত্র দ্বারা কেটে দু'টুকরো করা হয়, তখন অমসৃন পৃষ্ঠতলের সৃষ্টি হয়। |
| গলনের তাপ | এদের নির্দিষ্ট এবং বিশেষ গলন এনথ্যালপি বর্তমান | এদের নির্দিষ্ট গলন এনথ্যালপি নেই। |

| | | |
|---|---|---|
| অসমসারক প্রকৃতি | অসমসারক প্রকৃতির | সমসারক প্রকৃতির |
| উপাদান কণাগুলোর বিন্যাসের ক্রম | বহুদূর পর্যন্ত বিস্তৃত | স্বল্প দূর পর্যন্ত বিস্তৃত |

নিয়তাকার এবং অনিয়তাকার কঠিন ছাড়াও কিছু কঠিন পদার্থ আছে যাদের আপাতদৃষ্টিতে অনিয়তাকার বলে মনে হয় কিন্তু এদের ক্ষুদ্র কেলাসাকার গঠন বর্তমান। এদের পলিকেলাসাকার/বহু কেলাসাকার কঠিন বলে। ধাতু প্রায়ই বহুকেলাসাকার অবস্থায় অবস্থান করে। একক কেলাসগুলো এলোমেলোভাবে সজ্জিত থাকে যাতে একটি ধাতব নমুনাকে সমসারক বলে মনে হয় যদিও এদের একক কেলাসগুলো অসমসারক হয়।

অনিয়তাকার কঠিনগুলো প্রয়োজনীয় দ্রব্য। আমাদের প্রাত্যহিক জীবনে কাঁচ, রাবার ও প্লাস্টিকের ব্যাপক ব্যবহার আছে। অনিয়তাকার সিলিকন একটি প্রধান সহজলভ্য ফটোভোল্টিক উপাদান যা সূর্যালোককে তড়িৎ শক্তিতে রূপান্তরিত করে।

### বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলি

**1.1** কঠিন পদার্থগুলো দৃঢ় হয় কেন?

**1.2** কঠিন পদার্থগুলোর নির্দিষ্ট আয়তন থাকে কেন?

**1.3** নিচের পদার্থগুলোকে অনিয়তাকার অথবা নিয়তাকাররূপে শ্রেণিভুক্ত করো : পলিইউরেথেন, ন্যাপথালিন, বেঞ্জোয়িক অ্যাসিড, টেফলন, পটাসিয়াম নাইট্রেট, সেলোফেন, পলিভিনাইল ক্লোরাইড, তন্তুময় কাঁচ, কপার।

**1.4** একটি কঠিনের প্রতিসরাঙ্কের মান সকল দিকে একই পাওয়া গেল। কঠিন পদার্থটির প্রকৃতি সম্পর্কে মন্তব্য করো। কঠিনটি কি ভঙ্গুর হবে?

## 1.3 কেলাসাকার কঠিন পদার্থের শ্রেণিবিন্যাস

অনুচ্ছেদ 1.2 থেকে আমরা অনিয়তাকার পদার্থ সম্পর্কে শিখেছি এবং এদের সুষম বিন্যাস স্বল্প দূর পর্যন্ত বিস্তৃত। যদিও বেশীরভাগ কঠিন পদার্থ কেলাসাকার প্রকৃতির। উদাহরণস্বরূপ, আয়রণ, কপার ও সিলভারের মত সমস্ত ধাতব মৌল, সালফার, ফসফরাস ও আয়োডিনের মত সমস্ত অধাতব মৌল এবং সোডিয়াম ক্লোরাইড, জিঙ্ক সালফাইডের মত যৌগ এবং ন্যাপথালিন কেলাসাকার কঠিন গঠন করে।

কেলাসাকার কঠিনগুলোকে বিভিন্ন পদ্ধতিতে শ্রেণিবিন্যাস করা যায়। কি কাজে পার্থক্যকরণের প্রয়োজন, তার উপর পার্থক্যকরণের পদ্ধতি নির্ভরশীল। আন্ত:আণবিক বল বা বন্ধন যা গঠনকারী কণাগুলিকে একত্রিত রাখে, তার প্রকৃতির উপর নির্ভর করে কেলাসাকার কঠিনগুলোকে এখানে আমরা শ্রেণিবিভাগ করবো। এগুলো হল— (i) ভ্যান্ডার ওয়াল বল; (ii) আয়নীয় বন্ধন; (iii) সমযোজী বন্ধন; এবং (iv) ধাতব বন্ধন। এর পরিপ্রেক্ষিতে কেলাসাকার কঠিনগুলোকে চারটি ভাগে শ্রেণিবিভাগ করা হয়েছে। যথা— আণবিক, আয়নীয়, ধাতব এবং সমযোজী কঠিন। চল, আমরা এই শ্রেণিবিভাব সম্পর্কে জেনে নিই।

### 1.3.1 আণবিক কঠিন

আণবিক কঠিনের উপাদান কণাগুলো হল অণু। এগুলোকে আবার নিম্নলিখিতভাবে বিভক্ত করা হয়েছে।

(i) *অধ্রুবীয় আণবিক কঠিন :* এরা হলো পরমাণু যেমন আর্গন এবং হিলিয়াম অথবা অধ্রুবীয়

সমযোজী বন্ধন দ্বারা গঠিত অণু যেমন $H_2$, $Cl_2$ এবং $I_2$ দ্বারা গঠিত হয়। এই ধরনের কঠিনগুলোতে পরমাণু বা অণুগুলো দুর্বল ডিসপারশন বল বা লন্ডন বল দ্বারা যুক্ত, যা তোমরা একাদশ শ্রেণিতে শিখেছো। এই কঠিনগুলো নরম এবং তড়িতের কুপরিবাহী। এদের গলনাঙ্ক কম এবং ঘরের উষ্ণতা ও চাপে তরল ও গ্যাসীয় অবস্থায় থাকে।

(ii) *ধ্রুবীয় আণবিক কঠিন :* HCl, $SO_2$, ইত্যাদি পদার্থের অণুগুলো ধ্রুবীয় সমযোজী বন্ধন দ্বারা গঠিত। এইরূপ কঠিনের অণুগুলো তুলনামূলক শক্তিশালী দ্বিমেরু-দ্বিমেরু বল দ্বারা একত্রে যুক্ত থাকে। এই কঠিনগুলো নমনীয় ও তড়িতের কুপরিবাহী। এদের গলনাঙ্ক অধ্রুবীয় আণবিক কঠিনের চেয়ে বেশি, যদিও এদের বেশীরভাগই ঘরের উষ্ণতা ও চাপে গ্যাস অথবা তরল। কঠিন $SO_2$ এবং কঠিন $NH_3$ হল এরূপ কঠিন পদার্থের কয়েকটি উদাহরণ।

(iii) *হাইড্রোজেন বন্ধনযুক্ত আণবিক কঠিন:* এরূপ কঠিনের অণুগুলোতে H এবং F, O বা N পরমাণুর মধ্যে ধ্রুবীয় সমযোজী বন্ধন দেখা যায়। জল (বরফ)-এর মত এরূপ কঠিনের অণুগুলো শক্তিশালী হাইড্রোজেন বন্ধন দ্বারা যুক্ত থাকে। এরা তড়িতের কুপরিবাহী। ঘরের উষ্ণতা ও চাপে এরা সাধারণত উদ্বায়ী তরল অথবা নরম কঠিন পদার্থ।

### 1.3.2 আয়নীয় কঠিন

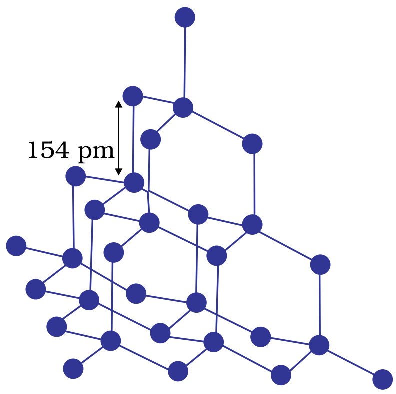
আয়নীয় কঠিনের উপাদান কণাগুলো হল আয়ন। এরূপ কঠিনগুলি শক্তিশালী কুলম্বীয় (স্থির-তাড়িতিক) বলের দ্বারা আবদ্ধ ক্যাটায়ন এবং অ্যানায়নের ত্রিমাত্রিক বিন্যাস দ্বারা গঠিত। এই কঠিনগুলো শক্ত ও ভঙ্গুর প্রকৃতির। এরা উচ্চ গলনাঙ্ক ও স্ফুটনাঙ্ক বিশিষ্ট। আয়নগুলো মুক্তভাবে বিচরণ করতে পারে না বলে এরা কঠিন অবস্থায় তড়িতের অন্তরক। যদিও আয়নগুলো গলিত অবস্থায় বা জলে দ্রবীভূত অবস্থায় মুক্তভাবে চলাচল করতে পারে এবং তখন এরা তড়িৎ পরিবহণ করতে পারে।

### 1.3.3 ধাতব কঠিন

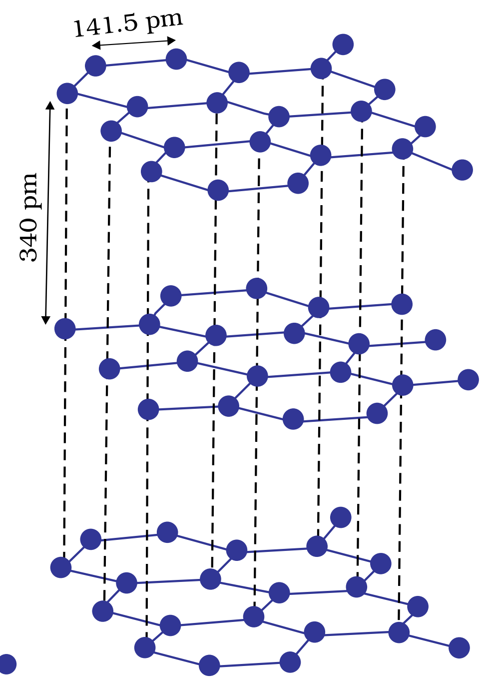
ধাতুগুলো হল ধনাত্মক আয়নের সুশৃঙ্খল সংগ্রহ যেগুলো মুক্ত ইলেকট্রনের সমুদ্র দ্বারা ঘেরা থাকে এবং একত্রিত থাকে। এই ইলেকট্রনগুলো গতিশীল এবং সমগ্র কেলাসে সমানভাবে ছড়িয়ে থাকে। প্রত্যেকটি ধাতব পরমাণু এই গতিশীল ইলেকট্রনের সমুদ্রে এক বা একাধিক ইলেকট্রন দান করে। এই মুক্ত এবং গতিশীল ইলেকট্রনগুলো ধাতুর উচ্চ তড়িৎ পরিবাহীতা এবং তাপ পরিবাহিতার জন্য দায়ী। যখন একটি তড়িৎ ক্ষেত্র প্রয়োগ করা হয় তখন এই ইলেকট্রনগুলো ধনাত্মক আয়নের জালকের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হয়। অনুরূপভাবে, যখন ধাতুর একটি অংশে তাপ সরবরাহ করা হয় তখন তাপশক্তি মুক্ত ইলেকট্রনগুলো দ্বারা সমভাবে সর্বত্র ছড়িয়ে পড়ে। ধাতুর আরেকটি গুরুত্বপূর্ণ বৈশিষ্ট্য হল তাদের ঔজ্জ্বল্য এবং কিছু কিছু ক্ষেত্রে বর্ণ। তাদের মধ্যে মুক্ত ইলেকট্রনের উপস্থিতিই এই ধর্মগুলোর জন্য দায়ী। ধাতুগুলো খুবই নমনীয় এবং প্রসার্য হয়।

### 1.3.4 সমযোজী বা জালকাকার কঠিন

সমগ্র কেলাসের জুড়ে পাশাপাশি অবস্থিত পরমাণুগুলোর মধ্যে সমযোজী বন্ধন গঠনের ফলস্বরূপ প্রচুর বৈচিত্র্যময় অধাতব কেলাসাকার কঠিনের সৃষ্টি হয়। তাদের দৈত্যাকার অণুও বলা হয়। সমযোজী বন্ধনগুলো শক্তিশালী এবং দিকদর্শী প্রকৃতির হওয়ায় পরমাণুগুলো তাদের নিজস্ব অবস্থানে দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ থাকে। এরূপ কঠিনগুলো খুব শক্ত এবং ভঙ্গুর প্রকৃতির হয়। এরা অতি উচ্চ গলনাঙ্ক বিশিষ্ট এবং এমনকি গলনের পূর্বে বিয়োজিত হওয়ার সম্ভাবনা থাকে। এরা অন্তরক এবং তড়িৎ পরিবহণ করে না। হীরক (চিত্র 1.3) এবং সিলিকন কার্বাইড এরূপ কঠিনের আদর্শ উদাহরণ। গ্রাফাইট (চিত্র 1.4) এই ধরনের কেলাসের অন্তর্গত হওয়া সত্ত্বেও এটি নরম এবং তড়িতের পরিবাহী। এর বিশেষ ধরনের গঠনই




*চিত্র 1.3: হীরকের জালকাকার গঠন*




*চিত্র 1.4: গ্রাফাইটের গঠন*

এর ব্যতিক্রমী ধর্মের জন্য দায়ী। কার্বন পরমাণুগুলো বিভিন্ন স্তরে সজ্জিত থাকে এবং প্রত্যেকটি পরমাণু অন্য তিনটি প্রতিবেশী পরমাণুর সঙ্গে সমযোজী বন্ধন দ্বারা একই স্তরে বিন্যস্ত থাকে। প্রত্যেকটি কার্বনের চতুর্থ যোজ্যতা ইলেকট্রনটি দুটি পৃথক স্তরের মাঝামাঝি স্থানে অবস্থান করে এবং এটি মুক্তভাবে বিচরণ করতে পারে। এই মুক্ত ইলেকট্রনগুলো গ্রাফাইটকে তড়িতের সুপরিবাহী করে তোলে। বিভিন্ন স্তরগুলো একটি অপরটির উপর পিছলে যেতে পারে। এর ফলে গ্রাফাইট নরম কঠিন এবং একটি উত্তম পিচ্ছিলকারক পদার্থে পরিণত হয়।

চার ধরনের কঠিনের বিভিন্ন ধর্মগুলো সারণি 1.2 তে লিপিবদ্ধ করা হয়েছে।

**সারণি 1.2: বিভিন্ন প্রকারের কঠিনসমূহ**

| কঠিনের প্রকারভেদ | গঠনের কণাসমূহ | বন্ধন/ আকর্ষন বল | উদাহরণ | ভৌত প্রকৃতি | তড়িৎ পরিবাহিতা | গলনাঙ্ক |
|---|---|---|---|---|---|---|
| (1) আণবিক কঠিন | | | | | | |
| (i) অধ্রুবীয় | অণুসমূহ | ডিসপারসন বা লন্ডন বল | Ar, $CCl_4$, $H_2$, $I_2$, $CO_2$ | নরম | অন্তরক | খুব কম |
| (ii) ধ্রুবীয় | | দ্বিমেরু-দ্বিমেরু মিথস্ক্রিয়া | HCl, $SO_2$ | নরম | অন্তরক | কম |
| (iii) হাইড্রোনে বন্ধন যুক্ত | | হাইড্রোজেন বন্ধন | $H_2O$ (বরফ) | শক্ত | অন্তরক | কম |
| (2) আয়নীয় কঠিন | আয়ন | কুলম্বীয় বা স্থির-তাড়িতিক | NaCl, MgO, ZnS, $CaF_2$ | শক্ত কিন্তু ভঙ্গুর | কঠিন অবস্থায় অন্তরক কিন্তু গলিত অবস্থায় এবং জলীয় দ্রবণে পরিবাহী | বেশি |
| (3) ধাতব কঠিন | সঞ্চারণশীল ইলেকট্রনের সমুদ্রে ধনাত্মক আয়ন | ধাতব বন্ধন | Fe, Cu, Ag, Mg | শক্ত কিন্তু নমনীয় এবং প্রসার্য | কঠিন ও গলিত উভয় অবস্থায় পরিবাহী | যথেষ্ট বেশি |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| (4) সমযোজী অথবা জালকাকার কঠিন | পরমাণু | সমযোজী বন্ধন | $SiO_2$ (কোয়ার্জ), SiC, C (হীরক), AlN, | শক্ত | অন্তরক | খুব বেশি |
| | | | C (গ্রাফাইট) | নরম | পরিবাহী (ব্যতিক্রম) | |

### বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলি

**1.6** নিম্নলিখিত কঠিনগুলোকে তাদের মধ্যে ক্রিয়াশীল আন্তঃআণবিক বলের প্রকৃতি অনুযায়ী শ্রেণিবিভাগ করো : পটাসিয়াম সালফেট, টিন, বেঞ্জিন, ইউরিয়া, অ্যামোনিয়া, জল, জিঙ্ক সালফাইড, গ্রাফাইট, রুবিডিয়াম, আর্গন, সিলিকন কার্বাইড।

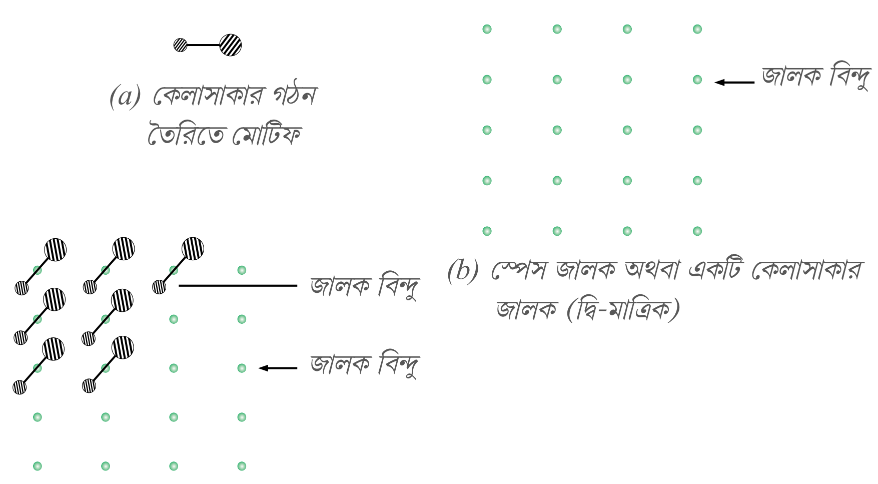
**1.7** কঠিন A, কঠিন অবস্থায় এমনকি গলিত অবস্থায়ও খুব শক্ত, তড়িতের অন্তরক এবং খুব উচ্চ উষ্ণতায় এটি গলে যায়। এটি কি ধরনের কঠিন?

**1.8** আয়নীয় কঠিন গলিত অবস্থায় তড়িৎ পরিবহণ করে কিন্তু কঠিন অবস্থায় করে না— ব্যাখ্যা করো।

**1.9** কি ধরনের কঠিন পদার্থগুলো তড়িতের পরিবাহী, নমনীয় এবং প্রসার্য হয়?

## 1.4 কেলাস জালক এবং একক কোশসমূহ

তোমরা অবশ্যই লক্ষ করেছ যে, মেঝে ঢাকার জন্য যখন টালি বসানো হয় তখন একটি নির্দিষ্ট বিন্যাসের পুনরাবৃত্তি হয়। মেঝেতে টালি বসানোর পর যদি আমরা সবগুলি টালিতে একই স্থানে দাগ দেই (যেমন- টালির কেন্দ্রে) এবং টালিগুলোকে না দেখে শুধুমাত্র দাগগুলোকে দেখি তবে আমরা বিন্দুগুলোর একটি সেট পাই। এই বিন্দুগুলোর সেট মাচান-এর মত থাকে যার উপর টালিগুলো রেখে বিন্যাসটি করা হয়েছে। এই মাচান হল একটি স্পেস জালক যাতে বিন্দুগুলির সেটের উপর (এক্ষেত্রে, টালি) গঠনগত এককগুলিকে স্থাপন করে দ্বিমাত্রিক বিন্যাস করা হয়েছে। এই গঠনগত একককে ভিত্তি /মূল উপাদান বা মোটিফ বলা হয়। যখন মোটিফগুলোকে স্পেস জালকের বিন্দুতে বসানো হয় তখন একটি বিন্যাসের সৃষ্টি হয়। কেলাসাকার গঠনে মোটিফ একটি অণু, পরমাণু বা আয়ন হতে পারে। একটি স্পেস জালক, যাকে কেলাসাকার জালকও বলা হয়, সেটি হল বিন্দুগুলোর বিন্যাস যা এই মোটিফগুলির অবস্থান প্রকাশ করে। অন্য কথায়, স্পেস জালক হল একটি কেলাসাকার গঠনের বিমূর্ত মাচানের মতো। যখন আমরা মোটিফগুলোকে একইভাবে স্পেস জালকের বিন্দুগুলোতে




*(a) কেলাসাকার গঠন তৈরিতে মোটিফ*

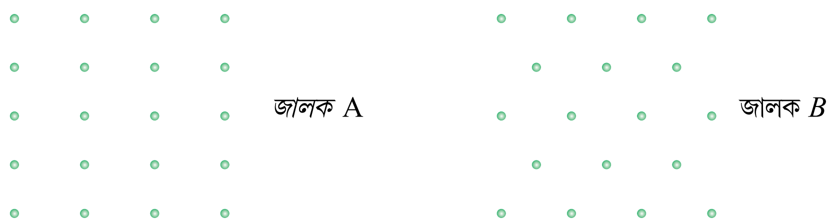
*(b) স্পেস জালক অথবা একটি কেলাসাকার জালক (দ্বি-মাত্রিক)*

*(c) তাত্ত্বিক দ্বি-মাত্রিক কেলাস*

*চিত্র 1.5: (a) মোটিফ (b) স্পেস জালক (দ্বি-মাত্রিক) (c) তাত্ত্বিক দ্বি-মাত্রিক কেলাস গঠন*

স্থাপন করি, তখন আমরা কেলাসাকার গঠন পাই। চিত্র 1.5 একটি মোটিফ, একটি দ্বিমাত্রিক জালককে প্রদর্শণ করে এবং মোটিফগুলিকে দ্বিমাত্রিক জালকে বসিয়ে একটি তাত্ত্বিক দ্বিমাত্রিক কেলাসাকার গঠন পাওয়া যায়।

জালক বিন্দুগুলোর স্থানিক বিন্যাসের জন্য বিভিন্ন ধরনের জালকের উৎপত্তি ঘটে। চিত্র 1.6 দুই ধরনের জালকের মধ্যে বিন্দুগুলোর সজ্জা প্রদর্শণ করে।




*চিত্র 1.6: দুইটি ভিন্ন জালকে বিন্দুগুলোর বিন্যাস*

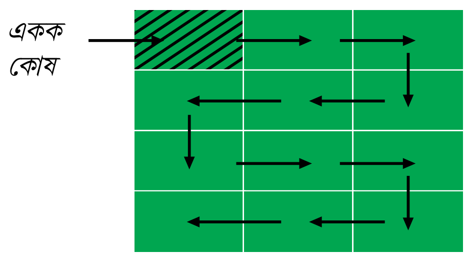
কেলাসাকার কঠিনের ক্ষেত্রে, কেলাস জালক হল বিন্দুগুলোর ত্রি-মাত্রিক বিন্যাস। জালক বিন্দুর সঙ্গে গঠনগত মোটিফগুলোর একত্রীকরণ কেলাসাকার গঠনের উৎপত্তি হয়। একটি কেলাসে প্রতিটি পুনরাবৃত্তি মূল একক অথবা মোটিফের অন্যদের মতো একই গঠন এবং একই স্থানিক বিন্যাস বর্তমান। প্রতিটি মোটিফের পারিপার্শ্বিক অঞ্চলটি কেলাসের উপরিতল ছাড়া সমস্ত কেলাস জুড়ে একই থাকে।

একটি কেলাসাকার জালকের নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্যগুলো বর্তমান :

(a) জালকে অবস্থিত প্রতিটি বিন্দুকে জালক বিন্দু বা ল্যাটিস সাইট বলে।

(b) কেলাস জালকের প্রতিটি বিন্দু একটি গঠনকারী কণাকে প্রকাশ করে যা একটি পরমাণু, একটি অণু (কতকগুলি পরমাণুর সমষ্টি) অথবা একটি আয়ন হতে পারে।

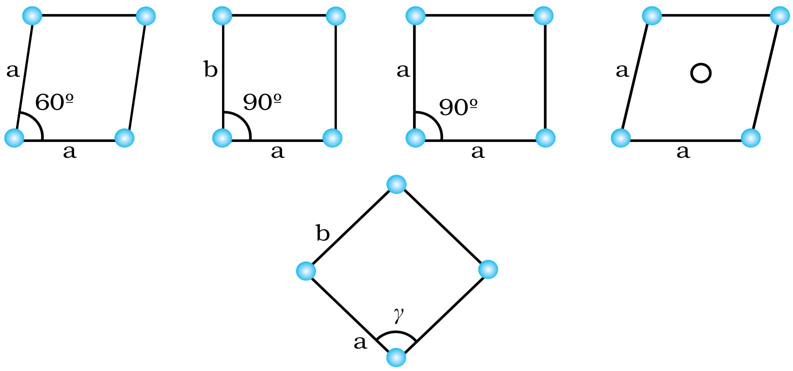
(c) জালকের জ্যামিতিক আকৃতি প্রকাশ করতে জালক বিন্দুগুলোকে সরলরেখা দ্বারা যুক্ত করা হয়।



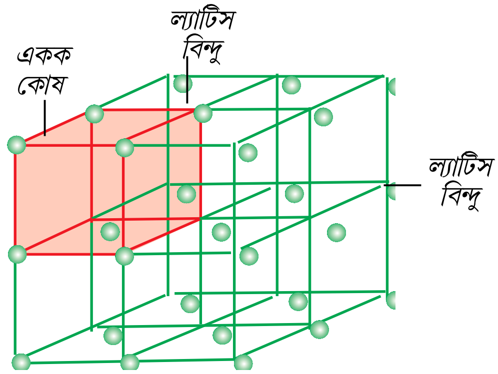

*চিত্র 1.7: তীরচিহ্নের দিকে বর্গাকার ক্ষেত্রের অপসারণের মাধ্যমে তাত্ত্বিক দ্বিমাত্রিক কেলাসের গঠনের উৎপত্তি।*

একটি কেলাস কে সম্পূর্ণরূপে শনাক্ত করতে স্পেস লেটিস এর ক্ষুদ্র অংশ আমাদের প্রয়োজন হয়। এই ক্ষুদ্র অংশকে একক কোশ বলে। বিভিন্নভাবে একক কোশকে বাছাই করা যায়। সাধারণত সবচেয়ে কম দৈর্ঘ্যের লম্ব ধারযুক্ত কোশকে বাছাই করা হয় এবং একক কোশের ত্রিমাত্রিক দিকে সরণের মাধ্যমে সমগ্র কেলাসটি গঠিত হয়। সমগ্র কেলাসটি গঠনের জন্য দ্বিমাত্রিক জালকের একক কোশের চলন, চিত্র 1.7 এ দেখানো হয়েছে। আবার একক কোষের নির্দিষ্ট আকৃতি থাকে যাতে এগুলো সমগ্র কেলাসটিকে এমনভাবে পূর্ণ করে যেন, কোষগুলোর মধ্যে কোনো ফাঁকা স্থান না থাকে।

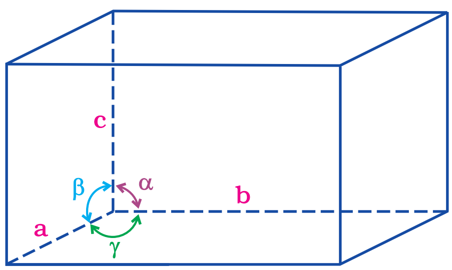
দ্বিমাত্রিক ক্ষেত্রে ‘a’ এবং ‘b’দৈর্ঘ্য বিশিষ্ট বাহু এবং এদের মধ্যবর্তী কোন $r$ বিশিষ্ট একটি সামান্তরিককে একক কোশ হিসাবে বাছাই করা হয়েছে। দ্বিমাত্রিক গঠনে সম্ভাব্য একক কোশগুলোকে চিত্র 1.8 এ দেখানো হয়েছে।




চিত্র 1.8: দ্বিমাত্রিক গঠনে সম্ভাব্য একক কোষ




চিত্র 1.9: একটি কেলাস জালকের ত্রিমাত্রিক ঘনকাকার স্থানের একটি অংশ এবং এর একক কোশ




চিত্র 1.10: একটি একক কোশের স্থিতিমাপ (parameters) -এর বর্ণনা।

ত্রিমাত্রিক কেলাস জালকের একটি অংশ চিত্র 1.9-এ দেখানো হয়েছে।

ত্রিমাত্রিক কেলাসাকার গঠনে একক কোশের চারিত্রিক বৈশিষ্ট্য—

(i) তিনটি ধার বরাবর এদের মাত্রাগুলো হল a, b এবং c, এই ধারগুলো পরস্পরের সঙ্গে লম্বভাবে থাকতে পারে, আবার নাও থাকতে পারে।

(ii) ধারগুলির মধ্যে কোনগুলো α (b এবং c -এর মধ্যে), β (a এবং c-এর মধ্যে) এবং γ (a এবং b-এর মধ্যে)। এভাবে একটি একক কোশকে a, b, c, α, β, γ. এই ছয়টি স্থিতিমাপ দ্বারা বর্ণনা করা যায়। একটি বিশেষ ধরনের একক কোশের ক্ষেত্রে এই স্থিতিমাপ (parameters) গুলোকে চিত্র 1.10 তে দেখানো হয়েছে।

### 1.4.1 আদিম এবং কেন্দ্রিক একক কোশ

একক কোশগুলোকে প্রধ্নত দুই ভাগে ভাগ করা যেতে পারে। আদিম বা মৌলিক (primitive) এবং কেন্দ্রীক (centred) একক কোশ।

*(a) আদিম বা মৌলিক একক কোশ (Primitive Unit Cells)*

যখন গঠনকারী কণাগুলো কোনো একক কোশের কেবলমাত্র কৌণিক অবস্থানে থাকে। তখন তাকে আদিম বা মৌলিক একক কোশ বলে।

*(b) কেন্দ্রিক একক কোশ (Centred Unit Cells)*

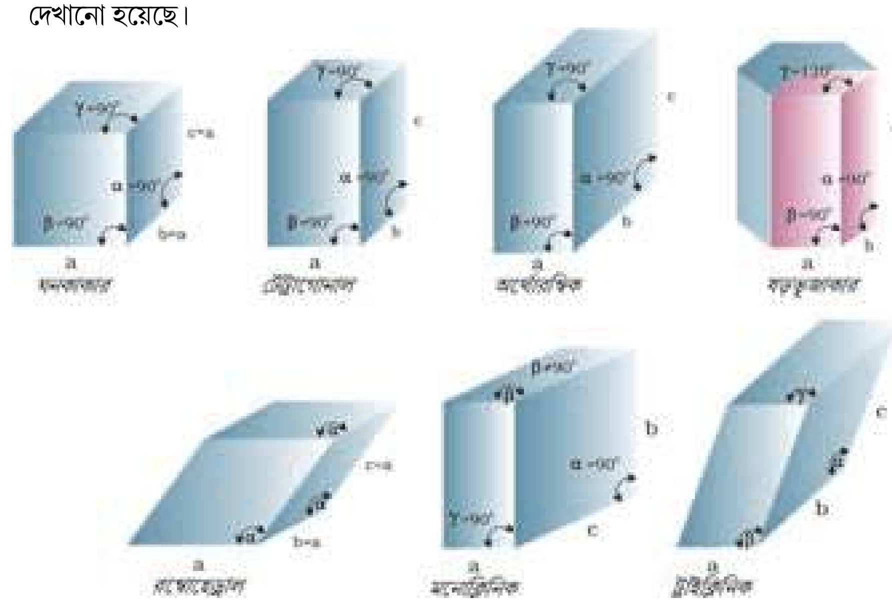
যখন একক কোষের গঠনকারী এক বা একাধিক কণাগুলো প্রতিটি কৌণিক বিন্দু ছাড়াও অন্যস্থানে অবস্থান করতে পারে। তাদের কেন্দ্রিক (Centred) একক কোশ বলে। কেন্দ্রিক একক কোশগুলো তিন প্রকারের—

(i) *দেহ কেন্দ্রিক একক কোশ :* এই প্রকারের একক কোশের কৌণিক বিন্দুতে অবস্থিত কণাগুলো ছাড়াও একটি গঠনকারী কণা (পরমাণু, অণু বা আয়ন) দেহ কেন্দ্রে অবস্থান করে।

(ii) *পৃষ্ঠকেন্দ্রিক একক কোশ :* এই প্রকারের একক কোশের কৌণিক বিন্দুতে অবস্থিত কণাগুলো ছাড়াও প্রত্যেকটি পৃষ্ঠের কেন্দ্রে একটি করে গঠনকারী কণা অবস্থান করে।

(iii) *প্রান্ত কেন্দ্রিক একক কোশ :* এই প্রকারের একক কোশের কৌণিক বিন্দুতে অবস্থিত কণাগুলো ছাড়াও একটি করে গঠনকারী কনা যে কোনো দুটি বিপরীত পৃষ্ঠের কেন্দ্রে অবস্থান করে।

ব্যাপক প্রকারভেদ যুক্ত কেলাসগুলোর পর্যালোচনা করার পর এই সিদ্ধান্তে আসা যায় যে সমস্ত গঠনগুলো সাতটি সুষম চিত্রের যে কোনো একটিকে অনুসরণ করে, এই মৌলিক সুষম চিত্রগুলোকে সাতটি কেলাস তন্ত্র বলে। পৃষ্ঠতলের মধ্যবর্তী কোণের পরিমাপ করে এবং এর আকৃতির মুখ্য বৈশিষ্ট্যগুলো প্রকাশের জন্য যতগুলি অক্ষের প্রয়োজন, তার উপর নির্ভর করে প্রদত্ত কেলাসটি কোন্ তন্ত্রের অন্তর্গত সে বিষয়ে সিদ্ধান্ত নেওয়া যায়। চিত্র 1.11-এ সাত প্রকারের কেলাস তন্ত্র দেখানো হয়েছে।



*চিত্র 1.11: সাত প্রকারের কেলাস তন্ত্র*

একজন ফরাসী গণিতজ্ঞ ব্রোভিস দেখান যে কেবলমাত্র ১৪টি ত্রিমাত্রিক জালক গঠন সম্ভব। এগুলোকে ব্রোভিস ল্যাটিস বলা হয়। নীচের বাক্সে এইসব ল্যাটিসগুলোর একক কোশ দেখানো হয়েছে। তাদের আদিম একক কোশ এবং কেন্দ্রীক একক কোশ (যা এরা গঠন করতে পারে)-এর বৈশিষ্ট্য সারণি 1.3-এ দেখানো হল।

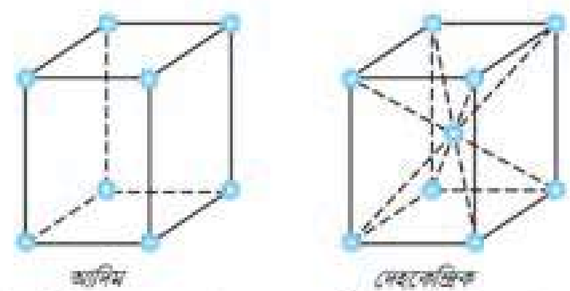
**সারণি 1.3: সাতটি আদিম একক কোশ কেন্দ্রীক একক কোশ হিসাবে তাদের সম্ভাব্য পরিবর্তন**

| কেলাস তন্ত্র | সম্ভাব্য পরিবর্তন | অক্ষীয় দূরত্ব বা প্রান্ত দৈর্ঘ্য | অক্ষীয় কোণ | উদাহরণ |
|---|---|---|---|---|
| ঘনকাকার | আদিম দেহকেন্দ্রিক, পৃষ্ঠকেন্দ্রিক | $a = b = c$ | $\alpha = \beta = \gamma = 90°$ | NaCl, জিঙ্ক ব্লেন্ড, Cu |
| টেট্রাগোনাল | আদিম, দেহকেন্দ্রিক | $a = b \neq c$ | $\alpha = \beta = \gamma = 90°$ | সাদা টিন, $SnO_2$, $TiO_2$, $CaSO_4$ |
| অর্থোরম্বিক | আদিম দেহকেন্দ্রিক, পৃষ্ঠকেন্দ্রিক প্রান্তকেন্দ্রেক | $a \neq b \neq c$ | $\alpha = \beta = \gamma = 90°$ | রম্বিক সালফার $KNO_3$, $BaSO_4$ |
| হেক্সাগোনাল | আদিম | $a = b \neq c$ | $\alpha = \beta = 90°$ $\gamma = 120°$ | গ্রাফাইট, ZnO, CdS, |
| রম্বোহেড্রাল বা ট্রাইগোনাল | আদিম | $a = b = c$ | $\alpha = \beta = \gamma \neq 90°$ | ক্যালসাইট ($CaCO_3$), HgS (সিনাবার) |

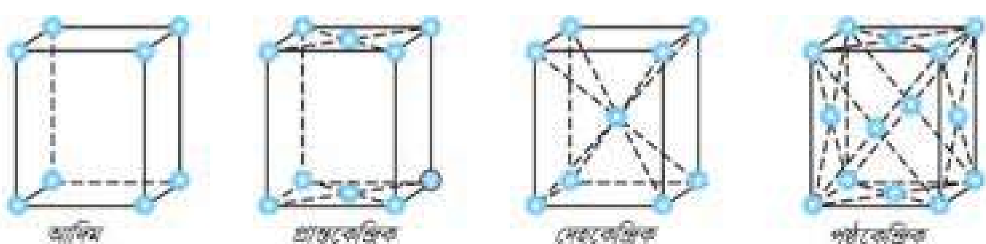
| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| মনোক্লিনিক | আদিম<br>প্রান্তকেন্দ্রিক | $a \neq b \neq c$ | $\alpha = \gamma = 90°$<br>$\beta \neq 90°$ | মনোক্লিনিক সালফার<br>$Na_2SO_4.10H_2O$ |
| ট্রাইক্লিনিক | আদিম | $a \neq b \neq c$ | $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90°$ | $K_2Cr_2O_7$, $CuSO_4$. $5H_2O$,<br>$H_3BO_3$ |

## 14 প্রকারের ব্রেভিস ল্যাটিস এর একক কোশ

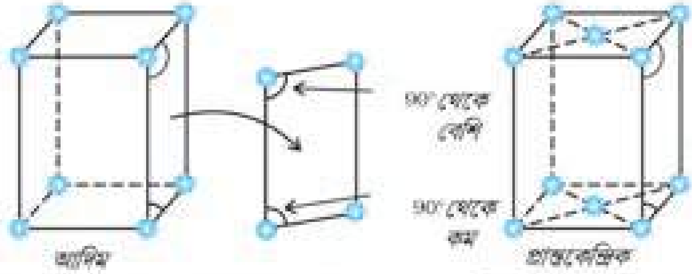
ঘনকাকার ল্যাটিসের একক কোশসমূহ : সমস্ত বাহুর দৈর্ঘ্য সমান এবং পৃষ্ঠগুলোর মধ্যবর্তী সবগুলো কোণের মান 90°



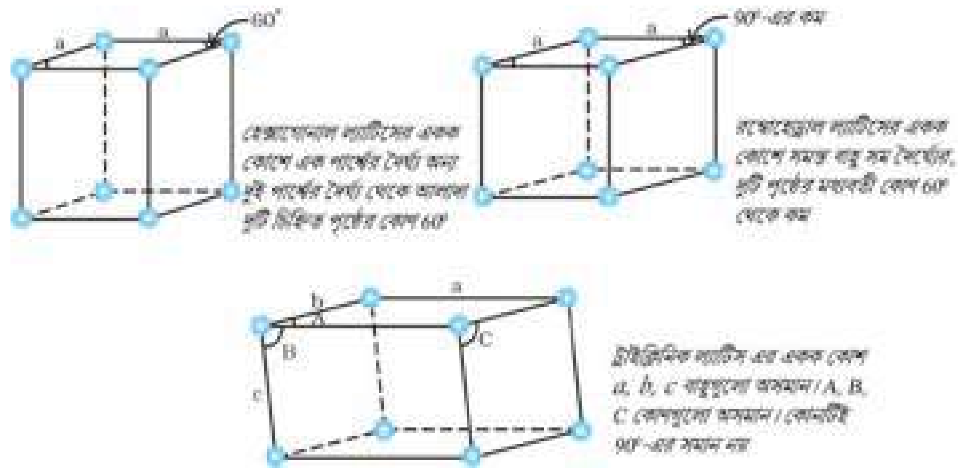

দুটি টেট্রাগোনাল ল্যাটিসের একক কোষ সমূহ : একটি বাহুর দৈর্ঘ্য অন্য বাহুর দৈর্ঘ্য থেকে আলাদা। দুটি পৃষ্ঠের মধ্যবর্তী সমস্ত কোণ 90°




চারটি অর্থোরম্বিক ল্যাটিসের বাহুগুলো সমান হয়। পৃষ্ঠগুলোর মধ্যবর্তী সমস্ত কোন 90°




দুটি মনোক্লিনিক ল্যাটিসের একক কোশ সমূহ: বাহুগুলো অসমান, দুটি পৃষ্ঠের মধ্যবর্তী কোণগুলো 90° হয় না



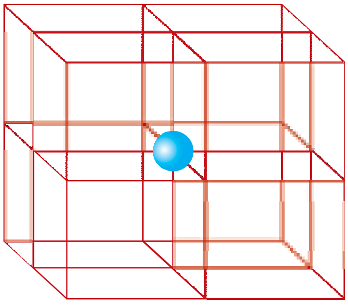

## 1.5 একক কোশে পরমাণু সংখ্যা

আমরা জানি যে, কোনো কেলাস জালক বহুসংখ্যক একক কোশ দ্বারা গঠিত এবং প্রত্যেকটি জালক বিন্দু গঠনকারী কণা (পরমাণু, অণু বা আয়ন) দ্বারা অধিকৃত থাকে। প্রত্যেক কণার কোন অংশটি নির্দিষ্ট একক কোশের অন্তর্গত তা নিয়ে এখন আমরা কাজ করবো।

আমরা তিন প্রকারের ঘনকাকার একক কোশ নিয়ে আলোচনা করবো এবং সরলীকরণের জন্য গঠনকারী কণাগুলোকে পরমাণু হিসাবে কল্পনা করবো।

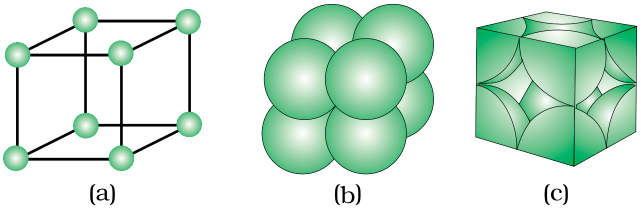
### 1.5.1 আদিম ঘনকাকার একক কোশ

আদিম ঘনকাকার একক কোশে পরমাণুগুলো কেবলমাত্র এর কৌণিক বিন্দুতে অবস্থান করে। একটি কৌণিক বিন্দুতে অবস্থিত প্রত্যেকটি পরমাণু (1.12 চিত্রে প্রদর্শিত) আটটি সন্নিহিত একক কোশের মধ্যে বণ্টিত হয়। একই স্তরে চারটি একক কোশ এবং উপর (বা নীচের) স্তরে চারটি একক কোশ অবস্থান করে। সুতরাং প্রকৃতপক্ষে একটি পরমাণুর (বা অণু বা আয়ন) কেবলমাত্র $\frac{1}{8}$ অংশ একটি নির্দিষ্ট একক কোশের অন্তর্ভুক্ত থাকে। 1.13 চিত্রে একটি আদিম একক কোশকে তিনটি পৃথক পদ্ধতিতে বর্ণনা করা হয়েছে। 1.13(a) নং চিত্রে প্রত্যেকটি ক্ষুদ্র গোলক কেবলমাত্র ঐ অবস্থানে অধিকৃত কণার কেন্দ্রকে প্রদর্শণ করে এবং এর প্রকৃত আকারকে নয়। এরূপ গঠনগুলোকে মুক্ত গঠন বলে। মুক্ত গঠনে কণাগুলোর বিন্যাস সহজে অনুসরণ করা যায়। কণার প্রকৃত আকার যুক্ত একক কোশের দ্বারা শূণ্যস্থান পূর্তিতে অংশ গ্রহণ চিত্র 1.13 (b)-এ বর্ণনা করা হয়েছে এবং চিত্র 1.13 (c) তে ঘনকাকার একক কোশে উপস্থিত বিভিন্ন পরমাণুর প্রকৃত অংশ দেখানো হয়েছে।



*চিত্র 1.12: একটি সরল ঘনকাকার একক কোশে প্রত্যেকটি কৌণিক পরমাণু 8 একক কোশের মধ্যে বন্টিত হয়।*

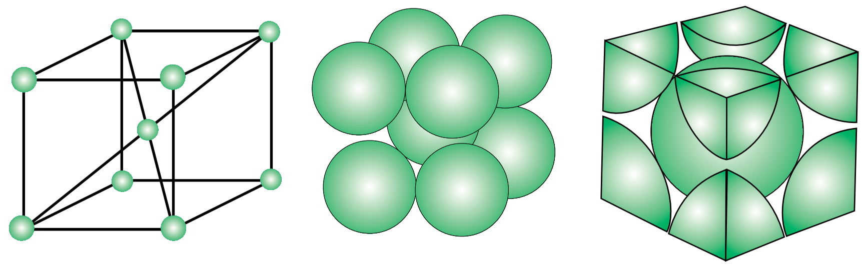
সকল ক্ষেত্রে, যেহেতু প্রত্যেকটি ঘনকাকার একক কোশের কৌণিক বিন্দুতে 8টি পরমাণু বর্তমান। একটি একক কোশে মোট পরমাণু সংখ্যা $8 \times \frac{1}{8} = 1$ টি পরমাণু।




*চিত্র 1.13: একটি আদিম ঘনকাকার একক কোশ। (a) মুক্ত গঠন, (b) শূণ্য (ফাঁকা স্থান) পূর্তি ঘঠন, (c) একটি একক কোশের অন্তর্গত পরমাণুর প্রকৃত অংশ*

**1.5.2 দেহকেন্দ্রিক ঘনকাকার একক কোশ**

একটি দেহকেন্দ্রিক ঘনকাকার ($bcc$) একক কোশের প্রত্যেকটি কৌণক বিন্দুতে একটি করে পরমাণু বর্তমান এবং একটি পরমাণু এর দেহকেন্দ্রে অবস্থিত। চিত্র 1.14-এ (a) মুক্ত গঠন (b) শূণ্যস্থান পূর্তি মডেল এবং (c) একক কোশের অন্তর্ভূক্ত পরমাণুর প্রকৃত অংশ। এটা দেখা যায় যে, দেহকেন্দ্রে অবস্থিত



(a) (b) (c)

*চিত্র 1.14: একটি দেহকেন্দ্রিক একক কোশ (a) মুক্ত গঠন, (b) ফাঁকাস্থান পূর্তি গঠন, (c) একটি একক কোশের অন্তর্ভূক্ত পরমাণুর প্রকৃত অংশ*

পরমাণুটির সম্পূর্ণ অংশ ঐ একক কোশের অন্তর্গত। এই ভাবে একটি দেহকেন্দ্রিক ঘনকাকার ($bcc$) একক কোশে :

(i) 8 টি কৌণিক বিন্দু × প্রতি কৌণিক পরমাণুর অবদান $\frac{1}{8} = 8\times\frac{1}{8} = 1$টি পরমাণু

(ii) 1টি দেহকেন্দ্রিক পরমাণু = 1 × 1 = 1 টি পরমাণু

∴ প্রতি একক কোশে মোট পরমাণু সংখ্যা = 2 টি পরমাণু

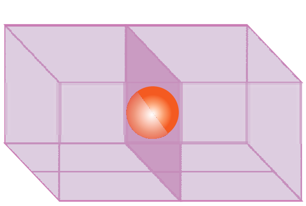
**1.5.3 পৃষ্ঠকেন্দ্রিক ঘনকাকার একক কোশ**

একটি পৃষ্ঠকেন্দ্রিক ঘনকাকার ($fcc$) একক কোশের প্রতিটি কৌণিক বিন্দুতে এবং ঘনকের সকল পৃষ্ঠের মধ্যবিন্দুতে একটি করে পরমাণু বর্তমান। চিত্র 1.15-এ দেখা যাচ্ছে যে, পৃষ্ঠকেন্দ্রে অবস্থিত প্রত্যেকটি পরমাণু দুটি পাশাপাশি একাক কোশে বণ্ঠিত হয় এবং প্রতিটি পরমাণুর অর্ধেক পরিমাণ একটি একক কোশের অন্তর্ভূক্ত থাকে। চিত্র 1.16 (a) মুক্ত গঠন (b) শূন্যস্থান পূর্তি মডেল (c) একটি একক কোশের অন্তর্গত পরমাণুগুলোর প্রকৃত অংশ বর্ণনা করে। এইভাবে একটি পৃষ্ঠকেন্দ্রিক ঘনকাকার ($fcc$) একক কোশে

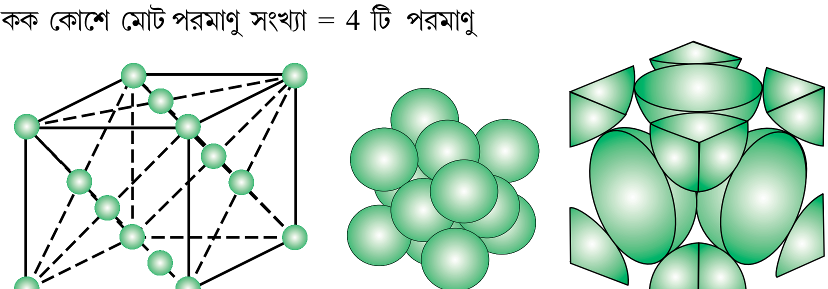
(i) 8টি কৌণিক বিন্দুতে অবস্থিত পরমাণু × প্রতি কৌণিক পরমাণুর অবদান $\frac{1}{8} = 8\times\frac{1}{8} = 1$টি পরমাণু

(ii) 6 টি পৃষ্ঠকেন্দ্রিক পরমাণু × প্রতি একক কোশের অবদান $\frac{1}{2}$ পরমাণু= $6\times\frac{1}{2} = 3$ টি পরমাণু

∴ প্রতি একক কোশে মোট পরমাণু সংখ্যা = 4 টি পরমাণু



*চিত্র 1.15: একক কোশের পৃষ্ঠকেন্দ্রে অবস্থিত একটি পরমাণু দুটি একক কোশের মধ্যে বণ্টিত হয়।*



(a) (b) (b)

*চিত্র 1.16: একটি পৃষ্ঠকেন্দ্রিক ঘনকাকার একক কোশ। (a) মুক্ত গঠন (b) শূণ্য স্থান পূরণকারী গঠন (c) একটি একক কোশের অন্তর্ভুক্ত পরমাণুগুলোর প্রকৃত অংশ।*

### বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলি

1.10 একটি ‘জালক বিন্দুর’ তাৎপর্য লিখ।

1.11 একটি একক কোশের বৈশিষ্ট প্রকাশক স্থিতিমাপগুলোর নাম করো।

1.12 পার্থক্য করো—

(i) ষড়ভুজাকার ও মনোক্লিনিক একক কোশ।

(ii) পৃষ্ঠকেন্দ্রিক এবং প্রান্তকেন্দ্রিক একক কোশ।

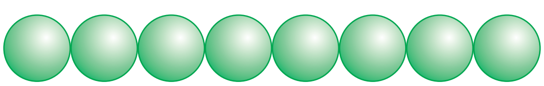
1.13 একটি পরমাণুর কতটুকু অংশ – (i) কৌণিক বিন্দুতে (ii) একটি দেহকেন্দ্রিক ঘনকাকার একক কোশের দেহকেন্দ্রের কণাটি কতটুকু অংশ প্রতিবেশী একক কোশের মধ্যে অন্তর্ভুক্ত থাকে– তা ব্যাখ্যা করো।

## 1.6 ঘনসন্নিবিষ্ট গঠন

খুব কম পরিমাণ খালি জায়গা রেখে কঠিন এর মধ্যে গঠনকারী কণাগুলো ঘন সন্নিবিষ্ট থাকে, গঠনকারী কণাগুলোকে সদৃশ শক্ত গোলক হিসাবে ধরে নাও এবং তিনটি ধাপে ত্রিমাত্রিক গঠন তৈরী করো।

*(a) একমাত্রিক ঘনসন্নিবেশ* ***(Close Packing in One Dimension)***

একমাত্রিক ঘনসন্নিবেশ গঠনে গোলকগুলোকে একটি মাত্র পদ্ধতিতেই সাজানো সম্ভব। অর্থাৎ তাদেরকে একটি সারিতে এবং পরস্পর পরস্পরের সংস্পর্শে সজ্জিত করতে হবে, চিত্র : 1.17.



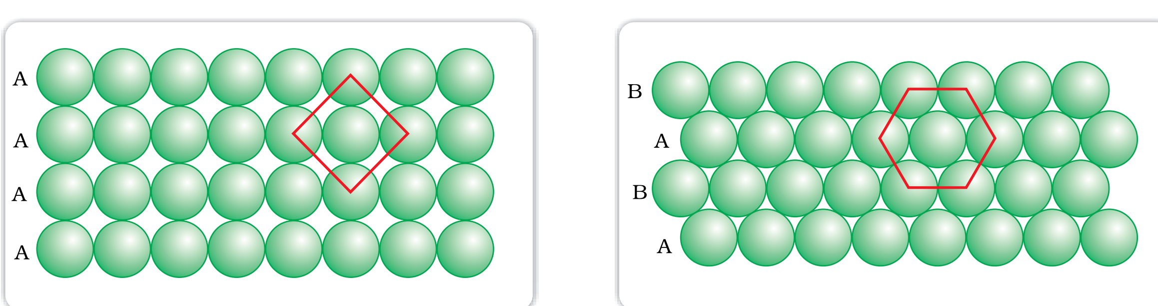
*চিত্র 1.17: ঘনসন্নিবিষ্ট গোলকগুলির একমাত্রিক বিন্যাস*

এই বিন্যাসে প্রত্যেকটি গোলক আরও দুটি প্রতিবেশী গোলকের সংস্পর্শে থাকে। কোনো কণার সবচেয়ে নিকটবর্তী কণাগুলোর সংখ্যাকে বলে সর্বগাঙ্ক সংখ্যা (**coordination number**) বলে। তাই একমাত্রিক ঘনসন্নিবিষ্ট বিন্যাসে কণার সর্বগাঙ্ক সংখ্যা হল 2.

*(b) দ্বিমাত্রিক ঘনবন্নিবেশ* ***(Close Packing in Two Dimensions)***

ঘনসন্নিবিষ্ট গোলকগুলোর সারিগুলোকে একত্রিত করে দ্বিমাত্রিক ঘন সন্নিবিষ্টি গঠন সৃষ্টি করা যায়। দুইটি পৃথক পদ্ধতিতে এটি করা যায়।

(i) দ্বিতীয় সারিটিকে প্রথম সারির সংস্পর্শে এমন ভাবে রাখা যায় যাতে দ্বিতীয় সারির গোলকগুলো প্রথম সারির উপর যথাযথ ভাবে (exactly) অবস্থান করে। দুইটি সারির গোলকগুলোর অনুভূমিক এবং উল্লম্ব উভয় ভাবেই সারিবদ্ধ হয়েছে। যদি আমরা প্রথম সারিটিকে ‘A’ প্রকারের ধরি। তবে দ্বিতীয় সারিটি প্রথম শ্রেণির অনুরূপ হয়, যা ‘A’ প্রকারেরই হয়। অনুরূপ ভাবে, চিত্র 1.18 (a) তে প্রদর্শিত AAA প্রকারের বিন্যাস পাওয়ার জন্য আমরা আরও অনেক সারিকে সাজাতে পারি।




(a) (b)

*চিত্র 1.18: দ্বিমাত্রিক গঠনে গোলকগুলির (a) বর্গাকার ঘন সন্নিবেশ (b) ষড়ভুজাকার ঘন সন্নিবেশ*

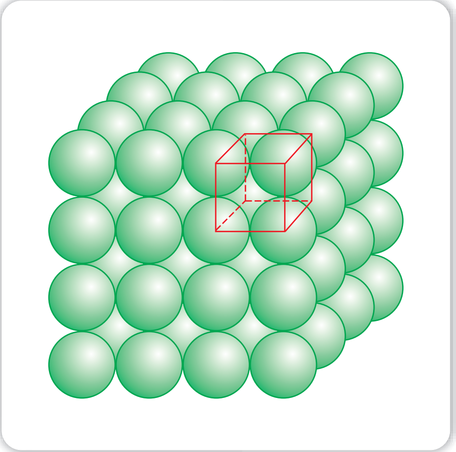
এই প্রকার বিন্যাসে, প্রত্যেকটি গোলক, অন্য চারটি প্রতিবেশী গোলকের সংস্পর্শে থাকে। তাই দ্বিমাত্রিক বিন্যাসের সর্বগঙ্ক সংখ্যা হল 4। আরও বলা যায় যে, চারটি নিকটতম প্রতিবেশী গোলকের কেন্দ্র বিন্দুগুলোকে যোগ করলে একটি বর্গক্ষেত্র তৈরী হয়। সুতরাং এই প্রকার ঘনসন্নিবেশকে দ্বিমাত্রিক বর্গাকার ঘনসন্নিবেশ বলে।

(ii) দ্বিতীয় সারিটি প্রথমটির উপর স্ট্যাগার্ড সজ্জায় (staggered manner) এমন ভাবে সাজানো হয় যাতে এর গোলকগুলো প্রথম সারির ফাঁকাস্থানে সজ্জিত থাকে। যদি প্রথম সারিতে গোলকগুলোর সজ্জাকে 'A' প্রকারের বলা হয়, যা দ্বিতীয় সারির থেকে ভিন্ন এবং একে 'B' প্রকারের বলা যায়। যখন তৃতীয় সারিটিকে দ্বিতীয় সারির সংলগ্নে স্ট্যাগার্ড বিন্যাসে রাখা হয়, এর গোলকগুলো প্রথম স্তরের সঙ্গে সারিবদ্ধভাবে (aligned) বিন্যস্ত থাকে। সেজন্য এই স্তরটিকেও 'A' প্রকারের বলা হয়। চতুর্থ সারিতে একইভাবে সজ্জিত গোলকগুলো দ্বিতীয় সারির সঙ্গে সারিবদ্ধভাবে অবস্থান করে (B প্রকারের)। সুতরাং এই প্রকারের সজ্জাকে ABAB প্রকারের বলা হয়। এই প্রকারের সজ্জায় বা বিন্যাসে কম পরিমাণ মুক্ত বা ফাঁকা স্থান থাকে এবং এই প্রকারের ঘন সন্নিবেশ বর্গাকার ঘন সন্নিবেশ থেকে অধিক কার্যকরী। প্রত্যেকটি গোলক ছয়টি প্রতিবেশী গোলকের সংস্পর্শে থাকে এবং এই ক্ষেত্রে দ্বিমাত্রিক সর্বগাঙ্ক সংখ্যা হল 6, এই ছয়টি গোলকের কেন্দ্রগুলো একটি সুষম ষড়ভুজের কৌণিক বিন্দুগুলোতে অবস্থান করে। সুতরাং এই ধরনের ঘনসন্নিবেশকে দ্বিমাত্রিক ষড়ভুজাকার ঘন সন্নিবেশ বলে। চিত্র 1.18 (b)-এ দেখা যায় যে, এই স্তরে কিছু ফাঁকা স্থান (শূণ্যস্থান) রয়েছে। এগুলি ত্রিকোনীয় আকৃতির। এই ত্রিকোনীয় শূণ্যস্থানগুলো দুইটি ভিন্ন প্রকারের হয়। একটি সারিতে ত্রিকোণগুলোর চূড়া বা শীর্ষগুলো (apex) উপরের দিকে থাকে এবং পরবর্তী স্তরে নিচের দিকে থাকে।

### *(c) ত্রিমাত্রিক ঘনবন্নিবেশ (Close Packing in Three Dimensions)*

সমস্ত বাস্তব গঠনগুলো ত্রিমাত্রিক গঠন হয়। দ্বিমাত্রিক স্তরগুলোর একটির উপর অন্যটিকে সজ্জিত (Stacking) করে এদের পাওয়া যায়। পূর্ববর্তী অনুচ্ছেদে আমরা দ্বিমাত্রিক বিন্যাসে ঘনসন্নিবেশ আলোচনা করেছি যা দুই প্রকারের বর্গাকার ঘনসন্নিবেশ এবং ষড়ভুজাকার ঘনসন্নিবেশ। চল আমরা দেখি এগুলো থেকে কি প্রকারের ত্রিমাত্রিক ঘনসন্নিবেশ (Close-packed) পাওয়া যাবে।

**(i)** ***ত্রিমাত্রিক ঘনসন্নিবেশ, দ্বিমাত্রিক বর্গাকার ঘনসন্নিবেশ যুক্ত স্তর গঠন করে ঃ***— দ্বিতীয় বর্গাকার ঘনসন্নিবেশ যুক্ত স্তরটিকে প্রথমটির উপর সাজানোর সময় আমরা একই নিয়ম অনুসরণ করবো যা একটি সারিকে অন্যটির পাশাপাশি রাখার সময় অনুসরণ করা হয়েছিল। দ্বিতীয় স্তরটিকে প্রথম স্তরের উপর এমনভাবে স্থাপন করা হলো যাতে উপরের স্তরের গোলকগুলি প্রথম স্তরের গোলকগুলোর উপর যথার্থভাবে থাকে এই প্রকার সজ্জায় উভয় স্তরের গোলকগুলো অনুভূতিক ভাবে এমনকি উল্লম্ব ভাবেও পুরোপুরি সারিবদ্ধ (Aligned) থাকে যা চিত্র 1.19-এ প্রদর্শিত হয়েছে। অনুরূপভাবে, আমরা একটির উপর আরেকটি রেখে আরও স্তর স্থাপন করতে পারি। যদি প্রথম স্তরে গোলকগুলোর সজ্জাকে 'A' প্রকারের বলা হয়। তাহলে সমস্ত স্তরের একই সজ্জা হবে। তাই এই ধরনের জালক AAA....প্রকারের হয়। এভাবে উৎপন্ন জালক সরল ঘনকাকার জালক হয় এবং এর একক কোশ সরল (আদিম) ঘনকাকার একক কোশ হয়। (চিত্র 1.19 এ দেখে)।

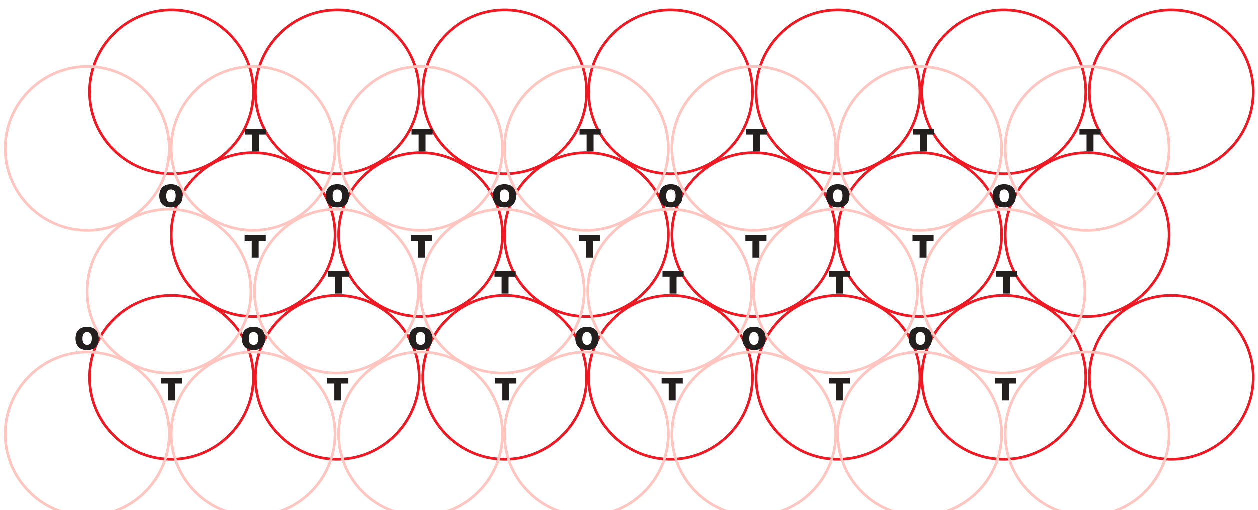


*চিত্র 1.19: A A A .... সজ্জা দ্বারা সরল ঘনকাকার জালক গঠিত হয়*

**(ii) দ্বিমাত্রিক ষড়ভুজাকার ঘন সন্নিবেশ যুক্ত স্তর থেকে ত্রিমাত্রিক ঘনসন্নিবেশ সৃষ্টি ঃ** স্তরগুলোকে একটির উপর অন্যটিকে সাজিয়ে ত্রিমাত্রিক ঘনসন্নিবেশ যুক্ত গঠন তৈরি করা যায়।

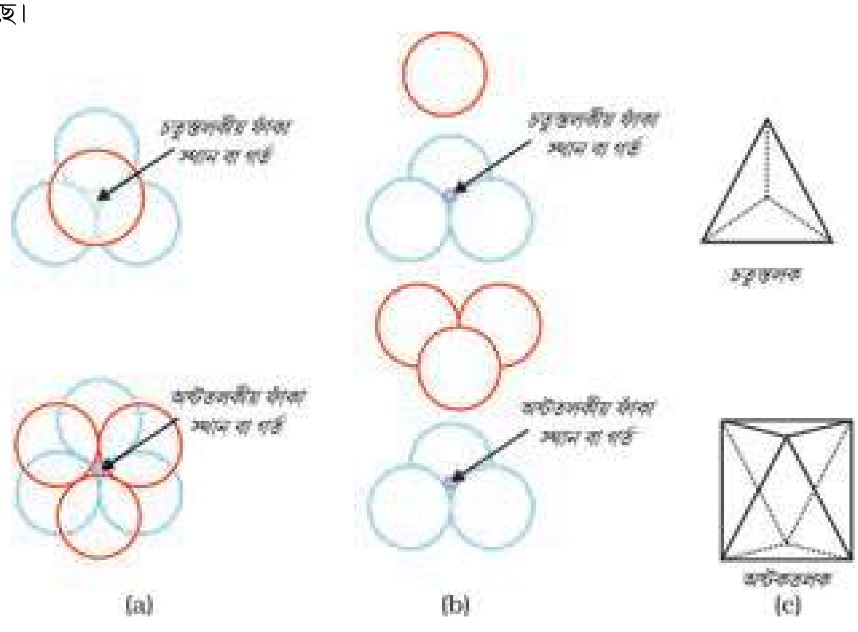
*(a) দ্বিতীয় স্তরকে প্রথম স্তরের উপর স্থাপন ঃ*

চলো, একটি দ্বিমাত্রিক ষড়ভূজাকার ঘনসন্নিবেশ যুক্ত স্তর 'A' নেওয়া যাক এবং অনুরূপ একটি স্তর এর উপর রাখা হলো। যাতে দ্বিতীয় স্তরের গোলকগুলোকে প্রথম স্তরের ফাঁকা স্থানে বসানো হয়। যেহেতু দুটি স্তরের গোলকগুলো ভিন্ন ভাবে সজ্জিত থাকে, তাই দ্বিতীয় স্তরটিকে 'B' বলা হয়। চিত্র 1.20 তে পর্যবেক্ষণ করা যায় যে প্রথম স্তরের সমস্ত ত্রিকোনীয় ফাঁকা স্থান (void) গুলো দ্বিতীয় স্তরের গোলকগুলো দ্বারা আবৃত থাকে না। এটি ভিন্ন ধরনের বিন্যাস দেয়। যেখানে দ্বিতীয় স্তরের গোলকগুলো প্রথম স্তরের ফাঁকা স্থানের (voids) উপর (অথবা বিপরীত ক্রমে) বিন্যস্ত থাকে। সেখানে চতুস্তলকীয়




*চিত্র 1.20: ঘনসন্নিবিষ্ট গোলকের দুটি স্তরের স্তুপ এবং তাদের মধ্যে সৃষ্ট ফাঁকা স্থান। T = চতুস্তলকীয় ফাঁকা স্থান; O = অষ্টতলকীয় ফাঁকা স্থান।*

ফাঁকা স্থানের সৃষ্টি হয়। এই ফাঁকা স্থান (void) গুলোকে চতুস্তলকীয় ফাঁকা স্থান বলে। কারণ যখন চারটি গোলকের কেন্দ্রগুলোকে যোগ করা হয় তখন একটি চতুস্থলক গঠিত হয়। চিত্র 1.20 তে তাদেরকে 'T' দ্বারা চিহ্নিত করা হয়। চিত্র 1.21-এ এরূপ একটি ফাঁকা স্থানকে পৃথক ভাবে দেখানো হয়েছে।




*চিত্র 1.21: চতুস্তলকীয় এবং অষ্টতলকীয় ফাঁকা স্থান (voids)।*

*(a) উপর থেকে দৃশ্যমান,*

*(b) বিবর্ধিত (exploded) পার্শ্বচিত্র এবং*

*(c) ফাঁকা স্থানের (void) জ্যামিতিক আকৃতি।*

অন্যান্য ক্ষেত্রে, প্রথম স্তরের ত্রিকোণাকৃতি ফাঁকা স্থানগুলোর উপর দ্বিতীয় স্তরের ত্রিকোণাকৃতি ফাঁকা স্থান (voids) গুলো স্থাপন করা হয়েছে এবং এদের ত্রিকোণাকার আকৃতিগুলো উপরিপতিত (overlap) হয় না। এদের মধ্যে ত্রিভুজের একটি শীর্ষবিন্দু উপরের দিকে এবং অপরটি নিম্নমুখী থাকে। চিত্র 1.20 তে এই ফাঁকা স্থানগুলোকে 'O' দ্বারা চিহ্নিত করা হয়েছে। এইরূপ ফাঁকা স্থানগুলো ছয়টি গোলক দ্বারা পরিবেষ্টিত থাকে এবং এদের অষ্টতলকীয় ফাঁকা স্থান বলে। এইরূপ একটি ফাঁকা স্থান চিত্র 1.21-এ পৃথকভাবে দেখানো হচ্ছে। এই দুই প্রকারের ফাঁকা স্থানের সংখ্যা ঘনসন্নিবিষ্ট গোলকগুলোর সংখ্যার উপর নির্ভর করে।

ধরা যাক, ঘনসন্নিবিষ্ট গোলকের সংখ্যা $N$, তখন

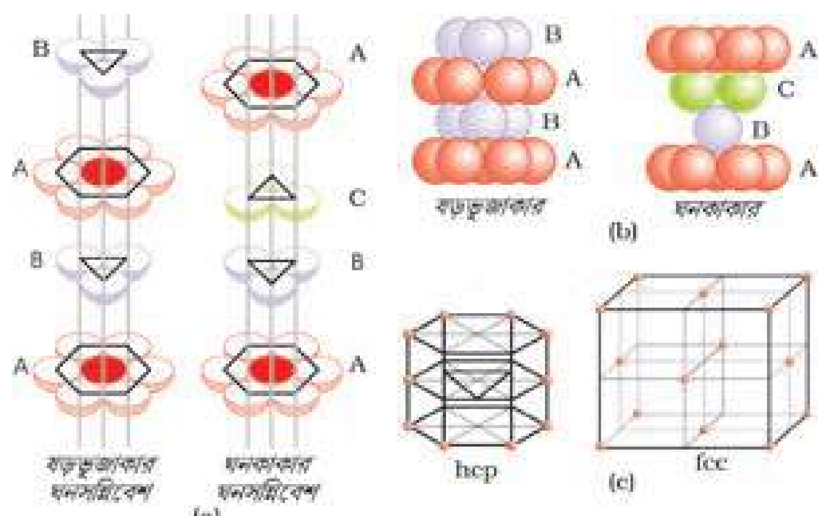
সৃষ্ট অষ্টতলকীয় ফাঁকা স্থানের সংখ্যা $= N$

সৃষ্ট চতুস্তলকীয় ফাঁকা স্থানের সংখ্যা $= 2N$

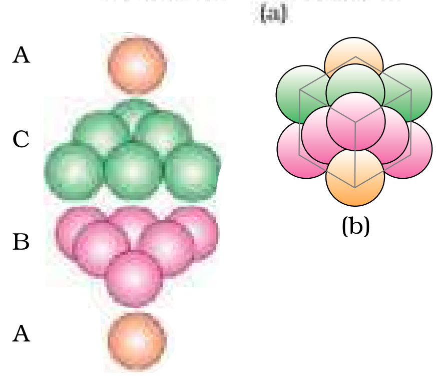
*(b) দ্বিতীয় স্তরের উপর তৃতীয় স্তরের স্থাপন ঃ*

যখন দ্বিতীয় স্তরের উপর তৃতীয় স্তরটি স্থাপন করা হয় তখন সেখানে দুটি সম্ভাবনার সৃষ্টি হয়।

(i) *চতুস্তলকীয় ফাঁকা স্থানকে আবৃত করে ঃ* দ্বিতীয় স্তরের চতুস্তলকীয় ফাঁকা স্থানগুলো তৃতীয় স্তরের গোলকগুলো দ্বারা আবৃত করা যেতে পারে। এক্ষেত্রে তৃতীয় স্তরের গোলকগুলো প্রথম স্তরের গোলকগুলোর সঙ্গে সারিবদ্ধ (aligned) থাকে। এভাবে গোলকগুলোর সজ্জা পর্যায়ক্রমিক স্তরে পুনরাবৃত্ত হয়। এই সজ্জাকে প্রায়ই ABAB ....... রূপে লেখা হয়। এই গঠনকে ষড়ভুজাকার ঘনসন্নিবেশ ($hcp$) গঠন বলে। (চিত্র 1.22) পরমাণুর এরূপ বিন্যাস ম্যাগনেশিয়াম ও জিঙ্ক-এর মতো অনেক ধাতুতে দেখা যায়।




*চিত্র 1.22: (a) ষড়ভুজাকার ঘনকাকার ঘনসন্ধিবেশ এর বিবর্ধিত দৃশ্য যা গোলকগুলির স্তূপীকৃত স্তরকে দেখায় (b) প্রতিক্ষেত্রে চারটি স্তর স্তূপীকৃত হয় এবং (c) প্যাকিং -এর জ্যামিতিক আকৃতি।*




*চিত্র 1.23: (a) অষ্টতলকীয় ফাঁকা স্থানগুলি আবৃত থাকাকালীন স্তরগুলির ABCABC... সজ্জা। (b) দুই প্রকার বিন্যাস দ্বারা সৃষ্ট গঠনের অংশ ঘনকাকার ঘনসন্নিবেশ (ccp) অথবা পৃষ্ঠকেন্দ্রিক ঘনকাকার (fcc) গঠন সৃষ্টি করে।*

(ii) *অষ্টক তলীয় ফাঁকা স্থানকে আবৃত করে ঃ* তৃতীয় স্তরটিকে দ্বিতীয় স্তরের উপর এমন ভাবে স্থাপন করা যায় যাতে এর গোলকগুলো অষ্টতলকীয় ফাঁকাস্থান (voids) গুলিকে আবৃত করে রাখে। যখন এভাবে স্থাপন করা হয়, তৃতীয় স্তরের গোলকগুলোর প্রথম স্তর বা দ্বিতীয় স্তরের গোলকের সঙ্গে সারিবদ্ধভাবে (aligned) থাকে না। এই ধরনের বিন্যাসকে 'C' প্রকৃতির বলা হয়। যখন কেবলমাত্র চতুর্থস্তরটিকে স্থাপন করা হয়। তখন এর গোলকগুলো প্রথম স্তরের সঙ্গে

সারিবদ্ধ ভাবে (aligned) অবস্থান করে যা চিত্র 1.22 এবং 1.23 তে দেখানো হয়েছে। এই প্রকারের বিন্যাসের স্তরগুলিকে ABCABC......... রূপে লেখা হয়। এই ধরনের গঠনকে ঘনকাকার ঘনসন্নিবেশ (*ccp*) অথবা পৃষ্ঠকেন্দ্রিক ঘনকাকার (*fcc*) গঠন বলে। কপার এবং সিলভারের মত ধাতুগুলো এই প্রকার গঠনে কেলাসিত হয়।

এই উভয় প্রকারের ঘনসন্নিবেশগুলো খুবই কার্যকরী এবং কেলাসের 74% ফাঁকা স্থান পূর্ণ হয়। এদের মধ্যে প্রত্যেক গোলক আরও 12টি গোলকের সংস্পর্শে থাকে। এভাবে এই দুই প্রকারের গঠনেরই সর্বগাঙ্ক সংখ্যা হবে 12.

### 1.6.1 যৌগের সংকেত এবং পূর্ণ ফাঁকা স্থান (Voids) এর সংখ্যা

এই অনুচ্ছেদের প্রথমদিকে আমরা শিখেছি যে, কণাগুলোর ঘন সন্নিবেশ হয়ে *ccp* অথবা *hcp* গঠনের সৃষ্টি করে এবং দুই ধরনের ফাঁকা স্থান তৈরি হয়। যদিও কেলাসে উপস্থিত অষ্টতলকীয় ফাঁকাস্থানের সংখ্যা ঘনসন্নিবিষ্ট কণাগুলোর সংখ্যার সমান এবং সৃষ্ট চতুস্তলকীয় ফাঁকাস্থানের সংখ্যা এই সংখ্যার দ্বিগুণ হয়। আয়নীয় কঠিনে বড় আয়নগুলো (সাধারনত অ্যানায়ন) ঘন সন্নিবিষ্ট গঠন সৃষ্টি করে এবং ছোট আয়নগুলো (সাধারনত ক্যাটায়ন) ফাঁকা স্থানগুলো অধিকার করে। যদি পরবর্তী আয়নটি খুব ছোট হয়, তখন চতুস্তলকীয় ফাঁকা স্থানগুলো অধিকৃত হয় আর যদি বড় হয় তবে অষ্টতলকীয় ফাঁকাস্থানগুলো অধিকৃত হয়। সমস্ত অষ্টতলকীয় অথবা চতুস্তলকীয় ফাঁকাস্থাগুলো অধিকৃত হয় না। একটি প্রদত্ত যৌগে অধিকৃত অষ্টতলকীয় বা চতুস্তলকীয় ফাঁকাস্থানের ভগ্নাংশ যৌগের রাসায়নিক সংকেতের উপর নির্ভর করে, যা নীচের উদাহরণগুলোতে দেখা যেতে পারে।

***নমুনা প্রশ্ন 1.1*** একটি যৌগ X এবং Y দুটি মৌল দ্বারা গঠিত। Y মৌলের পরমাণুগুলো (অ্যানায়ন রূপে) *ccp* গঠন করে এবং X-মৌলের পরমাণুগুলো (ক্যাটায়ন রূপে) সমস্ত অষ্টতলকীয় ফাঁকাস্থানগুলো অধিকার করে। যৌগটির সংকেত কী হবে।

**সমাধান** Y মৌল দ্বারা *ccp* জালক তৈরি হয়। উৎপন্ন অষ্টতলকীয় ফাঁকাস্থানের (voids) সংখ্যা এতে উপস্থিত Y পরমাণুর সংখ্যার সমান হবে। যেহেতু সমস্ত অষ্টতলকীয় ফাঁকা স্থানগুলো X পরমাণু দ্বারা অধিকৃত হয়, তাদের সংখ্যাও Y মৌলের সমান হবে। তাই X এবং Y পরমাণু সমসংখ্যায় বা 1:1 অনুপাতে অবস্থান করে। সুতরাং যৌগটির সংকেত হল XY.

***নমুনা প্রশ্ন 1.2*** B মৌলের পরমাণুগুলো *hcp* জালক গঠন করে এবং A মৌলের পরমাণুগুলো চতুস্তলকীয় ফাঁকা স্থানের 2/3 অংশ অধিকার করে। A এবং B মৌল দ্বারা গঠিত যৌগের সংকেত কি হবে?

**সমাধান** গঠিত চতুস্তলকীয় ফাঁকাস্থানের সংখ্যা B মৌলের পরমাণু সংখ্যার দ্বিগুণ হবে এবং কেবলমাত্র 2/3 অংশ Aমৌলের পরমাণুগুলো দ্বারা অধিকৃত হয়। সুতরাং A এবং B-এর পরমাণু সংখ্যার অনুপাত $2 \times (2/3):1$ অথবা 4:3 এবং যৌগটির সংকেত হল $A_4B_3$.

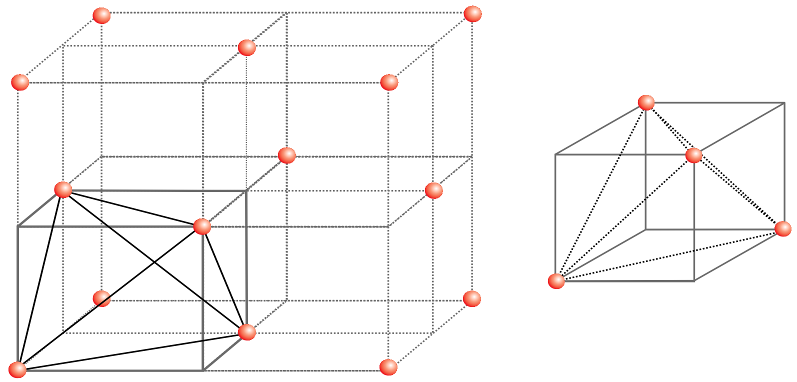
#### চতুস্তলকীয় এবং অষ্টতলকীয় ফাঁকা স্থানের অবস্থান নির্ণয়

আমরা জানি যে, ঘনসন্নিবিষ্ট গঠনে চতুস্তলকীয় এবং অষ্টতলকীয় উভয় প্রকার ফাঁকা স্থান থাকে। চল আমরা *ccp* (বা *fcc*) গঠন বিবেচনা করি এবং এতে এই ফাঁকা স্থানগুলোকে চিহ্নিত করি।

*(a) চতুস্তলকীয় ফাঁকা স্থানগুলো অবস্থান নির্ণয়*

চল আমরা *ccp* অথবা *fcc* জালকের একটি একক কোশ [চিত্র 1(a)] বিবেচনা করি। একক কোশটিকে আটটি ছোট ঘনকে বিভক্ত করা হল।

প্রত্যেকটি ছোট ঘনকে পরমাণুগুলো একটি কোণা ফাঁকা রেখে পর্যায়ক্রমে পরবর্তী (alternate) কোণায় অবস্থান করে [চিত্র 1(a)]। সব মিলিয়ে, প্রত্যেকটি ছোট ঘনকে 4টি করে পরমাণু থাকে। যখন এদেরকে পরস্পরের সাথে যুক্ত করা হয়, তারা একটি সুষম চতুস্তলক গঠন করে। এইভাবে প্রত্যেকটি ছোট ঘনকে একটি চতুস্তলকীয় ফাঁকা স্থান এবং সব মিলিয়ে মোট আটটি চতুস্তলকীয় ফাঁকা স্থান বর্তমান। আটটি ছোট ঘনকের প্রতিটিতে একটি *ccp* গঠনের একক কোশে একটি ফাঁকা স্থান বর্তমান। আমরা জানি যে, *ccp* গঠনের ক্ষেত্রে প্রতিটি একক কোশে 4টি পরমাণু বর্তমান থাকে। এভাবে চতুস্তলকীয় ফাঁকা স্থানের সংখ্যা পরমাণু সংখ্যার দ্বিগুণ হয়।

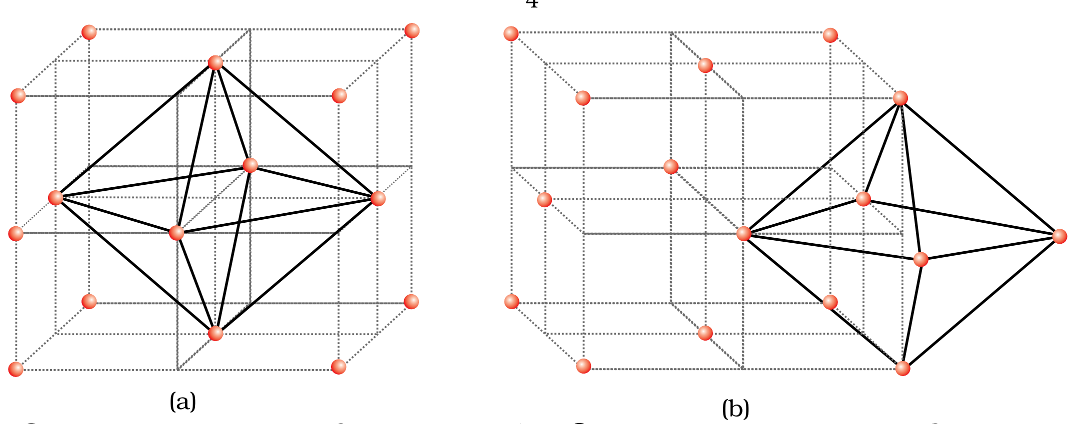



*চিত্র. 1: (a) ccp গঠনের প্রতিটি একক কোশে আটটি চতুস্তলকীয় ফাঁকা স্থান বর্তমান।*
*(b) একটি চতুস্তলকীয় ফাঁকাস্থানের জ্যামিতিক গঠন।*

***(b) অষ্টতলকীয় ফাঁকা স্থান গুলোর অবস্থান নির্ণয়***

চল আমরা *ccp* অথবা *fcc* কেলাসের একক কোশ নিয়ে আবার বিবেচনা করি [চিত্র. 2(a)]। ঘনকটির দেহ কেন্দ্র, C অধিকৃত থাকে না। কিন্তু দেহকেন্দ্রটি পৃষ্ঠকেন্দ্রের ছয়টি পরমাণু দ্বারা পরিবৃত থাকে। যদি এই পৃষ্ঠকেন্দ্রগুলো যুক্ত করা হয়, তবে একটি অষ্টতলকের সৃষ্টি হয়। তাই এই একক কোশে ঘনকটির দেহ কেন্দ্রে একটি অষ্টতলকীয় ফাঁকা স্থান বর্তমান।

এই দেহ কেন্দ্র ছাড়াও 12টি কিনারা বা প্রান্তের প্রত্যেকটিতে একটি করে অষ্টকতলীয় ফাঁকা স্থান বর্তমান [চিত্র. 2(b)]। ফাঁকা স্থানটি ছয়টি পরমাণু দ্বারা পরিবৃত থাকে। চারটি একই একক কোশের অন্তর্গত (কৌণিক বিন্দুতে 2টি এবং পৃষ্ঠকেন্দ্রে 2টি) এবং দুটি পাশাপশি অবস্থিত দুটি একক কোশের অন্তর্গত। ঘনকের প্রত্যেকটি কিনারা চারটি পাশাপাশি অবস্থিত একক কোশের মধ্যে বণ্টিত হয় বলে, এর মধ্যে অষ্টতলকীয় ফাঁকা স্থান অবস্থান করে। প্রত্যেকটি ফাঁকা স্থানের কেবলমাত্র $\frac{1}{4}$ অংশ একটি নির্দিষ্ট একক কোশে অবস্থান করে।




*চিত্র 2: ccp বা fcc জালকের প্রতি একক কোশে অষ্টতলকীয় ফাঁকা স্থানের অবস্থান (a) ঘনকটির দেহকেন্দ্রে (b) প্রতিটি কিনারার/প্রান্তের কেন্দ্রে (শুধুমাত্র এরূপ একটি ফাঁকাস্থান দেখানো হলো)।*

এইভাবে ঘনকাকার ঘনসন্নিবিষ্ট গঠনের মধ্যে ঘনকের দেহকেন্দ্রে অষ্টতলকীয় ফাঁকা স্থানের সংখ্যা = 1

প্রত্যেকটি কিনারায় 12টি অষ্টতলকীয় ফাঁকা স্থান থাকে এবং

চারটি একক কোশের মধ্যে বণ্টিত হয় = $12 \times \frac{1}{4} = 3$

$\therefore$ অষ্টতলকীয় ফাঁকা স্থানের মোট সংখ্যা = 4

আমরা জানি যে, ccp গঠনে প্রত্যেকটি একক কোশে 4টি পরমাণু থাকে। তাই অষ্টতলকীয় ফাঁকাস্থানের সংখ্যা এই সংখ্যার সমান।

## 1.7 প্যাকিং দক্ষতা

যেভাবেই গঠণকারী কণাগুলো (পরমাণু, অণু অথবা আয়ন) কে প্যাকিং করা হোক না কেন, সর্বদাই কিছু না কিছু মুক্ত স্থান ফাঁকা স্থান রূপে থেকে যায়। প্যাকিং দক্ষতা হলো কণাগুলো দ্বারা মোট অধিকৃত ফাঁকা স্থানের শতকরা হার বা পরিমাণ। চলো আমরা বিভিন্ন ধরনের গঠনের প্যাকিং দক্ষতা নির্ণয় করি।

### 1.7.1 *hcp* এবং *ccp* গঠণের প্যাকিং দক্ষতা

উভয় প্রকারের ঘনসন্নিবেশের (*hcp* এবং *ccp*) প্যাকিং দক্ষতা সমান। চলো আমরা *ccp* গঠনে প্যাকিং দক্ষতা নির্ণয় করি। চিত্র 1.24-এ একক কোশের কিনারা দৈর্ঘ্যকে ‘a’ এবং পৃষ্ঠতলের কর্ণ AC = b ধরি।

$\Delta$ ABC -এর মধ্যে

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

$= a^2 + a^2 = 2a^2$ অথবা

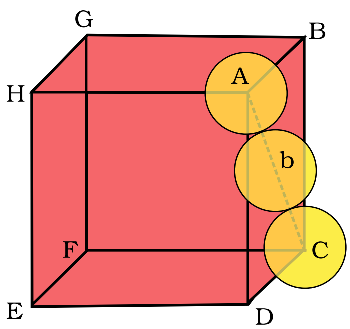
$b = \sqrt{2}a$

যদি গোলকটির ব্যাসার্ধ = $r$ হয়, আমরা দেখতে পাই,

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

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

(আমরা আরও লিখতে পারি $r = \frac{a}{2\sqrt{2}}$)




*চিত্র 1.24: ঘনকাকার ঘনসন্নিবেশ স্পষ্টতার জন্য অন্য পার্শ্বের গোলকগুলো দেখানো হল না।*

আমরা জানি যে, ccp গঠনে প্রত্যেক একক কোশে 4টি গোলক থাকে। চারটি গোলকের মোট আয়তন $4 \times (4/3)\pi r^3$ এর সমান এবং গোলকটির আয়তন হলো $a^3$ অথবা $(2\sqrt{2}r)^3$, এর সমান এবং ঘনকটির আয়তন হল $a^3$ অথবা $(2\sqrt{2}r)^3$।

সুতরাং,

$$\text{প্যাকিং দক্ষতা} = \frac{\text{একক কোশের চারটি গোলক দ্বারা অধিকৃত আয়তন} \times 100}{\text{একক কোশের মোট আয়তন}} \%$$

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

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

**1.7.2 দেহকেন্দ্রিক ঘনকাকার গঠনে প্যাকিং দক্ষতা**

চিত্র 1.25 থেকে পরিষ্কার বোঝা যায় যে কেন্দ্রে অবস্থিত পরমাণুটি কর্ণ বরাবর সাজানো অন্য দুটি পরমাণুর সংস্পর্শে থাকে।

$\Delta$ EFD -এ

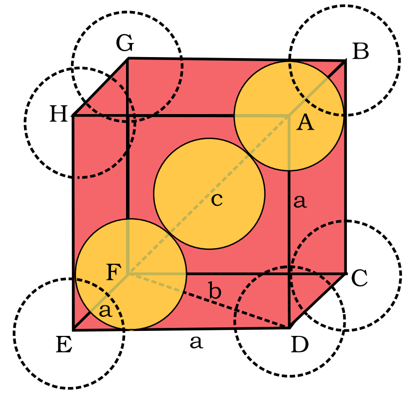
$b^2 = a^2 + a^2 = 2a^2$

$b = \sqrt{2}a$

এখন $\Delta$ AFD -এ

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

$c = \sqrt{3}a$




*চিত্র 1.25: দেহকেন্দ্রিক ঘনকাকার একক কোশ (দেহ কর্ণে অবস্থিত গোলকগুলোকে পুর্নরেখার দ্বারা প্রদর্শণ করা হলো।*

দেহকর্ণের দৈর্ঘ্য (c), 4r-এর সমান, যেখানে গোলক (পরমাণু)টির ব্যাসার্ধ r, যেহেতু তিনটি গোলক কর্ণ বরাবর পরস্পরের সংস্পর্শে থাকে।

সুতরাং, $\sqrt{3}a = 4r$

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

আমরা আরও লিখতে পারি, $r = \frac{\sqrt{3}}{4}a$

এই প্রকারের গঠনে মোট পরমাণু সংখ্যা = 2 এবং তাদের আয়তন = $2 \times \left(\frac{4}{3}\right)\pi r^3$.

ঘনকটির আয়তন, $a^3$ যা $\left(\frac{4}{\sqrt{3}}r\right)^3$ অথবা $a^3 = \left(\frac{4}{\sqrt{3}}r\right)^3$.

সুতরাং,

$$\text{প্যাকিং দক্ষতা} = \frac{\text{একক কোশের দুটি গোলক দ্বারা অধিকৃত আয়তন} \times 100}{\text{একক কোশের মোট আয়তন}}\%$$

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

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

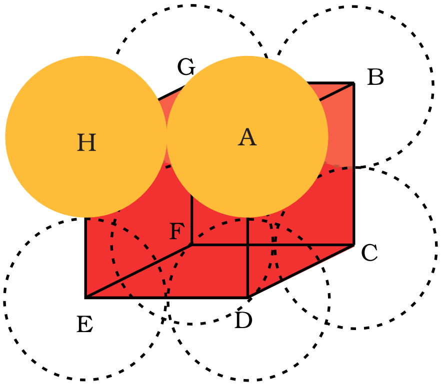
**1.7.3 সরল ঘনকাকার জালকে প্যাকিং দক্ষতা**

সরল ঘনকাকার জালকে পরমাণুগুলো ঘনকের কেবলমাত্র কৌণিক বিন্দুগুলোতে অবস্থান করে। কণাগুলো ধার বরাবর/কিনারা বরাবর পরস্পরের সংস্পর্শে থাকে। (চিত্র 1.26) ।

এভাবে ঘনকের কিনারা দৈর্ঘ্য বা ধার ‘a’ এবং প্রত্যেক কণার ব্যাসার্ধ (r) এর সম্পর্ক $a = 2r$

ঘনকাকার একক কোশের আয়তন $= a^3 = (2r)^3 = 8r^3$

যেহেতু, একটি সরল ঘনকাকার একক কোশে কেবলমাত্র 1টি পরমাণু বর্তমান, তাই অধিকৃত স্থানের আয়তন $= \frac{4}{3}\pi r^3$




চিত্র 1.26: সরল ঘনকাকার একক কোশ। ঘনকের ধার বরাবর গোলকগুলো একে অপরের সংস্পর্শে থাকে।

∴ প্যাকিং দক্ষতা

$$= \frac{\text{একটি পরমাণু আয়তন}}{\text{ঘনকাকার একক কোশের আয়তন}} \times 100\ \%$$

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

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

এইভাবে আমরা সিদ্ধান্ত নিতে পারি যে, *ccp* এবং *hcp* গঠনের সর্বোচ্চ প্যাকিং দক্ষতা বর্তমান।

## 1.8 একক কোশের মাত্রা সংক্রান্ত গণনা

একক কোশের মাত্রাগুলো থেকে একক কোশের আয়তন গণনা সম্ভব। ধাতুর ঘনত্ব জেনে আমরা একক কোশের পরমাণুগুলোর ভর গণনা করতে পারি। একটি একক পরমাণুর ভর নির্ণয় অ্যাভোগাড্রো ধ্রুবকের সঠিক মান নির্ণয়ের পদ্ধতি প্রদান করে। ধরি, X-ray বিক্ষেপন দ্বারা নির্ণীত একটি ঘনকাকার কেলাসের একক কোশের কিনারা দৈর্ঘ্য $a$, কঠিন পদার্থটির ঘনত্ব $d$ এবং আনব ভর $M$

ঘনকাকার কেলাসের ক্ষেত্রে—

একটি একক কোশের আয়তন $= a^3$

একক কোশের ভর

= একক কোশে উপস্থিত পরমাণুর সংখ্যা × প্রত্যেক পরমাণুর ভর $= z \times m$

(এখানে, $z$ হলো একটি একক কোশে উপস্থিত পরমাণুর সংখ্যা এবং $m$ হল একটি পরমাণুর ভর)

একক কোশে উপস্থিত একটি পরমাণুর ভর

$$m = \frac{M}{N_A} \quad (M \text{ হল আণব ভর})$$

সুতরাং, একক কোশের ঘনত্ব

$$= \frac{\text{একক কোশের ভর}}{\text{একক কোশের আয়তন}}$$

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

মনে রাখা দরকার যে, একক কোশের ঘনত্ব পদার্থের ঘনত্বের অনুরূপ বা সমান হয়। কঠিনের ঘনত্ব সর্বদা অন্যান্য পদ্ধতিতেও নির্ণয় করা যায়। পাঁচটি স্থিতিমাপের ($d$, z, $M$, $a$ এবং $N_A$) মধ্যে যে কোনো চারটি জানা থাকলে আমরা পঞ্চমটি নির্ণয় করতে পারি।

**নমুনা প্রশ্ন 1.3**

একটি মৌলের দেহকেন্দ্রিক ঘনকাকার (*bcc*) গঠনটির কিনারার দৈর্ঘ্য 288 pm, মৌলটির ঘনত্ব 7.2 g/cm$^3$। মৌলটি 208g পরিমাণে উপস্থিত পরমাণুর সংখ্যা কত?

**সমাধান**

একক কোশের আয়তন $= (288 \text{ pm})^3$

$= (288\times10^{-12} \text{ m})^3 = (288\times10^{-10} \text{ cm})^3$

$= 2.39\times10^{-23} \text{ cm}^3$

208 g মৌলের আয়তন

$$= \frac{\text{ভর}}{\text{ঘনত্ব}} = \frac{208g}{7.2\,g\,cm^{-3}} = 28.88\,cm^3$$

এই আয়তনে একক কোশের সংখ্যা

$$= \frac{28.88cm^3}{2.39\times10^{-23}cm^3\ /\text{একক কোশ}} = 12.08\times10^{23}\ \text{একক কোশ}$$

যেহেতু প্রত্যেকটি *bcc* ঘনকাকার একক কোশে 2টি পরমাণু বর্তমান। সুতরাং 208 g-এ মোট পরমাণুর সংখ্য = 2 (পরমাণু/একক কোশ) × 12.08 × $10^{23}$ একক কোশ

= $24.16\times10^{23}$ পরমাণু।

***নমুনা প্রশ্ন 1.4***

X-ray বিক্ষেপন গবেষণা থেকে প্রাপ্ত ফলাফলগুলো থেকে দেখা যায় যে কপার *fcc* একক কোশে কেলাসিত হয়, যার কিনারা দৈর্ঘ্য $3.608\times10^{-8}$ cm । একটি পৃথক পরীক্ষায় কপারের ঘনত্ব 8.92 g/$cm^3$ নির্ণয় করা হয়। কপার এর পারমাণবিক ভর গণনা করো।

***সমাধান***

*fcc* জালকের ক্ষেত্রে প্রতি একক কোশে পরমাণুর সংখ্যা z = 4

অর্থাৎ, $M = \frac{dN_A a^3}{z}$

$$= \frac{8.92\,g\,cm^{-3}\times6.022\times10^{23}\ \text{পরমাণু মোল}^{-1}\times(3.608\times10^{-8}cm)^3}{4\ \text{টি পরমাণু}}$$

= 63.1 g/mol

কপার এর পারমাণবিক ভর = 63.1u

***নমুনা প্রশ্ন 1.5***

সিলভার ccp জালক গঠন করে এবং এর কেলাসের X-ray অধ্যয়ন থেকে প্রাপ্ত ফলাফলগুলো থেকে দেখা যায় যে এর একক কোশের কিনারা দৈর্ঘ্য 408.6 pm সিলভারের ঘনত্ব গণনা করো। (পারমাণবিক ভর = 107.9 u)

***সমাধান***

যেহেতু জালকটি *ccp*, প্রতিটি একক কোশে সিলভারের পরমাণুর সংখ্যা = z = 4

সিলভারের আণব ভর = 107.9 g $mol^{-1}$ = $107.9\times10^{-3}$ kg $mol^{-1}$

একক কোশের কিনারা দৈর্ঘ্য = a = 408.6 pm = $408.6\times10^{-12}$ m

ঘনত্ব, $d = \frac{z.M}{a^3.N_A}$

$$= \frac{4\times(107.9\times10^{-3}\,kg\,mol^{-1})}{(408.6\times10^{-12}m)^3(6.022\times10^{23}mol^{-1})} = 10.5\times10^3\ kg\ m^{-3}$$

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

## বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলী

**1.14** বর্গাকার ঘনসন্নিবিষ্ট স্তরে অণুর দ্বিমাত্রিক সর্বগাঙ্ক সংখ্যা কত?

**1.15** একটি যৌগ ষড়ভুজাকার ঘন সন্নিবেশ গঠন করে। এর 0.5 mol-এ মোট ফাঁকাস্থান -এর সংখ্যা কত? এদের মধ্যে কতগুলো চতুস্তলকীয় ফাঁকা স্থান আছে?

1.16 একটি যৌগ M এবং N দুটি মৌল দ্বারা গঠিত। N মৌলটির *ccp* গঠনে বিনস্ত থাকে এবং M পরমাণুগুলো চতুস্তলকীয় ফাঁকাস্থানের 1/3 অংশ অধিকার করে। যৌগটির সংকেত কি হবে?

1.17 নীচের জালকগুলোর মধ্যে কোনটির প্যাকিং দক্ষতা সর্বাধিক? (i) সরল ঘনকাকার (ii) দেহকেন্দ্রিক ঘনকাকার (iii) ষড়ভুজাকার ঘনসন্নিবেশ যুক্ত জালক?

1.18 $2.7\times10^{-2}$ kg $mol^{-1}$ আণব ভরযুক্ত একটি মৌল ঘনকাকার একক কোশ গঠন করে যার কিনারা দৈর্ঘ্য 405 pm. যদি এর ঘনত্ব $2.7\times10^{3}$ kg $m^{-3}$ হয় তবে ঘনকাকার একক কোশটির প্রকৃতি কি রূপ হবে?

## 1.9 কেলাসের ত্রুটি বা অপূর্ণতা

যদিও কেলাসাকার কঠিনের গঠনকারী কণাগুলোর বিন্যাস স্বল্পদূর এবং এর পাশাপাশি বহুদূর পর্যন্ত ও বিস্তৃত থাকে, তথাপি কেলাসগুলো ত্রুটিমুক্ত নয়। কঠিন পদার্থগুলো সাধারণত বিশাল সংখ্যক ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কেলাসের একত্রিভবনের মাধ্যমে গঠিত হয়। এই ক্ষুদ্র কেলাসগুলোও ত্রুটি যুক্ত থাকে। যখন কেলাসন প্রক্রিয়া দ্রুত বা মধ্যম গতিতে সম্পন্ন হয়, তখন এটি ঘটে। যখন কেলাসন প্রক্রিয়া অত্যন্ত ধীর গতিতে সম্পন্ন হয় তখন একক কেলাস গঠিত হয়। এমনকি এই কেলাসগুলোও ত্রুটি মুক্ত হয় না। ত্রুটি হল মূলত সংগঠক কণাগুলোর অনিয়মিত বিন্যাস। বিস্তৃত ভাবে বলতে গেলে, এই ত্রুটিগুলো দুই প্রকারের হয়। যথা- বিন্দুগঠিত ত্রুটি এবং রৈখিক ত্রুটি। বিন্দুগঠিত ত্রুটি হল কেলাসাকার পদার্থে একটি বিন্দু বা একটি পরমাণুর চারদিকে আদর্শ বিন্যাসে এর অনিয়ম বা বিচ্যুতি। অপরদিকে, রৈখিক ত্রুটি হল জালক বিন্দুগুলোর সমগ্র সারিতে আদর্শ বিন্যাসের অনিয়ম বা বিচ্যুতি। এই অনিয়ম গুলোকে কেলাসের ত্রুটি বলে। আমরা আমাদের আলোচনা কেবলমাত্র বিন্দুগঠিত ত্রুটির মধ্যে সীমাবদ্ধ রাখবো।

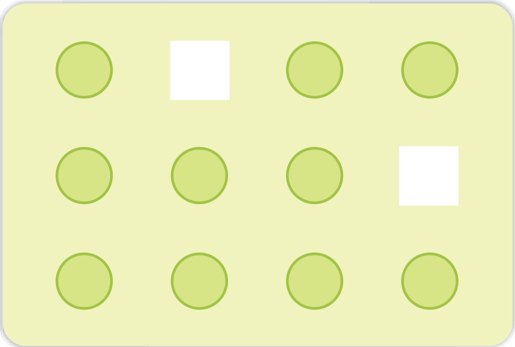
### 1.9.1 বিন্দু গঠিত ত্রুটির প্রকারভেদ

বিন্দুগঠিত ত্রুটিগুলোকে তিন প্রকারে শ্রেণিভুক্ত করা যায়। (i) স্টয়সিওমেট্রিক ত্রুটি, (ii) অশুদ্ধিজনিত ত্রুটি এবং (iii) নন্‌স্টয়সিওমেট্রিক ত্রুটি।

*(a) স্টয়সিওমেট্রিক ত্রুটি (Stoichiometric Defects)*

এগুলি হল বিন্দু গঠিত ত্রুটি যা কঠিনের স্টয়সিওমেট্রিক বা রাসায়নিক সংখ্যানুপাতের কোনো পরিবর্তন করে না। এদের সহজাত (*intrinsic*) বা তাপগতীয় ত্রুটিও বলা হয়। মূলত এগুলো দুই প্রকারের; শূণ্যতা জনিত ত্রুটি (vacancy) এবং অন্ত:স্থানিক (interstitial) ত্রুটি।

(i) *শূণ্যতাজনিত ত্রুটি (Vacancy Defect)*: যখন কিছু জালক স্থান খালি থাকে তখন কেলাসটিতে শূণ্যতা জনিত ত্রুটি লক্ষ করা যায় (চিত্র 1.27)। এর ফলস্বরূপ পদার্থের ঘনত্বের হ্রাস ঘটে। কোনো পদার্থকে উত্তপ্ত করলে এই ধরনের ত্রুটির সৃষ্টি হতে পারে।।

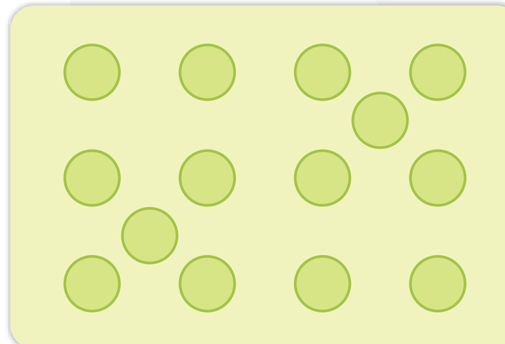


*চিত্র 1.27: শূণ্যতাজনিত ত্রুটি*

(ii) *অন্ত:স্থানিক ত্রুটি (Interstitial Defect):* যখন কিছু গঠনকারী কণা (পরমাণু বা অণু) অন্ত:স্থানীয় স্থান অধিকার করে তখন কেলাসটিতে অন্ত:স্থানীক (*Interstitial*) ত্রুটি লক্ষ করা যায়। (চিত্র 1.28)। এই ত্রুটি পদার্থের ঘনত্বের বৃদ্ধি ঘটায়। পদার্থের ঘনত্বের বৃদ্ধি ঘটায়।

উপরে বর্ণিত শূণ্যতাজনিত এবং অন্ত:স্থানিক ত্রুটি অআয়নীয় কঠিন দ্বারা প্রদর্শিত হয়। আয়নীয় কঠিনগুলো সর্বদা তাড়িতিক প্রশমতা বজায় রাখে। সরল শূণ্যতাজনিত বা অন্ত:স্থানীক ত্রুটি ছাড়াও এরা ফ্রেনকেল এবং স্কটকি ত্রুটি দেখায়।

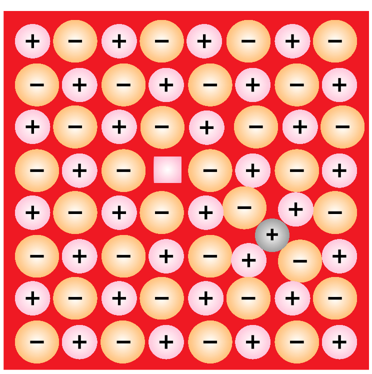
(iii) *ফ্রেনকেল ত্রুটি (Frenkel Defect)*: আয়নীয় কঠিন এই ধরনের ত্রুটি দেখায়। ছোট আয়ন (সাধারণত ক্যাটায়ন) তার স্বাভাবিক অবস্থান থেকে স্থানচ্যুত হয়ে অন্ত:স্থানিক স্থানে অবস্থান করে (চিত্র 1.29)। ত্রুটি এর প্রকৃত অবস্থানে শূন্যতাজনিত ত্রুটির সৃষ্টি করে এবং এর নতুন অবস্থানে একটি অন্তঃস্থানিক ত্রুটির সৃষ্টি করে।



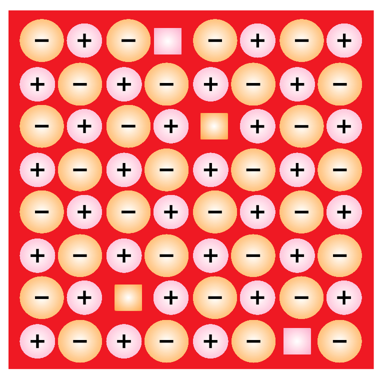
*চিত্র 1.28: অন্তঃস্থানিক ত্রুটি*

ফ্রেনকেল ত্রুটিকে স্থানচ্যুতি জনিত ত্রুটিও বলা হয়। এটি কঠিনের ঘনত্বের কোনো পরিবর্তন ঘটায় না। আয়নীয় যৌগ যেখানে আয়নগুলোর আকারের বিশাল পার্থক্য থাকে তারা ফ্রেনকেল এটি দেখায়। উদাহরণস্বরূপ ZnS, AgCl, AgBr এবং AgI ফ্রেনকেল ত্রুটি প্রদর্শণ করে কেননা $Zn^{2+}$ এবং $Ag^{+}$ আয়নগুলোর আকার ক্ষুদ্র হয়।

(iv) *স্কটকি ত্রুটি (Schottky Defect)*: এটি মূলত আয়নীয় কঠিনের শূণ্যতাজনিত ত্রুটি। তড়িৎ নিরপেক্ষতা বজায় রাখার জন্য এক্ষেত্রে নিরুদ্দিষ্ট ক্যাটায়ন ও অ্যানায়নের সংখ্যা সমান হয় (চিত্র 1.30)।

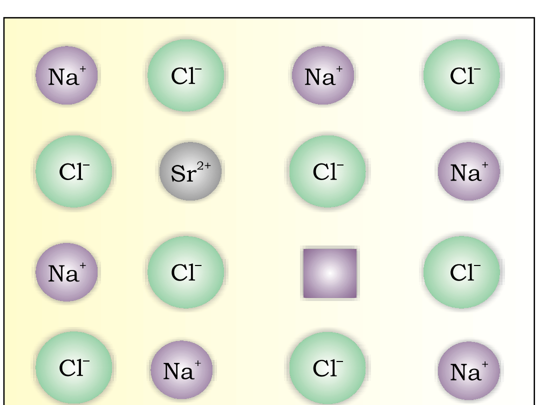


*চিত্র 1.29: ফ্রেনকেল ত্রুটি*



*চিত্র 1.30: স্কটকি ত্রুটি*

সরল শূণ্যতাজনিত ত্রুটির মত স্কটকি ত্রুটিও পদার্থের ঘনত্বের হ্রাস ঘটায়। আয়নীয় যৌগের ক্ষেত্রে এরূপ ত্রুটির মোট সংখ্যা খুবই তাৎপর্যপূর্ণ। উদাহরণস্বরূপ, NaCl-এ স্বাভাবিক তাপমাত্রায় প্রতি $cm^3$ (ঘনসেমি) -তে $10^6$ এর কাছাকাছি স্কটকি যুগল বর্তমান। এক ঘনসেমিতে ($1\ cm^3$) প্রায় $10^{22}$ আয়ন বর্তমান। অর্থ্যাৎ প্রতি $10^{16}$ সংখ্যক আয়নে একটি স্কটকি ত্রুটি বর্তমান। আয়নীয় যৌগ যাদের ক্যাটায়ন ও অ্যানায়নের আকার প্রায় সমান তারা স্কটকি ত্রুটি দেখায়। উদাহরণস্বরূপ, NaCl, KCl, CsCl এবং AgBr। এটি লক্ষ্য করা গেছে যে, AgBr ফ্রেংকেল ও স্কটকি উভয় ধরনের ত্রুটি দেখায়।




*চিত্র 1.31: $Sr^{2+}$ আয়ন দ্বারা $Na^+$ আয়নের প্রতিস্থাপনের ফলে NaCl-এ ক্যাটায়নজনিত শূণ্যতার সৃষ্টি হয়।*

***(b) অশুদ্ধিজনিত ত্রুটি (Impurity Defects)***

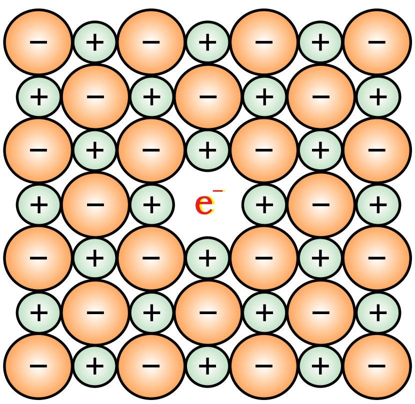
অল্প পরিমাণ $SrCl_2$ যুক্ত গলিত NaCl কে যদি কেলাসিত করা হয়, তবে $Na^+$ আয়নের কিছু কিছু স্থান $Sr^{2+}$ দ্বারা অধিকৃত হয় (চিত্র 1.31)। প্রতিটি $Sr^{2+}$ আয়ন দুইটি $Na^+$ আয়নকে প্রতিস্থাপিত করে। এটি একটি আয়নের স্থান দখল (অধিকার) করে এবং অপর স্থানটি খালি থাকে। এভাবে উৎপন্ন ক্যাটায়ন শূণ্যতা $Sr^{2+}$ আয়নের সংখ্যার সমান। $CdCl_2$ এবং AgCl এর কঠিন দ্রবণ হল এ ধরনের ত্রুটির আরেকটি উদাহরণ।

*(c) নন্ স্টয়সিওমেট্রিক ত্রুটি (Non-Stoichiometric Defects)*

এতক্ষণ পর্যন্ত যতগুলো ত্রুটির কথা আলোচনা করা হয়েছে তারা কেলাসাকার পদার্থের স্টয়সিওমেট্রির কোনো পরিবর্তন ঘটায় না। যদিও একটি বিরাট সংখ্যক নন্‌স্টয়সিওমেট্রিক অজৈব কঠিন জানা আছে যাদের কেলাসাকার গঠনের ত্রুটির জন্য গঠনকারী উপাদান মৌলগুলি নন্‌স্টয়সিওমেট্রিক অনুপাতে থাকে। এই ত্রুটিগুলো দুই প্রকার । (i) ধাতব আধিক্য জনিত ত্রুটি এবং (ii) ধাতব ঘাটতি জনিত ত্রুটি।

(i) *ধাতব আধিক্য জনিত ত্রুটি (Metal Excess Defect)*

- **অ্যানায়নের শূণ্যতার জন্য ধাতব আধিক্য জনিত ত্রুটি ঃ** NaCl এবং KCl-এর মতো ক্ষার ধাতুর হ্যালাইডগুলো এই ধরনের ত্রুটি প্রদর্শণ করে। যখন NaCl কেলাসগুলোকে সোডিয়াম বাষ্পের উপস্থিতিতে উত্তপ্ত করা হয়, তখন কেলাসের পৃষ্ঠতলে সোডিয়াম পরমাণু জমা হয়। $Cl^-$ আয়নগুলো কেলাসের পৃষ্ঠতলে ছড়িয়ে পড়ে এবং Na পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত হয়ে NaCl তৈরি করে। সোডিয়াম পরমাণু ইলেকট্রন ত্যাগ করে $Na^+$ আয়নে পরিনত হয় বলে এটি ঘটে। নির্গত ইলেকট্রনগুলো কেলাসের মধ্যে ছড়িয়ে পড়ে এবং অ্যানায়নের স্থানগুলো অধিকার করে (চিত্র 1.32)। এর ফলস্বরূপ কেলাসটিতে অতিরিক্ত সোডিয়াম থাকে। অযুগ্ম ইলেকট্রন দ্বারা অধিকৃত অ্যানায়নিক স্থানগুলোকে *F* কেন্দ্র বলে। [জার্মান শব্দ ফারবেনজেনটার *(Farbenzenter)* থেকে, যার অর্থ বর্ণ বিন্দু]। এরা NaCl কেলাসগুলোর হলুদবর্ণ প্রদান করে। কেলাসগুলোর উপর পতিত দৃশ্যমান আলো থেকে শক্তি শোষণ করে এই ইলেকট্রনগুলো উত্তেজিত হয় এবং বর্ণের সৃষ্টি করে। অনুরূপে অতিরিক্ত লিথিয়াম LiCl কেলাসগুলোকে গোলাপী এবং অতিরিক্ত পটাশিয়াম KCl কেলাসগুলোকে বেগুনী [অথবা রক্তাভ বেগুনী (lilac)] করে।



*চিত্র 1.32: একটি কেলাসের F-কেন্দ্র*

- **অন্ত:স্থানীক স্থানে অতিরিক্ত ক্যাটায়নের উপস্থিতির জন্য ধাতব আধিক্য জনিত ত্রুটি ঃ** ঘরের উষ্ণতায় জিঙ্ক অক্সাইড এর বর্ণ সাদা। তাপ প্রয়োগে এটি অক্সিজেন ত্যাগ করে এবং হলুদ বর্ণে পরিনত হয়।

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

এখন কেলাসটির মধ্যে অতিরিক্ত জিঙ্ক বর্তমান এবং এর সংকেত হবে $Zn_{1+x}O$ অতিরিক্ত $Zn^{+2}$ আয়নগুলোর অন্ত:স্থানিক স্থানে চলে যায় এবং ইলেকট্রনগুলো প্রতিবেশী অন্ত:স্থানিক স্থানে চলে যায়।

(ii) *ধাতব ঘাটতি জনিত ত্রুটি (Metal Deficiency Defect)*

অনেক কঠিন আছে যাদের স্টয়সিওমেট্রিক সংযুতি সঠিক রেখে তৈরি করা সহজ নয় এবং স্টয়সিওমেট্রিক অনুপাতের সাপেক্ষে কম পরিমাণ ধাতু থাকে। এই ধরনের একটি বিশেষ উদাহরণ হলো FeO যা প্রধানত $Fe_{0.93}O$ থেকে $Fe_{0.96}O$ পরিসরে থাকতে পারে। FeO-এর কেলাসগুলোতে কিছু $Fe^{2+}$ ক্যাটায়ন নিরুদ্দিষ্ট হয়ে যায় এবং প্রয়োজনীয় সংখ্যক $Fe^{3+}$ আয়নের উপস্থিতিতে ধনাত্মক আধান প্রশমিত হয়।

## 1.10 তড়িৎ ধর্ম

কঠিন গুলোর তড়িৎ পরিবাহিতার একটি বিস্তৃত সীমা রয়েছে। যা মানের 27 ক্রম পর্যন্ত অর্থাৎ $10^{-20}$ থেকে $10^7$ $ohm^{-1}$ $m^{-1}$ পর্যন্ত হয়। কঠিনগুলোকে তাদের পরিবাহীতা অনুযায়ী তিন প্রকারে শ্রেণিবদ্ধ করা হয়েছে।

(i) *পরিবাহী ঃ* যে কঠিনগুলোর পরিবাহীতা $10^4$ থেকে $10^7$ $ohm^{-1}m^{-1}$ পাল্লার মধ্যে থাকে তাদের পরিবাহী বলে। ধাতুগুলোর পরিবাহীতা $10^7$ $ohm^{-1}m^{-1}$ ক্রমের হলে সুপরিবাহী হয়।

(ii) *অন্তরক ঃ* এই কঠিনগুলোর পরিবাহীতা খুব কম যার সীমা $10^{-20}$ থেকে $10^{-10}$ $ohm^{-1}m^{-1}$ পর্যন্ত হয়।

(iii) *অর্ধপরিবাহী ঃ* এই কঠিনগুলোর পরিবাহীতা $10^{-6}$ থেকে $10^{4}$ $ohm^{-1}m^{-1}$ সীমার মধ্যে থাকে।

### 1.10.1 ধাতুগুলির তড়িৎ পরিবহন

ইলেকট্রন বা আয়নের সঞ্চরণশীলতা বা গতিশীলতার মাধ্যমে একটি পরিবাহী তড়িৎ পরিবহণ করতে পারে। ধাতব পরিবাহীগুলো পূর্ববর্তী বিভাগ এবং তড়িৎ বিশ্লেষ্যগুলো পরবর্তী বিভাগের অন্তর্গত।

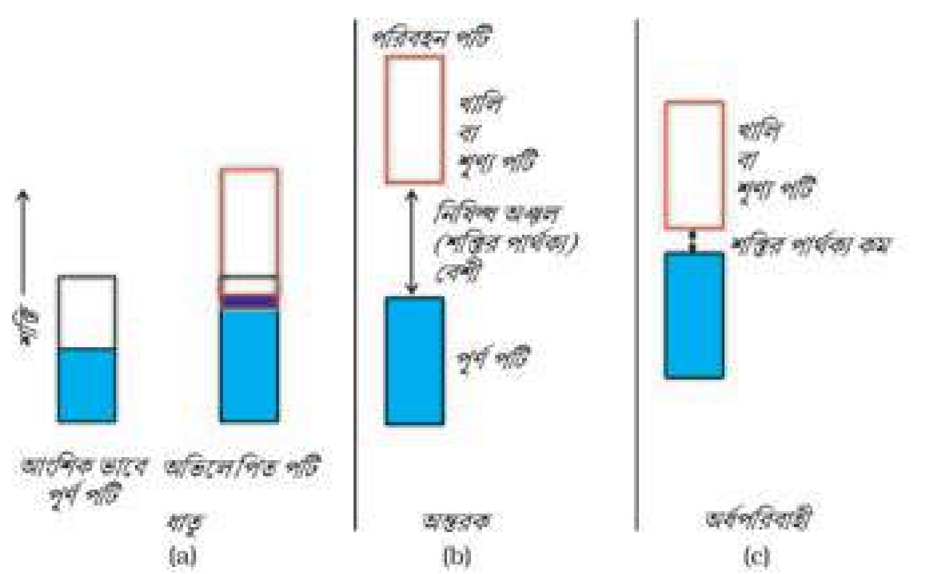
ধাতুগুলো কঠিন অবস্থায় এমনকি গলিত অবস্থায়ও তড়িৎ পরিবহণ করে। ধাতুর পরিবাহীতা প্রত্যেক পরমাণুর যোজ্যতা ইলেকট্রনের উপর নির্ভর করে। ধাতব পরমাণুগুলোর পারমাণবিক কক্ষকগুলো আণবিক কক্ষক গঠন করে, যাদের শক্তি এত কাছাকাছি যে এরা একটি পটি (**band**) গঠন করতে পারে। যদি এই পটিটি আংশিক পূর্ণ থাকে অথবা এটি উচ্চ শক্তি সম্পন্ন অনধিকৃত পরিবহণ পটির সঙ্গে অভিলেপন করে। তাহলে তড়িৎক্ষেত্রের প্রয়োগে ইলেকট্রনগুলো সহজে প্রবাহিত হতে পারে এবং ধাতুটি পরিবাহিতা প্রদর্শণ করে (চিত্র 1.33 a)।

যদি পূর্ণ যোজ্যতা পটি এবং পরবর্তী উচ্চতর অনধিকৃত পটি (পরিবহণ পটি) এর মধ্যে পার্থক্য বেশী হয়, তাহলে ইলেকট্রনগুলো এতে পার্থক্য বেশী হয়। তাহলে ইলেকট্রনগুলো এতে লাফ দিতে পারে না এবং এরূপ একটি পদার্থের পরিবাহিতা খুবই কম হয় এবং এটি অন্তরক রূপে কাজ করে (চিত্র 1.33 b)।

### 1.10.2 অর্ধ পরিবাহীতে তড়িৎ পরিবহন

অর্ধপরিবাহীগুলোর ক্ষেত্রে যোজ্যতা পটি এবং পরিবাহী পটি এর মধ্যে পার্থক্য কম (চিত্র 1.33 c)। সুতরাং কিছু ইলেকট্রন পরিবাহী পটিতে লাফিয়ে যেতে পারে এবং কিছু পরিমাণ পরিবাহীতা দেখায়। তাপমাত্রা বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে যেহেতু অধিক সংখ্যক ইলেকট্রন পরিবাহী পটিতে লাফিয়ে যেতে পারে। তাই অর্ধ পরিবাহীর তড়িৎ পরিবাহীতা বৃদ্ধি পায়। সিলিকন এবং জার্মেনিয়াম এর মত পদার্থগুলো এই প্রকারের আচরণ দেখায় এবং তাদের সহজাত অর্ধপরিবাহী বলা হয়।

এই সহজাত অর্ধপরিবাহীগুলোর পরিবাহীতা এত কম যে এদের ব্যবহারিক প্রয়োগ খুব কম। যথাযথ পরিমাণ উপযুক্ত অশুদ্ধি যোগ করে তাদের পরিবাহীতা বৃদ্ধি করা হয়। এই পদ্ধতিকে ডোপিং বলে।




*চিত্র 1.33*
*(a) ধাতু*
*(b) অন্তরক*
*(c) অর্ধপরিবাহী-এর পার্থক্যকরণ, প্রতিক্ষেত্রে ছায়াশূণ্য এলাকা পরিবহণ পটি উপস্থাপিত করে।*

সহজাত অর্ধপরিবাহী সিলিকন বা জার্মেনিয়ামের তুলনায় ইলেকট্রন সমৃদ্ধ বা ইলেকট্রন ঘাটতিযুক্ত অশুদ্ধি দ্বারা ডোপিং করা যেতে পারে। এই ধরনের অশুদ্ধি তাদের মধ্যে ইলেকট্রনীয় ত্রুটির সূচনা করে।

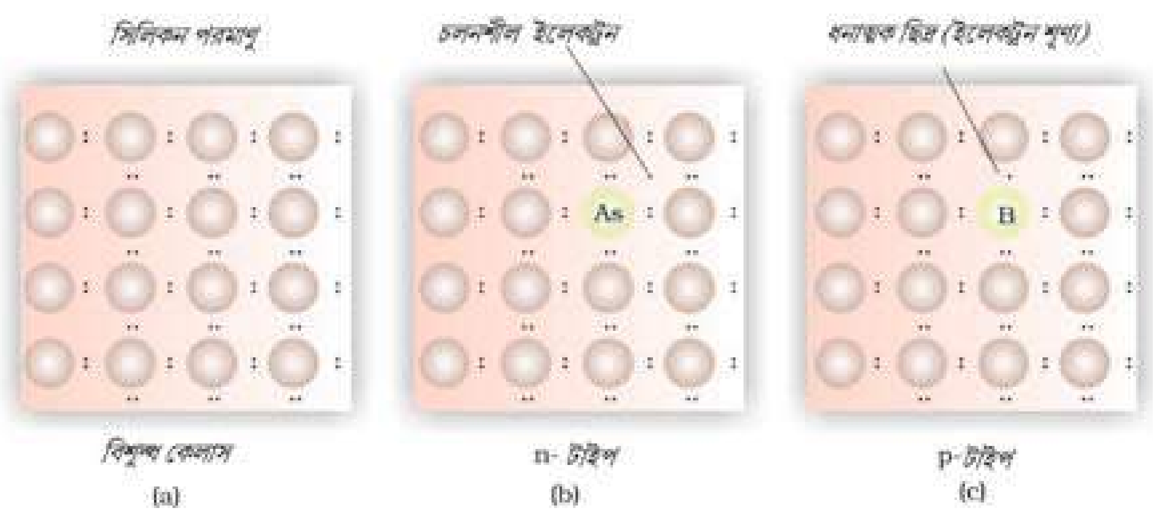
*(a) ইলেকট্রন- সমৃদ্ধ অশুদ্ধি*

সিলিকন এবং জার্মেনিয়াম পর্যায় সারণির গ্রুপ 14 এর অন্তর্ভুক্ত এবং প্রত্যেকের মধ্যে চারটি যোজ্যতা ইলেকট্রন বর্তমান। তাদের কেলাসে প্রত্যেকটি পরমাণু প্রতিবেশী পরমাণুর সঙ্গে চারটি সমযোজী বন্ধন তৈরি করে (চিত্র 1.34 a)। যখন গ্রুপ 15 এর P অথবা As এর মতো মৌল যাদের পাঁচটি যোজ্যতা ইলেকট্রন বর্তমান তাদের ডোপ করা হয়, এরা সিলিকন অথবা জার্মেনিয়াম কেলাসের কিছু জালক স্থান অধিকার করে (চিত্র 1.34 b)। পাঁচটি ইলেকট্রনের মধ্যে চারটি ইলেকট্রন প্রতিবেশী চারটি সিলিকন পরমাণুর সঙ্গে চারটি সমযোজী বন্ধন গঠনে ব্যবহৃত হয়। পঞ্চম ইলেকট্রনটি অতিরিক্ত এবং স্থানচ্যুত হয়। এই স্থানচ্যুত ইলেকট্রনগুলো ডোপ করা সিলিকন (বা জার্মেনিয়াম) এর পরিবাহীতা বৃদ্ধি করে। এক্ষেত্রে ঋণাত্মক আধান যুক্ত ইলেকট্রনের জন্য পরিবাহীতা বৃদ্ধি পায়। এই কারণে ইলেকট্রন সমৃদ্ধ অশুদ্ধি দ্বারা ডোপ করা সিলিকনকে $n$-টাইপ অর্ধপরিবাহী বলে।

*(b) ইলেকট্রন ঘাটতি যুক্ত অশুদ্ধি*

তিনটি যোজ্যতা ইলেকট্রন যুক্ত গ্রুপ-13 মৌল B, Al বা Ga দ্বারা সিলিকন অথবা জার্মেনিয়ামকে ডোপ করা যায়। যে স্থান থেকে চতুর্থ যোজ্যতা ইলেকট্রনটি নিরুদ্দেশ হয় তাকে ইলেকট্রন গর্ত বা ইলেকট্রন শূণ্যতা বলে (চিত্র 1.34 c)। তখন প্রতিবেশী পরমাণু থেকে একটি ইলেকট্রন আসতে পারে এবং ইলেকট্রন গর্তটি পূর্ণ করতে পারে। কিন্তু এটি করার ফলে এর নিজস্ব অবস্থানে ইলেকট্রন গর্তটি সৃষ্টি করে।

যদি এটি ঘটে, তাহলে মনে হয় যেন ইলেকট্রন গর্তটি যে ইলেকট্রনটি তাকে পূর্ণ করে, তার বিপরীত দিকে গমন করে। তড়িৎক্ষেত্রের প্রভাবে ইলেকট্রনগুলো ইলেকট্রনীয় গর্তের মধ্য দিয়ে ধনাত্মক আধান যুক্ত প্লেটগুলোর দিকে গমন করে। কিন্তু মনে হবে যেন, ইলেকট্রন গর্তগুলো ধনাত্মক আধানযুক্ত এবং ঋণাত্মক আধান যুক্ত প্লেটগুলোর দিকে গমন করছে। এই ধরনের অর্ধপরিবাহীকে $p$- টাইপ অর্ধপরিবাহী বলে।




*চিত্র 1.34: গ্রুপ 13 এবং 15 মৌলগুলো ডোপিং করে $n$-টাইপ ও $p$-টাইপ অর্ধপরিবাহী সৃষ্টি।*

*n -টাইপ এবং p-টাইপ অর্ধপরিবাহীর প্রয়োগ :*

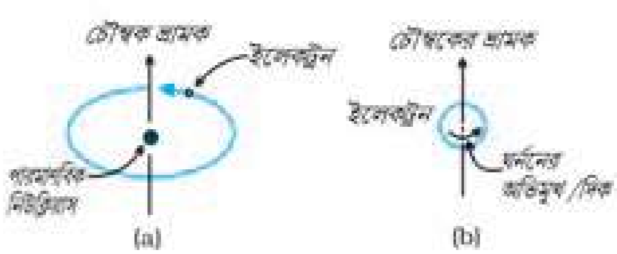
$n$-টাইপ ও $p$-টাইপ অর্ধপরিবাহীর নানা ধরনের সমন্বয় বৈদ্যুতিক উপাদান তৈরিতে ব্যবহৃত হয়। ডায়োড হল $n$-টাইপ ও $p$-টাইপ অর্ধপরিবাহীর সমন্বয় এবং এটি রেক্টিফায়ার হিসাবে কাজ করে। এক ধরনের অর্ধপরিবাহীর দুইটি স্তরের মাঝখানে অন্য এক ধরনের অর্ধ পরিবাহীর স্তরকে রেখে (স্যান্ডউইচের মত) ট্রানজিস্টর তৈরি করা হয়। *npn* এবং *pnp* ধরণের ট্রানজিৎস্টরগুলোকে রেডিও বা অডিও সংকেত শনাক্ত বা বিবর্ধন করতে ব্যবহৃত হয়। সৌরকোশ একটি কার্যকরী ফোটো-ডায়োড যা আলোক শক্তিকে তড়িৎ শক্তিতে রূপান্তরিত করতে ব্যবহৃত হয়।

জার্মেনিয়াম এবং সিলিকন গ্রুপ 14 -এর মৌল এবং যার ফলে যোজ্যতা চার এবং চারটি বন্ধন তৈরি করে যা হীরকে দেখা যায়। একটি ব্যাপক বৈচিত্র্যের কঠিন উপকরণ গ্রুপ 13 এবং 15 অথবা 12 এবং 16 এর সমন্বয়ে তৈরি করা হয়েছে যা Ge এবং Si এর মত গড় যোজ্যতা চার পরিপূর্ণ করে। গ্রুপ 13 – 15 এর বিশেষ যৌগগুলো হল InSb, AlP এবং GaAs। গ্যালিয়াম আর্সেনাইড (GaAs) অর্ধপরিবাহী খুব দ্রুত সাড়া দেয় এবং এটি অর্ধপরিবাহী যন্ত্রের নকশার বৈপ্লবিক পরিবর্তন ঘটিয়েছে। ZnS, CdS, CdSe এবং HgTe হল গ্রুপ 12 – 16 যৌগগুলোর উদাহরণ। এই যৌগগুলোতে বন্ধনগুলো বিশুদ্ধ সমযোজী নয় এবং আয়নীয় চরিত্র মৌল দুটির তড়িৎ ঋণাত্মকতার উপর নির্ভর করে।

এটা অবগত হওয়া খুবই মজাদার যে সন্ধিগত ধাতুর অক্সাইডগুলোর মধ্যে তড়িৎ ধর্মের উল্লেখযোগ্য পার্থক্য দেখা যায়। TiO, $CrO_2$ এবং $ReO_3$ ধাতুর মত আচরণ করে। রেনিয়াম অক্সাইড, $ReO_3$ পরিবাহীতা ও বাহ্য অবস্থার দিক দিয়ে কপার এর অনুরূপ। VO, $VO_2$, $VO_3$ এবং $TiO_3$ এর মতো অন্যান্য কিছু অক্সাইড তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে ধাতব চরিত্র বা অন্তরক ধর্ম দেখায়।

## 1.11 চৌম্বক ধর্ম

প্রত্যেক পদার্থের নিজস্ব কিছু চৌম্বক ধর্ম বর্তমান। এই ধর্মগুলোর সৃষ্টি ইলেকট্রন থেকেই হয়। একটি পরমাণুর প্রতিটি ইলেকট্রন একটি ক্ষুদ্র চুম্বকের মত আচরণ করে। দুই ধরনের গতি থেকে এদের মধ্যে চৌম্বক ভ্রামকের উৎপত্তি হয়। (i) নিউক্লিয়াসের চারদিকে এর কক্ষকগুলোর গতি এবং (ii) এর নিজের অক্ষের চারদিকে ঘূর্ণন (চিত্র 1.35)। ইলেকট্রন একটি আহিত কণা এবং এই গতিগুলোর অধিকারী। তাই তড়িতের এমন একটি ক্ষুদ্র লুপ হিসাবে গণ্য করা যায়, যার চৌম্বক ভ্রামক রয়েছে। এইভাবে, প্রত্যেক ইলেকট্রনের স্থায়ী ঘূর্ণন আছে এবং এর সঙ্গে সম্পর্কযুক্ত একটি কক্ষকজনিত চৌম্বক ভ্রামক বর্তমান। চৌম্বকীয় ভ্রামকের এই মান খুবই কম এবং বোর ম্যাগনেটন এককে মাপা হয় ($\mu_B$)। এটি $9.27 \times 10^{-24} A\ m^2$ এর সমান।




*চিত্র 1.35: (a) একটি কক্ষপথের ইলেকট্রন এবং (b) একটি ঘূর্ণায়মান ইলেকট্রন এর সঙ্গে যুক্ত চৌম্বক ভ্রামকের প্রদর্শন*

তাদের চৌম্বক ধর্মের উপর ভিত্তি করে পদার্থগুলোকে পাঁচটি শ্রেণিতে ভাগ করা যায়। (i) পরাচুম্বকীয় (paramagnetic) (ii) তিরশ্চম্বকীয় (diamagnetic) (iii) ফেরোম্যাগনেটিক (ferromagnetic) (iv) এন্টিফেরোম্যাগনেটিক (antiferromagnetic) এবং (v) ফেরিম্যাগনেটিক (ferrimagnetic).

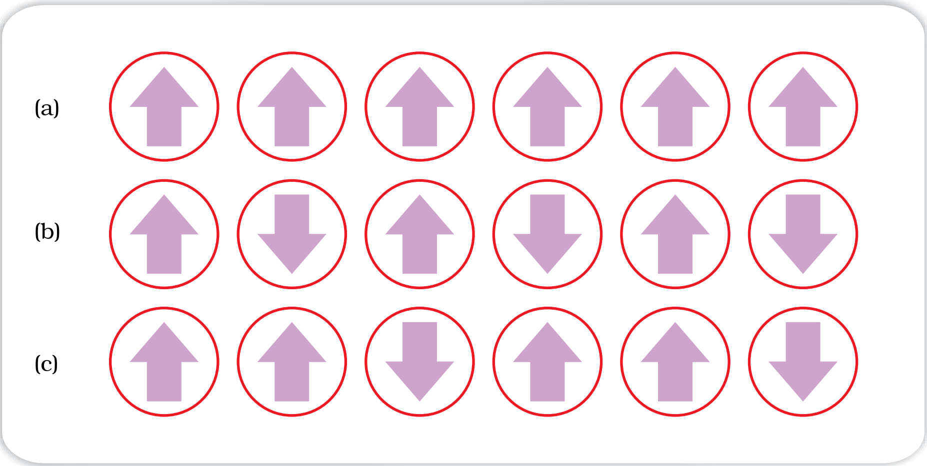
(i) *পরাচুম্বকত্ব (Paramagnetism) ঃ* পরাচুম্বকীয় পদার্থগুলো চুম্বক ক্ষেত্র দ্বারা দুর্বলভাবে আকর্ষিত হয়। এরা একটি চৌম্বকক্ষেত্রে একই দিকে চুম্বকিত হয়। চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুপস্থিতিতে এরা চুম্বকত্ব হারায়। এক বা একাধিক বিজোড় ইলেকট্রনের উপস্থিতির জন্য পরা চুম্বকত্বের সৃষ্টি হয় যারা চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা আকর্ষিত হয়। $O_2$, $Cu^{2+}$, $Fe^{3+}$, $Cr^{3+}$ হল এই ধরনের পদার্থের কিছু উদাহরণ।

(ii) *তিরশ্চুম্বকত্ব (Diamagnetism):* ডায়াম্যাগনেটিক বা তিরশ্চুম্বকীয় পদার্থগুলো চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা দুর্বল ভাবে বিকর্ষীত হয়। $H_2O$, NaCl এবং $C_6H_6$ হল এরূপ পদার্থের কিছু উদাহরণ। এরা চৌম্বকক্ষেত্রে বিপরীত দিকে দুর্বলভাবে চুম্বকিত হয়। যেসব পদার্থে সমস্ত ইলেকট্রন জোড়বদ্ধ থাকে এবং কোন বিজোড় ইলেকট্রন থাকে না সেগুলো ডায়াম্যাগনেটিজম/তিরশ্চুম্বকত্ব প্রদর্শণ করে। ইলেকট্রনগুলো জোড় হওয়ার কারণে এদের চৌম্বক ভ্রামক নষ্ট হয় এবং এরা তাদের চৌম্বকীয় চরিত্র হারায়।

(iii) *অয়শ্চৌম্বকীয় (Ferromagnetism)*: আয়রন, কোবাল্ট, নিকেল, গাডোলিনিয়াম এবং $CrO_2$ এর মতো কিছু পদার্থ চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা তীব্রভাবে আকৃষ্ট হয়। এই প্রকারের পদার্থগুলোকে অয়শ্চৌম্বকীয় (ফেরোম্যাগনেটিক) পদার্থ বলে। তীব্র আকর্ষণ ছাড়াও এই পদার্থগুলোকে স্থায়ীভাবে চুম্বকিত করা যায়। কঠিন অবস্থায় অয়শ্চৌম্বকীয় পদার্থের ধাতব আয়নগুলো একটি ক্ষুদ্র এলাকায় পুঞ্জিভূত হয়, যাকে ডোমেইন বলে। এইভাবে প্রত্যেকটি ডোমেইন একটি ক্ষুদ্র চুম্বক হিসাবে কাজ করে। ফেরোম্যাগনেটিক/অয়শ্চৌম্বকীয় পদার্থের একটি অচুম্বকীয় টুকরোতে ডোমেইনগুলো এলোমেলো ভাবে সজ্জিত থাকে এবং তাদের চৌম্বক ভ্রামক নষ্ট হয়ে যায়। যখন পদার্থটিকে একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে রাখা হয়, তখন সমস্ত ডোমেইনগুলো চৌম্বকক্ষেত্রের অভিমুখে সজ্জিত হয় (চিত্র 1.36 a) এবং একটি শক্তিশালী চৌম্বকীয় প্রভাব সৃষ্টি হয়। এমন কি চৌম্বক ক্ষেত্র সরিয়ে নিলেও ডোমেইনগুলোর এই বিন্যাস স্থায়ী হয় এবং অয়শ্চৌম্বকীয়/ফেরোম্যাগনেটিক পদার্থ স্থায়ী চুম্বকে পরিনত হয়।

(iv) *অ্যান্টিফেরোম্যাগনেটিজম (Antiferromagnetism)*: MnO এর মতো পদার্থগুলো যারা অ্যান্টিফেরোম্যাগনেটিজম প্রদর্শণ করে তাদের ডোমেইন এর গঠন ফেরোম্যাগনেটিক পদার্থের মত হয়, কিন্তু তাদের ডোমেইনগুলো বিপরীত অভিমুখে সজ্জিত থাকে এবং একটি অপরটির চৌম্বক ভ্রামককে নষ্ট করে দেয় (1.36 b)।

(v) *ফেরিম্যাগনেটিজম (Ferrimagnetism)*: যখন পদার্থের ডোমেইনগুলোর চৌম্বক ভ্রামক সমান্তরালভাবে এবং অসমান্তরালভাবে অসম সংখ্যায় সারিবদ্ধ থাকে তখন ফেরিম্যাগনেটিজম পর্যবেক্ষণ করা যায় (চিত্র 1.36c)। এরা ফেরোম্যাগনেটিক পদার্থের তুলনায় চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা দুর্বলভাবে আকৃষ্ট হয়। $Fe_3O_4$ (ম্যাগনেটাইট) এবং $MgFe_2O_4$ এবং $ZnFe_2O_4$-এর মত ফেরাইট্সগুলো হলো এরূপ পদার্থের উদাহরণ। এই পদার্থগুলোকেও উত্তপ্ত করলে ফেরোচুম্বকত্ব হারায় এবং পরাচুম্বকীয় (প্যারাম্যাগনেটিক) পদার্থে পরিনত হয়।




**চিত্র 1.36** (a) ফেরোম্যাগনেটিক (অয়শ্চৌম্বকীয়) (b) অ্যান্টিফেরোম্যাগনেটিক এবং (c) ফেরিম্যাগনেটিক-এর চৌম্বক ভ্রামক (ম্যাগনেটিক মোমেন্ট) এর নির্দিষ্ট বিন্যাস।

## বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলি

**1.19** একটি কঠিনকে উত্তপ্ত করলে কোন ধরনের ত্রুটি সৃষ্টি হয়? এর দ্বারাা কোন্ ভৌতধর্ম প্রভাবিত হয় এবং কিভাবে প্রভাবিত হয়?

**1.20** কোন্ ধরনের স্টয়সিওমেট্রিক ত্রুটি প্রদর্শণ করে?
(i) ZnS (ii) AgBr

**1.21** যখন উচ্চ যোজ্যতা সম্পন্ন একটি ক্যাটায়ন অশুদ্ধি হিসাবে যোগ করা হয়, তখন একটি আয়নীয় কঠিনে কিভাবে শূণ্যস্থানের সৃষ্টি হয় তা ব্যাখ্যা কর।

**1.22** আয়নীয় কঠিন, যাদের মধ্যে ধাতব আধিক্যজনিত ত্রুটি থাকার ফলে অ্যানায়নিক ফাঁকা স্থান উপস্থিত থাকে তারা বর্ণ যুক্ত হয়। উপযুক্ত উদাহরণ সহ ব্যাখ্যা করো।

**1.23** একটি গ্রুপ 14 মৌলকে উপযুক্ত অশুদ্ধি যোগ করে n-টাইপ অর্ধ পরিবাহীতে রূপান্তরিত করতে হবে। এই অশুদ্ধি কোন্ গ্রুপের অন্তর্গত হতে হবে?

**1.24** কোন্ ধরনের পদার্থ স্থায়ী চুম্বক তৈরির জন্য বেশী উপযুক্ত? ফেরোম্যাগনেটিক অথবা ফেরিম্যাগনেটিক, তোমার উত্তরের সাপেক্ষে যুক্তি দাও।

## সারাংশ

কঠিন পদার্থের নির্দিষ্ট ভর, আয়তন এবং আকৃতি আছে। উপাদান কণাগুলোর স্থায়ী অবস্থান, তাদের মধ্যে স্বল্পদূরত্ব এবং শক্তিশালী মিথোষ্ক্রিয়ার জন্য এরূপ হয়ে থাকে। অনিয়তাকার কঠিনে উপাদান কণাগুলোর নিয়মিত সজ্জা/বিন্যাস স্বল্প দূর পর্যন্ত বিস্তৃত থাকে (**short range order**)। ফলস্বরূপ এরা অতিশীতলীকৃত তরল হিসাবে আচরণ করে। তাদের নির্দিষ্ট গলনাঙ্ক থাকে না এবং সমসারক প্রকৃতির হয়। কেলাসাকার কঠিনে, তাদের গঠনকারী কণাগুলোর নিয়মিত সজ্জা/বিন্যাসটি বহুদূর পর্যন্ত বিস্তৃত। তাদের নির্দিষ্ট গলনাঙ্ক থাকে। এরা অসমসারক প্রকৃতির এবং তাদের কণাগুলোর নির্দিষ্ট আকৃতি বর্তমান। কেলাসাকার কঠিনের ধর্ম তাদের গঠনকারী কণাগুলোর মিথোষ্ক্রিয়ার প্রকৃতির উপর নির্ভর করে। এর উপর ভিত্তি করে তাদের চারটি শ্রেণিতে যথা আণবিক, আয়নীয়, ধাতব এবং সমযোজী কঠিনে ভাগ করা যায়। তাদের ধর্মের মধ্যে ব্যাপক পার্থক্য দেখা যায়।

কেলাসাকার কঠিনে উপাদান কণাগুলো সুষমভাবে বিন্যস্ত থাকে যা সমস্ত কেলাসে বিস্তৃত হয়। এই বিন্যাস সর্বদাই বিন্দুগুলোর ত্রিমাত্রিক বিন্যাসরূপে বর্ণনা করা হয় থাকে কেলাস জালক বলে। প্রত্যেক জালক বিন্দু শূণ্যে একটি কণার অবস্থান চিহ্নিত করে। সব মিলিয়ে চৌদ্দটি বিভিন্ন ধরণের জালক সম্ভব যাদের ব্রেভিস জালক বলে। প্রত্যেক জালক এটির ক্ষুদ্র বিশিষ্ট পূর্ণ অংশের পুনরাবৃত্তির দ্বারা উৎপন্ন করা যেতে পারে যাকে একক কোশ বলে। একটি একক কোশকে এর কিনারা (প্রান্ত) দৈর্ঘ্য এবং কিনারাগুলোর মধ্যকার তিনটি কোন দ্বারা চিহ্নিত করা হয়। একক কোশ হয় সরল/আদিম যার কণাগুলো কেবলমাত্র তাদের কৌণিক অবস্থানে থাকে অথবা কেন্দ্রীক হয়। কেন্দ্রীক একক কোশগুলোর দেহ কেন্দ্রে (দেহকেন্দ্রীক)। প্রত্যেকটির পৃষ্ঠের কেন্দ্রে (পৃষ্ঠকেন্দ্রীক) অথবা দুটি বিপরীত পৃষ্ঠের কেন্দ্রে (প্রান্তকেন্দ্রীক) অতিরিক্ত কণা অবস্থান করে। সাত প্রকারের সরল/আদিম একক কোশ বর্তমান। কেন্দ্রীক একক কোশগুলোকেও গণনায় আনলে মোট চৌদ্দ প্রকারের একক কোশ পাওয়া যায়। যার ফলস্বরূপ চৌদ্দটি ব্রেভিস জালকের উৎপত্তি হয়।

কণাগুলোর ঘন সন্নিবেশের ফলস্বরূপ দুটি অত্যন্ত কার্যকরী জালক, ষড়ভূজাকার ঘনসন্নিবিষ্ট (**hcp**) এবং ঘনকাকার ঘনসন্নিবিষ্ট (**ccp**) কেলাসের সৃষ্টি হয়। পরবর্তীটিকে পৃষ্ঠকেন্দ্রিক (**fcc**) ঘনকাকার জালক বলে। এই উভয় প্রকার প্যাকিং এ 74% খালিজায়গা পূর্ণ হয়। বাকী খালি জায়গা দুই ধরনের ফাঁকা স্থান- অষ্টতলকীয় ফাঁকা স্থান এবং চতুস্তলকীয় ফাঁকা স্থান থাকে। অন্যান্য ধরনের প্যাকিং ঘনসন্নিবিষ্ট নয় এবং কণাগুলোর প্যাকিং

দক্ষতা কম। যদিও দেহকেন্দ্রীক ঘনকাকার জালকে মোট আয়তনের (bcc) 68% স্থান কণা দ্বারা অধিকৃত থাকে এবং সরল ঘনকাকার জালকে কেবলমাত্র 52.4% স্থান কণা দ্বারা অধিকৃত থাকে।

কঠিনগুলো গঠনের দিক দিয়ে নিঁখুত নয়। তাদের মধ্যে নানা ধরনের অসম্পূর্ণতা বা ত্রুটি দেখা যায়। বিন্দু গঠিত ত্রুটি এবং রেখা গঠিত ত্রুটি হল সাধারণ ধরনের ত্রুটি। বিন্দু গঠিত ত্রুটি তিন প্রকারের- স্টয়সিওমেট্রিক ত্রুটি, অশুদ্ধিজনিত ত্রুটি এবং নন্‌স্টয়সিওমেট্রিক ত্রুটি। শূণ্যস্থান/ফাঁকা স্থান জনিত ত্রুটি এবং আন্ত:স্থানিক ত্রুটি হল স্টয়সিওমেট্রিক বিন্দু গঠিত ত্রুটির দুইটি মৌলিক প্রকারভেদ। আয়নীয় কঠিন গুলোতে এই প্রকারের ত্রুটিগুলো ফ্রেংকেল এবং স্কটকি ত্রুটি রূপে উপস্থিত থাকে। কেলাসে উপস্থিত অশুদ্ধি, অশুদ্ধিজনিত ত্রুটির কারণ। আয়নীয় কঠিন গুলোতে যখন আয়নীয় অশুদ্ধিগুলো মূল যৌগ থেকে ভিন্ন ধরনের যোজ্যতা প্রদর্শণ করে, তখন কিছু খালি জায়গার/শূণ্যস্থানের সৃষ্টি হয়। নন্‌স্টয়সিওমেট্রিক ত্রুটি গুলো হল—ধাতব আধিক্য জনিত (**metal excess**) এবং ধাতব ঘাটতি (**metal deficient**) জনিত ত্রুটি। কখনও কখনও অর্ধপরিবাহীতে উপযুক্ত পরিমাণ অশুদ্ধি ডোপিং এর মাধ্যমে তাদের তড়িৎ ধর্ম পরিবর্তন করা যায়। এইরূপ পদার্থগুলো ইলেকট্রনিক শিল্পে ব্যাপকভাবে ব্যবহৃত হয়। কঠিন পদার্থগুলো নানা প্রকারের চৌম্বক ধর্ম যথা পরাচুম্বকত্ব (**paramagnetism**)/ তিরশ্চুম্বকত্ব (**diamagnetism**), ফেরোম্যাগনেটিজম, অ্যান্টিফেরোম্যাগনেটিজম এবং ফেরোম্যাগনেটিজম প্রদর্শণ করে। এই ধর্মগুলো অডিও, ভিডিও এবং অন্যান্য রেকর্ডিং যন্ত্রে ব্যবহৃত হয়। এই সকল ধর্মগুলোকে তাদের ইলেকট্রন বিন্যাস বা গঠনের সঙ্গে সম্পর্কযুক্ত করা যেতে পারে।

## অনুশীলনী

**1.1** 'অনিয়তাকার' (amorphous) পদটির সংজ্ঞা দাও। অনিয়তাকার কঠিনের কয়েকটি উদাহরণ দাও।

**1.2** কোয়ার্জের মত কঠিন পদার্থ থেকে কাঁচকে কিভাবে পার্থক্য করা যায়? কোন্ কোন্ শর্তে কোয়ার্জকে কাঁচে রূপান্তরিত করা যায়?

**1.3** নীচের প্রত্যেকটি কঠিন পদার্থকে আয়নীয়, ধাতব, আণবিক, নেটওয়ার্ক (সমযোজী) বা অনিয়তাকার কঠিন রূপে শ্রেণিভুক্ত করো।

(i) টেট্রা ফসফরাস ডেকোক্সাইড ($P_4O_{10}$)
(ii) অ্যামোনিয়াম ফসফেট $(NH_4)_3PO_4$
(iii) SiC
(iv) $I_2$
(v) $P_4$
(vi) প্লাস্টিক
(vii) গ্রাফাইট
(viii) পিতল
(ix) Rb
(x) LiBr
(xi) Si

**1.4** (i) সর্বগাঙ্ক সংখ্যা/কোঅর্ডিনেশন সংখ্যা বলতে কি বোঝায়?
(ii) পরমাণুগুলোর সর্বগাঙ্ক সংখ্যা (co-ordination)/কোঅর্ডিনেশন সংখ্যা কত?
(a) ঘনকাকার ঘনসন্নিবিষ্ট গঠনে
(b) দেহকেন্দ্রীক ঘনকাকার গঠনে

**1.5** তোমরা কিভাবে একটি অজানা ধাতুর পারমাণবিক ভর নির্ণয় করবে যদি তোমরা এর ঘনত্ব এবং এর একক কোশের মাত্রা জানো? -ব্যাখ্যা কর।

**1.6** 'কেলাসের স্থায়িত্ব এর গলনাঙ্কের মানের দ্বারা প্রতিফলিত হয়। মন্তব্য করো। কঠিন জল, ইথাইল অ্যালকোহল, ডাই ইথাইল ইথার এবং মিথেন এর গলনাঙ্ক একটি তথ্য বই থেকে সংগ্রহ করো। এই অণুগুলোর মধ্যে আন্তঃআণবিক বল সম্পর্কে তোমরা কী বলতে পারো?

**1.7** নিম্নের পদজোড়াগুলোকে তোমরা কিভাবে পার্থক্য করবে:

(i) ষড়ভূজাকার ঘনসন্নিবেশ এবং ঘনকাকার ঘনসন্নিবেশ?

(ii) কেলাস জালক এবং একক কোশ?

(iii) চতুস্তলকীয় ফাঁকা স্থান (Tetrahedral void) এবং অষ্টতলকীয় ফাঁকা স্থান (octahedral void)?

**1.8** নীচের প্রত্যেকটি জালকের একটি একক কোশে কতকগুলো জালক বিন্দু বর্তমান?

(i) পৃষ্ঠকেন্দ্রীক ঘনক

(ii) পৃষ্ঠকেন্দ্রীক চতুষ্কোনাকার (tetragonal)

(iii) দেহ কেন্দ্রীক

**1.9** ব্যাখ্যা কর—

(i) ধাতব ও আয়নীয় কেলাসের মধ্যে সাদৃশ্য ও বৈসাদৃশ্যের পার্থক্যের ভিত্তি

(ii) আয়নীয় কঠিনগুলো শক্ত এবং ভঙ্গুর

**1.10** ধাতব কেলাসের প্যাকিং দক্ষতা গণনা কর।

(i) সরল ঘনকাকার

(ii) দেহ কেন্দ্রীক ঘনকাকার

(iii) পৃষ্ঠ কেন্দ্রীক ঘনকাকার (পরমাণুগুলো পরস্পরকে স্পর্শ করে আছে ধরে)

**1.11** সিলভার fcc জালকে কেলাসিত হয়। যদি একক কোশটির কিনারা দৈর্ঘ্য $4.07 \times 10^{-8}$ cm এবং ঘনত্ব 10.5 g $cm^{-3}$ হয় তবে সিলভারের পারমাণবিক ভর গণনা কর।

**1.12** একটি ঘনকাকার কঠিন দুটি মৌল P এবং Q দ্বারা গঠিত হয়। Q এর পরমাণুগুলো ঘনকের কৌণিক বিন্দুতে অবস্থিত এবং P পরমাণু দেহকেন্দ্রে অবস্থিত। যৌগটির সংকেত কি হবে? P এবং Q এর সর্বগাঙ্ক সংখ্যা কত?

**1.13** নায়োবিয়াম দেহকেন্দ্রীক ঘনকাকার গঠনে কেলাসিত হয়। যদি ঘনত্ব 8.55 g $cm^{-3}$ হয়, এর পারমাণবিক ভর 93 u ধরে নায়োবিয়াম এর পারমাণবিক ব্যাসার্ধ গণনা কর।

**1.14** যদি অষ্টতলকীয় ফাঁকাস্থানের ব্যাসার্ধ r এবং ঘনসন্নিবিষ্ট পরমাণুর ব্যাসার্ধ R হয় তবে r এবং R এর মধ্যে সম্পর্ক প্রতিষ্ঠা করো।

**1.15** কপার fcc জালকে কেলাসিত হয় যার কিনারা দৈর্ঘ্য $3.61 \times 10^{-8}$ cm দেখাও যে, গণনালব্ধ ঘনত্বের পরিমিত মান 8.92 g $cm^{-3}$ এর সঙ্গে সংগতিপূর্ণ।

**1.16** বিশ্লেষণ দেখাও যে, নিকেল অক্সাইড এর সংকেত $Ni_{0.98}O_{1.00}$ নিকেলের কত ভগ্নাংশ $Ni^{2+}$ এবং $Ni^{3+}$ আয়নরূপে বিদ্যমান থাকে।

**1.17** অর্ধপরিবাহী কী? দুটি প্রধান প্রকারের অর্ধ পরিবাহী বর্ণনা কর এবং তাদের পরিবহণ কৌশলের পার্থক্য করো।

**1.18** নন-স্টয়সিওমেট্রিক কিউপ্লাস অক্সাইড, $Cu_2O$ পরীক্ষাগারে প্রস্তুত করা যায়। এই অক্সাইডে কপার ও অক্সিজেনের অনুপাত 2:1 এর কিছু কম হয়। তোমরা কি সঠিকভাবে বলতে পারো যে এই পদার্থটি একটি p-টাইপ অর্ধপরিবাহী।

**1.19** ফেরিক অক্সাইড, অক্সাইড আয়নের ষড়ভূজাকার ঘন সন্নিবেশে কেলাসিত হয় যার মধ্যে প্রতি তিনটি অষ্টতলকীয় ফাঁকাস্থানের মধ্যে দুটি ফেরিক আয়ন দ্বারা অধিকৃত থাকে। ফেরিক অক্সাইডের সংকেত নির্ণয় করো।

**1.20** নিচের প্রত্যেকটিকে হয় একটি p-টাইপ বা একটি n-টাইপ অর্ধপরিবাহী রূপে শ্রেণিভূক্ত করো।

(i) Ge কে In এর সঙ্গো ডোপ করা হল। (ii) Si কে B এর সঙ্গো ডোপ করা হল।

**1.21** গোল্ড (পারমাণবিক ব্যাসার্ধ = 0.144 nm) পৃষ্ঠকেন্দ্রীক একক কোশে কেলাসিত হয়। কোশটির কিনারা দৈর্ঘ্য কত?

**1.22** পটিব্যান্ড তত্ত্ব দ্বারা পার্থক্য করো ঃ

(i) পরিবাহী এবং অন্তরক এর মধ্যে

(ii) পরিবাহী এবং অর্ধপরিবাহীর মধ্যে

**1.23** উপযুক্ত উদাহরণসহ নীচের পদগুলো ব্যাখ্যা করো।

(i) স্কট্‌কি ত্রুটি (Schottky defect) (ii) ফ্রেনকেল ত্রুটি (Frenkel defect)

(iii) অন্ত:স্থানিক (Interstitials) এবং (iv) F-কেন্দ্র (F-centres).

**1.24** অ্যালুমিনিয়াম ঘনকাকার ঘনসন্নিবেশে কেলাসিত হয় এবং ধাতব ব্যাসার্ধ 125 pm.

(i) এর একক কোশের কিনারার দৈর্ঘ্য কত?

(ii) 1.00 $cm^3$ অ্যালুমিনিয়ামের মধ্যে কয়টি একক কোশ বর্তমান?

**1.25** যদি NaCl কে $10^{-3}$ mol % of $SrCl_2$, দ্বারা ডোপ করা হয়, তবে ক্যাটায়ন শূণ্যতার গাঢ়ত্ব কত?

**1.26** উপযুক্ত উদাহরণ সহ নীচের গুলো ব্যাখ্যা করো।

(i) অয়শ্চৌম্বকত্ব (Ferromagnetism)

(ii) পরাচৌম্বকত্ব (Paramagnetism)

(iii) ফেরিম্যাগনেটিজম (Ferrimagnetism)

(iv) অ্যান্টিফেরোম্যাগনেটিজম (Antiferromagnetism)

(v) 12-16 এবং 13-15 গ্রুপ যৌগসমূহ

## বিষয়ভিত্তিক কিছু প্রশ্নাবলির উত্তরমালা

**1.14** 4

**1.15** ফাঁকাস্থানের মোট সংখ্যা $= 9.033 \times 10^{23}$

চতুস্তলকীয় ফাঁকাস্থানের সংখ্যা $= 6.022 \times 10^{23}$

**1.16** $M_2N_3$

**1.18** ccp

অধ্যায়

# 2

# দ্রবণ

## অধ্যায়

এই অধ্যায়টি অধ্যয়নের পর তোমরা জানতে সক্ষম হবে :

- বিভিন্ন ধরনের দ্রবণের গঠন বর্ণনা করতে।
- বিভিন্ন এককে দ্রবণের গাঢ়ত্ব প্রকাশ করতে।
- হেনরির সূত্র এবং রাউল্টের সূত্র বিবৃত এবং ব্যাখ্যা করতে।
- আদর্শ এবং অনাদর্শ দ্রবণের পার্থক্য করতে।
- রাউল্টের সূত্র থেকে প্রকৃত দ্রবণের বিচ্যুতির ব্যাখ্যা দিতে।
- দ্রবণের সংখ্যাগত ধর্মের বর্ণনা এবং এদের সঙ্গে দ্রাবের আণবিক ভরের সম্পর্ক স্থাপন করতে।
- দ্রবণে কিছু দ্রাবের অস্বাভাবিক সংখ্যাগত ধর্মের ব্যাখ্যা করতে।

*দেহের অভ্যন্তরে প্রায় সমস্ত প্রক্রিয়াগুলোই ঘটে কিছু সংখ্যক তরল দ্রবণের মাধ্যমে।*

আমাদের স্বাভাবিক জীবনে আমরা খুবই কম সংখ্যক বিশুদ্ধ পদার্থ পেয়ে থাকি। তাদের অধিকাংশই দুই বা ততোধিক বিশুদ্ধ পদার্থের মিশ্রণ। আমাদের স্বাভাবিক জীবনে তাদের প্রয়োজনীয়তা বা গুরুত্ব এদের সংযুতির উপর নির্ভরশীল। উদাহরণস্বরূপ, পিতলের (কপার ও জিঙ্কের মিশ্রণ) ধর্মাবলি জার্মান সিলভার (কপার, জিঙ্ক এবং নিকেলের মিশ্রণ) অথবা ব্রোঞ্জের (কপার ও টিনের মিশ্রণ) ধর্মাবলি থেকে অনেক ভিন্ন। জলের মধ্যে দশ লক্ষ ভাগের এক ভাগ (ppm) ফ্লুরাইড আয়নের উপস্থিতি দাঁতের ক্ষয় প্রতিরোধ করে, যদিও ফ্লুরাইড আয়নের পরিমাণ 1.5 ppm হলে দাঁতের উপর নানা বর্ণের দাগ সৃষ্টি করে এবং ফ্লুরাইড আয়নের অধিক গাঢ়ত্ব বিষাক্ত হতে পারে (যেমন- ইঁদুরের বিষে সোডিয়াম ফ্লুরাইড ব্যবহৃত হয়), শিরায় প্রদানের (ইনট্রাভেনাস) ইনজেকসনগুলো সর্বদা একটি নির্দিষ্ট গাঢ়ত্বের লবণ সমন্বিত জলের মধ্যে দ্রবীভূত করা থাকে, এই গাঢ়ত্ব রক্তরসের গাঢ়ত্বের সাথে মানানসই হয় এবং এধরণের আরো বহু উদাহরণ দেওয়া যাবে।

এই অধ্যায়ে আমরা মূলত তরল দ্রবণ এবং এদের গঠন নিয়ে আলোচনা করব। বাষ্পচাপ এবং সংখ্যাগত ধর্মের মতো দ্রবণের কিছু বিশেষ ধর্মাবলি অনুশীলনের মাধ্যমে এই আলোচনা এগিয়ে যাবে। আমরা দ্রবণের প্রকারভেদ দিয়ে শুরু করব এবং এরপর বিভিন্ন বিষয় যেগুলো তরল দ্রবণে দ্রাবের গাঢ়ত্ব প্রকাশ করে সেগুলো নিয়ে আলোচনা করব।

## 2.1 দ্রবণের প্রকারভেদ

দ্রবণ হল দুই বা ততোধিক উপাদানের সমসত্ত্ব মিশ্রণ। সমসত্ব মিশ্রণ বলতে আমরা বুঝি যে, মিশ্রণের সমস্ত অংশে এর সংযুতি এবং ধর্মাবলি অভিন্ন হবে। সাধারণত, যে উপাদানটি অধিক পরিমাণে থাকে তাকে দ্রাবক বলে। দ্রবণটি কোন ভৌত অবস্থায় থাকবে তা দ্রাবকই নির্ধারণ করবে। দ্রাবক ছাড়া দ্রবণের মধ্যে এক বা একাধিক যে সকল উপাদান উপস্থিত থাকে তাদের দ্রাব বলা হয়। আমরা এই অধ্যায়ে শুধুমাত্র বাইনারী দ্রবণ (অর্থাৎ দুইটি উপাদান নিয়ে গঠিত) সম্পর্কে আলোচনা করব।

এক্ষেত্রে প্রতিটি উপাদান কঠিন, তরল বা গ্যাসীয় অবস্থায় থাকতে পারে এবং সারণি 2.1 এ সংক্ষিপ্ত আকারে এদের তালিকাবদ্ধ করা হল।

সারণি **2.1:** দ্রবণের প্রকারভেদ

| দ্রবণের প্রকারভেদ | দ্রাব | দ্রাবক | প্রচলিত উদাহরণ |
|---|---|---|---|
| *গ্যাসীয় দ্রবণ* | গ্যাস | গ্যাস | অক্সিজেন ও নাইট্রোজেন গ্যাসের মিশ্রণ |
| | তরল | গ্যাস | নাইট্রোজেন গ্যাস মিশ্রিত ক্লোরোফর্ম |
| | কঠিন | গ্যাস | নাইট্রোজেন গ্যাসে কর্পূরের মিশ্রণ |
| *তরল দ্রবণ* | গ্যাস | তরল | জলে দ্রবীভূত অক্সিজেন |
| | তরল | তরল | জলে দ্রবীভূত ইথানল |
| | কঠিন | তরল | জলে দ্রবীভূত গ্লুকোজ |
| *কঠিন দ্রবণ* | গ্যাস | কঠিন | প্যালাডিয়ামে হাইড্রোজেনের দ্রবণ |
| | তরল | কঠিন | সোডিয়াম ও পারদের পারদ সংকর |
| | কঠিন | কঠিন | গোল্ডে দ্রবীভূত কপার |

## 2.2 দ্রবণের গাঢ়ত্ব প্রকাশ

কোন দ্রবণের সংযুতি দ্রবণটির গাঢ়ত্ব প্রকাশের মাধ্যমে ব্যাখ্যা করা যেতে পারে। দ্রবণের গাঢ়ত্ব গুণগত অথবা পরিমাণগত দুভাবেই প্রকাশ করা যেতে পারে। উদাহরণস্বরূপ, গুণগতভাবে আমরা বলতে পারি যে, দ্রবণটি লঘু (অর্থাৎ অপেক্ষাকৃত খুব কম পরিমাণে দ্রাব উপস্থিত) অথবা গাঢ় (অর্থাৎ অপেক্ষাকৃত খুব বেশী পরিমাণে দ্রাব উপস্থিত)। কিন্তু, বাস্তবে এই ধরনের বর্ণনা অনেক ধরনের বিভ্রান্তি সৃষ্টি করে এবং এজন্য দ্রবণের পরিমাণগত বর্ণনার প্রয়োজন পড়েছে।

অনেক ধরনের পদ্ধতি রয়েছে যাদের সাহায্যে দ্রবণের গাঢ়ত্বকে আমরা পরিমাণগতভাবে প্রকাশ করতে পারি।

(i) ভর শতকরা মাত্রা *(w/w)*: দ্রবণের কোনো উপাদানের ভর শতকরা মাত্রাকে নিম্নরূপে সংজ্ঞায়িত করা যায়।

কোন উপাদানের ভর শতকরা মাত্রা

$$= \frac{\text{দ্রবণে উপাদানটির ভর}}{\text{দ্রবণের মোট ভর}} \times 100 \qquad (2.1)$$

উদাহরণস্বরূপ, গ্লুকোজের জলীয় দ্রবণের ভর শতকরা মাত্রা 10% বলতে বুঝায় 10 g গ্লুকোজকে 90 g জলের মধ্যে দ্রবীভূত করে দ্রবণটির 100 g পরিমাণ তৈরি করা হয়েছে। ভর শতকরা মাত্রার সাহায্যে প্রকাশিত গাঢ়ত্বকে সাধারণত শিল্পে রাসায়নিক পদার্থের প্রয়োগের ক্ষেত্রে ব্যবহার করা হয়। উদাহরণস্বরূপ, বাণিজ্যিক বিরঞ্জক ব্লিচিং দ্রবণে জলের মধ্যে 3.62 ভর শতকরা পরিমাণ সোডিয়াম হাইপোক্লোরাইট উপস্থিত থাকে।

(ii) *আয়তন শতকরা মাত্রা (V/V)*: আয়তন শতকরা মাত্রার সংজ্ঞা হল,

$$\text{কোনো উপাদানের আয়তন শতকরা মাত্রা} = \frac{\text{উপাদানটির আয়তন}}{\text{দ্রবণের মোট আয়তন}} \times 100 \qquad (2.2)$$

উদাহরণস্বরূপ, 10% ইথানলের জলীয় দ্রবণ কথার অর্থ হল যে, 10 mL ইথানল জলে দ্রবীভূত করে দ্রবণের মোট আয়তন 100 mL করা হয়েছে। তরল দ্রবণের ক্ষেত্রে সাধারনত এই একক ব্যবহার করা হয়। উদাহরণস্বরূপ, 35% (*v/v*) ইথিলিন গ্লাইকলের দ্রবণ, একটি হিমাঙ্করোধক দ্রবণ এবং গাড়ীতে ইঞ্জিন ঠান্ডা রাখার জন্য ব্যবহৃত হয়। এই গাঢ়ত্বে হিমাঙ্করোধকটি জলের হিমাঙ্ক কমিয়ে 255.4K (–17.6°C) করে।

(iii) *ওজন-আয়তন ভিত্তিতে শতকরা মাত্রা (w/V)*: আরেকটি একক যা সাধারণত ঔষধ এবং ফার্মেসীতে ব্যবহৃত হয় তা হল ওজন-আয়তন ভিত্তিতে শতকরা মাত্রা। এটি হল 100 mL দ্রবণে দ্রবীভূত দ্রাবের ওজন।

(iv) *প্রতি দশ লক্ষ ভাগ ওজনের দ্রবণে দ্রাবের অংশ (ppm) :* যখন কোনো দ্রবণের মধ্যে খুব কম পরিমাণে দ্রাব উপস্থিত থাকে, তখন গাড়ত্বকে **parts per million (ppm)** এককে প্রকাশ করা সুবিধাজনক হয় এবং একে নিম্নরূপে সংজ্ঞায়িত করা যায়।

প্রতি দশ লক্ষ ভাগ ওজনে দ্রাবের অংশ **(parts per million)** =

$$\frac{\text{উপাদানটির অংশ}}{\text{দ্রবণে উপস্থিত সমস্ত উপাদানের মোট অংশ}} \times 10^6 \qquad (2.3)$$

শতকরা মাত্রার মতো, parts per million এককেও গাঢ়ত্বকে ওজন-ওজন, আয়তন-আয়তন এবং ওজন-আয়তন হিসাবে প্রকাশ করা যায়। এক লিটার সমুদ্রের জলে (যার ওজন 1030 g) প্রায় $6 \times 10^{-3}$ g দ্রবীভূত অক্সিজেন ($O_2$) থাকে। এত কম গাঢ়ত্বকে সমুদ্রের জলের প্রতি $10^6$ g এ (5.8 ppm) হিসাবেও প্রকাশ করা যায়। জলে অথবা বায়ুমন্ডলে দূষকের গাঢ়ত্বকে প্রায়ই $\mu g\ ml^{-1}$ অথবা ppm এককে প্রকাশ করা হয়।

(v) *মোল ভগ্নাংশ (Mole fraction) :* মোল ভগ্নাংশকে সাধারণত $x$ চিহ্ন দিয়ে প্রকাশ করা হয় এবং $x$ এর ডানদিকে ব্যবহৃত উত্তরপদ (Subscript) উপদানটিকে নির্দেশ করে। একে নিম্নরূপে সংজ্ঞায়িত করা যায় :

কোনো উপাদানের মোল ভগ্নাংশ =

$$\frac{\text{উপাদানটির মোলসংখ্যা}}{\text{সকল উপাদানের মোট মোলসংখ্যা}} \qquad (2.4)$$

উদাহরণস্বরূপ, একটি দ্বি-উপাদান সমন্বিত (বাইনাইর মিশ্রণ) মিশ্রণে যদি A এবং B -এর মোল সংখ্যা যথাক্রমে $n_A$ এবং $n_B$ হয়, তাহলে A এর মোল ভগ্নাংশ হবে,

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

i সংখ্যক উপাদানের সমন্বয়ে গঠিত দ্রবণের ক্ষেত্রে, আমরা পাই,

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

এটি দেখানো যায় যে, কোনো একটি প্রদত্ত দ্রবণের ক্ষেত্রে উপস্থিত সমস্ত উপাদানগুলোর মোল ভগ্নাংশের সমষ্টির মান একক হয়, অর্থাৎ

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

দ্রবণের বেশ কিছু ভৌতধর্মের মধ্যে সম্পর্ক নির্ণয়ের ক্ষেত্রে মোল ভগ্নাংশ একককটি খুবই কার্যকরী, যেমন দ্রবণের বাষ্পচাপের সঙ্গো গাঢ়ত্ব এবং গ্যাস মিশ্রণ সংক্রান্ত গণনাকার্য বর্ণনা করার ক্ষেত্রেও খুব কার্যকরী হয়।

**নমুনা প্রশ্ন 2.1** একটি দ্রবণে ওজন হিসাবে 20% ইথিলিন গ্লাইকল ($C_2H_6O_2$) আছে। ইথিলিন গ্লাইকলের মোল ভগ্নাংশ গণনা করো।

**সমাধান** ধরা যাক, আমাদের কাছে 100 g পরিমাণ দ্রবণ আছে (কোনো একজন যে কোনো পরিমাণ দ্রবণ নিয়ে শুরু করতে পারে কারণ সবক্ষেত্রে একই ফলাফল পাওয়া যাবে)। দ্রবণটিতে 20 g ইথিলিন গ্লাইকল এবং 80 g জল থাকবে।

$C_2H_6O_2$ এর আনব ভর $= 12 \times 2 + 1 \times 6 + 16 \times 2 = 62 \text{ g mol}^{-1}$.

$C_2H_6O_2$ এর মোলসংখ্যা $= \dfrac{20\ g}{62\ g\ mol^{-1}} = 0.322 \text{ mol}$

জলের মোলসংখ্যা $= \dfrac{80\ g}{18\ g\ mol^{-1}} = 4.444 \text{ mol}$

$$x_{\text{গ্লাইকল}} = \frac{C_2H_6O_2 \text{ এর মোল সংখ্যা}}{C_2H_6O_2 \text{ এর মোল সংখ্যা} + H_2O \text{ জলের মোলসংখ্যা}}$$

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

• একইভাবে, $x_{\text{জল}} = \dfrac{4.444\ mol}{0.322\ mol + 4.444\ mol} = 0.932$

জলের মোল ভগ্নাংশ এভাবেও নির্ণয় করা যেতে পারে : $1 - 0.068 = 0.932$

(vi) *মোলারিটি (Molarity)* : এক লিটার (অথবা এক ঘন ডেসিমিটার) দ্রবণে দ্রবীভূত দ্রাবের মোল সংখ্যাকে মোলারিটি *(M)* বলে।

$$\text{মোলারিটি} = \frac{\text{দ্রাবের মোলসংখ্যা}}{\text{দ্রবণের আয়তন (লিটার এককে)}} \qquad (2.8)$$

উদাহরণস্বরূপ, 0.25 mol $L^{-1}$ (অথবা 0.25 M) NaOH দ্রবণ বলতে বোঝায়, এক লিটার (অথবা এক ঘন ডেসিমিটার) দ্রবণে 0.25 mol NaOH দ্রবীভূত আছে।

**নমুনা প্রশ্ন 2.1** 5 g NaOH 450 mL দ্রবণে দ্রবীভূত আছে। দ্রবণটির মোলারিটি গণনা করো।

**সমাধান** NaOH এর মোল সংখ্যা $= \dfrac{5\ g}{40\ g\ mol^{-1}} = 0.125 \text{ mol}$

লিটার এককে দ্রবণের আয়তন = 450 mL / 1000 mL $L^{-1}$

(2.8) সমীকরণ ব্যবহার করে,

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

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

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

(vii) *মোলালিটি (Molality)*: প্রতি কিলোগ্রাম (kg) দ্রাবকে দ্রবীভূত দ্রাবের মোলসংখ্যাকে মোলালিটি ($m$) বলে এবং একে নিম্নরূপে প্রকাশ করা হয়।

$$\text{মোলালিটি (m)} = \frac{\text{দ্রাবের মোলসংখ্যা}}{\text{দ্রাবকের ওজন (Kg এককে)}} \quad (2.9)$$

উদাহরণস্বরূপ, 1.00 mol $kg^{-1}$ (অথবা 1.00 m) KCl দ্রবণ বলতে বোঝায়, 1 kg জলে 1 mol (74.5 g) KCl দ্রবীভূত আছে।

দ্রবণের গাঢ়ত্ব প্রকাশের প্রতিটি পদ্ধতির নিজস্ব সুবিধা ও অসুবিধা রয়েছে। ভর শতকরা মাত্রা, ppm, মোল ভগ্নাংশ এবং মোলালিটি উষ্ণতার উপর নির্ভরশীল নয়, অপরদিকে মোলারিটি উষ্ণতার অপেক্ষক অর্থাৎ উষ্ণতার উপর নির্ভরশীল। কারণ আয়তন উষ্ণতার উপর নির্ভরশীল কিন্তু ওজন নয়।

**নমুনা প্রশ্ন 2.1**

75 g বেঞ্জিনে 2.5 g ইথানোয়িক অ্যাসিড ($CH_3COOH$) দ্রবীভূত আছে। দ্রবণটির মোলালিটি গণনা করো।

**সমাধান**

$C_2H_4O_2$ এর আনব ভর = $12 \times 2 + 1 \times 4 + 16 \times 2 = 60\ g\ mol^{-1}$

$C_2H_4O_2$ এর মোল সংখ্যা = $\frac{2.5\ g}{60\ g\ mol^{-1}} = 0.0417\ mol$

kg এককে বেঞ্জিনের ভর = $75\ g/1000\ g\ kg^{-1} = 75 \times 10^{-3}\ kg$

$C_2H_4O_2$ এর মোলালিটি = $\frac{C_2H_4O_2 \text{ এর মোলসংখ্যা}}{\text{বেঞ্জিনের ভর (kg)}} = \frac{0.0417\ mol \times 1000\ g\ kg^{-1}}{75\ g}$

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

**বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলী**

**2.1** যদি 122 g কার্বন টেট্রাক্লোরাইডে 22 g বেঞ্জিন দ্রবীভূত থাকে, তবে বেঞ্জিন ($C_6H_6$) এবং কার্বন টেট্রা ক্লোরাইডের ($CCl_4$) শতকরা ভর গণনা করো।

**2.2** কার্বন টেট্রাক্লোরাইডের একটি দ্রবণে ওজন হিসাবে 30% বেঞ্জিন আছে। বেঞ্জিনের মোল ভগ্নাংশ গণনা করো।

**2.3** নীচের প্রতিটি দ্রবণের মোলারিটি গণনা করো: (a) 4.3 L দ্রবণে উপস্থিত 30 g $Co(NO_3)_2 . 6H_2O$ (b) 30 mL 0.5 M $H_2SO_4$ কে লঘু করে 500 mL করা হল।

**2.4** 2.5 kg 0.25 মোলাল মাত্রার জলীয় দ্রবণ প্রস্তুত করতে প্রয়োজনীয় ইউরিয়ার ($NH_2CONH_2$) ভর গণনা করো।

**2.5** যদি KI এর 20% (ওজন/ওজন) জলীয় দ্রবণের ঘনত্ব 1.202 g $mL^{-1}$ হয়, তাহলে KI এর (a) মোলালটি (b) মোলারিটি এবং (c) মোল ভগ্নাংশ গণনা করো।

## 2.3 দ্রাব্যতা

কোনো নির্দিষ্ট উষ্ণতায় নির্দিষ্ট পরিমাণ দ্রাবকে কোনো পদার্থের সর্বাধিক যে পরিমাণ দ্রবীভূত হতে পারে তা হল ঐ পদার্থের দ্রাব্যতা। এটি দ্রাব এবং দ্রাবকের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে, একই সাথে এটি উষ্ণতা এবং চাপের উপরও নির্ভলশীল। তরলে কঠিন বা গ্যাসের দ্রবণের ক্ষেত্রে আমরা এই বিষয়গুলোর প্রভাব বিবেচনা করতে পারি।

**2.3.1 তরলে কঠিনের দ্রাব্যতা**

কোনো একটি প্রদত্ত তরলে সব কঠিন পদার্থ দ্রবীভূত হয় না। সোডিয়াম ক্লোরাইড এবং চিনি সহজে জলে দ্রবীভূত হলেও ন্যাপথালিন এবং অ্যানথ্রাসিন হয় না। অপরদিকে, ন্যাপথালিন এবং অ্যানথ্রাসিন সহজে বেঞ্জিনে দ্রবীভূত হয় কিন্তু সোডিয়াম ক্লোরাইড এবং চিনি হয় না। দেখা গেছে যে, ধ্রুবীয় দ্রাবকে ধ্রুবীয় দ্রাব দ্রবীভূত হয় এবং অধ্রুবীয় দ্রাবকে অধ্রুবীয় দ্রাব দ্রবীভূত হয়। সাধারণভাবে, একটি দ্রাব তখনই একটি দ্রাবকের মধ্যে দ্রবীভূত হয় যদি আন্তরাণবিক মিথস্ক্রিয়া একই ধরণের হয় অথবা আমরা বলতে পারি সমধর্মের দ্রাব সমধর্মের দ্রাবকে দ্রবীভূত হয়। অথবা আমরা বলতে পারি সমধর্মের দ্রাবকে দ্রবীভূত হয় (**like dissolves like**)।

যখন কোনো দ্রাবকে একটি কঠিন দ্রাব যোগ করা হয়, তখন কিছু পরিমাণ দ্রাব দ্রবীভূত হয় এবং দ্রবণে এটির গাঢ়ত্ব বৃদ্ধি পায়। এই প্রক্রিয়া দ্রবীভবন (dissolution) নামে পরিচিত। দ্রবণে কিছু দ্রাবের কণা কঠিন দ্রাব কণাগুলোর সাথে সংঘর্ষে লিপ্ত হয় এবং দ্রবণ থেকে পৃথক হয়ে যায় এই প্রক্রিয়া কেলাসন (crystallisation) নামে পরিচিত। এভাবে এমন একটি পর্যায় আসে যখন দুইটি প্রক্রিয়া একই হারে চলতে থাকে। এমন অবস্থায়, যতগুলো দ্রাবকণার সংখ্যার সমান হয় এবং একটি গতিশীল সাম্যাবস্থায় পৌঁছায়।

$$\text{দ্রাব} + \text{দ্রাবক} \rightleftharpoons \text{দ্রবণ} \qquad (2.10)$$

এই অবস্থায় নির্দিষ্ট শর্তে (উষ্ণতা ও চাপ) দ্রবণের মধ্যে দ্রাবের গাঢ়ত্ব ধ্রুবক থাকবে। তরল দ্রাবকে গ্যাস দ্রবীভূত হলেও অনুরূপ প্রক্রিয়া ঘটে। একই চাপ ও উষ্ণতায় যে দ্রবণে আর দ্রাব দ্রবীভূত করা যায় না তাকে সম্পৃক্ত দ্রবণ (**saturated solution**) বলে। একটি অসম্পৃক্ত দ্রবণ হল সেই দ্রবণ যার মধ্যে একই উষ্ণতায় আরও দ্রাব দ্রবীভূত করা যাবে। যে দ্রবণটি অদ্রবীভূত দ্রাবের সঙ্গো গতিশীল সাম্যাবস্থায় থাকে সেটি হল সম্পৃক্ত দ্রবণ এবং এতে নির্দিষ্ট পরিমাণ দ্রাবকের মধ্যে সর্বাধিক পরিমাণ দ্রাব দ্রবীভূত থাকে। এজন্য এই ধরনের দ্রবণের ক্ষেত্রে দ্রাবের গাঢ়ত্বই হল এটির দ্রাব্যতা।

আমরা আগে দেখেছি যে, অন্য একটি পদার্থের মধ্যে কোনো পদার্থের দ্রাব্যতা পদার্থটির প্রকৃতির উপর নির্ভর করে। এই চলরাশিগুলো ছাড়াও আরও দুইটি পরিমাপক অর্থাৎ উষ্ণতা ও চাপ এই ঘটনাটি নিয়ন্ত্রণ করে।

*উষ্ণতার প্রভাব (Effect of temperature) :*

কোন একটি তরলে কোনো কঠিন পদার্থের দ্রাব্যতা উষ্ণতা পরিবর্তনের দ্বারা উল্লেখযোগ্যভাবে প্রভাবিত হয়। 2.10 সমীকরণে বর্ণিত সাম্যাবস্থা বিবেচনা করা যাক। এটি একটি গতিশীল সাম্যাবস্থা হওয়ায় অবশ্যই লে শাতেলিয়ারের (**Le Chateliers Principle**) নীতি মেনে চলবে। সাধারণভাবে, প্রায় সম্পৃক্ত দ্রবণের ক্ষেত্রে যদি দ্রবীভবন প্রক্রিয়াটি তাপগ্রাহী ($\Delta_{sol} H > 0$) হয়, তাহলে উষ্ণতা বৃদ্ধিতে দ্রাব্যতা বৃদ্ধি পাবে এবং যদি প্রক্রিয়াটি তাপমোচী ($\Delta_{sol} H < 0$) হয়, তাহলে দ্রাব্যতা হ্রাস পাবে। এই প্রবণতাগুলো পরীক্ষালব্ধভাবেও নিরীক্ষিত হয়েছে।

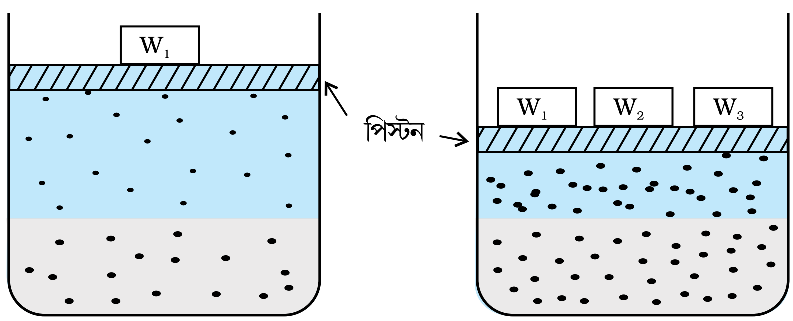
*চাপের প্রভাব (Effect of pressure) :*

তরলে কঠিন পদার্থের দ্রাব্যতার উপর চাপের বিশেষ কোনো প্রভাব নেই। এর কারণ হল, কঠিন এবং তরল খুবই অসংকোচনশীল এবং কার্যত চাপ পরিবর্তনে অপরিবর্তিত থাকে।

**2.3.2 তরলে গ্যাসের দ্রাব্যতা**

জলে অনেক গ্যাস দ্রবীভূত হয়। অক্সিজেন জলে স্বল্প পরিমাণে দ্রবীভূত হয়। এই দ্রবীভূত অক্সিজেনই সকল জলজ জীবদের বাঁচিয়ে রাখে। অপরদিকে, হাইড্রোজেন ক্লোরাইড গ্যাস (HCl) জলে অধিক দ্রাব্য। তরলে গ্যাসীয় পদার্থের দ্রাব্যতা চাপ এবং উষ্ণতার দ্বারা বিশেষভাবে প্রভাবিত হয়। চাপ বৃদ্ধি

করলে গ্যাসের দ্রাব্যতা বৃদ্ধি পায়। কোনো দ্রাবকে গ্যাসীয় পদার্থের দ্রবণের ক্ষেত্রে চিত্র 2.1 (a) এ দেওয়া তন্ত্রটি (সিস্টেমটি) বিবেচনা করা যাক। $p$ চাপ এবং $T$ উষ্ণতায় নীচের অংশটি দ্রবণ এবং উপরের অংশটি গ্যাসীয় সিস্টেম। ধরা যাক, এই সিস্টেমটি গতিশীল সাম্যাবস্থায় আছে। অর্থাৎ এই অবস্থায় গ্যাসীয় কণাগুলোর দ্রবণে প্রবেশের হার এবং বেরিয়ে যাওয়ার হার একই হয়। এখন গ্যাসের আয়তন সংকোচনের মাধ্যমে দ্রবণ দশার উপর চাপ বৃদ্ধি করা হল [চিত্র 2.1 (b)]। এর ফলে দ্রবণের প্রতি একক আয়তনে গ্যাসীয় পদার্থের কণাগুলির সংখ্যা বৃদ্ধি পাবে এবং গ্যাসীয় কণাগুলোর দ্রবণে প্রবেশ করার জন্য দ্রবণের পৃষ্ঠতলের সঙ্গো সংঘর্ষের হারও বৃদ্ধি পাবে। একটি নতুন সাম্যাবস্থায় না আসা পর্যন্ত গ্যাসের দ্রাব্যতা বৃদ্ধি পাবে এবং এর ফলে দ্রবণের উপর গ্যাসের চাপ বৃদ্ধি পাবে এবং এইভাবে গ্যাসীয় পদার্থটির দ্রাব্যতা বৃদ্ধি পাবে।



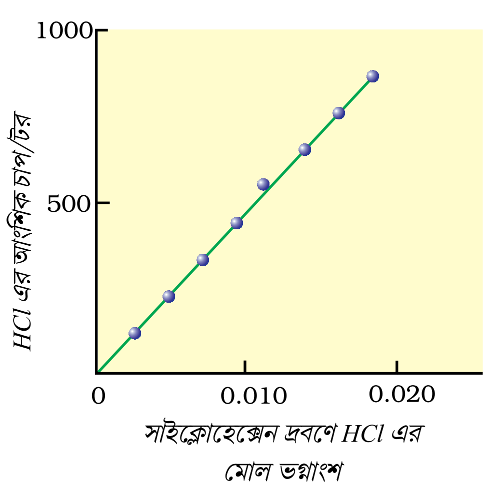

(a) (b)

*চিত্র 2.1: গ্যাসের দ্রাব্যতার উপর চাপের প্রভাব। দ্রবীভূত গ্যাসের গাঢ়ত্ব দ্রবণের উপরিস্থিত গ্যাসের চাপের সঙ্গো সমানুপাতিক।*

হেনরী সর্বপ্রথম কোনো দ্রাবকে গ্যাসের দ্রাব্যতা এবং চাপের মধ্যে একটি পরিমাণগত সম্পর্ক স্থাপন করেছেন যা হেনরীর সূত্র নামে পরিচিত। এই সূত্রের বিবৃতিটি হল, একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায়, কোনো তরলে কোনো গ্যাসের দ্রাব্যতা তরলের বা দ্রবণের পৃষ্ঠতলের উপরিস্থিত গ্যাসের আংশিক চাপের সঙ্গো সমানুপাতিক। হেনরির সমসাময়িক বিজ্ঞানী ডালটন ও স্বাধীনভাবে সিদ্ধান্ত করেছিলেন যে, কোনো তরল দ্রবণে কোনো গ্যাসের দ্রাব্যতা গ্যাসটির আংশিক চাপের অপেক্ষক। যদি আমরা দ্রবণে কোনো গ্যাসের দ্রাব্যতাকে মোল ভগ্নাংশ দিয়ে পরিমাপ করি, তখন বলা যায় যে, দ্রবণে গ্যাসের মোল ভগ্নাংশ দ্রবণের উপরিস্থিত গ্যাসের আংশিক চাপের সঙ্গো সমানুপাতিক। হেনরীর সূত্রের যে রূপটি বহুল প্রচলিত সেটির বিবৃতিটি হল, 'বাষ্পীয় দশায় গ্যাসের আংশিক চাপ **($p$)** দ্রবণে গ্যাসের মোল ভগ্নাংশের **($x$)** সমানুপাতিক" এবং তা নিম্নরূপে প্রকাশ করা হয়:

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

এখানে $K_H$ হল হেনরীর ধ্রুবক, আমরা যদি গ্যাসের আংশিক চাপ বনাম দ্রবণে গ্যাসের মোল ভগ্নাংশের লেখচিত্র অঙ্কন করি, তাহলে চিত্র 2.2 এর মত একটি লেখচিত্র পাব।




*চিত্র 2.2: 293 K উষ্ণতায় সাইক্লোহেক্সেনে HCl গ্যাসের দ্রাব্যতার পরীক্ষালব্ধ ফলাফল। রেখাটির নতিই হল হেনরীর ধ্রুবক, $K_H$*

একই উষ্ণতায় বিভিন্ন গ্যাসের $K_H$ -এর মান বিভিন্ন হয় (সারণি 2.2)। এটি নির্দেশ করে যে, $K_H$ গ্যাসের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে (গ্যাসের বা প্রকৃতির অপেক্ষক)।

2.11 সমীকরণ থেকে এটি স্পষ্টই বোঝা যায় যে, নির্দিষ্ট চাপে $K_H$ এর মান যত বেশী হবে, তরলে গ্যাসের দ্রাব্যতা তত কম হবে। সারণি 2.2 থেকে দেখা যায় যে, $N_2$ ও $O_2$ উভয়ের $K_H$ এর মান উষ্ণতা বৃদ্ধিতে বৃদ্ধি পায় যা নির্দেশ করে

সারণি 2.2: জলে কিছু নির্বাচিত গ্যাসের হেনরীর ধ্রুবকের মান

| গ্যাস | উষ্ণতা/K | $K_H$/Kbar | গ্যাস | উষ্ণতা/K | $K_H$/kbar |
|---|---|---|---|---|---|
| He | 293 | 144.97 | আর্গন | 298 | 40.3 |
| $H_2$ | 293 | 69.16 | $CO_2$ | 298 | 1.67 |
| $N_2$ | 293 | 76.48 | ফর্মালডিহাইড | 298 | $1.83\times10^{-5}$ |
| $N_2$ | 303 | 88.84 | মিথেন | 298 | 0.413 |
| $O_2$ | 293 | 34.86 | ভিনাইল ক্লোরাইড | 298 | 0.611 |
| $O_2$ | 303 | 46.82 | | | |

যে, উষ্ণতা হ্রাস পেলে গ্যাসের দ্রাব্যতা বৃদ্ধি পায়। এই কারণেই জলজ প্রাণীরা উষ্ণ জলের তুলনায় ঠান্ডা জল অধিক স্বাচ্ছন্দ্যবোধ করে।

**নমুনা প্রশ্ন 2.4** যদি $N_2$ গ্যাস 293 K উষ্ণতায় জল থেকে বুদ্‌বুদ্ আকারে নির্গত হয়, তাহলে 1 লিটার জলে কত মিলিমোল $N_2$ গ্যাস দ্রবীভূত হবে? ধরে নাও, $N_2$ এর আংশিক চাপ 0.987 bar. দেওয়া আছে, 293 K উষ্ণতায় $N_2$ এর হেনরী ধ্রুবকের মান 76.48 *k*bar.

**সমাধান** জলীয় দ্রবণে গ্যাসের দ্রাব্যতা মোল ভগ্নাংশের সঙ্গে সম্পর্কিত। দ্রবণে গ্যাসের মোল ভগ্নাংশ হেনরীর সূত্র প্রয়োগ করে গণনা করা হয়। সুতরাং,

$$x\text{ (নাইট্রোজেন)} = \frac{p\text{ (নাইট্রোজেন)}}{K_H} = \frac{0.987\,bar}{76,480\ bar} = 1.29\times10^{-5}$$

যেহেতু, 1 লিটার জলে 55.5 মোল জলে থাকে, সুতরাং যদি দ্রবণে $N_2$ এর মোলসংখ্যা ‘*n*’ দিয়ে প্রকাশ করা হয়-

$$x\text{ (নাইট্রোজেন)} = \frac{n\text{ মোল}}{n\text{ মোল} + 55.5\text{ মোল}} = \frac{n}{55.5} = 1.29\times10^{-5}$$

(যেহেতু, $n << 55.5$, তাই হরে থাকা $n$ কে উপেক্ষা করা হল )

সুতরাং, $n = 1.29\times10^{-5}\times 55.5$ মোল $= 7.16\times10^{-4}$ মোল

$$= \frac{7.16\times10^{-4}\text{ মোল}\times1000\text{ মিলিমোল}}{1\text{ মোল}} = 0.716\text{ মিলিমোল}$$

শিল্পে হেনরীর সূত্র ব্যাপকভাবে প্রয়োগ করা হয় এবং জীববিজ্ঞান সংক্রান্ত বেশ কিছু ধর্মের ব্যাখ্যা করতে পারে। এদের মধ্যে কিছু উল্লেখযোগ্য হল :

- নরম পানীয় এবং সোডা ওয়াটারে $CO_2$ এর দ্রাব্যতা বৃদ্ধি করার জন্য বোতলটিকে উচ্চচাপে আবদ্ধ (sealed) করে রাখা হয়।
- জলের নীচে উচ্চচাপে শ্বাসক্রিয়া চালানোর সময় ডুবুরীদের দ্রবীভূত গ্যাসগুলোর উচ্চ গাঢ়ত্বকে সামলাতে হয়। এই বর্ধিত চাপ রক্তে বায়ুমন্ডলীয় গ্যাসগুলোর দ্রাব্যতা বৃদ্ধি করে। যখন ডুবুরীরা জলের উপরিতলে উঠে আসে, চাপ ক্রমশ: হ্রাস পায়। এতে দ্রবীভূত গ্যাসগুলোর মুক্তি ঘটে এবং এর ফলে রক্তে $N_2$ এর বুদ্‌বুদ্ সৃষ্টি হয় এবং কৈশিক নালীগুলোকে বন্ধ করে দেয় এবং ডুবুরীদের শরীর বেঁকে যেতে থাকে যা শরীর বেঁকে যাওয়া বা বেন্ড নামে পরিচিত। এটি ভীষণ যন্ত্রনাদায়ক এবং জীবনের জন্য বিপজ্জনক। শরীর বেঁকে যাওয়া বা বেন্ডকে এড়ানোর জন্য এবং সেই সাথে

রক্তে $N_2$এর উচ্চ গাঢ়ত্বের বিষক্রিয়া এড়ানোর জন্য ডুবুরীদের ব্যবহৃত সিলিন্ডার বা ট্যাঙ্কগুলোকে হিলিয়াম দ্বারা লঘুকৃত (11.7% হিলিয়াম, 56.2% নাইট্রোজেন এবং 32.1% অক্সিজেন) বায়ু দিয়ে পূর্ণ করা হয়।

- সমুদ্রপৃষ্ঠ হতে অধিক উচ্চতায় অক্সিজেনের আংশিক চাপ সমুদ্র পৃষ্ঠের তুলনায় কম হয়। এর ফলে অধিক উচ্চতায় বসবাসকারী লোকদের অথবা পর্বতারোহীদের দেহের রক্ত এবং কলাতে অক্সিজেনের গাঢ়ত্ব হ্রাস পায়। কম অক্সিজেন সম্পন্ন রক্ত পর্বতারোহীদের দুর্বল করে তোলে এবং তারা সুস্পষ্ট চিন্তা করতে অসমর্থ হয়, এইরূপ লক্ষণ যুক্ত অবস্থা অক্সিজেনের অভাব *(anoxia)* নামে পরিচিত।

*উষ্ণতার প্রভাব (Effect of Temperature)*

উষ্ণতা বৃদ্ধিতে তরলে গ্যাসীয় পদার্থের দ্রাব্যতা হ্রাস পায়। গ্যাস যখন দ্রবীভূত হয়, গ্যাস অণুগুলো তরল দশায় উপস্থিত থাকে এবং দ্রবীভবন প্রক্রিয়াটিকে ঘনীভবন প্রক্রিয়ার মত গণ্য করা যেতে পারে এবং এই প্রক্রিয়ায় তাপ নির্গত হয়। আমরা আগের অনুচ্ছেদে শিখেছি যে, দ্রবীভবন প্রক্রিয়া গতিশীল সাম্যাবস্তার সঙ্গে যুক্ত এবং এজন্য এটি লে শাতেলিয়ারের নীতিকে অবশ্যই মেনে চলবে। যেহেতু দ্রবীভবন একটি তাপমোচী প্রক্রিয়া, তাই উষ্ণতা বৃদ্ধিতে দ্রাব্যতা হ্রাস পাবে।

### বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলী

2.6 $H_2S$, পঁচা ডিমের ন্যায় গন্ধযুক্ত একটি বিষাক্ত গ্যাস এবং একটি গুণগত বিশ্লেষণে ব্যবহৃত হয়। যদি STP তে জলে $H_2S$ এর দ্রাব্যতা 0.195m হয়, তবে হেনরির ধ্রুবকের মান গণনা করো।

2.7 298 K উষ্ণতায় জলে $CO_2$ এর হেনরি ধ্রুবকের মান $1.67 \times 10^8$ Pa. চাপে, 2.5 atm $CO_2$ চাপে 298 K উষ্ণতায় 500 ml সোডা ওয়াটারকে প্যাকেটজাত করলে, তাতে $CO_2$ এর পরিমাণ কত হবে গণনা করো।

## 2.4 তরল দ্রবণের বাষ্পচাপ

দ্রাবক পদার্থটি যখন তরল হয় তখন তরল দ্রবণ গঠিত হয়। দ্রাব পদার্থটি একটি গ্যাস তরল অথবা কঠিন পদার্থ হতে পারে। 2.3.2 অনুচ্ছেদে তরলে গ্যাসীয় পদার্থের দ্রবণ নিয়ে আগেই আলোচনা করা হয়েছে। এই অনুচ্ছেদে আমরা তরলে তরল এবং কঠিন পদার্থের দ্রবণ নিয়ে আলোচনা করব। এই ধরনের দ্রবণগুলোতে এক বা একাধিক উদ্বায়ী উপাদান থাকতে পারে। সাধারণত, তরল দ্রাবক উদ্বায়ী হয়। দ্রাব উদ্বায়ী হতেও পারে আবার নাও হতে পারে। আমরা শুধুমাত্র বাইনারী দ্রবণের ধর্মগুলো নিয়ে আলোচনা করব অর্থাৎ যে দ্রবণগুলোতে দুটো উপাদান থাকে (i) তরলে তরল পদার্থের দ্রবণ এবং (ii) তরলে কঠিন পদার্থের দ্রবণ।

### 2.4.1 তরল-তরল দ্রবণের বাষ্পচাপ

দুটো উদ্বায়ী তরলের সমন্বয়ে গঠিত একটি বাইনারী দ্রবণের কথা ভাবা যাক এবং উপাদান দুটোকে 1 এবং 2 দ্বারা চিহ্নিত করা হল। দুটো উপাদানকে একটি আবদ্ধ পাত্রে নেওয়া হলে, উভয় উপাদানই বাষ্পীভূত হবে এবং অবশেষে বাষ্পদশা এবং তরল দশার মধ্যে একটি সাম্যাবস্থা প্রতিষ্ঠিত হবে। ধরা যাক, এই অবস্থায় মোট বাষ্পচাপ $p_{total}$ এবং দুটো উপাদান 1 এবং 2 এর আংশিক বাষ্পচাপ যথাক্রমে $p_1$ এবং $p_2$. এই আংশিক চাপগুলো দুটো উপাদান 1 এবং 2 এর মোল ভগ্নাংশ যথাক্রমে $x_1$ এবং $x_2$ এর সঙ্গে সম্পর্কিত।

ফরাসী রসায়নবিদ, ফ্রাঙ্কোয়িস মার্ট রাউল্ট (Francois Marte Raoult) (1886) এদের মধ্যে পরিমাণগত সম্পর্ক স্থাপন করেন। এই সম্পর্কটি রাউল্ডের সূত্র নামে পরিচিতি যার বিবৃতিটি হল,

উদ্বায়ী তরল দ্রবণের ক্ষেত্রে, দ্রবণের প্রতিটি উপাদানের আংশিক বাষ্পচাপ দ্রবণে উপস্থিত উপাদানটির মোল ভগ্নাংশের সমানুপাতিক।

তাই, উপাদান 1 এর ক্ষেত্রে,

$$p_1 \propto x_1$$

এবং $$p_1 = p_1^0 x_1 \tag{2.12}$$

যেখানে $p_1^0$ হল একই উষ্ণতায় বিশুদ্ধ উপাদান 1 এর বাষ্পচাপ।

একইভাবে, উপাদান 2 এর ক্ষেত্রে,

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

যেখানে $p_2^0$ বিশুদ্ধ উপাদান 2 এর বাষ্পচাপ নির্দেশ করে।

ডালটনের আংশিক চাপ সূত্রানুযায়ী, পাত্রে দ্রবণের উপরিস্থিত মোট চাপ ( $p_{\text{total}}$ ) দ্রবণের উপদানগুলোর আংশিক চাপের সমষ্টির সমান হবে এবং একে নিম্নলিখিত রূপে প্রকাশ করা হয়।

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

$p_1$ এবং $p_2$ এর মান বসিয়ে আমরা পাই,

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

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

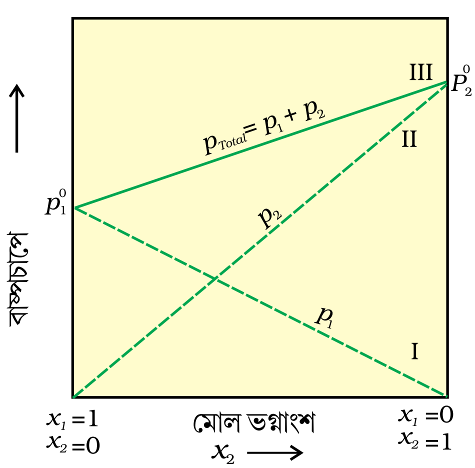
$$= p_1^0 + (p_2^0 - p_1^0)\, x_2 \tag{2.16}$$

(2.16) সমীকরণ থেকে নিম্নলিখিত সিদ্ধান্তগুলো নেওয়া যেতে পারে।

(i) দ্রবণের মোট বাষ্পচাপকে যে কোনো একটি উপাদানের মোল ভগ্নাংশের সঙ্গে সম্পর্কযুক্ত করা যেতে পারে।

(ii) দ্রবণের মোট বাষ্পচাপ উপাদান- 2 এর মোল ভগ্নাংশের সঙ্গে রৈখিকভাবে পরিবর্তন হয়।

(iii) বিশুদ্ধ উপাদান 1 এবং 2 এর বাষ্পচাপের উপর ভিত্তি করে দ্রবণের উপরিস্থিত মোট বাষ্পচাপ উপাদান 1 এর মোল ভগ্নাংশ বৃদ্ধির সাথে হ্রাস বা বৃদ্ধি পায়।




*চিত্র 2.3: নির্দিষ্ট উষ্ণতায় একটি আদর্শ দ্রবণের বাষ্পচাপ এবং মোল ভগ্নাংশের লেখচিত্র। ড্যাশ লাইন (বিন্দুরেখা) I এবং II উপাদানগুলোর আংশিক চাপ নির্দেশ করে। (লেখ থেকে দেখা যাচ্ছে যে, $P_1$ এবং $P_2$ যথাক্রমে $x_1$ এবং $x_2$ এর সঙ্গে সমানুপাতিক)। চিত্রে মোট বাষ্পচাপকে রেখা III দ্বারা বোঝানো হয়েছে।*

দ্রবণের মোল ভগ্নাংশ $x_1$ এবং $x_2$ বনাম $p_1$ অথবা $p_2$ এর লেখচিত্র অঙ্কন করলে একটি সরলরেখা পাওয়া যায় যা চিত্র 2.3 নং -এ প্রদর্শিত হয়েছে। এই রেখাগুলো (I এবং II) সেই বিন্দুগুলো দিয়ে অতিক্রম করে যেগুলোতে $x_1$ এবং $x_2$ মান 1 (একক) হয়। একইভাবে $p_{\text{total}}$ এর লেখচিত্র (line III) বনাম $x_2$ এর লেখটি ও সরলরৈখিক (চিত্র 2.3)। $p_{\text{total}}$ -এর সর্বনিম্ন মান হল $p_1^0$ এবং সর্বোচ্চ মান হল $p_2^0$। (ধরে নেওয়া হয়েছে, উপাদান *1*, উপাদান *2* এর চেয়ে কম উদ্বায়ী) অর্থাৎ $p_1^0 < p_2^0$.

দ্রবণের সঙ্গে সাম্যাবস্থায় থাকা বাষ্পদশার সংযুতি, উপদানগুলোর আংশিক চাপের দ্বারা নির্ণয় করা হয়। যদি বাষ্পদশায় উপাদান 1 এবং 2 এর মোল ভগ্নাংশ যথাক্রমে

$y_1$ এবং $y_2$ হয়, তাহলে,

ডালটনের আংশিক চাপ সূত্র প্রয়োগ করে,

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

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

সাধারনভাবে,

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

**নমুনা প্রশ্ন 2.5**

ক্লোরোফর্ম ($CHCl_3$) এবং ডাইক্লোরোমিথেন ($CH_2Cl_2$) এর 298 K উষ্ণতায় বাষ্পচাপ যথাক্রমে 200 mm Hg এবং 415 mm Hg. (i) 298 K উষ্ণতায় 25.5 g $CHCl_3$ এবং 40 g $CH_2Cl_2$ মিশ্রিত করে দ্রবণ প্রস্তুত করলে উৎপন্ন দ্রবণের বাষ্পচাপ এবং (ii) বাষ্পীয় দশায় প্রতিটি উপাদানের মোল ভগ্নাংশ গণনা করো।

**সমাধান**

(i) $CH_2Cl_2$ এর আনব ভর $= 12 \times 1 + 1 \times 2 + 35.5 \times 2 = 85\ \text{g mol}^{-1}$

$CHCl_3$ এর আনব ভর $= 12 \times 1 + 1 \times 1 + 35.5 \times 3 = 119.5\ \text{g mol}^{-1}$

$CH_2Cl_2$ এর মোলসংখ্যা $= \dfrac{40\ g}{85\ g\ mol^{-1}} = 0.47\ \text{mol}$

$CHCl_3$ এর মোলসংখ্যা $= \dfrac{25.5\ g}{119.5\ g\ mol^{-1}} = 0.213\ \text{mol}$

মোট মোলসংখ্যা $= 0.47 + 0.213 = 0.683\ \text{mol}$

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

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

(2.16) সমীকরণ প্রয়োগ করে,

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

$$= 200 + 147.9 = 347.9\ \text{mm Hg}$$

(ii) (2.19) সম্পর্কটি প্রয়োগ করে, $y_i = p_i/p_{total}$, আমরা গ্যাসীয় দশায় উপাদানগুলোর মোল ভগ্নাংশ ($y_i$) গণনা করতে পারি,

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

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

$$y_{CH_2Cl_2} = 285.5\ \text{mm Hg}/347.9\ \text{mm Hg} = 0.82$$

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

**বি:দ্র:** যেহেতু, $CH_2Cl_2$, $CHCl_3$ এর চেয়ে বেশী উদ্বায়ী উপাদান [ $p^0_{CH_2Cl_2} = 415$ mm Hg এবং $p^0_{CHCl_3} = 200$ mm Hg] এবং বাষ্পীয় দশাতে $CH_2Cl_2$ বেশী থাকে [ $y_{CH_2Cl_2} = 0.82$ এবং $y_{CHCl_3} = 0.18$], তাই এই সিদ্ধান্ত নেওয়া যেতে পারে যে, সাম্যাবস্থায়, যে উপাদানটি অধিক উদ্বায়ী হয়, বাষ্পদশায় সেটির পরিমাণ সর্বদাই বেশী থাকবে।

**2.4.2 হেনরীর সূত্রের বিশেষ রূপ হিসাবে রাউল্টের সূত্র**

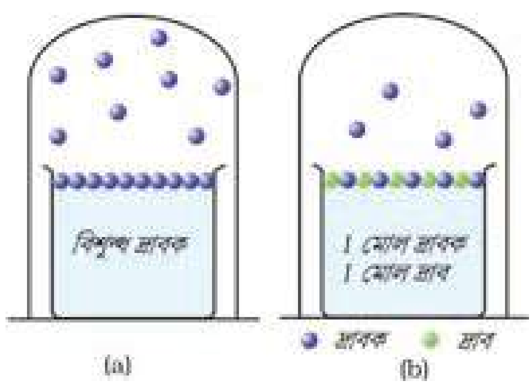
রাউল্টের সূত্রানুযায়ী, কোনো দ্রবণে একটি উদ্বায়ী উপাদানের বাষ্পচাপকে $p_i = x_i\, p_i^0$ দ্বারা প্রকাশ করা হয়। কোনো তরলে গ্যাসীয় পদার্থের দ্রবণের ক্ষেত্রে, একটি উপাদান এতই উদ্বায়ী হয় যে এটি গ্যাস হিসাবে থাকে এবং আমরা আগেই দেখেছি যে, এর দ্রাব্যতা হেনীর সূত্রের দ্বারা প্রকাশ করা হয় যা হল-

$$p = K_H\, x.$$

আমরা যদি রাউল্টের সূত্র এবং হেনরীর সূত্রের সমীকরণের মধ্যে তুলনা করি, তাহালে দেখা যায় যে, উদ্বায়ী উপাদান বা গ্যাসের আংশিক চাপ দ্রবণে এটির মোল ভগ্নাংশের সমানুপাতিক। শুধুমাত্র সমানুপাতিক ধ্রুবক $K_H$ , $p_1^0$ থেকে পৃথক। এইভাবে, রাউল্টের সূত্র হেনরীর সূত্রের বিশেষ রূপে পরিণত হয় যেখানে $K_H$ , $p_1^0$ এর সমান হয়।

**2.4.3 তরলে কঠিন পদার্থের দ্রবণের বাষ্পচাপ**

দ্রবণের আরেকটি গুরুত্বপূর্ণ শ্রেণি হল তরলে কঠিন পদার্থের দ্রবীভূত হওয়া। উদাহরণস্বরূপ, সোডিয়াম ক্লোরাইড, গ্লুকোজ, ইউরিয়া এবং চিনি (ইক্ষু-শর্করা) জলে দ্রবীভূত হয় এবং আয়োডিন ও সালফার কার্বন ডাই সালফাইডে দ্রবীভূত হয়। এই দ্রবণগুলোর কিছু ভৌত ধর্ম বিশুদ্ধ দ্রাবকের ধর্মগুলো থেকে বেশ পৃথক। উদাহরণস্বরূপ, বাষ্পচাপ। আমরা একাদশ শ্রেণির পঞ্চম অধ্যায়ে শিখেছি যে, নির্দিষ্ট উষ্ণতায় তরল বাষ্পীভূত হয় এবং সাম্যাবস্থায় তরল দশার উপরিস্থিত তরলের বাষ্প যে চাপ প্রয়োগ করে তাকে বাষ্পচাপ বলে [চিত্র 2.4 (a)]। একটি বিশুদ্ধ তরলে সমগ্র পৃষ্ঠতল তরলের অণুগুলো দ্বারা অধিকৃত হয়। যদি একটি অনুদ্বায়ী দ্রাব দ্রাবকে যোগ করে দ্রবণ তৈরী করা হয় [চিত্র 2.4 (b)], তাহলে শুধুমাত্র দ্রাবকের বাষ্পচাপই হল ঐ দ্রবনের বাষ্পচাপ। নির্দিষ্ট উষ্ণতায় দ্রবণের এই বাষ্পচাপ একই উষ্ণতায় বিশুদ্ধ দ্রাবকের বাষ্পচাপ অপেক্ষা কম হয়।



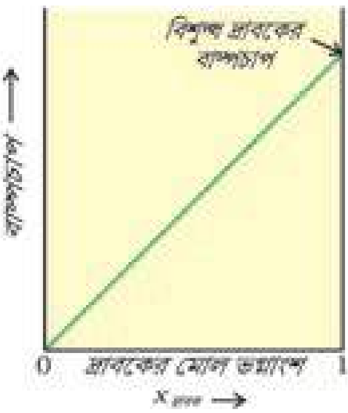

*চিত্র 2.4: দ্রাবকে দ্রাবের উপস্থিতির ফলে দ্রাবকের বাষ্পচাপের হ্রাস (a) দ্রাবকের পৃষ্ঠতল থেকে দ্রাবকের অণুগুলোর বাষ্পীভবনকে ● দ্বারা চিহ্নিত করা হয়েছে, (b) দ্রবণে দ্রাব কণাগুলোকে ● দ্বারা চিহ্নিত করা হয়েছে এবং এরাও পৃষ্ঠতলীয় ক্ষেত্রফলের কিছু অংশ অধিকার করে থাকে।*

দ্রবণের পৃষ্ঠতলে দ্রাব এবং দ্রাবক উভয় অণুগুলো থাকে, এর ফলে দ্রাবকের অণুগুলো দ্বারা অধিকৃত পৃষ্ঠতলের পরিমাণ হ্রাস পায়। ফলস্বরূপ পৃষ্ঠতল থেকে মুক্তি পাওয়া দ্রাবক অণুগুলোর সংখ্যা সঙ্গাতিপূর্ণভাবেই হ্রাস পায়, সুতরাং, বাষ্পচাপও হ্রাস পায়।

দ্রাবকের বাষ্পচাপের হ্রাস দ্রবণে উপস্থিত অনুদ্বায়ী দ্রাবের পরিমাণের উপর নির্ভর করে, এর প্রকৃতির উপর নয়। উদাহরণস্বরূপ, এক কেজি জলে 1.0 mol সুক্রোজ যোগ করলে জলের যে বাষ্পচাপ হ্রাস পায় তা একই উষ্ণতায় একই পরিমাণ জলে 1.0 mol ইউরিয়া যোগ করলে উৎপন্ন দ্রবণের প্রায় সমান হবে।

রাউল্টের সূত্রের সাধারণ বিবৃতিটি হল, কোনো দ্রবণের ক্ষেত্রে দ্রবণের প্রতিটি উদ্বায়ী উপাদানের আংশিক বাষ্পচাপ এর মোল ভগ্নাংশের সমানুপাতিক।

একটি বাইনারী দ্রবণের ক্ষেত্রে, ধরা যাক, দ্রাবককে 1 এবং দ্রাবকে 2 দ্বারা চিহ্নিত করা হয়। অনুদ্বায়ী দ্রাবের ক্ষেত্রে শুধুমাত্র দ্রাবক অণুগুলোই বাষ্পীয় দশায় উপস্থিত থাকে এবং বাষ্পচাপের জন্য দায়ী।




*চিত্র- 2.5*
*যদি একটি দ্রবণ সকল গাঢ়ত্বে রাউল্টের সূত্র মনে চলে, তাহলে এর বাষ্পচাপ শূণ্য থেকে বিশুদ্ধ দ্রাবকের বাষ্পচাপ পর্যন্ত সরলরৈখিক ভাবে পরিবর্তিত হয়।*

ধরা যাক, দ্রাবকের বাষ্পচাপ $p_1$ এর মূল ভগ্নাংশ $x_1$, বিশুদ্ধ অবস্থায় এর বাষ্পচাপ $p_i^0$ তাহলে রাউল্টের সূত্রানুযায়ী,

$$p_1 \alpha x_1$$

এবং $$p_1 = x_1 \ p_i^0 \qquad (2.20)$$

সমানুপাতিক ধ্রুবকটি বিশুদ্ধ দ্রাবকের বাষ্পচাপের ($p_i^0$) সমান। দ্রাবকের বাষ্পচাপ এবং মোল ভগ্নাংশের মধ্যে লেখচিত্রটি একটি সরলরেখা হয় (চিত্র 2.5)।

## 2.5 আদর্শ এবং অনাদর্শ দ্রবণ

তরল-তরল দ্রবণকে রাউল্টের সূত্রানুযায়ী আদর্শ এবং অনাদর্শ দ্রবণে ভাগ করা যেতে পারে।

### 2.5.1 আদর্শ দ্রবণ

যে সকল দ্রবণ সকল গাঢ়ত্বে রাউল্টের সূত্র মেনে চলে সেগুলো আদর্শ দ্রবণ নামে পরিচিতি। আদর্শ দ্রবণের আরও দুটো গুরুত্বপূর্ণ ধর্ম রয়েছে। দ্রবণ তৈরী করার জন্য বিশুদ্ধ উপাদানগুলোর মিশ্রণের ফলে এনথ্যালপির পরিবর্তন শূণ্য হয় এবং মিশ্রণের ফলে আয়তনের পারিবর্তনও শূণ্য হয়। অর্থাৎ,

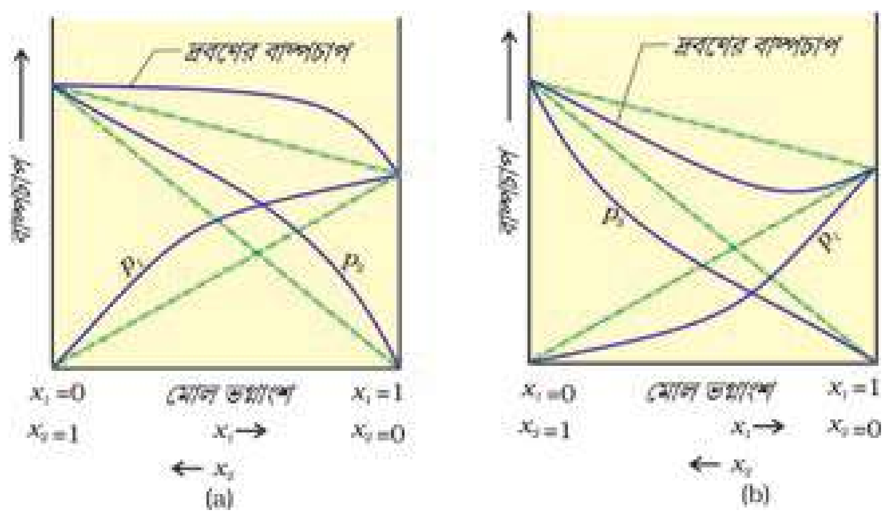
$$\Delta_{mix}H = 0, \qquad \Delta_{mix}V = 0 \qquad (2.21)$$

এর অর্থ এই যে, উপাদানগুলো মিশ্রিত করলে কোনো তাপ শোষিত হয় না অথবা উৎপন্ন হয় না। তাছাড়া, দ্রবণের আয়তন উপাদান দুটোর আয়তনের সমষ্টির সমান হবে। আণবিক স্তরে, দ্রবণের আদর্শ আচরণ দুটো উপাদান A এবং B বিবেচনা করে ব্যাখ্যা করা যেতে পারে, বিশুদ্ধ উপাদানগুলোতে আন্ত:আণবিক আকর্ষণজনিত মিথস্ক্রিয়া A-A এবং B-B ধরনের হবে। অন্যদিকে বাইনারী দ্রবণে এই দুইটি মিথস্ক্রিয়া ছাড়াও A-B ধরনের মিথস্ক্রিয়াও থাকবে। যদি A-A এবং B-B এর মধ্যে ক্রিয়াশীল আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বল A-B এর মধ্যে ক্রিয়াশীল বলের প্রায় সমান হয়। তাহলে আদর্শ দ্রবণ গঠিত হয়। একটি নিখুঁত আদর্শ দ্রবণ বিরল হয় কিন্তু কিছু দ্রবণ প্রায় আদর্শ দ্রবণের মত আচরণ করে। n-হেক্সেন এবং n-হেপ্টেন -এর দ্রবণ, ব্রোমোইথেন এবং ক্লোরাইথেন-এর দ্রবণ, বেঞ্জিন এবং টলুইনের দ্রবণ ইত্যাদি আদর্শ দ্রবণের মধ্যে পড়ে।

### 2.5.2 অনাদর্শ দ্রবণ

যখন একটি দ্রবণ সকল গাঢ়ত্বে রাউল্টের সূত্র মেনে চলে না তখন তাকে অনাদর্শ দ্রবণ বলে। এই ধরনের দ্রবণের বাষ্পচাপ রাউল্টের সূত্র (2.16 সমীকরণ) থেকে প্রাপ্ত বাষ্পচাপ অপেক্ষা বেশী অথবা কম হয়। যদি বেশী হয়, তাহলে দ্রবণটি রাউল্টের সূত্র থেকে ধনাত্মক বিচ্যুতি দেখায় এবং যদি কম হয়, তাহলে রাউল্টের সূত্র থেকে ঋণাত্মক বিচ্যুতি দেখায়। এই ধরণের দ্রবণগুলোর ক্ষেত্রে, বাষ্পচাপের সঙ্গে মোল ভগ্নাংশের লেখচিত্রটিকে চিত্র 2.6 এ দেখানো হয়েছে।

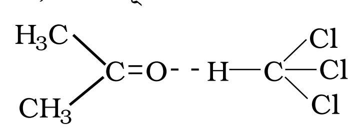
এই বিচ্যুতিগুলো আণবিক স্তরে মিথস্ক্রিয়ার প্রকৃতির কারণে হয়ে থাকে। রাউল্টের সূত্র থেকে ধনাত্মক বিচ্যুতির ক্ষেত্রে, A-B মিথস্ক্রিয়া A-A অথবা B-B মিথস্ক্রিয়ার চেয়ে দুর্বল হয় অর্থাৎ এই ক্ষেত্রে দ্রাব-দ্রাবক অণুগুলোর মধ্যে ক্রিয়াশীল আন্ত:আণবিক আকর্ষণ বল দ্রাব-দ্রাব এবং দ্রাবক-দ্রাবক অণুগুলোর চেয়ে দুর্বল হয়। এর অর্থ এই যে, এই ধরনের দ্রবণে A (অথবা B) অণুগুলো বিশুদ্ধ অবস্থার তুলনায় সহজে মুক্তি পাবে। এটি বাষ্পচাপ বৃদ্ধি করবে এবং ধনাত্মক বিচ্যুতি ঘটবে।




*চিত্র 2.6*
*সংযুতির ভিত্তিতে দুটো উপাদানবিশিষ্ট সিস্টেমের বাষ্পচাপ (a) রাউল্টের সূত্র থেকে ধনাত্মক বিচ্যুতি দেখায় এমন দ্রবণ (b) রাউল্টের সূত্র থেকে ঋণাত্মক বিচ্যুতি দেখায় এমন দ্রবণ।*

ইথানল ও অ্যাসিটোনের মিশ্রণ এই রকম আচরণ করে। বিশুদ্ধ ইথানলে অণুগুলো হাইড্রোজেন বন্ধন দ্বারা যুক্ত। অ্যাসিটোন যোগ করার ফলে এর অণুগুলো দ্রাবক (হোস্ট) অণুগুলোর মাঝখানে ঢুকে পড়ে এবং এদের মধ্যকার কিছু হাইড্রোজেন বন্ধনকে ভেঙ্গো দেয়। মিথস্ক্রিয়াগুলো দুর্বল হওয়ার ফলে দ্রবণটি রাউল্ডের সূত্র থেকে ধনাত্মক বিচ্যুতি দেখায় [চিত্র 2.6 (a)]. অ্যাসিটোনে কার্বন ডাইসালফাইড যোগ করার ফলে যে দ্রবণ উৎপন্ন হয়, তাতে দ্রাব-দ্রাবক অণুগুলোর মধ্যে ক্রিয়াশীল দ্বিমেরু মিথস্ক্রিয়া দ্রাব-দ্রাব এবং দ্রাবক-দ্রাবক অণুগুলোর মধ্যেকার মিথস্ক্রিয়া অপেক্ষা দুর্বল হয়। এই দ্রবণও ধনাত্মক বিচ্যুতি দেখায়।

রাউল্টের সূত্র থেকে ঋণাত্মক বিচ্যুতির ক্ষেত্রে, A-A এবং B-B এর মধ্যে ক্রিয়াশীল আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বল A-B এর মধ্যে ক্রিয়াশীল বলের চেয়ে দুর্বল হয়, যা বাষ্পচাপের হ্রাস ঘটায় এবং ঋণাত্মক বিচ্যুতি দেখা যায়। এই ধরনের একটি উদাহরণ হল ফেনল এবং অ্যানিলিনের মিশ্রণ। এক্ষেত্রে ফেনলিক প্রোটন এবং অ্যানিলিনের নাইট্রোজেন পরমাণুর নিঃসঙ্গ জোড়ের মধ্যে আন্তঃআণবিক হাইড্রোজেন বন্ধন একই অণুগুলির মধ্যেকার আন্তঃআণবিক হাইড্রোজেন বন্ধন অপেক্ষা শক্তিশালী। একইভাবে, ক্লোরোফর্ম এবং অ্যাসিটোনের মিশ্রণ রাউল্টের সূত্র থেকে ঋণাত্মক বিচ্যুতিসম্পন্ন একটি দ্রবণ গঠন করে। এর কারণ হল, ক্লোরোফর্ম অণুগুলো অ্যাসিটোন অণুগুলোর সঙ্গো হাইড্রোজেন বন্ধন গঠন করতে পারে, যা নিম্নরূপ-



ইহা প্রতিটি উপাদানের জন্য অণুগুলোর মুক্ত হওয়ার প্রবণতা হ্রাস করে এবং কাজেই বাষ্পচাপ হ্রাস পায় ও রাউল্টের সূত্র থেকে ঋণাত্মক বিচ্যুতি ঘটে [চিত্র 2.6. (b)]।

কিছু তরল মিশ্রিত করলে অ্যাজিওট্রোপ (azeotropes) গঠন করে যেগুলো হল বাইনারী মিশ্রণ যাদের তরল এবং বাষ্পদশার সংযুতি একই হয় এবং একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় স্ফুটন হয়। এইরকম ক্ষেত্রে, উপাদানগুলোকে আংশিক পাতন পদ্ধতিতে পৃথক করা সম্ভব নয়। অ্যাজিওট্রোপ দুই ধরনের হয় যথা সর্বনিম্ন স্ফুটনাঙ্ক বিশিষ্ট অ্যাজিওট্রোপ এবং সর্বোচ্চ স্ফুটনাঙ্ক বিশিষ্ট অ্যাজিওট্রোপ। যে দ্রবণগুলো নির্দিষ্ট সংযুতিতে রাউল্টের সূত্র থেকে অধিক ধনাত্মক বিচ্যুতি দেখায় সেগুলো সর্বনিম্ন স্ফুটনাঙ্ক বিশিষ্ট অ্যাজিওট্রোপ গঠন করে। উদাহরণস্বরূপ, ইথানল-জল মিশ্রণকে (চিনির সন্ধান প্রক্রিয়ায় প্রাপ্ত) আংশিক

পাতন করলে একটি দ্রবণ উৎপন্ন করে যাতে আয়তন হিসাবে প্রায় 95% ইথনাল থাকে। একবার এই সংযুতি, অ্যাজিওট্রোপ সংযুতি, পেয়ে গেলে, তরল এবং বাষ্পের একই সংযুতি হবে এবং এরপর এদেরকে আর পৃথক করা সম্ভব নয়।

যে দ্রবণগুলো নির্দিষ্ট সংযুতিতে রাউল্টের সূত্র থেকে অধিক ঋণাত্মক বিচ্যুতি দেখায় সেগুলো সর্বোচ্চ স্ফুটনাঙ্ক বিশিষ্ট অ্যাজিওট্রোপ গঠন করে। নাইট্রিক অ্যাসিড এবং জল এই শ্রেণির অ্যাজিওট্রোপের একটি উদাহরণ। এই অ্যাজিওট্রোপের আনুমানিক সংযুতি হল, 68% নাইট্রিক অ্যাসিড এবং 32% জল (ভর হিসাবে) ও স্ফুটনাঙ্ক হল 393.5 K.

**বিষয়ভিত্তিক প্রশ্ন**

2.8 350 K উষ্ণতায় বিশুদ্ধ তরল A এবং B এর বাষ্পচাপ যথাক্রমে 450 এবং 700 mm Hg। তরল মিশ্রণটির সংযুতি নির্ণয় করো যখন মোট বাষ্পচাপ 600 mm Hg হয়। বাষ্পীয় দশার সংযুতিও নির্ণয় করো।

## 2.6 সংখ্যাগত ধর্ম এবং আণব ভর নির্ণয়

2.4.3 অনুচ্ছেদে আমরা শিখেছি যে, একটি উদ্বায়ী দ্রাবকে একটি অনুদ্বায়ী দ্রাব যোগ করলে দ্রবণের বাষ্পচাপ হ্রাস পায়। দ্রবণের এমন অনেকগুলো ধর্ম আছে যেগুলো এই বাষ্পচাপ হ্রাসের সঙ্গে যুক্ত। এগুলো হল ঃ (1) দ্রাবকের বাষ্পচাপের আপেক্ষিক অবনমন (2) দ্রাবকের হিমাঙ্কের অবনমন (3) দ্রাবকের স্ফুটনাঙ্কের উন্নয়ন এবং (4) দ্রবণের অভিস্রবন চাপ। এই সকল ধর্মগুলোর দ্রবণে উপস্থিত কণাগুলোর মোট সংখ্যার সাপেক্ষে দ্রাবের কণাগুলোর সংখ্যার উপর নির্ভর করে, কিন্তু এদের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে না। এই ধরণের ধর্মগুলোকে সংখ্যাগত ধর্ম বলে। (কলিগেটিভ ঃ ল্যাটিন শব্দ co মানে এক সাথে, ligare মানে যুক্ত করা)। নীচের অনুচ্ছেদে আমরা একটি একটি করে এই ধর্মগুলো আলোচনা করবো।

### 2.6.1 বাষ্পচাপের আপেক্ষিক অবনমন

2.4.3 অনুচ্ছেদে আমরা শিখেছি যে, বিশুদ্ধ দ্রাবকের তুলনায় দ্রবণে দ্রাবকের বাষ্পচাপ কম হয়। রাউল্ট প্রতিষ্ঠা করেছিলেন যে, বাষ্পচাপের অবনমন শুধুমাত্র দ্রাবের কণাগুলোর গাঢ়ত্বের উপর নির্ভর করে এবং এদের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে না। 2.4.3 অনুচ্ছেদে প্রদত্ত (2.20) সমীকরণটি দ্রবণের বাষ্পচাপ, মোল ভগ্নাংশ এবং দ্রাবকের বাষ্পচাপের মধ্যে একটি সম্পর্ক প্রতিষ্ঠা করে। অর্থাৎ,

$$p_1 = x_1 \, p_1^0 \tag{2.22}$$

দ্রাবকের বাষ্পচাপের হ্রাস ($\Delta p_1$) হল :

$$\Delta p_1 = p_1^0 - p_1 = p_1^0 - p_1^0 \, x_1$$
$$= p_1^0 \, (1 - x_1) \tag{2.23}$$

$x_2 = 1 - x_1$, বসিয়ে (2.23) সমীকরণটি হবে

$$\Delta p_1 = x_2 \, p_1^0 \tag{2.24}$$

বিভিন্ন অনুদ্বায়ী দ্রাবের দ্রবণের ক্ষেত্রে, বাষ্পচাপের অবনমন বিভিন্ন দ্রাবের মোল ভগ্নাংশের সমষ্টির উপর নির্ভর করে।

(2.24) সমীকরণটিকে লেখা যায়,

$$\frac{\Delta p_1}{p_1^0} = \frac{p_1^0 - p_1}{p_1^0} = x_2 \tag{2.25}$$

সমীকরণটির বাঁ-দিকের রাশিমালাকে যা পূর্বে উল্লেখ করা হয়েছে, তাকে বাষ্পচাপের আপেক্ষিক অবনমন বলা হয় এবং ইহা দ্রাবের মোল ভগ্নাংশের সমান। উপরের সমীকরণটিকে লেখা যেতে পারে :

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

এখানে, $n_1$ এবং $n_2$ হল যথাক্রমে দ্রবণে উপস্থিত দ্রাবক এবং দ্রাবের মোলসংখ্যা। লঘু দ্রবণের ক্ষেত্রে, $n_2 << n_1$, তাই হরের $n_2$ কে উপেক্ষা করে

আমরা পাই,

$$\frac{p_1^0 - p_1}{p_1^0} = \frac{n_2}{n_1} \tag{2.27}$$

বা, $$\frac{p_1^0 - p_1}{p_1^0} = \frac{w_2 \times M_1}{M_2 \times w_1} \tag{2.28}$$

এখানে, $w_1$ এবং $w_2$ হল যথাক্রমে দ্রাবক এবং দ্রাবের ভর এবং $M_1$ এবং $M_2$ হল যথাক্রমে দ্রাবক এবং দ্রাবের আণব ভর।

অন্য সব রাশিগুলোর মান জানা থাকলে (2.28), সমীকরণ থেকে দ্রাবের আণব ভর ($M_2$) গণনা করা যায়।

**নমুনা প্রশ্ন 2.6**

একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় বিশুদ্ধ বেঞ্জিনের বাষ্পচাপ 0.850 bar. একটি অনুদ্বায়ী, তড়িৎ-অবিশ্লেষ্য কঠিন পদার্থের 0.5 g যখন 39.0 g বেঞ্জিনে (আণব ভর 78 g $mol^{-1}$). যোগ করা হল, তখন দ্রবণের বাষ্পচাপ হয় 0.845 bar. কঠিন পদার্থটির আণব ভর কত?

**সমাধান**

আমাদের জানা বিভিন্ন রাশিগুলি নিম্নরূপ :

$p_1^0 = 0.850$ bar; $p = 0.845$ bar; $M_1 = 78$ g $mol^{-1}$; $w_2 = 0.5$ g; $w_1 = 39$ g

এই মানগুলি (2.28), সমীকরণ বসিয়ে আমরা পাই,

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

সুতরাং, $M_2 = 170$ g $mol^{-1}$

### 2.6.2 স্ফুটনাঙ্কের উন্নয়ন

আমরা একাদশ শ্রেণির পঞ্চম অধ্যায়ে শিখেছি যে, উষ্ণতার বৃদ্ধিতে কোনো তরলের বাষ্পচাপ বৃদ্ধি পায়। যে উষ্ণতায় তরলের বাষ্পচাপ বায়ুমন্ডলীয় চাপের সমান হয় সে উষ্ণতায় তরলের স্ফুটন হয়। উদাহরণস্বরূপ, জল 373.15 K (100° C) উষ্ণতায় ফুটে, কারণ এই উষ্ণতায় জলের বাষ্পচাপ 1.013 bar (1 অ্যাটমসফিয়ার)। আমরা পূর্বের অনুচ্ছেদে আরও শিখেছি যে, অনুদ্বায়ী দ্রাবের উপস্থিতিতে দ্রাবকের বাষ্পচাপ হ্রাস পায়। চিত্র : 2.7-এ বিশুদ্ধ দ্রাবক এবং দ্রবণের বাষ্পচাপের পরিবর্তন উষ্ণতার সাপেক্ষে বর্ণনা করা হয়েছে। উদাহরণস্বরূপ, সুক্রোজের একটি জলীয় দ্রবণের বাষ্পচাপ 373.15 K উষ্ণতায় 1.013 bar এর চেয়ে কম। এই দ্রবণটির স্ফুটন ঘটাতে বিশুদ্ধ দ্রাবকে (জল) এর উষ্ণতা স্ফুটনাঙ্কের চেয়ে অধিক বৃদ্ধি করে দ্রবণের বাষ্পচাপ বাড়িয়ে অবশ্যই 1.013 bar করতে হবে। এইরূপে দ্রবণের স্ফুটনাঙ্ক সর্বদাই বিশুদ্ধ দ্রাবকের (যার মধ্যে দ্রবণটি প্রস্তুত করা

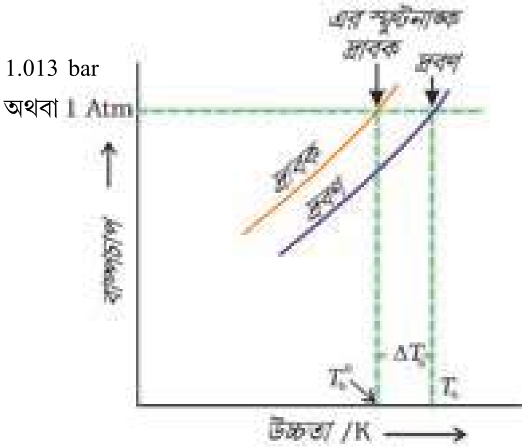



*Fig. 2.7:* *দ্রবণের বাষ্পচাপ বক্ররেখাটি বিশুদ্ধ জলের বক্ররেখার নীচে অবস্থিত। এই রেখাচিত্রটি দেখায় যে, $\Delta T_b$ হল দ্রবণে কোনো দ্রাবকের স্ফুটনারঙ্কের উন্নয়ন।*

হয়েছে) স্ফুটনাঙ্কের চেয়ে বেশী হয় (চিত্র 2.7 এ দেখানো হয়েছে)। বাষ্পচাপের অবনমনের মত স্ফুটনাঙ্কের উন্নয়ন ও দ্রাবের অণুসংখ্যার উপর নির্ভর করে, তাদের প্রকৃতির উপর নয়। 1000 g জলে 1 মোল সুক্রোজের দ্রবণ এক বায়ুমন্ডলীয় চাপে 373.52 K উষ্ণতায় ফুটে।

ধরা যাক, বিশুদ্ধ দ্রাবকের স্ফুটনাঙ্ক $T_b^0$ এবং দ্রবণের স্ফুটনাঙ্ক $T_b$. স্ফুটনাঙ্কের বৃদ্ধি, $\Delta T_b = T_b - T_b^0$, ইহা স্ফুটনাঙ্কের উন্নয়ন নামে পরিচিত।

পরীক্ষা থেকে দেখা গেছে, লঘু দ্রবণের ক্ষেত্রে, স্ফুটনাঙ্কের উন্নয়ন ($\Delta T_b$) দ্রবণে দ্রাবের মোলাল গাঢ়ত্বের সমানুপাতিক। তাই,

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

অথবা,

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

এখানে, *m* (মোলালিটি) হল 1 kg দ্রাবকে দ্রবীভূত দ্রাবের মোলসংখ্যা এবং সমানুপাতিক ধ্রুবক, $K_b$ কে স্ফুটনাঙ্ক উন্নয়ন ধ্রুবক বা মোলাল উন্নয়ন ধ্রুবক (ইবিউলিওস্কেপিক ধ্রুবক) বলে। $K_b$ এর একক হল K kg mol$^{-1}$. কতকগুলো প্রচলিত দ্রাবকের $K_b$ এর মান 2.3. সারণিতে দেওয়া হয়েছে। যদি $M_2$ আণব ভরবিশিষ্ট $w_2$ g দ্রাব $w_1$ g দ্রাবকে দ্রবীভূত করা হয়, তাহলে দ্রবণের মোলালিটি (m) নিম্নরূপ প্রকাশিত করা যায় :

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

(2.30) সমীকরণে মোলালিটির মান বসিয়ে পাই,

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

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

এজন্য দ্রাবের আণব ভর $M_2$ নির্ণয় করতে জ্ঞাত ভরের দ্রাবকের মধ্যে জ্ঞাত ভরের দ্রাব নেওয়া হয় এবং একটি পরিচিত দ্রাবকের (যার $K_b$ এর মান জানা) $\Delta T_b$ পরীক্ষালব্ধভাবে নির্ণয় করা হয়।

**নমুনা প্রশ্ন 2.7**

একটি সস্ প্যানে 1 kg জলে 18 g গ্লুকোজ ($C_6H_{12}O_6$) দ্রবীভূত করা হল। 1.013 bar চাপে কোন্ উষ্ণতায় জল ফুটবে? জলের $K_b$ = 0.52 K kg mol$^{-1}$.

**সমাধান**

গ্লুকোজের মোলসংখ্যা = 18 g/ 180 g mol$^{-1}$ = 0.1 mol
দ্রাবকের কিলোগ্রাম সংখ্যা = 1 kg
সুতরাং গ্লুকোজ দ্রবণের মোলালিটি = 0.1 mol kg$^{-1}$
জলের স্ফুটনাঙ্কের পরিবর্তন,

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

যেহেতু, জল 1.013 bar চাপে 373.15 K উষ্ণতায় ফুটে, সুতরাং দ্রবণের স্ফুটনাঙ্ক হবে 373.15 + 0.052 = 373.202 K.

**নমুনা প্রশ্ন 2.8** বেঞ্জিনের স্ফুটনাঙ্ক 353.23 K যখন 1.80 g একটি অনুদ্বায়ী দ্রাব 90 g বেঞ্জিনে দ্রবীভূত করা হল, তখন বেঞ্জিনের স্ফুটনাঙ্ক বৃদ্ধি পেয়ে 354.11 K হল। দ্রাবটির আণব ভর গণনা করো। বেঞ্জিনের $K_b = 2.53 \text{ K kg mol}^{-1}$

**সমাধান** স্ফুটনাঙ্কের বৃদ্ধি ($\Delta T_b$) = 354.11 K – 353. 23 K = 0.88 K

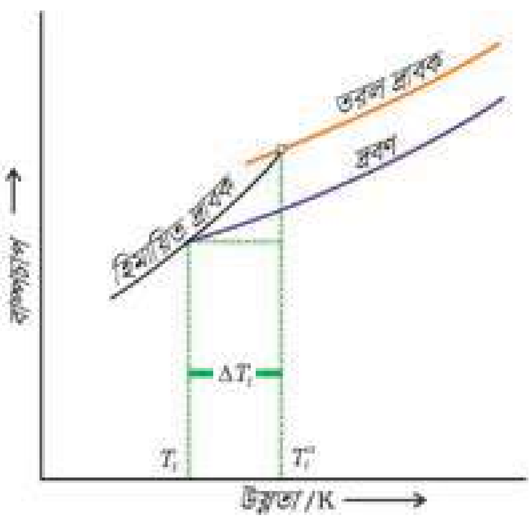
(2.33) রাশিমালাতে এই মানগুলো বসিয়ে পাই,

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

সুতরাং, দ্রাবটির আণব ভর, $M_2 = 58 \text{ g mol}^{-1}$

## 2.6.3 হিমাঙ্কের অবনমন

কোনো দ্রবণের বাষ্পচাপের অবনমন বিশুদ্ধ দ্রাবকের তুলনায় দ্রবণের হিমাঙ্কের হ্রাস ঘটায় (চিত্র 2.8)। আমরা জানি যে, কোনো পদার্থের হিমাঙ্ক, কঠিন দশা তরল দশার সাথে গতিশীল সাম্যাবস্থায় থাকে। তাই যে উষ্ণতায় কোনো পদার্থের তরল দশার বাষ্পচাপ ঐ পদার্থের কঠিন দশার বাষ্পচাপের সমান হয়, তাকে হিমাঙ্ক হিসাবে সংজ্ঞায়িত করা যায়। চিত্র 2.8 থেকে এটি স্পষ্ট যে, কোনো দ্রবণের বাষ্পচাপ বিশুদ্ধ কঠিন দ্রাবকের বাষ্পচাপের সমান হলেই দ্রবণটি জমাট বাঁধবে। রাউল্টের সূত্রানুযায়ী, যখন কোনো দ্রাবকে একটি অনুদ্বায়ী দ্রাব যোগ করা হয়, তখন এর বাষ্পচাপ হ্রাস পায় এবং নিম্ন উষ্ণতায় এটি কঠিন দ্রাবকের সমান হয়। এর ফলে দ্রাবকের হিমাঙ্ক হ্রাস পায়।




*চিত্র 2.8: কোনো দ্রবণে দ্রাবকের হিমাঙ্ক অবনমনের $\Delta T_f$ রেখাচিত্র দেখানো হলো।*

ধরা যাক, বিশুদ্ধ দ্রাবকের হিমাঙ্ক $T_f^0$ . এবং এর মধ্যে অনুদ্বায়ী দ্রাব দ্রবীভূত করার ফলে হিমাঙ্ক হল $T_f$ । হিমাঙ্কের হ্রাস $\Delta T_f = T_f^0 - T_f$ , ইহা হিমাঙ্কের অবনমন নামে পরিচিত।

স্ফুটনাঙ্ক উন্নয়নের মত, লঘু দ্রবণের (আদর্শ দ্রবণ) হিমাঙ্ক অবনমন ($\Delta T_f$) দ্রবণের মোলালিটির (m) সঙ্গে সমানুপাতিক। অতএব,

$$\Delta T_f \propto m$$

অথবা, $$\Delta T_f = K_f \, m \qquad (2.34)$$

সমানুপাতিক ধ্রুবক, $K_f$ যা দ্রাবকের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে, হিমাঙ্ক অবনমন ধ্রুবক বা মোলাল অবনমন ধ্রুবক বা ক্রায়োস্কোপিক ধ্রুবক নামে পরিচিত। $K_f$ এর একক হল K kg mol$^{-1}$ কতকগুলো প্রচলিত দ্রাবকের $K_f$ এর মান 2.3 সারণিতে দেওয়া হল।

যদি $M_2$ আণব ভর বিশিষ্ট $w_2$ g ভরের দ্রাব $w_1$ g দ্রাবকে উপস্থিত থাকে এবং দ্রাবকের হিমাঙ্ক অবনমন $\Delta T_f$ হয়, তাহলে দ্রাবের মোলালিটি (2.31) সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়।

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

(2.34) সমীকবণে মোলালিটির মান বসিয়ে আমরা পাই,

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

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

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

সুতরাং দ্রাবের আণব ভর নির্ণয় করতে মোলাল হিমাঙ্ক অবনমন ধ্রুবকের পাশাপাশি $w_1$, $w_2$, $\Delta T_f$ রাশিগুলোর মানও আমাদের জানতে হবে।

$K_f$ এবং $K_b$ এর মানগুলো, যেগুলো দ্রাবকের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে, নীচের সম্পর্কগুলো থেকে নির্ণয় করা যায়।

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

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

এখানে চিহ্ন $R$ এবং $M_1$ যথাক্রমে গ্যাস ধ্রুবক এবং দ্রাবকের আণব ভর নির্দেশ করে, $T_f$ এবং $T_b$ যথাক্রমে কেলভিন এককে বিশুদ্ধ দ্রবকের হিমাঙ্ক এবং স্ফুটনাঙ্ক বোঝায়। তাছাড়া $\Delta_{fus} H$ এবং $\Delta_{vap} H$ যথাক্রমে দ্রাবকের গলন এবং বাষ্পীভবনের এনথ্যালপি প্রকাশ করে।

সারণি 2.3: কয়েকটি দ্রাবকের মোলাল স্ফুটনাঙ্ক উন্নয়ন এবং হিমাঙ্ক অবনমন ধ্রুবক

| দ্রাবক | স্ফুটনাঙ্ক/K | $K_b$/K kg mol$^{-1}$ | হিমাঙ্ক/K | $K_f$/K kg mol$^{-1}$ |
|---|---|---|---|---|
| জল | 373.15 | 0.52 | 273.0 | 1.86 |
| ইথানল | 351.5 | 1.20 | 155.7 | 1.99 |
| সাইক্লোহেক্সেন | 353.74 | 2.79 | 279.55 | 20.00 |
| বেঞ্জিন | 353.3 | 2.53 | 278.6 | 5.12 |
| ক্লোরোফর্ম | 334.4 | 3.63 | 209.6 | 4.79 |
| কার্বন টেট্রাক্লোরাইড | 350.0 | 5.03 | 250.5 | 31.8 |
| কার্বন ডাই সালফাইড | 319.4 | 2.34 | 164.2 | 3.83 |
| ডাইইথাইল ইথার | 307.8 | 2.02 | 156.9 | 1.79 |
| অ্যাসিটিক অ্যাসিড | 391.1 | 2.93 | 290.0 | 3.90 |

**নমুনা প্রশ্ন 2.9** 45 g ইথিলিন গ্লাইকল ($C_2H_6O_2$) 600 g জলের সাথে মিশ্রিত করা হল। গণনা করো, (a) হিমাঙ্ক অবনমন এবং (b) দ্রবণের হিমাঙ্ক

**সমাধান** হিমাঙ্ক অবনমন মোলালিটির সাথে সম্পর্কযুক্ত। সুতরাং ইথিলিন গ্লাইকলের সাপেক্ষে দ্রবণের

$$\text{মোলালিটি} = \frac{\text{ইথিলিন গ্লাইকলের মোলসংখ্যা}}{\text{কিলোগ্রাম এককে জলের ভর}}$$

$$\text{ইথিলিন গ্লাইকলের মোলসংখ্যা} = \frac{45\ g}{62\ g\ mol^{-1}} = 0.73 \text{ mol}$$

$$\text{কেজি এককে জলের ভর} = \frac{600 g}{1000 g\ kg^{-1}} = 0.6 \text{ kg}$$

$$\text{সুতরাং, ইথিলিন গ্লাইকলের মোলালিটি} = \frac{0.73 \text{ mol}}{0.60 \text{ kg}} = 1.2 \text{ mol kg}^{-1}$$

সুতরাং, হিমাঙ্কের অবনমন,

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

জলীয় দ্রবণের হিমাঙ্ক = 273.15 K – 2.2 K = 270.95 K

**নমুনা প্রশ্ন 2.10** 1.00 g একটি তড়িৎ অবিশ্লেষ্য দ্রাব 50 g বেঞ্জিনে দ্রবীভূত করার ফলে বেঞ্জিনের হিমাঙ্ক 0.40 K হ্রাস পায়। বেঞ্জিনের হিমাঙ্ক অবনমন ধ্রুবক 5.12 K kg $mol^{-1}$. দ্রাবটির আণব ভর নির্ণয় করো।

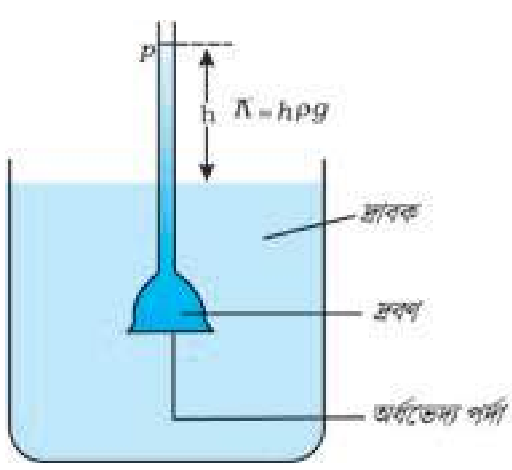
**সমাধান** (2.36) সমীকরণে বিভিন্ন পদগুলোর মান বসিয়ে

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

সুতরাং, দ্রাবটির আণব ভর = 256 g $mol^{-1}$

## 2.6.4 অভিস্রবন এবং অভিস্রবন চাপ

এমন অনেক ঘটনাবলী রয়েছে যেগুলো আমরা প্রকৃতিতে অথবা বাড়িতে পর্যবেক্ষণ করি। উদাহরণস্বরূপ, কাঁচা আম যখন ব্রাইন (লবণাক্ত জল) দ্রবণে সংরক্ষিত হয় তখন তা চুপসে (shrivel) যায়, সতেজ নয় এমন (wilted) ফুল যখন বিশুদ্ধ জলে রাখা হয় তখন তা পুনরুজ্জীবিত হয়, রক্ত কোষ নোনা জলে ( saline water) প্রলম্বিত করলে নষ্ট হয়ে যায় ইত্যাদি। আমরা যদি এই প্রক্রিয়াগুলোর দিকে লক্ষ্য করি তাহলে সমস্ত প্রক্রিয়াগুলোর ক্ষেত্রেই একটি সাধারণ বিষয় দেখা যায় এবং এটি হল সবগুলো পদার্থই পর্দা (মেমব্রেন) দ্বারা আবৃত থাকে। এই পর্দা (মেমব্রেন) গুলো প্রাণীজ বা উদ্ভিজ উৎস থেকে পাওয়া যেতে পারে এবং প্রাকৃতিকভাবে এগুলো শূকরের মূত্রথলী বা পার্চমেন্ট এ অথবা কৃত্রিমভাবে সেলোফেনে পাওয়া যায়। এই পর্দাগুলো হল নিরবিচ্ছিন্ন চাদর (sheets) বা ঝিল্লি (films), যদিও এদের মধ্যে সূক্ষ্মাতিসূক্ষ্ম ছিদ্রযুক্ত জালক

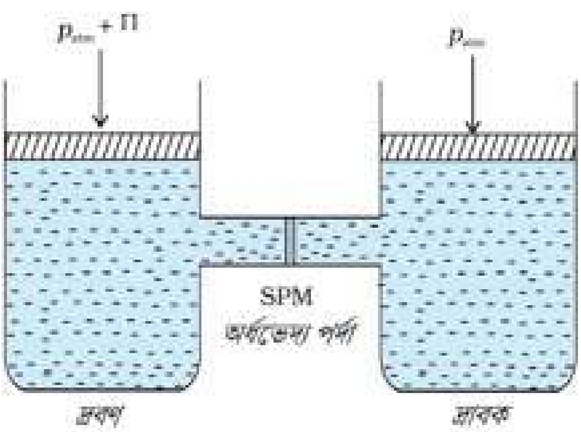



*চিত্র Fig. 2.9*
*দ্রাবকের অভিস্রবনের ফলে দীর্ঘনল ফানেলে দ্রবণের উন্নতা বৃদ্ধি পায়।*

রয়েছে। দ্রাবকের ক্ষুদ্র অণুগুলো, যেমন জল, এই ছিদ্রগুলো অতিক্রম করতে পারে কিন্তু বড় অণুগুলো, যেমন দ্রাব, বাধাপ্রাপ্ত হয়। এই ধরনের ধর্মবিশিষ্ট পর্দাগুলো অর্ধভেদ্য পর্দা বা (SPM) (সেমি পার মিএবল মেমব্রেন) নামে পরিচিত।

ধরা যাক, শুধুমাত্র দ্রাবক অণুগুলো এই অর্ধভেদ্য পর্দাগুলোর মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হতে পারে। যদি এই পর্দাকে দ্রাবক এবং দ্রবণের মধ্যে রাখা হয়, (চিত্র 2.9) তাহলে দ্রাবক অণুগুলো পর্দার মধ্য দিয়ে বিশুদ্ধ দ্রাবক থেকে দ্রবণে প্রবাহিত হবে। দ্রাবকের প্রবাহের এই প্রক্রিয়াকে অভিস্রবন বলে।

সাম্যাবস্থা আসা পর্যন্ত এই প্রবাহ চলতে থাকবে। দ্রবণের উপর যদি কিছু পরিমাণ অতিরিক্ত চাপ প্রয়োগ করা হয়, তাহলে অর্ধভেদ্য পর্দার মধ্য দিয়ে দ্রাবক থেকে দ্রবণের দিকে দ্রাবকের প্রবাহ বন্ধ করা যায়। এই চাপ যা দ্রাবকের প্রবাহ বন্ধ করে দেয় তাকে দ্রবণের অভিস্রবন চাপ বলে। অভিস্রবনের ফলেই অর্ধভেদ্য পর্দার মধ্য দিয়ে লঘু দ্রবণ থেকে গাঢ় দ্রবণে দ্রাবকের প্রবাহ ঘটে। একটি গুরুত্বপূর্ণ বিষয় মনে রাখা দরকার যে, দ্রাবক অণুগুলো সর্বদাই কম গাঢ়ত্বের দ্রবণ থেকে বেশী গাঢ়ত্বের দ্রবণে প্রবাহিত হয়। অভিস্রবন চাপ দ্রবণের গাঢ়ত্বের উপর নির্ভর করে।




*চিত্র 2.10 অভিস্রবন বন্ধ করার জন্য দ্রবণের উপর অভিস্রবন চাপের সমান অতিরিক্ত চাপ প্রয়োগ করতেই হবে।*

কোন দ্রবণের অভিস্রবন চাপ হল সেই অতিরিক্ত চাপ যা অভিস্রবন প্রতিরোধ করতে অর্থাৎ অর্ধভেদ্য পর্দার মধ্য দিয়ে দ্রাবকের অণুগুলোর দ্রবণে প্রবাহ বন্ধ করতে, দ্রবণের উপর অবশ্যই প্রয়োগ করতে হবে। ইহা চিত্র 2.10 তে ব্যাখ্যা করা হয়েছে। অভিস্রবন চাপ একটি সংখ্যাগত ধর্ম যেহেতু ইহা দ্রাবের অনুসংখ্যার উপর নির্ভরশীল, তাদের প্রকৃতির উপর নয়। লঘু দ্রবণের ক্ষেত্রে, পরীক্ষালব্ধভাবে দেখা গেছে যে, একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় ($T$) অভিস্রবন চাপ দ্রবণের মোলারিটির ($C$) সঙ্গে সমানুপাতিক। তাই,

$$\Pi = C\,R\,T \tag{2.39}$$

এখানে, $\Pi$ হল অভিস্রবন চাপ এবং R হল গ্যাস ধ্রুবক।

$$\Pi = (n_2\,/V)\;R\;T \tag{2.40}$$

এখানে $V$ হল লিটার এককে দ্রবণের আয়তন যাতে $n_2$ মোল দ্রাব দ্রবীভূত আছে। যদি $M_2$ আনব ভর বিশিষ্ট $w_2$ গ্রাম দ্রাব দ্রবণে উপস্থিত থাকে, তাহলে $n_2 = w_2 / M_2$ এবং আমরা লিখতে পারি,

$$\Pi\;V = \frac{w_2\,R\,T}{M_2} \tag{2.41}$$

অথবা $$M_2 = \frac{w_2\;R\;T}{\Pi V} \tag{2.42}$$

সুতরাং, $w_2$, $T$, $\Pi$ এবং $V$ রাশিগুলোর মান জানা থাকলে আমরা দ্রাবের আনব ভর নির্ণয় করতে পারি।

অভিস্রবন চাপের পরিমাপ দ্রাবের আণব ভর নির্ণয়ের আকেরটি পদ্ধতি প্রদান করে। এই পদ্ধতি প্রোটিন, পলিমার এবং অন্যান্য বৃহৎ অণুর আণব ভর নির্ণয়ে ব্যাপকভাবে ব্যবহৃত হয়। অন্যান্য পদ্ধতির

চেয়ে অভিস্রবন চাপ পদ্ধতির সুবিধা বেশী কারণ ঘরের উষ্ণতায় চাপ পরিমাপ করা হয় এবং দ্রবণের মোলালিটির পরিবর্তে মোলারিটি ব্যবহার করা হয়। অন্যান্য সংখ্যাগত ধর্মের তুলনায়, অতি লঘু দ্রবণের ক্ষেত্রেও এর মান বেশী হয়। দ্রাবের আণব ভর নির্ণয়ের অভিস্রবন চাপ পদ্ধতি জীব-অণু (যেহেতু এরা সাধারণত উচ্চ উষ্ণতায় অস্থায়ী) এবং কম দ্রাব্যতা সম্পন্ন পলিমারের ক্ষেত্রে বিশেষভাবে উপযোগী।

একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় দুইটি দ্রবণের অভিস্রবন চাপ সমান হলে তাদের আইসোটোনিক দ্রবণ বলে। যখন এই দ্রবণগুলোকে অর্ধভেদ্য পর্দা দ্বারা পৃথক করা হয়, তখন তাদের মধ্যে কোনো অভিস্রবন ঘটে না। উদাহরণস্বরূপ, রক্ত কোষের অভ্যন্তরে তরলের অভিস্রবন চাপ 0.9% (ভর/আয়তন) সোডিয়াম ক্লোরাইড দ্রবণের (সাধারণ স্যালাইন দ্রবণ) সমতুল্য এবং এটি শিরাতে প্রবেশ করানোর জন্য নিরাপদ। অপরদিকে, আমরা যদি কোষগুলোকে 0.9% (ভর/আয়তন) সোডিয়াম ক্লোরাইড দ্রবণের চেয়ে অধিক গাঢ়ত্বের দ্রবণে রাখি, তখন কোষগুলো থেকে জল বেরিয়ে যাবে এবং এগুলো সংকুচিত হয়ে যাবে। এই ধরনের দ্রবণকে হাইপারটোনিক দ্রবণ বলে। যদি লবণের গাঢ়ত্ব 0.9% (ভর/আয়তন) এর চেয়ে কম হয়, তখন দ্রবণটিকে হাইপোটোনিক দ্রবণ বলা হয়। এই ক্ষেত্রে, এই দ্রবণে কোষগুলোকে রাখা হলে, কোষগুলোর ভিতরে জল প্রবেশ করবে এবং এগুলো স্ফীত হবে।

**নমুনা প্রশ্ন 2.11** 200 $cm^3$ প্রোটিনের একটি জলীয় দ্রবণে 1.26 g প্রোটিন রয়েছে। দেখা গেছে, 300 K উষ্ণতায় এই দ্রবণের অভিস্রবন চাপ $2.57 \times 10^{-3}$ bar. প্রোটিনটির আণব ভর গণনা করো।

**সমাধান** আমাদের জানা বিভিন্ন রাশিগুলো নিম্নরূপ : $\Pi = 2.57 \times 10^{-3}$ bar,

$V = 200\ cm^3 = 0.200$ litre

$T = 300$ K

$R = 0.083\ L\ bar\ mol^{-1}\ K^{-1}$

এই মানগুলো (2.42) সমীকরণে বসিয়ে আমরা পাই,

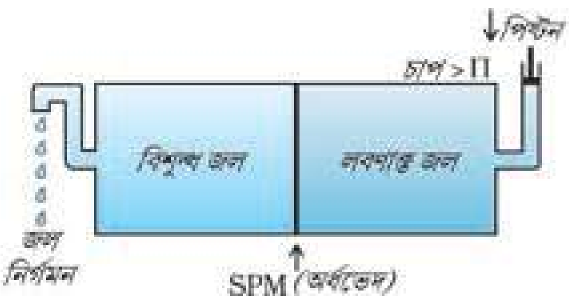
$$M_2 = \frac{1.26\ g \times 0.083\ L\ bar\ K^{-1}\ mol^{-1} \times 300\ K}{2.57 \times 10^{-3}\ bar \times 0.200\ L} = 61{,}022\ g\ mol^{-1}$$

এই অনুচ্ছেদের শুরুতে যে ঘটনাবলী উল্লেখ করা হয়েছে, সেগুলো অভিস্রবনের ভিত্তিতে ব্যাখ্যা করা যেতে পারে। একটি কাঁচা আম একটি গাঢ় লবণের দ্রবণে রাখা হলে অভিস্রবন প্রক্রিয়ায় এর থেকে জল বেরিয়ে যায় এবং চুপসে আমশি হয়। সতেজতা হারানো ফুলকে জলে রাখলে পুনরায় সতেজ হয়ে যায়। গাজর বায়ুমন্ডলে জল নির্গত করে বলে নিস্তেজ হয়ে যায় এবং নিস্তেজ গাজরকে জলে রাখলে আবার সতেজ হয়ে যায়। অভিস্রবন প্রক্রিয়ায় গাজরের কোষে জল প্রবেশ করে। যখন রক্ত কোষকে 0.9% (ভর/আয়তন) লবণের কম গাঢ়ত্ব বিশিষ্ট জলে রাখা হয়, তখন অভিস্রবন প্রক্রিয়ায় জল কোষগুলোর ভেতরে প্রবেশ করায় এগুলো স্ফীত হয়ে যায়। যে সব ব্যক্তি বেশী লবণ বা লবণযুক্ত খাবার খায় অভিস্রবনের জন্য এদের কলা কোষে এবং অন্ত:কোষীয় ফাঁকা স্থানে জল ধারণ ক্ষমতা

বেড়ে যায়। এর ফলে সৃষ্ট ফোলা বা স্ফীত হয়ে যাওয়াকে এডেমা (edema) বলে। মাটি থেকে উদ্ভিদের মূলে জলের প্রবাহ এবং পরবর্তীকালে উদ্ভিদের উপরের অংশে জলের প্রবাহ কিছুটা অভিস্রবনের কারণেই হয়ে থাকে। সল্টিং এর মাধ্যমে মাংস সংরক্ষণ এবং চিনি যোগ করে ফলের সংরক্ষণ এদেরকে ব্যাকটেরিয়ার ক্রিয়া থেকে রক্ষা করে। অভিস্রবন প্রক্রিয়ায় লবণযুক্ত মাংসে এবং চিনি মিশ্রিত ফলের মধ্যে থাকা ব্যাকটেরিয়াগুলো জল নির্গত করে, সংকুচিত হয়ে যায় এবং মারা যায়।

### 2.6.5 বিপরীত অভিস্রবন এবং জলের বিশুদ্ধিকরণ

দ্রবণের দিকে অভিস্রবন চাপের চেয়ে অধিক চাপ প্রয়োগ করে অভিস্রবনের দিক বিপরীতমুখী করা যায় অর্থাৎ এখন দ্রবণ থেকে অর্ধভেদ্য পর্দার মাধ্যমে বিশুদ্ধ দ্রাবক বেরিয়ে যাবে। এই ঘটনাকে বিপরীত অভিস্রবন বলে এবং এর অনেক ব্যবহারিক প্রয়োগ রয়েছে। সমুদ্রের জলকে লবণমুক্ত করতে বিপরীত অভিস্রবন ব্যবহৃত হয় (চিত্র 2.11)। এই প্রক্রিয়াটির একটি রূপরেখা দেখানো হয়েছে যখন অভিস্রবন চাপের চেয়ে অধিক চাপ প্রয়োগ করা হয়, তখন বিশুদ্ধ জল পর্দার মধ্য দিয়ে সমুদ্রের জল থেকে বেরিয়ে যায়। এই কাজের জন্য অনেক ধরনের পলিমার পর্দা পাওয়া যায়।




*চিত্র 2.11 দ্রবনে অভিস্রবন চাপের চেয়ে অধিক চাপ প্রয়োগ করলে বিপরীত অভিস্রবন ঘটে।*

বিপরীত অভিস্রবনের জন্য প্রয়োজনীয় চাপ খুবই বেশী। একটি কার্যকরী সচ্ছিদ্র পর্দা হল একটি উপযুক্ত অবলম্বনের উপর রাখা সেলুলোজ অ্যাসিটেটের একটি পাতলা পর্দা (film)। সেলুলোজ অ্যাসিটেট জল ভেদ্য কিন্তু সমুদ্রের জলে উপস্থিত অশুদ্ধি এবং আয়নগুলোর জন্য অভেদ্য। বর্তমানে অনেক দেশ পানীয় জলের প্রয়োজনে লবণমুক্ত করার প্ল্যান্ট ব্যবহার করে থাকে।

#### বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলী

**2.9** 298 K উষ্ণতায় বিশুদ্ধ জলের বাষ্পচাপ 23.8 mm Hg. 50 g জলে 50 g ইউরিয়া ($NH_2CONH_2$) দ্রবীভূত করা হল। এই দ্রবণে জলের বাষ্পচাপ এবং ইহার আপেক্ষিক অবনমন গণনা করো।

**2.10** 750 mm Hg চাপে জলের স্ফুটনাঙ্ক 99.63°C. 500 g জলে কি পরিমাণ সুক্রোজ যোগ করলে জল 100°C উষ্ণতায় ফুটবে?

**2.11** 75 g অ্যাসিটিক অ্যাসিডে কি পরিমাণ অ্যাসকরবিক অ্যাসিড (ভিটামিন C, $C_6H_8O_6$) দ্রবীভূত করতে হবে যাতে ইহার হিমাঙ্ক 1.5°C হ্রাস পায়। $K_f = 3.9$ K kg mol$^{-1}$.

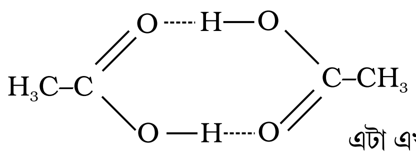
**2.12** 37°C উষ্ণতায় 450 mL জলে 1.0 g পলিমার (আণব ভর 185,000) দ্রবীভূত করে দ্রবণ উৎপন্ন করলে, উৎপন্ন দ্রবণের পাস্কাল এককে অভিস্রবন চাপ গণনা করো।

## 2.7 অস্বাভাবিক আণব ভর

আমরা জানি যে, আয়নীয় যৌগগুলো যখন জলে দ্রবীভূত হয়, তখন ক্যাটায়ন এবং অ্যানায়নে বিয়োজিত হয়। উদাহরণস্বরূপ, আমরা যদি জলে এক মোল KCl (74.5 g) দ্রবীভূত করি, তাহলে দ্রবণে এক মোল $K^+$ এবং এক মোল $Cl^-$ আয়ন উৎপন্ন হওয়াই আমরা প্রত্যাশা করি। যদি এমন হয়, তাহলে দ্রবণে দুই মোল কণা থাকবে। আমরা যদি আন্তঃআয়নীয় আকর্ষণ উপেক্ষা করে, এক কেজি জলে এক মোল KCl দ্রবীভূত থাকলে জলের স্ফুটনাঙ্ক 2 × 0.52 K = 1.04 K বৃদ্ধি পাওয়ার কথা। এখন আমাদের যদি বিয়োজন মাত্রা সম্পর্কে কিছু না জানা থাকে, তবে আমরা সিদ্ধান্ত নিতে পারি

যে, 2 মোল কণার ভর 74.5 gএবং এক মোল KCl এর ভর হবে 37.25 g. এই ঘটনা যে নিয়মটির দিকে আলোকপাত করে সেটি হল, যখন দ্রাব বিয়োজিত হয়ে আয়ন উৎপন্ন করে, তখন পরীক্ষালব্ধভাবে নির্ণীত আণব ভর সর্বদাই প্রকৃত মান থেকে কম হয়।

$$2\ CH_3COOH \rightleftharpoons (CH_3COOH)_2$$



বেঞ্জিন দ্রাবকের মধ্যে ইথানোয়িক অ্যাসিডের (অ্যাসেটিক অ্যাসিড) অণুগুলো হাইড্রোজেন বন্ধন গঠন করে ফলে ডাইমার গঠিত হয়। এটি সাধারণত কম পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক বিশিষ্ট দ্রাবকের ক্ষেত্রে ঘটে। এই ক্ষেত্রে, ডাইমার গঠনের ফলে কণার সংখ্যা হ্রাস পায়। অণুগুলোর সংযোজন নীচে বর্ণনা করা হল:

এটা এখানে নিঃসন্দেহে বলা যেতে পারে যে, যদি ইথানোয়িক অ্যাসিডের সবগুলো অণু বেঞ্জিনে সংযোজিত হয়, তাহলে ইথানোয়িক অ্যাসিডের $\Delta T_b$ বা $\Delta T_f$ এর মান স্বাভাবিক মানের অর্ধেক হবে। সুতরাং, এই $\Delta T_b$ বা $\Delta T_f$ এর উপর ভিত্তি করে গণনাকৃত আণব ভর প্রত্যাশিত মানের দ্বিগুণ হবে। এই রকম আণব ভর যা প্রত্যাশিত বা স্বাভাবিক মানের চেয়ে কম অথবা বেশী, তাকে অস্বাভাবিক আণব ভর বলে।

1880 সালে ভ্যান্ট হফ বিয়োজন অথবা সংযোজনের মাত্রা পরিমাপ করার জন্য একটি গুণক (ফ্যাক্টর) $i$ এর সূচনা করেন যা ভ্যান্ট হফ গুণক নামে পরিচিত। এই গুণক $i$ কে নিম্নরূপে সংজ্ঞায়িত করা যায়।

$$i = \frac{\text{স্বাভাবিক আণব ভর}}{\text{অস্বাভাবিক আণব ভর}}$$

$$= \frac{\text{পরীক্ষালব্ধ সংখ্যাগত ধর্ম}}{\text{গণনাকৃত সংখ্যাগত ধর্ম}}$$

$$i = \frac{\text{সংযোজন/বিয়োজনের পরে কণাগুলোর মোট মোলসংখ্যা}}{\text{সংযোজন/বিয়োজনের পূর্বে কণাগুলোর মোলসংখ্যা}}$$

এখানে অস্বাভাবিক আণব ভর হল পরীক্ষালব্ধভাবে নির্ণীত আণব ভর এবং অনুদ্বায়ী দ্রাবটির সংযোজন বা বিয়োজন হয় না ধরে নিয়েই গণনাকৃত সংখ্যাগত ধর্ম পাওয়া যায়। সংযোজনের ক্ষেত্রে, $i$ এর মান 1 এর কম হয় এবং বিয়োজনের ক্ষেত্রে $i$ এর মান 1 এর বেশী হয়। উদাহরণস্বরূপ, KCl এর জলীয় দ্রবণের ক্ষেত্রে $i$ এর মান প্রায় 2 হয়, আবার বেঞ্জিন দ্রাবকের মধ্যে ইথানোয়িক অ্যাসিডের $i$ এর মান প্রায় 0.5 হয়।

ভ্যান্ট হফ গুণকের সংযুক্তি সংখ্যাগত ধর্মের সমীকরণগলোকে নিম্নলিখিতভাবে সংশোধন করেছে।

দ্রবকের বাষ্পচাপের আপেক্ষিক অবনমন,

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

স্ফুটনাঙ্কের উন্নয়ন, $\Delta T_b = i\ K_b\ m$

হিমাঙ্কের অবনমন, $\Delta T_f = i\ K_f\ m$

দ্রবণের অভিস্রবন চাপ, $P = i\ n_2\ R\ T\ /\ V$

2.4 সারণিতে কতকগুলো তীব্র তড়িৎবিশ্লেষ্যের ক্ষেত্রে গুণক, *i* এর মান বর্ণনা করা হয়েছে। KCl, NaCl এবং $MgSO_4$ এর ক্ষেত্রে, অতি লঘুতায় *i*-এর মান 2 এর কাছাকাছি হয়। প্রত্যাশিত ভাবেই, $K_2SO_4$ এর ক্ষেত্রে *i* এর মান 3 এর কাছাকাছি হয়।

**সারণি 2.4:** NaCl, KCl, $MgSO_4$ এবং $K_2SO_4$ এর ক্ষেত্রে বিভিন্ন গাঢ়ত্বে ভ্যান্ট হফ গুণক, *i* এর মান

| লবণ | *i* এর মান * | | | দ্রাবের সম্পূর্ণ বিয়োজনের ফলে ভ্যান্টহফ গুণক *i* |
|---|---|---|---|---|
| | 0.1 m | 0.01 m | 0.001 m | |
| NaCl | 1.87 | 1.94 | 1.97 | 2.00 |
| KCl | 1.85 | 1.94 | 1.98 | 2.00 |
| $MgSO_4$ | 1.21 | 1.53 | 1.82 | 2.00 |
| $K_2SO_4$ | 2.32 | 2.70 | 2.84 | 3.00 |

* *অসম্পূর্ণ বিয়োজনের ফলে i-এর মান নির্দেশ করে।*

**নমুনা প্রশ্ন 2.12**

25 g বেঞ্জিনে 2 g বেঞ্জোয়িক অ্যাসিড ($C_6H_5COOH$) দ্রবীভূত করার ফলে হিমাঙ্কের অবনমন হয় 1.62 K । বেঞ্জিনের মোলাল অবনমন ধ্রুবক 4.9 K kg $mol^{-1}$. যদি অ্যাসিডটি দ্রবণে ডাইমার গঠন করে, তাহলে এর শতকরা সংযোজন কি হবে?

**সমাধান**

প্রদত্ত রাশিগুলো হল : $w_2 = 2$ g; $K_f = 4.9$ K kg $mol^{-1}$; $w_1 = 25$ g,

$\Delta T_f = 1.62$ K

(2.36) সমীকরণে এই মানগুলো বসিয়ে, আমরা পাই,

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

অর্থাৎ বেঞ্জিনে, বেঞ্জোয়িক অ্যাসিডের পরীক্ষালব্ধ আণব ভর

$= 241.98\ g\ mol^{-1}$

এখন, অ্যাসিডটির জন্য নিম্নলিখিত সাম্যাবস্থাটি বিবেচনা করা যাক,

$$2\ C_6H_5COOH \rightleftharpoons (C_6H_5COOH)_2$$

যদি দ্রাবের সংযোজন মাত্রা *x* হয়, তাহলে $(1 - x)$ মোল বেঞ্জোয়িক অ্যাসিড অবিয়োজিত অবস্থায় থাকবে এবং সঙ্গতিপূর্ণভাবেই সাম্যাবস্থায় $\frac{x}{2}$ মোল বেঞ্জোয়িক অ্যাসিড সংযোজিত অবস্থায় থাকবে। সুতরাং, সাম্যাবস্থায় কণাগুলোর মোট মোল হল :

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

কাজেই, সাম্যাবস্থায় কণাগুলোর মোট মোলসংখ্যা ভ্যান্ট হফ গুণক *i* এর সমান।

কিন্তু $i = \frac{\text{স্বাভাবিক আণব ভর}}{\text{অস্বাভাবিক আণব ভর}}$

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

অথবা, $\frac{x}{2} = 1 - \frac{122}{241.98} = 1 - 0.504 = 0.496$

অথবা, $x = 2 \times 0.496 = 0.992$

সুতরাং বেঞ্জিনে বেঞ্জোয়িক অ্যাসিডের সংযোজন মাত্রা 99.2 %.

**নমুনা প্রশ্ন 2.13** 0.6 mL অ্যাসেটিক অ্যাসিড ($CH_3COOH$), যার ঘনত্ব 1.6 $gml^{-1}$, 1 লিটার জলে দ্রবীভূত করা হল। এই গাঢ়ত্বের অ্যাসিডের হিমাঙ্কের অবনমন 0.0205°C পাওয়া গেল। অ্যাসিডটির ভ্যান্ট হফ গুণক এবং বিয়োজন ধ্রুবক গণনা করো।

**সমাধান** অ্যাসিটিক অ্যাসিডের মোল সংখ্যা $= \frac{0.6\ mL \times 1.06\ g\ mL^{-1}}{60\ g\ mol^{-1}}$

$= 0.0106\ mol = n$

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

(2.35) সমীকরণ প্রয়োগ করে,

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

ভ্যান্ট হফ গুণক ($i$) $= \frac{\text{পরীক্ষালব্ধ হিমাঙ্ক}}{\text{গণনাকৃত হিমাঙ্ক}} = \frac{0.0205\ K}{0.0197\ K} = 1.041$

অ্যাসিটিক অ্যাসিড একটি মৃদু তড়িৎ বিশ্লেষ্য এবং অ্যাসিটিক অ্যাসিডের প্রতিটি অণু অ্যাসিটেট এবং হাইড্রোজেন এই দুইটি আয়নে বিয়োজিত হয়। যদি অ্যাসিটিক অ্যাসিডের বিয়োজন মাত্রা $x$ হয়, তাহলে $n(1 - x)$ মোল অবিয়োজিত অ্যাসিটিক অ্যাসিডে, $nx$ মোল $CH_3COO^-$ আয়ন এবং $nx$ মোল $H^+$ আয়ন থাকবে,

$$CH_3COOH \rightleftharpoons H^+ + CH_3COO^-$$

| $CH_3COOH$ | $H^+$ | $CH_3COO^-$ |
|---|---|---|
| $n$ মোল | 0 | 0 |
| $n(1-x)$ | $nx$ মোল | $nx$ মোল |

সুতরাং, কণাগুলোর মোট মোলসংখ্যা হল : $n(1 - x + x + x) = n(1 + x)$

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

সুতরাং, অ্যাসিটিক অ্যাসিডের বিয়োজন মাত্রা $= x = 1.041 - 1.000 = 0.041$

যখন $[CH_3COOH] = n(1 - x) = 0.0106\ (1 - 0.041)$,

$[CH_3COO^-] = nx = 0.0106 \times 0.041$, $[H^+] = nx = 0.0106 \times 0.041$.

$$K_a = \frac{[CH_3COO^-][H^+]}{[CH_3COOH]} = \frac{0.0106 \times 0.041 \times 0.0106 \times 0.041}{0.0106\ (1.00 - 0.041)}$$

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

## সারাংশ

দ্রবণ হল দুই বা ততোধিক পদার্থের একটি সমসত্ত্ব মিশ্রণ। দ্রবণকে কঠিন, তরল এবং গ্যাসীয় দ্রবণে ভাগ করা হয়েছে। দ্রবণের গাঢ়ত্বকে মোল ভগ্নাংশ, মোলারিটি, মোলালিটি এবং শতকরা মাত্রা দ্বারা প্রকাশ করা হয়। কোনো তরলে গ্যাসের দ্রবীভবন হেনরীর সূত্র দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়। এই সূত্র অনুসারে, একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায়, কোনো তরলে গ্যাসের দ্রাব্যতা গ্যাসটির আংশিক চাপের সমানুপাতিক। দ্রবণে একটি অনুদ্বায়ী দ্রাবের উপস্থিতির ফলে দ্রাবকের বাষ্পচাপ হ্রাস পায় এবং দ্রাবকের বাষ্পচাপের এই অবনমন রাউল্টের সূত্র দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়, এই সূত্রানুযায়ী, দ্রবণে কোনো দ্রাবকের বাষ্পচাপের আপেক্ষিক অবনমন দ্রবণে উপস্থিত অনুদ্বায়ী দ্রাবের মোল ভগ্নাংশের সমান। যদিও, একটি বাইনারী তরল দ্রবণে, যদি দ্রবণের উভয় উপাদানই উদ্বায়ী হয়, তাহলে রাউল্টের সূত্রের অন্য একটি রূপ ব্যবহার করা হয়। গাণিতিকভাবে, রাউল্টের সূত্রের এই রূপটি $p_{total} = p_1^0 x_1 + p_2^0 x_2$. যে দ্রবণগুলো সকল গাঢ়ত্বে বাউল্টের সূত্র মেনে চলে, তাদের আদর্শ দ্রবণ বলে। রাউল্টের সূত্র থেকে দুই ধরনের বিচ্যুতি যথা ধনাত্মক এবং ঋণাত্মক বিচ্যুতি দেখা যায়। রাউল্টের সূত্র থেকে খুব বেশী বিচ্যুতি ঘটলে অ্যাজিওট্রোপ উৎপন্ন হয়।

দ্রবণের যে ধর্মগুলো দ্রাব কণার সংখ্যার উপর নির্ভর করে এবং তাদের রাসায়নিক প্রকৃতির উপর নির্ভরশীল নয়, তাদেরকে সংখ্যাগত ধর্ম বলে। এগুলো হল বাষ্পচাপের অবনমন, স্ফুটনাঙ্কের উন্নয়ন, হিমাঙ্কের অবনমন এবং অভিস্রবন চাপ। অভিস্রবন প্রক্রিয়াটি বিপরীতমুখী করা যায় যদি দ্রবণের ওপর অভিস্রবন চাপের চেয়ে অধিক চাপ প্রয়োগ করা হয়। সংখ্যাগত ধর্মগুলোকে দ্রাবের আণব ভর নির্ণয়ে ব্যবহার করা হয়। যে দ্রাবগুলো দ্রবণে বিয়োজিত হয় তাদের আণব ভর প্রকৃত আণব ভর অপেক্ষা কম হয় এবং যেগুলো সংযোজিত হয় তাদের আণব ভর প্রকৃত আণব ভর অপেক্ষা বেশী হয়।

পরিমাণগতভাবে, একটি দ্রাবের বিয়োজন অথবা সংযোজনের মাত্রাকে ভ্যান্ট হফ গুণক $i$ দ্বারা প্রকাশ করা যেতে পারে। এই গুণককে স্বাভাবিক আণব ভর এবং পরীক্ষালব্ধভাবে নির্ণীত আণব ভরের অনুপাত অথবা পরীক্ষালব্ধ সংখ্যাগত ধর্ম এবং গণনাকৃত সংখ্যাগত ধর্মের অনুপাত দ্বারা সংজ্ঞায়িত করা হয়।

# অনুশীলনী

**2.1** দ্রবণের সংজ্ঞা দাও। কত প্রকারের দ্রবণ গঠিত হয়। একটি করে উদাহরণসহ প্রত্যেক দ্রবণ সম্পর্কে সংক্ষেপে লেখো।

**2.2** একটি কঠিন দ্রবণের উদাহরণ দাও যেখানে দ্রাব একটি গ্যাসীয় পদার্থ।

**2.3** নিম্নলিখিত পদগুলোর সংজ্ঞা দাও।

(i) মোল ভগ্নাংশ (ii) মোলালিটি (iii) মোলারিটি (iv) শতকরা ভর

**2.4** পরীক্ষাগারের কাজে ব্যবহৃত গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিড হলো ভর হিসাবে 68% নাইট্রিক অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণ। যদি দ্রবণের ঘনত্ব 1.504 g $mL^{-1}$ হয় তাহলে এরূপ একটি অ্যাসিডের নমুনার মোলারিটি কত হবে?

2.5 গ্লুকোজের একটি জলীয় দ্রবণে 10% (w/w) লেবেল লাগানো আছে। দ্রবণের মোলালিটি এবং প্রতিটি উপাদানের মোল ভগ্নাংশ কত হবে? যদি দ্রবণের ঘনত্ব 1.2 g $mL^{-1}$ হয়, তাহলে দ্রবণের মোলারিটি কত হবে?

2.6 সমমোল পরিমাণে উপস্থিত $Na_2CO_3$ এবং $NaHCO_3$ এর 1 g মিশ্রণের সাথে সম্পূর্ণরূপে বিক্রিয়া করতে কত mL 0.1 M HCl প্রয়োজন?

2.7 ভর হিসাবে 300 g 25% দ্রবণ এবং 400 g 40% দ্রবণ মিশিয়ে একটি দ্রবণ পাওয়া গেল। উৎপন্ন দ্রবণের শতকরা ভর গণনা করো।

2.8 222.6 g ইথিলিন গ্লাইকল ($C_2H_6O_2$) এবং 200 g জল মিশিয়ে একটি হিমাঙ্করোধক দ্রবণ প্রস্তুত করা হল। দ্রবণের মোলালিটি গণনা করো। যদি দ্রবণের ঘনত্ব 1.072 g $mL^{-1}$ হয়, তাহলে দ্রবণটির মোলারিটি কত হবে?

2.9 দেখা গেছে যে, পানীয় জলের একটি নমুনা ক্লোরোফর্ম ($CHCl_3$) দ্বারা মারাত্মকভাবে দূষিত হয়েছে যা ক্যান্সার সৃষ্টিকারী হতে পারে। দূষণের মাত্রা ছিল 15 ppm (ভর হিসাবে) :

(i) একে শতকরা ভরে প্রকাশ করো।

(ii) জলের নমুনাতে ক্লোরোফর্মের মোলালিটি নির্ণয় করো।

2.10 অ্যালকোহল এবং জলের দ্রবণের ক্ষেত্রে আণবিক মিথস্ক্রিয়া কী ভূমিকা পালন করে?

2.11 উষ্ণতা বৃদ্ধি করলে তরলে গ্যাসগুলো সর্বদাই কম দ্রবীভূত হওয়ার প্রবণতা দেখায় কেন?

2.12 হেনরীর সূত্রটি বিবৃত করো এবং কয়েকটি গুরুত্বপূর্ণ প্রয়োগ উল্লেখ করো।

2.13 $6.56 \times 10^{-3}$ g ইথেন আছে এরূপ একটি দ্রবণে ইথেনের আংশিক চাপ 1 bar, যদি দ্রবণে $5.00 \times 10^{-2}$ g ইথেন থাকে, তাহলে গ্যাসটির আংশিক চাপ কত হবে?

2.14 রাউল্টের সূত্র থেকে ধনাত্মক এবং ঋণাত্মক বিচ্যুতি বলতে কি বোঝায় এবং $\Delta_{mix}H$ চিহ্ন রাউল্টের সূত্র থেকে ধনাত্মক এবং ঋণাত্মক বিচ্যুতির সাথে কিভাবে সম্পর্কিত?

2.15 2% অনুদ্বায়ী দ্রাবের একটি জলীয় দ্রবণ দ্রাবকের স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্কে 1.004 bar চাপ প্রয়োগ করে। দ্রাবের আণব ভর কত?

2.16 হেপ্টেন এবং অক্টেন একটি আদর্শ দ্রবণ গঠন করে। 373 $K$ উষ্ণতায়, তরল উপাদান দুইটির বাষ্পচাপ যথাক্রমে 105.2 kPa এবং 46.8 kPa, 26.0 g হেপ্টেন এবং 35 g অক্টেনের একটি মিশ্রণের বাষ্পচাপ কত হবে?

2.17 300 $K$ উষ্ণতায় জলের বাষ্পচাপ 12.3 kPa. এতে একটি অনুদ্বায়ী দ্রাব দ্রবীভূত হয়ে 1 মোলাল দ্রবণ উৎপন্ন করলে বাষ্পচাপ গণনা করো।

2.18 114 g অক্টেনে কী পরিমাণ অনুদ্বায়ী দ্রাব (আণব ভর = 40 g $mol^{-1}$) দ্রবীভূত করলে এর বাষ্পচাপ হ্রাস পেয়ে 80% হবে তা গণনা করো।

2.19 90 g জলে 30 g অনুদ্বায়ী দ্রাব দ্রবীভূত করলে উৎপন্ন দ্রবণের 298 $K$ উষ্ণতায় বাষ্পচাপ 2.8 kPa হয়। এরপর, দ্রবণে আরও 18 g জল যোগ করা হল এবং 298 $K$ উষ্ণতায় নতুন বাষ্পচাপ হল 2.9 kPa,

গণনা করো :

(i) দ্রাবের আণব ভর (ii) 298 $K$ উষ্ণতায় জলের বাষ্পচাপ

2.20 চিনির একটি 5% (ভর হিসাবে) জলীয় দ্রবণের হিমাঙ্ক 271$K$. যদি বিশুদ্ধ জলের হিমাঙ্ক 273.15 $K$ হয়, তাহলে 5% গ্লুকোজের জলীয় দ্রবণের হিমাঙ্ক গণনা করো।

2.21 A এবং B দুইটি মৌল $AB_2$ এবং $AB_4$. সংকেত বিশিষ্ট যৌগ গঠন করে। 20 g বেঞ্জিনে ($C_6H_6$), 1 g $AB_2$ দ্রবীভূত করা হলে হিমাঙ্ক হ্রাস পায় 2.3 $K$ এবং 1.0 g $AB_4$ দ্রবীভূত করলে হিমাঙ্ক হ্রাস পায় 1.3 $K$. বেঞ্জিনের মোলার অবনমন ধ্রুবক 5.1 $K$ kg $mol^{-1}$; A এবং B এর পারমাণবিক ভর গণনা করো।

**2.22** 300 K উষ্ণতায়, 1 লিটার দ্রবণে 36 g গ্লুকোজ দ্রবীভূত থাকলে দ্রবণের অবিস্রবন চাপ হয় 4.98 bar. যদি একই উষ্ণতায় দ্রবণটির অভিস্রবন চাপ 1.52 bar হয়, তাহলে ইহার গাঢ়ত্ব কত হবে?

**2.23** নিম্নলিখিত জোড়গুলির মধ্যে সবচেয়ে বেশী গুরুত্বপূর্ণ যে আন্তঃআণবিক আকর্ষণ ক্রিয়া করব বলে তুমি মনে কর।

(i) n- হেক্সেন এবং n-অক্টেন

(ii) $I_2$ এবং $CCl_4$

(iii) $NaClO_4$ এবং জল

(iv) মিথানল এবং অ্যাসিটোন

(v) অ্যাসিটোনাইট্রাইল ($CH_3CN$) এবং অ্যাসিটোন ($C_3H_6O$).

**2.24** দ্রাব—দ্রাবক মিথস্ক্রিয়ার উপর ভিত্তি করে, নিম্নলিখিত যৌগগুলোকে n-অক্টেনের মধ্যে দ্রাব্যতার উর্ধ্বক্রমানুসারে সাজাও এবং ব্যাখ্যা কর। সাইক্লোহেক্সেন, KCl, $CH_3OH$, $CH_3CN$.

**2.25** নিম্নলিখিত যৌগগুলোর মধ্যে কোন্‌গুলো জলে অদ্রাব্য, আংশিক দ্রাব্য এবং অধিক দ্রাব্য শনাক্ত করো।

(i) ফেনল (ii) টলুইন (iii) ফরমিক অ্যাসিড

(iv) ইথিলিন গ্লাইকল (v) ক্লোরোফর্ম (vi) পেন্টানল

**2.26** কিছু পরিমাণ হ্রদের জলের ঘনত্ব যদি $1.25 g\ mL^{-1}$ হয় এবং প্রতি কেজি জলে 92 g $Na^+$ আয়ন উপস্থিত থাকলে, হ্রদটিতে $Na^+$ আয়নের মোলালিটি গণনা করো।

**2.27** যদি CuS এর দ্রাব্যতা গুণফল $6 \times 10^{-16}$ হয়, তাহলে জলীয় দ্রবণে CuS -এর সর্বাধিক মোলারিটি গণনা করো।

**2.28** অ্যাসিটোনাইট্রাইলে ($CH_3CN$) অ্যাসপিরিনের ($C_9H_8O_4$) শতকরা ভর গণনা করো যখন 450 g $CH_3CN$-এর মধ্যে 6.5 g $C_9H_8O_4$ কে দ্রবীভূত করা হয়।

**2.29** মরফিনের মতো নালোরফিন, নারকোটিক ব্যবহারকারীর প্রত্যাহারজনিত লক্ষণ মোকাবিলা করতে ব্যবহৃত হয়। নালোরফিনের ডোজ সাধারণত 1.5 mg দেওয়া হয়। উপরিউক্ত ডোজের জন্য প্রয়োজনীয় $1.5 - 10^{-3}$ m জলীয় দ্রবণের ভর গণনা করো।

**2.30** মিথানলে 250 mL 0.15 M দ্রবণ প্রস্তুত করতে প্রয়োজনীয় বেঞ্জোয়িক অ্যাসিডের ($C_6H_5COOH$) পরিমাণ গণনা করো।

**2.31** একই পরিমাণ অ্যাসিটিক অ্যাসিড, ট্রাইক্লোরোঅ্যাসেটিক অ্যাসিড এবং ট্রাইফ্লুরোঅ্যাসেটিক অ্যাসিডের ক্ষেত্রে জলের হিমাঙ্ক অবনমন উপরে উল্লিখিত ক্রমানুযায়ী বৃদ্ধি পায়। সংক্ষেপে ব্যাখ্যা করো।

**2.32** 250 g জলে 10 g $CH_3CH_2CHClCOOH$ যোগ করলে জলের হিমাঙ্ক অবনমন গণনা করো। $K_a = 1.4 \times 10^{-3}$, $K_f = 1.86$ K kg $mol^{-1}$.

**2.33** 19.5 g $CH_2FCOOH$ 500 g জলে দ্রবীভূত করা হল। জলের হিমাঙ্ক অবনমন $1.0^0$ C পাওয়া গেল। ফ্লুরোঅ্যাসিটিক অ্যাসিডের ভ্যান্ট হফ গুণক এবং বিয়োজন ধ্রুবক গণনা করো।

**2.34** 293 *K* উষ্ণতায় জলের বাষ্পচাপ 17.535 mm Hg. 450 g জলে 25 g গ্লুকোজ দ্রবীভূত করা হলে 293 *K* উষ্ণতায় জলের বাষ্পচাপ গণনা করো।

**2.35** বেঞ্জিনে মিথেনের মোলালিটির ক্ষেত্রে হেনরীর সূত্র ধ্রুবকের মান 298 *K* উষ্ণতায় $4.27 \times 10^5$ mm Hg. 298 *K* উষ্ণতায় 760 mm Hg চাপে বেঞ্জিনে মিথেনের দ্রাব্যতা গণনা করো।

**2.36** 100 g তরল A (আণব ভর 140 g $mol^{-1}$) কে 1000 g তরল B (আণব ভর 180 g $mol^{-1}$) এর মধ্যে দ্রবীভূত করা হল। বিশুদ্ধ তরল B এর বাষ্পচাপ 500 torr হল। বিশুদ্ধ তরল A এর বাষ্পচাপ গণনা করো এবং যদি দ্রবণের মোট বাষ্পচাপ 475 torr হয় তাহলে দ্রবণে ইহার বাষ্পচাপ গণনা করো।

2.37 328 $K$ উষ্ণতায় বিশুদ্ধ অ্যাসিটোন এবং ক্লোরোফর্মের বাষ্পচাপ যথাক্রমে 741.8 mm Hg এবং 632.8 mm Hg. এরা সকল সংযুতিতে আদর্শ দ্রবণ গঠন করে ধরে নিয়ে $p_{total}$, $p_{ক্লোরোফর্ম}$ এবং $p_{অ্যাসিটোন}$ এর সঙ্গে $x_{অ্যাসিটোন}$ এর লেখ অঙ্কন কর। মিশ্রণের বিভিন্ন সংযুতিতে প্রাপ্ত পরীক্ষালব্ধ তথ্যগুলো হল :

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 x $x_{অ্যাসিটোন}$ | 0 | 11.8 | 23.4 | 36.0 | 50.8 | 58.2 | 64.5 | 72.1 |
| $p_{অ্যাসিটোন}$ /mm Hg | 0 | 54.9 | 110.1 | 202.4 | 322.7 | 405.9 | 454.1 | 521.1 |
| $p_{ক্লোরোফম}$ /mm Hg | 632.8 | 548.1 | 469.4 | 359.7 | 257.7 | 193.6 | 161.2 | 120.7 |

একই লেখ কাগজে এই তথ্যগুলোও বসাও। রাউল্টের সূত্র থেকে ধনাত্মক বিচ্যুতি নাকি ঋণাত্মক বিচ্যুতি হয়েছে তা নির্দেশ করো।

2.38 বেঞ্জিন এবং টলুইন সকল সংযুতিতে আদর্শ দ্রবণ গঠন করে। 300 $K$ উষ্ণতায় বিশুদ্ধ বেঞ্জিন এবং টলুইনের বাষ্পচাপ যথাক্রমে 50.71 mm Hg এবং 32.06 mm Hg. যদি 80 g বেঞ্জিন 100 g টলুইনের সঙ্গে মিশ্রিত করা হয় তাহলে বাষ্প দশায় বেঞ্জিনের মোল ভগ্নাংশ গণনা করো।

2.39 বায়ু হল কয়েকটি গ্যাসের মিশ্রণ। এর মুখ্য উপাদানগুলো হল অক্সিজেন এবং নাইট্রোজেন যেগুলো 298 $K$ উষ্ণতায় 20% ও 79% আয়তনের অনুপাতে থাকে। 10 atm চাপে জল বায়ুর সাথে সাম্যাবস্তায় আছে। যদি 298 $K$ উষ্ণতায় অক্সিজেন এবং নাইট্রোজেনের হেনরীর সূত্র ধ্রুবকের মান যথাক্রমে $3.30 \times 10^7$ mm এবং $6.51 \times 10^7$ mm হয়, তাহলে জলে এই গ্যাসগুলোর সংযুতি গণনা করো।

2.40 2.5 লিটার জলে দ্রবীভূত $CaCl_2$ ($i = 2.47$) এর পরিমাণ নির্ণয় কর যাতে এর অভিস্রবন চাপ 27° $C$ উষ্ণতায় 0.75 atm হয়।

2.41 25 mg $K_2SO_4$ 2 লিটার জলে দ্রবীভুত করে দ্রবণ উৎপন্ন করলে, 25° C উষ্ণতায় দ্রবণটির অভিস্রবন চাপ নির্ণয় করো, ধরে নাও, ইহা সম্পূর্ণভাবে বিয়োজিত।

## কয়েকটি বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলির উত্তর

2.1 $C_6H_6 = 15.28\%$, $CCl_4 = 84.72\%$

2.2 0.459, 0.541

2.3 0.024 M, 0.03 M

2.4 36.946 g

2.5 1.5 mol $kg^{-1}$ , 1.45 mol $L^{-1}$ 0.0263

2.9 23.4 mm Hg

2.10 121.67 g

2.11 5.077 g

2.12 30.96 Pa

অধ্যায়

# 3

# তড়িৎরসায়ন

## উদ্দেশ্য

এই অধ্যায়টি অধ্যয়নের পর তোমরা সক্ষম হবে

- তড়িৎরাসায়নিক কোশের বর্ণনা দিতে এবং গ্যালভানীয় ও তড়িৎবিশ্লেষণ কোশের মধ্যে পার্থক্য করতে;
- নার্নস্টের সমীকরণের প্রয়োগ দ্বারা এবং গ্যালভানীয় কোশের তড়িৎচালক বলের পরিমাপ এবং কোশের প্রমাণ বিভবের সংজ্ঞা দিতে;
- কোশের প্রমাণ বিভব, কোশ-বিক্রিয়ার গিবস্ শক্তি এবং সাম্য ধ্রুবকের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করতে;
- আয়নীয় দ্রবণের রোধাঙ্ক (ρ), পরিবাহিতা (k) এবং মোলার পরিবাহিতার ($\Lambda_m$) সংজ্ঞা দিতে;
- আয়নীয় (তড়িৎবিশ্লেষণ) এবং ইলেকট্রনীয় (electrolytic) পরিবাহিতার মধ্যে পার্থক্য করতে;
- তড়িৎবিশ্লেষ্য দ্রবণের পরিবাহিতা পরিমাপের পদ্ধতি এবং এদের মোলার পরিবাহিতার গণনা করতে;
- দ্রবণের গাঢ়ত্বের পরিবর্তনের সাথে সাথে পরিবাহিতা এবং মোলার পরিবাহিতার পরিবর্তনের ব্যাখ্যা এবং $\Lambda_m^\circ$ (অসীম লঘুতার বা শূণ্য গাঢ়ত্বের মোলার পরিবাহিতা) এর সংজ্ঞা দিতে;
- কোলরাশের সূত্রের বিবৃতি এবং এর প্রয়োগ সম্পর্কে জ্ঞানলাভ করতে;
- তড়িৎবিশ্লেষণ-এর পরিমাণ সংক্রান্ত বিষয়গুলোর ধারণা পেতে;
- কিছু প্রাইমারি (primary) ব্যাটারি ও গৌণ (secondary) ব্যাটারি এবং জ্বালানি কোশের (fuel) গঠনের বর্ণনা করতে;
- অপক্ষয় (corrosion) কে তড়িৎরাসায়নিক প্রক্রিয়া রূপে ব্যাখ্যা করতে।

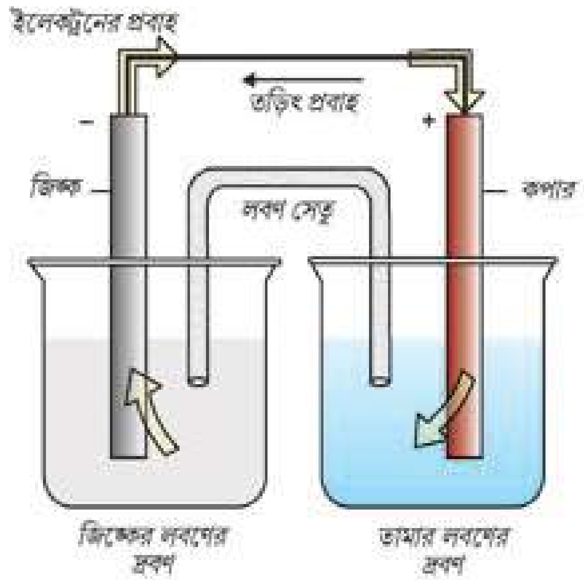
*রাসায়নিক বিক্রিয়াগুলোকে তড়িৎশক্তি উৎপাদনে ব্যবহার করা যেতে পারে, বিপরীতক্রমে স্বতঃস্ফূর্তভাবে ঘটে না এমন রাসায়নিক বিক্রিয়াকে সংঘটিত করার জন্য তড়িৎ শক্তিকে ব্যবহার করা যেতে পারে।*

স্বত:স্ফূর্ত রাসায়নিক বিক্রিয়ায় নির্গত শক্তিকে ব্যবহার করে তড়িৎ উৎপাদন এবং এই তড়িৎ শক্তির সাহায্যে অস্বত:স্ফূর্ত রাসায়নিক বিক্রিয়াকে সম্পন্ন করার চর্চাই হল তড়িৎরসায়ন। এই বিষয়টি তাত্ত্বিক এবং ব্যবহারিক উভয় দিক থেকেই গুরুত্বপূর্ণ। বহুসংখ্যক ধাতু, সোডিয়াম হাইড্রক্সাইড, ক্লোরিন, ফ্লুরিন এবং অন্যান্য বহু রাসায়নিক পদার্থ তড়িৎরাসায়নিক পদ্ধতিতে উৎপাদন করা হয়। ব্যাটারি এবং জ্বালানি কোশ রাসায়নিক শক্তিকে তড়িৎ শক্তিতে রূপান্তরিত করে এবং বিভিন্ন সামগ্রি ও ইলেকট্রনিক যন্ত্রপাতিতে (ডিভাইসে) বহুল পরিমাণে এগুলোকে ব্যবহার করা হয়। তড়িৎরাসায়নিক বিক্রিয়াগুলো শক্তি উৎপাদনে কার্যকর এবং অপেক্ষাকৃত কম দূষণকারী হয়। সেই জন্য পরিবেশ বান্ধব প্রযুক্তির বিকাশে তড়িৎরসায়নের অধ্যয়ন গুরুত্বপূর্ণ। কোশ থেকে মস্তিস্কে বা মস্তিস্ক থেকে কোশে সংজ্ঞাবহ সংকেতের পরিবহণ এবং কোশের মধ্যে সংযোগ ব্যবস্থা তড়িৎরাসায়নিক প্রকৃতির অন্তর্গত। সেই জন্য তড়িৎরসায়নের অধ্যয়নের পরিসীমা অনেক বেশী এবং এটি একটি আন্তঃবিষয়ক অধ্যায়। এই অধ্যায়ে আমরা কেবলমাত্র তড়িৎরসায়নের কিছু গুরুত্বপূর্ণ প্রাথমিক বিষয়গুলোই আলোচনা করবো।

## 3.1 তড়িৎরাসায়নিক কোশ

একাদশ শ্রেণির অষ্টম অধ্যায়ে আমরা ডেনিয়েল কোশের গঠন এবং কার্যপ্রণালীর বিষয়ে অধ্যয়ন করেছি (চিত্র 3.1)। কোশে সংঘটিত

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

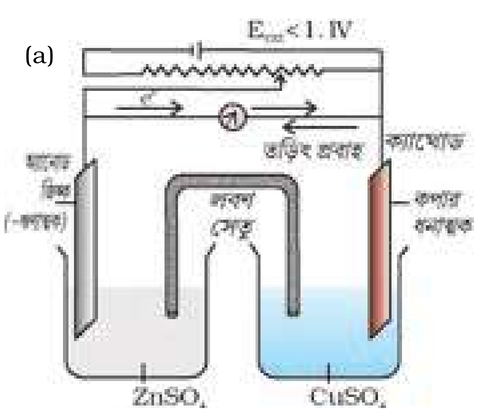



*চিত্র 3.1 : জিঙ্ক ও তামার লবণের দ্রবণে আংশিক নিমজ্জিত জিঙ্ক ও কপার তড়িৎদ্বার সহ একটি ড্যানিয়েল কোশ।*

জারণ বিজারণ বিক্রিয়ায় উৎপন্ন রাসায়নিক শক্তিকে কোশটি তড়িৎ শক্তিতে রূপান্তরিত করে এবং যখন $Zn^{2+}$ এবং $Cu^{2+}$ আয়নের গাঢ়ত্ব একক ($1\ mol\ dm^{-3}$)* হয় তখন এর তড়িৎ বিভব 1.1 V এর সমান হয়। এই ধরনের ডিভাইস (যন্ত্র) কে গ্যালভানীয় বা ভোল্টীয় কোশ বলে।

যদি একটি বাহ্যিক ও বিপরীত মুখী বিভবকে গ্যালভানীয় কোশের সঙ্গে সংযুক্ত করা হয় [চিত্র 3.2(a)] এবং বিভব ধীরে ধীরে বৃদ্ধি করা হয়, আমরা দেখতে পাই, যতক্ষন না পর্যন্ত এই বিপরীত মুখী বিভবের মান 1.1 V [চিত্র 3.2(b)] এর সমান হয় ততক্ষণ পর্যন্ত বিক্রিয়া সংঘটিত হতে থাকে। যখন এই বিভবের মান 1.1 V এ পৌঁছায় তখন বিক্রিয়াটি বন্ধ হয়ে যায় এবং কোশের মধ্য দিয়ে আর তড়িৎ প্রবাহ ঘটে না। এরপর বাহ্যিক বিভবের সামান্য বৃদ্ধিই বিক্রিয়াটিকে পুনরায় শুরু করে কিন্তু বিক্রিয়াটি বিপরীত মুখী হয় [চিত্র 3.2(c)] । এক্ষেত্রে এটি তড়িৎবিশ্লেষণ কোশের ন্যায় আচরণ করে। তড়িৎবিশ্লেষণ কোশের তড়িৎ শক্তিকে কাজে লাগিয়ে অ-স্বত্ব:স্ফূর্ত রাসায়নিক বিক্রিয়া সংঘটিত করা যায়। উভয় ধরনের কোশই গুরুত্বপুর্ণ এবং পরবর্তী পর্যায়ে আমরা তাদের কিছু কিছু উল্লেখযোগ্য বৈশিষ্ট্য অধ্যয়ন করবো।

(a)

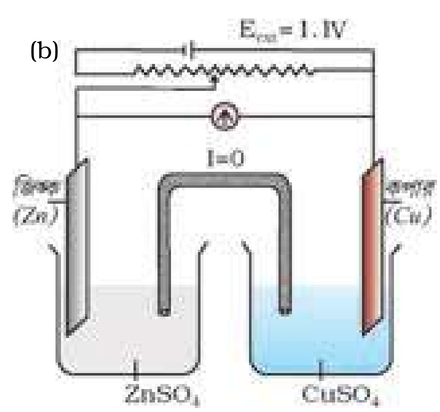



যখন $E_{ext} < 1.1$ V

(i) জিঙ্ক দণ্ড থেকে কপার দণ্ডে ইলেকট্রনের প্রবাহ ঘটে সেজন্য কপার দণ্ড থেকে জিঙ্ক দণ্ডের দিকে তড়িৎ প্রবাহ ঘটে।

(ii) অ্যানোডের জিঙ্ক দ্রবীভূত হয় এবং ক্যাথোডে কপার সঞ্চিত হয়।

(b)

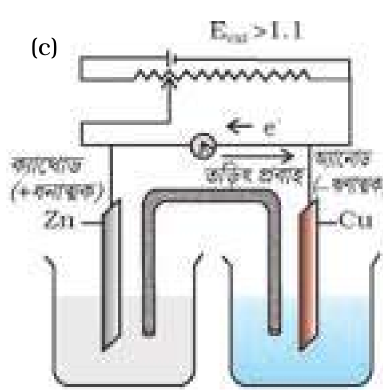



যখন $E_{ext} = 1.1$ V

(i) ইলেকট্রনের প্রবাহ বা তড়িৎ প্রবাহ ঘটেনা।

(ii) কোন রাসায়নিক বিক্রিয়া ঘটে না।

(c)




যখন $E_{ext} > 1.1$ V

(i) ইলেকট্রন কপার দণ্ড থেকে জিঙ্ক দণ্ডের দিকে প্রবাহিত হয় এবং তড়িৎ প্রবাহ জিঙ্ক দণ্ড থেকে কপার দণ্ডের দিকে প্রবাহিত হয়।

(ii) জিঙ্ক তড়িৎদ্বারে সঞ্চিত হয় এবং কপার তড়িৎদ্বার থেকে কপার দ্রবীভূত হয়।

***চিত্র 3.2***
*বাহ্যিক ($E_{ext}$) বিপরীতমুখী ভোল্টেজ প্রয়োগ করার ফলে ডেনিয়েল কোশের কার্যপ্রনালী।*

* *সঠিকভাবে বললে গাঢ়ত্বের পরিবর্তে সক্রিয়তা শব্দটি ব্যবহার করা বাঞ্ছনীয়। এটি গাঢ়ত্বের সঙ্গে সমানুপাতিক। লঘু দ্রবণের ক্ষেত্রে এটি গাঢ়ত্বের সমান হয়। তুমি উপরের শ্রেণিতে এই বিষয়ে আরোও জানতে পারবে।*

## 3.2 গ্যালভানীয় কোশ

পূর্বে উল্লেখ করা হয়েছে (একাদশ শ্রেণি, অষ্টম অধ্যায়) গ্যালভানীয় কোশ এক ধরনের তড়িৎরাসায়নিক কোশ যেটি স্বতঃস্ফূর্ত জারণ বিজারণ (রেডক্স) বিক্রিয়ার রাসায়নিক শক্তিকে তড়িৎ শক্তিতে রূপান্তরিত করে। এই ডিভাইসে (যন্ত্রে) স্বতঃস্ফূর্ত রেডক্স বিক্রিয়ায় গিবস্ শক্তি বৈদ্যুতিক কার্য্যে রূপান্তরিত হয়। যেটি কোন মোটর বা অন্যান্য বৈদ্যুতিক গেজেট (**gadgets**) যেমন- হিটার, পাখা, উষ্ণপ্রস্রবণ (**Geyser**) ইত্যাদি চালানোর জন্য ব্যবহার করা হয়।

পূর্বে আলোচিত ডেনিয়েল কোশ একটি এমন ধরনের কোশ, যেখানে নিম্নলিখিত রেডক্স বিক্রিয়া সংঘটিত হয়।

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

এই বিক্রিয়াটি দুটি অর্ধবিক্রিয়ার সংযোজিত রূপ যেগুলোর সংযোজনে সামগ্রিক বিক্রিয়াটি গঠিত হয়।

(i) $Cu^{2+} + 2e^{-} \rightarrow Cu(s)$ (বিজারণ অর্ধ বিক্রিয়া) (3.2)

(ii) $Zn(s) \rightarrow Zn^{2+} + 2e^{-}$ (জারণ অর্ধ বিক্রিয়া) (3.3)

এই বিক্রিয়াগুলো ড্যানিয়েল কোশের দুটি পৃথক অংশে সংগঠিত হয়। বিজারণ অর্ধ বিক্রিয়াটি কপার তড়িৎদ্বারে সম্পন্ন হয় যেখানে জারণ অর্ধবিক্রিয়াটি জিঙ্ক তড়িৎদ্বারে সম্পন্ন হয়। কোশের এই দুটি অংশকে অর্ধকোশ বা রেডক্স যুগলও বলা হয়। কপার তড়িৎদ্বারকে বিজারণ অর্ধ কোশ এবং জিঙ্ক তড়িৎদ্বারকে জারণ অর্ধকোশও বলা যেতে পারে।

ড্যানিয়েল কোশের নমুনা অনুসারে আমরা বিভিন্ন অর্ধকোশের সংযোজন ঘটিয়ে বহু অসংখ্য গ্যালভানীয় কোশ গঠন করতে পারি। একটি ধাতব তড়িৎদ্বারকে তড়িৎবিশ্লেষ্যে আংশিক নিমজ্জিত করে প্রতিটি অর্ধকোষ তৈরি করা হয়। দুটি অর্ধ কোশ একটি ধাতব তার এর মাধ্যমে যুক্ত থাকে যার সঙ্গে একটি ভোল্টমিটার এবং সুইচ বাহ্যিকভাবে যুক্ত থাকে। দুটি অর্ধকোশের তড়িৎবিশ্লেষ্যগুলো লবণসেতুর মাধ্যমে চিত্র 3.1 এর মতো অন্তভাবে সংযুক্ত থাকে। কিছু কিছু ক্ষেত্রে উভয় তড়িদ্বার একই তড়িৎবিশ্লেষ্যে আংশিক নিমজ্জিত থাকে এবং ঐ সকল ক্ষেত্রে লবণ সেতুর প্রয়োজন হয় না।

প্রতিটি তড়িৎদ্বার-তড়িৎবিশ্লেষ্যের সংযোগস্থলে সে দ্রবণের ধাতব আয়নগুলো ধাতব তড়িৎদ্বারে সঞ্চিত হয়ে তড়িৎদ্বারটিকে ধনাত্মক আধানে আহিত করার প্রবণতা লক্ষ্য করা যায়। একই সঙ্গো তড়িৎদ্বারের ধাতব পরমাণুগুলোর মধ্যে তড়িৎদ্বারে ইলেকট্রন বর্জন করে তড়িৎদ্বারটিকে ঋণাত্মক আধানে আহিত করে দ্রবণে প্রবেশ করার প্রবণতা লক্ষ্য করা যায়। সাম্যাবস্থায় তড়িৎদ্বারদ্বয়ে আধানের পার্থক্য লক্ষ্য করা যায় এবং দুটি বিপরীতমুখী বিক্রিয়ার প্রবণতার উপর নির্ভর করে দ্রবণের সাপেক্ষে তড়িৎদ্বারদ্বয় ধনাত্মক বা ঋণাত্মক আধান গ্রস্থ হয়। তড়িৎদ্বার এবং তড়িৎবিশ্লেষ্যের মধ্যে একটি বিভব পার্থক্য তৈরি হয় যাকে **তড়িৎদ্বার বিভব** বলে। যখন অর্ধকোশে উপস্থিত প্রতিটি উপাদানের গাঢ়ত্ব একক হয় তখন তড়িদ্বার বিভবকে **প্রমাণ তড়িৎদ্বার বিভব** বলা হয়। IUPAC প্রচলন অনুযায়ী প্রমাণ বিজারণ বিভবকে বর্তমানে প্রমাণ তড়িৎদ্বার বিভব বলা হয়। গ্যালভানীয় কোশের ক্ষেত্রে যে অর্ধকোশে জারণ সংঘঠিত হয় তাকে অ্যানোড বলা হয় এবং দ্রবণের সাপেক্ষে এর বিভব ঋণাত্মক হয়। অন্য অর্ধকোশ যেখানে বিজারণ সংঘঠিত হয় তাকে ক্যাথোড বলে এবং দ্রবণের সাপেক্ষে এর বিভব ধনাত্মক হয়। এইভাবে দুটি তড়িৎদ্বারের মধ্যে একটি বিভব পার্থক্য বর্তমান থাকে এবং যেইমাত্র সুইচ অন্ করা হয় তখন ঋণাত্মক তড়িৎদ্বার থেকে ধনাত্মক তড়িৎদ্বারে ইলেকট্রন প্রবাহিত হয়। তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ ইলেকট্রন প্রবাহের অভিমুখের বিপরীত হয়।

গ্যালভানীয় কোশের দুটি তড়িৎদ্বারের মধ্যে বিভব পার্থক্যকে কোশ বিভব বলা হয় এবং ভোল্ট এককে পরিমাপ করা হয়। ক্যাথোড ও অ্যানোড তড়িৎদ্বারদ্বয়ের বিভব পার্থক্য (বিজারণ বিভব) হল কোশ বিভব। একে কোশের তড়িৎচালক বল **(emf)** বলা হয় এবং ঐ সময় কোশ থেকে বাইরে কোনো তড়িৎ প্রবাহ ঘটে না। বর্তমানে প্রচলিত রীতি অনুযায়ী গ্যালভানীর কোশকে প্রকাশ করার জন্য আমরা অ্যানোডকে বাঁদিকে এবং ক্যাথোডকে ডান দিকে রাখি। ধাতু এবং তড়িৎবিশ্লেষ্য দ্রবণের মধ্যে একটি উলম্ব রেখা দিয়ে এবং লবণ সেতুর মাধ্যমে সংযুক্ত দুটি তড়িৎবিশ্লেষ্যের মধ্যে দুটি উলম্ব রেখা দিয়ে সাধারণভাবে গ্যালভানীয় কোশকে প্রকাশ করা হয়। এই প্রচলিত রীতি অনুযায়ী কোশের তড়িৎচালক বল ধনাত্মক হয় এবং ডানপক্ষের অর্ধকোশের বিভবের থেকে বামপক্ষের অর্ধকোশের বিভবকে বিয়োগ করে একে প্রকাশ করা হয়। অর্থাৎ;

$$E_{\text{কোশ}} = E_{\text{ডান}} - E_{\text{বাম}}$$

এটি নিম্নলিখিত উদাহরণের মাধ্যমে বিবৃত করা যায়—

কোশ বিক্রিয়া ঃ

$$Cu(s) + 2Ag^{+}(aq) \longrightarrow Cu^{2+}(aq) + 2\ Ag(s) \quad (3.4)$$

অর্ধ কোশ বিক্রিয়া ঃ

ক্যাথোড (বিজারণ) ঃ $2Ag^{+}(aq) + 2e^{-} \longrightarrow 2Ag(s)$ (3.5)

অ্যানোড (জারণ) ঃ $Cu(s) \longrightarrow Cu^{2+}(aq) + 2e^{-}$ (3.6)

লক্ষ্য করা যেতে পারে যে সমীকরণ (3.5) এবং (3.6) কে যোগ করলে আমরা কোশের সামগ্রিক বিক্রিয়াটি (3.4) পাই যেখানে সিলভার তড়িৎদ্বার ক্যাথোড হিসাবে এবং কপার তড়িৎদ্বার অ্যানোড হিসাবে আচরণ করে। কোশটিকে নিম্নলিখিতভাবে প্রকাশ করা যেতে পারে ঃ

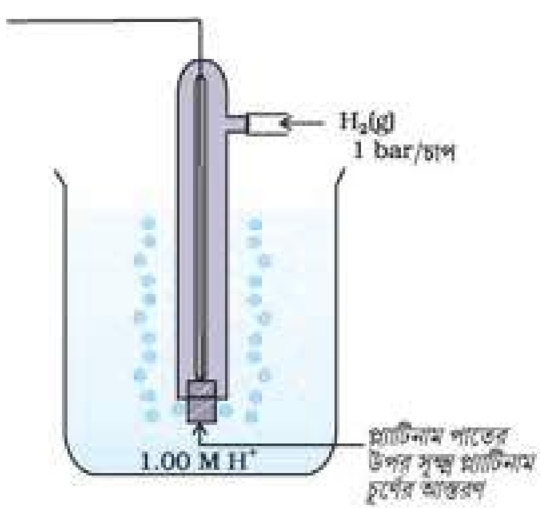
$$Cu(s)|Cu^{2+}(aq)||Ag^{+}(aq)|Ag(s)$$

এবং $E_{\text{কোশ}} = E_{\text{ডানপক্ষ}} - E_{\text{বামপক্ষ}} = E_{Ag^{+}/Ag} - E_{Cu^{2+}/Cu}$ (3.7)

### 3.2.1 তড়িৎদ্বার বিভব পরিমাপ

স্বতন্ত্রভাবে কোন অর্ধকোশের বিভব পরিমাপ করা সম্ভব নয়। আমরা কেবলমাত্র দুটি অর্ধকোশের বিভবের পার্থক্য পরিমাপ করতে পারি যা কোশের তড়িৎচালক বলকে প্রকাশ করে। যদি আমরা কোণো তড়িৎদ্বারের (অর্ধবিক্রিয়া) বিভবকে ইচ্ছামতো গ্রহণ করি তবে এর সাপেক্ষে অন্যান্য তড়িৎদ্বারের বিভব নির্ণয় করতে পারি। প্রচলিত নিয়ম অনুসারে প্রমাণ হাইড্রোজেন তড়িৎদ্বার নামক অর্ধকোশটি (চিত্র 3.3) $Pt(s) / H_2(g) / H^{+}(aq)$ দ্বারা প্রকাশ করা হয় এবং এর বিভবকে সকল উষ্ণতার শূণ্য ধরা হয়। এর সঙ্গে সম্পর্কিত বিক্রিয়াটি হলো—

$$H^{+}\ (aq) + e^{-} \rightarrow \frac{1}{2} H_2(g)$$




*চিত্র 3.3 : প্রমাণ হাইড্রোজেন তড়িৎদ্বার (SHE)*

প্রমাণ হাইড্রোজেন তড়িৎদ্বারটি হল প্লাটিনামের উপর প্লাটিনাম ব্লেকের আস্তরণ যুক্ত একটি তড়িৎদ্বার। এই তড়িৎদ্বারটি একটি আম্লিক দ্রবণে আংশিক নিমজ্জিত থাকে এবং এর মধ্যে বিশুদ্ধ হাইড্রোজেন গ্যাসের বুদবুদ সৃষ্টি করা হয়। হাইড্রোজেনের জারিত এবং বিজারিত উভয় রূপের গাঢ়ত্ব একক রাখা হয় (চিত্র 3.3)। এর অর্থ হলো হাইড্রোজেন গ্যাসের চাপ এক বার এবং দ্রবণে হাইড্রোজেন আয়নের গাঢ়ত্ব এক মোলার।

প্রমাণ হাইড্রোজেন তড়িৎদ্বারকে অ্যানোড হিসেবে ধরে নিয়ে (সম্পর্কিত অর্ধকোষ) এবং অপর অর্ধকোষটিকে ক্যাথোড হিসেবে ধরে নিয়ে প্রমাণ হাইড্রোজেন তড়িৎদ্বার।। অপর অর্ধকোষ–এই কোষটি গঠন করলে যে বিজারণ বিভবের মান পাওয়া যায় তাহা 298 K উষ্ণতায় কোষটির তড়িৎচালক বলের মানের সমান। যদি ডানপক্ষের অর্ধকোশের উপাদানগুলোর জারিত এবং বিজারিত রূপের গাঢ়ত্ব একক হয় তখন কোশ বিভব প্রদত্ত অর্ধকোশটির প্রমাণ তড়িৎদ্বার বিভবের $E^{J}_{R}$ সমান হয়।

$$E^{J} = E^{J}_{R} - E^{J}_{L}$$

যেহেতু প্রমাণ হাইড্রোজেন তড়িৎদ্বারের $E^{J}_{L}$ শূণ্য।

$$E^{J} = E^{J}_{R} - 0 = E^{J}_{R}$$

Pt(s) | $H_2$(g, 1 bar) | $H^+$ (aq, 1 M) || $Cu^{2+}$ (aq, 1 M) | Cu এই কোশটির তড়িৎচালক বলের মান 0.34 V এবং এই মাণটি আবার নিম্নলিখিত বিক্রিয়ার সঙ্গে সম্পর্কিত অর্ধকোশটির প্রমাণ তড়িৎদ্বার বিভবের মানের সমান।

$$Cu^{2+} (aq, 1M) + 2 e^- \rightarrow Cu(s)$$

একইভাবে, Pt(s) | $H_2$(g, 1 bar) | $H^+$ (aq, 1 M) || $Zn^{2+}$ (aq, 1M) | Zn কোশটির তড়িৎচালক বলের মাণ -0.76 V, যা নিম্নলিখিত বিক্রিয়ার সঙ্গে সম্পর্কিত অর্ধকোশের প্রমাণ তড়িৎদ্বার বিভবের মানের সমান ঃ

$$Zn^{2+} (aq, 1 M) + 2e^- \rightarrow Zn(s)$$

প্রথম ক্ষেত্রে প্রমাণ তড়িৎদ্বার বিভবের ধনাত্মক মান ইঙ্গিত করে $Cu^{2+}$ আয়ন, $H^+$ আয়ন অপেক্ষা সহজে বিজারিত হয়। এর বিপরীত প্রক্রিয়াটি সংঘটিত হয় না অর্থাৎ উপরে উল্লেখিত প্রমাণ অবস্থায় হাইড্রোজেন আয়ন কপার আয়নকে জারিত করতে পারে না (বা অন্যভাবে আমরা বলতে পারি যে হাইড্রোজেন গ্যাস কপার আয়নকে বিজারিত করতে পারে)। এইভাবে কপার, HCl এ দ্রবীভূত হয় না। নাইট্রিক অ্যাসিডে এটি নাইট্রেট আয়ন দ্বারা জারিত হয় কিন্তু হাইড্রোজেন আয়ন দ্বারা হয় না। দ্বিতীয় ক্ষেত্রে প্রমাণ তড়িৎদ্বার বিভবের ঋণাত্মক মান ইঙ্গিত করে যে হাইড্রোজেন আয়ন জিঙ্ককে জারিত (বা জিঙ্ক হাইড্রোজেন আয়নকে বিজারিত করতে) করতে পারে।

এই প্রচলিত রীতি অনুসারে, চিত্র 3.1 এ ড্যানিয়েল কোশের অর্ধবিক্রিয়াগুলোকে নিম্নলিখিতভাবে লেখা যায় ঃ

বাম তড়িৎদ্বার ঃ $Zn(s) \rightarrow Zn^{2+} (aq, 1 M) + 2 e^-$

ডান তড়িৎদ্বার ঃ $Cu^{2+} (aq, 1 M) + 2 e^- \rightarrow Cu(s)$

কোশের সামগ্রিক বিক্রিয়াটি এই দুটি বিক্রিয়ার সমষ্টি এবং আমরা এই সমীকরণটি পাই ঃ

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

কোশের তড়িৎচালক বল = $E^0_{cell} = E^0_R - E^0_L$

$$= 0.34V - (-0.76)V = 1.10 V$$

অনেকক্ষেত্রে প্লাটিনাম বা গোল্ডের মত ধাতুকে নিষ্ক্রিয় তড়িৎদ্বার হিসাবে ব্যবহার করা হয়। এরা বিক্রিয়াতে অংশগ্রহণ করে না কিন্তু জারণ ও বিজারণ বিক্রিয়া এবং ইলেকট্রনের পরিবহণের জন্য এদের পৃষ্ঠতলটি ব্যবহৃত হয়। উদাহরণস্বরূপ প্ল্যাটিনাম ধাতু নিম্নলিখিত অর্ধকোশে ব্যবহৃত হয় ঃ

হাইড্রোজেন তড়িৎদ্বার ঃ Pt(s) | $H_2$(g) | $H^+$(aq)

অর্ধকোশ বিক্রিয়া ঃ $H^+ (aq) + e^- \rightarrow ½ H_2(g)$

ব্রোমিন তড়িৎদ্বার ঃ Pt(s) | $Br_2$(aq) | $Br^-$(aq)

যার অর্ধকোশ বিক্রিয়া ঃ ½ $Br_2(aq) + e^- \rightarrow Br^-(aq)$

প্রমাণ তড়িৎদ্বার বিভবগুলো খুবই গুরুত্বপূর্ণ এবং আমরা এদের থেকে অনেক উপযোগী তথ্য পেতে পারি। কিছু নির্বাচিত অর্ধকোশের বিজারণ বিক্রিয়া সম্পর্কিত প্রমাণ বিজারণ বিভবের মান সারণি 3.1 এ দেওয়া হয়েছে। যদি কোনো তড়িৎদ্বারের প্রমাণ তড়িৎদ্বার বিভবের মান শূন্য অপেক্ষা বড় হয় তখন এর বিজারিত রূপটি হাইড্রোজেন গ্যাসের তুলনায় অধিক সুস্থিত হয়। একইরূপে যদি প্রমাণ তড়িৎদ্বার বিভব ঋণাত্মক হয় তবে হাইড্রোজেন গ্যাস ঐ উপাদানের বিজারিত রূপটি থেকে অধিক সুস্থিত হয়। লক্ষ্য করা যেতে পারে ফ্লুরিনের ক্ষেত্রে প্রমাণ ফ্লুরাইড আয়নে ($F^-$) বিজারিত হওয়ার প্রবণতা সর্বাধিক এবং সেইজন্য ফ্লুরিন গ্যাস হলো সবচেয়ে শক্তিশালী জারক দ্রব্য এবং ফ্লুরাইড আয়ন সবচেয়ে দুর্বল জারক দ্রব্য। সারণিতে লিথিয়ামের তড়িৎদ্বার বিভবের মান সর্বনিম্ন অর্থাৎ লিথিয়াম আয়ন হলো সবচেয়ে দুর্বল জারক দ্রব্য এবং জলীয় দ্রবণে লিথিয়াম ধাতু হল সব থেকে শক্তিশালী বিজারক দ্রব্য। লক্ষ্য করা যেতে পারে, সারণি 3.1 -এর উপর থেকে নীচের দিকে অগ্রসর হলে প্রমাণ তড়িৎদ্বার বিভব হ্রাস পায় এবং এর সাথে বিক্রিয়ার বামপক্ষের উপাদানটির জারণ ক্ষমতা হ্রাস পায় ও ডানপক্ষের উপাদানটির বিজারণ ক্ষমতা বৃদ্ধি পায়। কোনো দ্রবণের pH নির্ধারণে, দ্রাব্যতা গুণফল, সাম্য ধ্রুবক এবং অন্যান্য তাপগতিবিদ্যা বিষয়ক ধর্ম এবং পোটেনশিওমেট্রিক টাইট্রেশন বিক্রিয়াতে তড়িৎ রাসায়নিক কোশ ব্যাপকভাবে ব্যবহৃত হয়।

### বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলী

3.1 তুমি $Mg^{2+}|Mg$ সিস্টেমটির প্রমাণ তড়িৎদ্বার বিভব কীভাবে নির্ণয় করবে?

3.2 তুমি কী জিঙ্কের পাত্রে কপার সালফেটের দ্রবণ মজুত করতে পারবে?

3.3 প্রমাণ তড়িদ্বার বিভবের সারণিটি অধ্যয়ন করে এমন তিনটি পদার্থের নাম বলো যারা উপযুক্ত শর্তে ফেরাস আয়নকে জারিত করতে পারে।

## 3.3 নার্নস্টের সমীকরণ

আমরা পূর্বের অনুচ্ছেদে ধরে নিয়েছিলাম যে তড়িৎদ্বার বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণকারী উপাদানগুলোর গাঢ়ত্ব এক একক। এটি সর্বদা সত্য নাও হতে পারে নার্নস্ট প্রমাণ হাইড্রোজেন তড়িৎদ্বারের স্বপক্ষে যে কোনো গাঢ়ত্বের ঃ

$$M^{n+}(aq) + ne^- \rightarrow M(s)$$

এই তড়িৎদ্বার বিক্রিয়ার তড়িৎদ্বার বিভবের সমীকরণটি নিম্নরূপে প্রকাশ করেন।

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

কিন্তু কঠিন পদার্থের ক্ষেত্রে M এর গাঢ়ত্ব এক একক ধরা হয় বলে আমরা পাই,

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

$E^{V}_{(M^{n+}/M)}$ কে পূর্বেই সংজ্ঞায়িত করা হয়েছে। $R$ হল গ্যাস ধ্রুবক 8.314 $JK^{-1}\ mol^{-1}$), $F$ হল ফ্যারাডে ধ্রুবক (96487 C $mol^{-1}$), $T$ হল কেলভিন স্কেলে উষ্ণতা এবং $[M^{n+}]$ হল $M^{n+}$ উপাদানের গাঢ়ত্ব।

সারণি 3.1 ঃ 298 K উষ্ণতায় প্রমাণ তড়িৎদ্বার বিভব

আয়নগুলো জলীয় মাধ্যমে এবং জল ($H_2O$) তরল অবস্থায় উপস্থিত; গ্যাস এবং কঠিন অবস্থাকে g এবং s দ্বারা প্রকাশ করা হয়েছে।

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

জারণ ক্ষমতার ঊর্ধ্বক্রম (↑)

বিজারণ ক্ষমতার ঊর্ধ্বক্রম (↓)

1. ঋণাত্মক $E^J$ বলতে বুঝায় রেডক্স জোড়, $H^+/H_2$ জোড় অপেক্ষা শক্তিশালী বিজারক দ্রব্য
2. ধণাত্মক $E^J$ বলতে বুঝায় রেডক্স জোড়, $H^+/H_2$ জোড় অপেক্ষা দুর্বল বিজারক দ্রব্য।

ড্যানিয়েল কোশের ক্ষেত্রে, $Cu^{2+}$ এবং $Zn^{2+}$ আয়নের যে কোনো প্রদত্ত গাঢ়ত্বে তড়িৎদ্বার বিভবকে নিম্নরূপে লিখতে পারি

ক্যাথোডের ক্ষেত্রে ঃ

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

অ্যানোডের ক্ষেত্রে ঃ

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

কোশ বিভব ঃ $E_{(কোশ)} = E_{(Cu^{2+}/Cu)} - E_{(Zn^{2+}/Zn)}$

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

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

$$E_{(কোশ)} = E^{\ominus}_{(কোশ)} - \frac{RT}{2F} \ln \frac{[Zn^{2+}]}{[Cu^{2+}]} \quad (3.11)$$

লক্ষ্য করা যায় যে $Cu^{2+}$ এবং $Zn^{2+}$ উভয় আয়নের গাঢ়ত্বের উপর $E_{(কোশ)}$ নির্ভর করে। এটি $Cu^{2+}$ আয়নের গাঢ়ত্বের বৃদ্ধির সঙ্গে বৃদ্ধি পায় এবং $Zn^{2+}$ আয়নের গাঢ়ত্বের বৃদ্ধির সঙ্গে হ্রাস পায়।

সমীকরণ (3.11) এ সাধারণ লগারিদমকে 10 নিধান বিশিষ্ট লগারিদমে পরিবর্তিত করে এবং $R$, $F$ এবং $T$ = 298 K ইত্যাদির মান বসিয়ে একে সংক্ষিপ্তকারে নিম্নলিখিতভাবে প্রকাশ করা যায়–

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

উভয় তড়িৎদ্বারের ক্ষেত্রে আমরা সমান সংখ্যক ইলেকট্রন ($n$) ব্যবহার করবো এবং সেজন্য নিম্নলিখিত কোশটির ক্ষেত্রে–

$$Ni(s) | Ni^{2+}(aq) || Ag^{+}(aq) | Ag$$

কোশ বিক্রিয়াটি হল– $Ni(s) + 2Ag^{+}(aq) \rightarrow Ni^{2+}(aq) + 2Ag(s)$

এই বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে **নার্নস্টের সমীকরণকে** নিম্নরূপে লেখা যায়–

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

সুতরাং কোনো সাধারণ তড়িৎরাসায়নিক বিক্রিয়া–

$$a\,A + bB \xrightarrow{ne^-} cC + dD$$ এর ক্ষেত্রে

নার্নস্টের সমীকরণকে নিম্নরূপে লেখা যায় ঃ

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

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

নিম্নলিখিত বিক্রিয়া সম্পর্কিত কোশটির সাংকেতিক রূপটি লিখ এবং

**নমুনা প্রশ্ন 3.1**

$Mg(s) + 2Ag^+(0.0001M) \rightarrow Mg^{2+}(0.130M) + 2Ag(s)$

$E^{V}_{(কোশ)} = 3.17$ V হয় তবে $E_{(কোশ)}$ গণনা করো।

**সমাধান**

$Mg | Mg^{2+}(0.130M) || Ag^+(0.0001M) | Ag$ কোশটিকে এভাবে লেখা যেতে পারে–

$$E_{(কোশ)} = E^{V}_{(কোশ)} - \frac{RT}{2F} \ln \frac{[Mg^{2+}]}{[Ag^+]^2}$$

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

### 3.3.1 নার্নস্ট সমীকরণ থেকে সাম্য ধ্রুবকের মান নির্ণয়

যদি ড্যানিয়েল কোশের (চিত্র 3.1) বর্তনিটি বন্ধ করা হয় তবে নীচের বিক্রিয়াটি ঘটতে থাকে–

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

সময়ের অগ্রগতির সাথে সাথে $Zn^{2+}$ এর গাঢ়ত্ব বৃদ্ধি পেতে থাকে এবং $Cu^{2+}$ আয়নের গাঢ়ত্ব হ্রাস পেতে থাকে। একই সময়ে ভোল্টমিটারে কোশ বিভবের মান ক্রমশ হ্রাস পেতে থাকে। কিছু সময় পর, আমরা লক্ষ করবো যে $Cu^{2+}$এবং $Zn^{2+}$ আয়নের গাঢ়ত্বের কোনো পরিবর্তন হচ্ছে না এবং একই সময়ে ভোল্টমিটার শূণ্য পাঠ নির্দেশ করছে। এটি নির্দেশ করে যে সাম্যাবস্থা সৃষ্টি হয়েছে। এই অবস্থায় নার্নস্ট সমীকরণকে নিম্নরূপে লেখা যায় ঃ

$$E_{(কোশ)} = 0 = E^{V}_{(কোশ)} - \frac{2.303RT}{2F} \log \frac{[Zn^{2+}]}{[Cu^{2+}]}$$

$$\text{বা } E^{V}_{(কোশ)} = \frac{2.303RT}{2F} \log \frac{[Zn^{2+}]}{[Cu^{2+}]}$$

কিন্তু সাম্যবস্থায় সমীকরণ 3.1এর ক্ষেত্রে

$\frac{[Zn^{2+}]}{[Cu^{2+}]} = K_c$ এবং T = 298K -এ তে উপরের সমীকরণটিকে নিম্নরূপে লেখা যায়–

$$E^{V}_{(কোশ)} = \frac{0.059 \text{ V}}{2} \log K_C = 1.1 \text{ V} \qquad (E^{V}_{(কোশ)} = 1.1\text{V})$$

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

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

সাধারণভাবে,

$$E^{V}_{(কোশ)} = \frac{2.303RT}{nF} \log K_C \quad (3.14)$$

এইভাবে সমীকরণ (3.14)-এ বিক্রিয়ার সাম্যধ্রুবক এবং বিক্রিয়াটি যে কোশে সংঘঠিত হয় সেটির প্রমাণ বিভবের মধ্যে একটি সম্পর্ক পাওয়া যায়। অর্থাৎ বিক্রিয়ার সাম্যধ্রুবক, যা পরিমাপ করা দুঃসাধ্য, কোশের $E^J$ মান থেকে তা সহজে গণনা করা যায়।

**নমুনা প্রশ্ন 3.2** নিম্নলিখিত বিক্রিয়াটির ক্ষেত্রে সাম্যধ্রুবকের মান গণনা করো ঃ

$Cu(s) + 2Ag^{+}(aq) \rightarrow Cu^{2+}(aq) + 2Ag(s)$

$E^{V}_{(কোশ)} = 0.46\ V$

**সমাধান** $E^{V}_{(কোশ)} = \frac{0.059\ V}{2} \log K_C = 0.46\ V$ বা

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

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

### 3.3.2 তড়িৎরাসায়নিক কোশ এবং বিক্রিয়ার গিবস্ মুক্ত শক্তির মধ্যে সম্পর্ক

এক সেকেন্ডে যে বৈদ্যুতিক কার্য সম্পাদিত হয় তা তড়িৎবিভব এবং প্রবাহিত তড়িৎ-এর মোট আধানের গুণফলের সমান। যদি আধানের প্রবাহকে বিপরীতমুখী করা হয় তাহলে গ্যালভানীয় কোশ থেকে আমরা সর্বাধিক কার্য পেতে পারি। গ্যালভানীয় কোশ কর্তৃক সম্পাদিত পরাবর্ত কার্য, কোশটির গিবস্ মুক্ত শক্তির হ্রাসের সমান এবং সেইজন্য যদি কোশটির তড়িৎচালক বল $E$ হয় এবং প্রবাহিত আধানের পরিমাণ $nF$ এবং বিক্রিয়ার গিবস্ মুক্ত শক্তি $\Delta_r G$ হয় তবে

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

মনে রাখতে হবে $E_{(কোশ)}$ একটি ভর নিরপেক্ষ (intensive) কিন্তু $\Delta_r G$ একটি ভর সাপেক্ষ (extensive) তাপগতীয় ধর্ম এবং এর মাণ $n$ এর ওপর নির্ভর করে।

এইভাবে, $Zn(s) + Cu^{2+}(aq) \longrightarrow Zn^{2+}(aq) + Cu(s)$ (3.1)

$$\Delta_r G = -2FE_{(কোশ)}$$

কিন্তু বিক্রিয়াটিকে যদি এভাবে লেখা হয় $2\ Zn\ (s) + 2\ Cu^{2+}(aq) \longrightarrow 2\ Zn^{2+}(aq) + 2Cu(s)$

সেক্ষেত্রে

$$\Delta_r G = -4FE_{(কোশ)}$$

যদি সকল বিক্রিয়কগুলোর গাঢ়ত্ব এক একক হয় তবে $E_{(কোশ)} = E^{V}_{(কোশ)}$ এবং আমরা পাই

$$\Delta_r G^{J} = -nF E^{V}_{(কোশ)} \quad (3.16)$$

এইভাবে $E^{V}_{(কোশ)}$ পরিমাপ থেকে প্রমাণ অবস্থায় কোনো বিক্রিয়ার গিবস্ মুক্ত শক্তির $\Delta_r G^{J}$ মত একটি গুরুত্বপূর্ণ তাপগতীয় রাশি পাওয়া যায়। $\Delta_r G^{J}$ থেকে আমরা নিম্নলিখিত সমীকরণের সাহায্যে সাম্য ধ্রুবক গণনা করতে পারি

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

**নমুনা প্রশ্ন 3.3** ড্যানিয়েল কোশের প্রমাণ তড়িৎদ্বার বিভব 1.1V। নিম্নের বিক্রিয়াটির ক্ষেত্রে প্রমাণ গিবস্ মুক্ত শক্তি গণনা করো ঃ

$Zn(s) + Cu^{2+}(aq) \longrightarrow Zn^{2+}(aq) + Cu(s)$

**সমাধান** $\Delta_r G^{J} = -nF E^{V}_{(কোশ}$

উপরের সমীকরণের ক্ষেত্রে $n = 2$, $F = 96487\ C\ mol^{-1}$ এবং $E^{V}_{(কোশ)} = 1.1\ V$

সুতরাং, $\Delta_r G^{J} = -2 \times 1.1V \times 96487\ C\ mol^{-1}$

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

$= -212.27\ kJ\ mol^{-1}$

## বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলি

**3.4** pH = 10 মান বিশিষ্ট কোনো দ্রবণের সংস্পর্শে থাকা হাইড্রোজেন তড়িৎদ্বারের বিভব গণনা করো।

**3.5** নিচের কোশটির তড়িৎচালক বল গণনা করো যেখানে সংঘটিত বিক্রিয়াটি হল

$Ni(s) + 2Ag^{+}$ (0.002 M) $\rightarrow Ni^{2+}$ (0.160 M) $+ 2Ag(s)$

দেওয়া আছে, $E^{V}_{(কোশ)} = 1.05$ V

**3.6** 298 K উষ্ণতায় এবং $E^{V}_{(কোশ)} = 0.236$ V মান বিশিষ্ট একটি কোশের প্রমাণ গিবস্ মুক্ত শক্তি এবং সাম্য ধ্রুবকের মান গণনা করো যেখানে সংঘঠিত বিক্রিয়াটি হল

$$2Fe^{3+}(aq) + 2I^{-}(aq) \rightarrow 2Fe^{2+}(aq) + I_2(s)$$

## 3.4 তড়িৎবিশ্লেষ্য দ্রবণের পরিবাহিতা

তড়িৎবিশ্লেষ্য দ্রবণের মধ্য দিয়ে তড়িৎ পরিবহণ বিষয়টি আলোচনা করার পূর্বে কিছু কিছু পরিভাষা (terms) কে সংজ্ঞায়িত করা প্রয়োজন। বৈদ্যুতিক রোধকে '*R*' চিহ্ন দ্বারা প্রকাশ করা হয় এবং ওহম (Ω) এককে পরিমাপ করা হয়। SI এককে যেটি $(kg\ m^2)/(S^3\ A^2)$ -এর সমান। হুইস্টোন ব্রিজের (**Wheatstone bridge**)'র সাহায্যে একে পরিমাপ করা যায়, যেটির সঙ্গে আমরা পদার্থবিদ্যা অধ্যায়নের সময় পরিচিত হয়েছি। কোনো পদার্থের রোধ পদার্থটির দৈর্ঘ্য *l*, এর সঙ্গে সমানুপাতিক এবং পদার্থটির প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফলের (*A*)'র সঙ্গে ব্যস্তানুপাতিক অর্থাৎ,

$$R \propto \frac{l}{A} \text{ বা } R = \rho \frac{l}{A} \qquad (3.17)$$

সমানুপাতিক ধ্রুবক, ρ (গ্রিক, রো) কে রোধাঙ্ক (**resistivity**) বা আপেক্ষিক রোধ (specific resistance) বলে। SI পদ্ধতিতে এর একক ওহ্ম মিটার (ohm metre) (Ω m) এবং অনেক ক্ষেত্রে ওহ্ম সেমি (ohm centimetre) (Ω cm) এককও ব্যবহার করা হয়। IUPAC রীতিতে আপেক্ষিক রোধের পরিবর্তে রোধাঙ্ক পদ্‌টি ব্যবহার করার সুপারিশ করা হয়েছে তাই এই পুস্তকে আমরা রোধাঙ্ক পদ্‌টি ব্যবহার করবো। স্থূলভাবে এক মিটার দৈর্ঘ্য ও (এক মিটার)$^2$ প্রস্থচ্ছেদ বিশিষ্ট কোনো পদার্থের রোধই হল পদার্থটির রোধাঙ্ক। লক্ষ্য করা যায়–

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

রোধের (*R*) অনোন্যককে কে পরিবাহিতা (*G*) বলা হয় এবং এটি থেকে নীচের সম্পর্কটি পাওয়া যায় ঃ

$$G = \frac{1}{R} = \frac{A}{l} = \kappa \frac{A}{l} \qquad (3.18)$$

SI পদ্ধতিতে পরিবাহিতার একক সিমেন্স (siemens) যাকে 'S' চিহ্নের সাহায্যে প্রকাশ করা হয় এবং এটি ওহ্ম$^{-1}$ (ohm$^{-1}$) (mho হিসাবেও পরিচিত) বা $\Omega^{-1}$ এর সমান। রোধাঙ্কের অন্যোন্যক কে পরিবাহিতা (আপেক্ষিক পরিবাহিতা) বলা হয় যাকে κ (গ্রীক, kappa) চিহ্ন দ্বারা প্রকাশ করা হয়। IUPAC পদ্ধতিতে আপেক্ষিক পরিবাহিতার পরিবর্তে পরিবাহিতা পদটি (term) ব্যবহার করার সুপারিশ করা হয়েছে তাই এই পুস্তকে আমরা পরিবাহিতা (conductions) পদ্‌টি ব্যবহার করবো। পরিবাহিতার SI একক হল সিমেন্স মিটার$^{-1}$ ($S\ m^{-1}$) কিন্তু প্রায়শই κ কে $S\ cm^{-1}$ এ প্রকাশ করা হয়। 1 m দৈর্ঘ্য এবং 1 m$^2$ প্রস্থচ্ছেদ বিশিষ্ট কোনো পদার্থের পরিবাহিতাই হল $S\ cm^{-1}$ এককে পদার্থটির পরিবাহিতা। লক্ষ্য করা যেতে পারে $1\ S\ cm^{-1} = 100\ S\ m^{-1}$।

**সারণি 3.2: 298.15 K উষ্ণতায় কিছু নির্বাচিত পদার্থের পরিবাহিতাঙ্কের মান**

| পদার্থ | পরিবাহিতাঙ্ক/ $S\ m^{-1}$ | পদার্থ | পরিবাহিতাঙ্ক/ $S\ m^{-1}$ |
|---|---|---|---|
| ***পরিবাহী*** | | ***জলীয় দ্রবণ*** | |
| সোডিয়াম | $2.1\times10^{3}$ | বিশুদ্ধ জল | $3.5\times10^{-5}$ |
| কপার | $5.9\times10^{3}$ | 0.1 M HCl | 3.91 |
| সিলভার | $6.2\times10^{3}$ | 0.01M KCl | 0.14 |
| গোল্ড | $4.5\times10^{3}$ | 0.01M NaCl | 0.12 |
| আয়রন | $1.0\times10^{3}$ | 0.1 M HAc | 0.047 |
| গ্রাফাইট | $1.2\times10$ | 0.01M HAc | 0.016 |
| ***অন্তরক*** | | ***অর্ধপরিবাহী*** | |
| গ্লাস | $1.0\times10^{-16}$ | CuO | $1\times10^{-7}$ |
| টেফলণ | $1.0\times10^{-18}$ | Si | $1.5\times10^{-2}$ |
| | | Ge | 2.0 |

সারণি 3.2 এ লক্ষ্য করা যায় পরিবাহিতার মানের বিস্তৃতিতে অনেক তারতম্য আছে এবং এটি পদার্থের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে। যে উষ্ণতা ও চাপে এটি পরিমাপ করা হয় তার উপরও নির্ভর করে। পরিবাহীতার মানের উপর নির্ভর করে পদার্থগুলোকে পরিবাহী, অন্তরক এবং অর্ধপরিবাহী এই তিন শ্রেণিতে ভাগ করা হয়েছে। ধাতু এবং তাদের সংকর ধাতুগুলোর পরিবাহিতার মান খুব বেশি বলে এদের পরিবাহী বলা হয়। কিছু কিছু অধাতু যেমন– কার্বন-ব্ল্যাক, গ্রাফাইট এবং কিছু জৈব পলিমার* ও তড়িৎ পরিবাহী। গ্লাস (glass), সেরামিক ইত্যাদির ন্যায় পদার্থের পরিবাহিতার মান খুব কম এবং এদের অন্তরক বলা হয়। সিলিকন, ডোপিং করা সিলিকন এবং গ্যালিয়াম আর্সেনাইডের পরিবাহিতার মান পরিবাহী এবং অন্তরকের মাঝামাঝি, তাদের অর্ধ পরিবাহী (semiconductors) বলা হয়। এরা গুরুত্বপূর্ণ ইলেকট্রনিক সরঞ্জাম রূপে ব্যবহৃত হয়। কিছু পদার্থ যাদের রোধাঙ্ক সংজ্ঞানুসারে শূন্য বা পরিবাহীতা অসীম তাদের অতিপরিবাহী (superconductors) বলা হয়। প্রথমদিকে ধাতু এবং তাদের সংকর ধাতু খুব নিম্ন উষ্ণতায় (0 to 15 K) অতিপরিবাহী হিসেবে আচরণ করে বলে জানা ছিল, কিন্তু বর্তমানকালে অনেক সেরামিক জাতীয় পদার্থ এবং মিশ্র অক্সাইড, 150 K এর মতো উচ্চ উষ্ণতায়ও অতিপরিবাহী রূপে আচরণ করে বলে জানা যায়।

ধাতুর মধ্যে দিয়ে তড়িৎ পরিবহণকে ধাতব বা বৈদ্যুতিক পরিবহণ বলে। ইলেকট্রনের সঞ্চরনই এই প্রবাহের মূল কারণ। তড়িৎ পরিবহণ নিম্নলিখিত বিষয়গুলোর ওপর নির্ভরশীল–

(i) ধাতু প্রকৃতি এবং গঠন

(ii) প্রতিটি পরমাণুর যোজ্যতা ইলেকট্রন সংখ্যা

(iii) উষ্ণতা (উষ্ণতা বৃদ্ধির সঙ্গে এটি হ্রাস পায়)।

* *তড়িৎ পরিবাহী পলিমার—1977 খ্রীষ্টাব্দে ম্যাক ডিরমিড, হীগর এবং শিরাকাবা আবিষ্কার করেন যে অ্যাসিটিলিন গ্যাসকে আয়োডিন বাষ্পের সংস্পর্শে এনে পলিমারাইজেশনের দ্বারা পলিঅ্যাসিটিলিন নামক পলিমারে পরিণত করা যায়, যেটি ধাতুর মতো দ্যুতিযুক্ত এবং পরিবাহী। পরবর্তী সময়ে অনেক পারিবাহী জৈব পলিমার যেমন- পলিঅ্যানিলিন, পলিপিরোল এবং পলিথায়োফিন ইত্যাদি তৈরি করা হয়েছে। এই জৈব পলিমারগুলো, যাদের ধর্ম ধাতুর সম্পূর্ণভাবে কার্বন, হাইড্রোজেন বা কখনও কখনও নাইট্রোজেন, অক্সিজেন বা সালফার নিয়ে গঠিত। এগুলো ধাতুর থেকে অনেক হালকা ফলে হাল্কা ওজনের ব্যাটারি নির্মাণে ব্যবহৃত হতে পারে। পাশাপাশি পলিমারের ন্যায় এদের যান্ত্রিক ধর্ম যেমন– প্রসারনশীলতাও বিদ্যমান। এর ফলে এদের সাহায্যে বৈদ্যুতিক যন্ত্র যেমন– ট্রানজিস্টারও নির্মাণ করা যায়, যেগুলো প্লাস্টিকের সীটের মতো বেঁকে যেতে পারে। পরিবাহী পলিমারের আবিষ্কার স্বীকৃতিস্বরূপ ম্যাক ডিরমিড, হীগর এবং শিরাকাবাকে 2000 সালে রসায়নে নোবেল পুরষ্কারে ভূষিত করা হয়।*

যেহেতু ইলেকট্রন এক প্রান্ত দিয়ে প্রবেশ করে অন্য প্রান্ত দিয়ে বেরিয়ে যায় সেজন্য ধাতব পরিবাহীর সংযুতি অপরিবর্তিত থাকে। অর্ধ পরিবাহীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ পরিবহণের ক্রিয়া কৌশলটি অনেকটা জটিল।

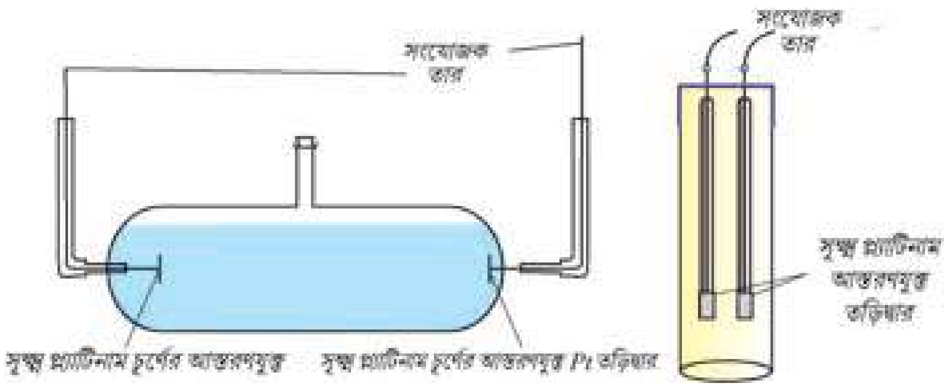
একাদশ শ্রেণির সপ্তম অধ্যায়ে আমরা আগেই জেনেছি—বিশুদ্ধ জলেও অতি সামান্য পরিমাণে হাইড্রোজেন এবং হাইড্রাক্সিল আয়ন ($\sim 10^{-7}$M) থাকে, যার ফলে খুবই নিম্ন পরিবাহিতা ($3.5 \times 10^{-5}$ S $m^{-1}$) দেখা যায়। যখন কোনো তড়িৎবিশ্লেষ্যকে জলে দ্রবীভূত করা হয় তখন তড়িৎবিশ্লেষ্যটি দ্রবণে আয়ন সরবরাহ করে ফলে দ্রবণের পরিবাহিতা বৃদ্ধি পায়। দ্রবণে উপস্থিত আয়ন কর্তৃক তড়িৎ পরিবহণকে তড়িৎবিশ্লেষিক বা আয়নীয় পরিবাহিতা বলা হয়। আয়নীয় বা তড়িৎবিশ্লেষিক দ্রবণের পরিবাহিতা নিম্নলিখিত বিষয়গুলোর ওপর নির্ভর করে–

(i) সংযোজিত তড়িৎবিশ্লেষ্যের প্রকৃতির ওপর
(ii) উৎপন্ন আয়নের আকার এবং তাদের দ্রাবকায়ন (solvation)
(iii) দ্রাবের প্রকৃতি এবং সান্দ্রতা
(iv) তড়িৎবিশ্লেষ্যের গাঢ়ত্ব
(v) উষ্ণতা (এটি উষ্ণতা বৃদ্ধির সঙ্গে বৃদ্ধি পায়)।

তড়িৎরাসায়নিক বিক্রিয়ার ফলে আয়নীয় দ্রবণের মধ্য দিয়ে দীর্ঘক্ষণ ধরে সমপ্রবাহ প্রবাহিত হলে দ্রবণের সংযুতি পরিবর্তিত হতে পারে (অনুচ্ছেদ 3.4.1)।

### 3.4.1 আয়নীয় দ্রবণের তড়িৎপরিবাহিতাঙ্কের পরিমাপ

আমরা জানি হুইস্টোন ব্রীজে (Wheatstone bridge) অজ্ঞাত রোধকে সঠিকভাবে পরিমাপ করা যায়। কিন্তু আয়নীয় দ্রবণের রোধ পরিমাপের ক্ষেত্রে আমরা দুটি সমস্যার মুখোমুখি হই। প্রথমত, সমপ্রবাহ (DC) দ্রবণের সংযুতির পরিবর্তন করে। দ্বিতীয়ত, কোনো দ্রবণকে ব্রীজটির সঙ্গে ধাতব তার বা অন্যান্য কঠিন পরিবাহীর ন্যায় যুক্ত করা যায় না। প্রথম সমস্যাটিকে সমাধানের জন্য পরিবর্তী প্রবাহের (AC) উৎসকে ব্যবহার করা হয়। দ্বিতীয় সমস্যাটিকে বিশেষভাবে নির্মিত পরিবাহিতা কোশ ব্যবহার করে সমাধান করা হয়। এর অনেকগুলো নক্‌শা আছে যার মধ্যে, দুটি সরল নক্‌শা 3.4 চিত্রে দেখানো হয়েছে–




*চিত্র 3.4 : দুটি বিভিন্ন ধরনের পরিবাহিতা*

বস্তুতপক্ষে এটি প্লাটিনাম ব্ল্যাকের আস্তরণ (তড়িৎরাসায়নিক ভাবে সূক্ষ্ম ধাতব প্ল্যাটিনাম চূর্ণকে তড়িৎদ্বারের উপর প্রলেপিত করা হয়) বস্তু দুটি প্ল্যাটিনাম তড়িৎদ্বার নিয়ে গঠিত। তড়িৎদ্বারের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল '$A$'-এর সমান এবং এরা পরস্পর থেকে '$l$' দূরত্বে অবস্থিত। অর্থাৎ দুটি তড়িৎদ্বার এর মধ্যে আবদ্ধ স্তম্ভের ন্যায় দ্রবণের দৈর্ঘ্য $l$ এবং প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল $A$। এই ধরনের দ্রবণ স্তম্ভের যে রোধ সেটি নীচের সমীকরণের মাধ্যমে প্রকাশ করা যায়।

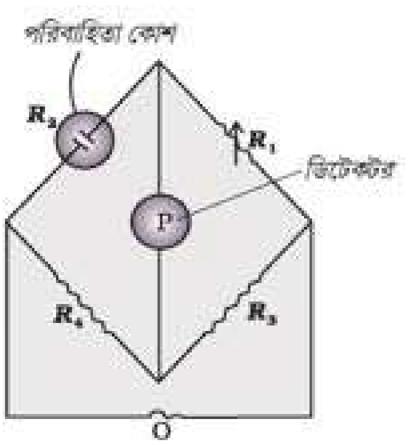
$$R = r\ \frac{l}{A} = \frac{l}{\kappa A} \qquad (3.17)$$

$l/A$ রাশিটিকে কোশ ধ্রুবক বলে এবং একে $G^*$ চিহ্ন দ্বারা প্রকাশ করা হয়। এটি দুটি তড়িৎদ্বারের মধ্যবর্তী দূরত্ব এবং তড়িৎদ্বারদ্বয়ের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফলের ওপর নির্ভর করে। কোশ ধ্রুবকের মাত্রা দৈর্ঘ্য $^{-1}$ এবং $l$ ও $A$-এর জ্ঞাত মান থেকে একে নির্ণয় করা যায়। $l$ এবং $A$ -এর পরিমাপ কেবল অসুবিধাজনকই নয় অধিকন্তু অনির্ভরযোগ্য। জ্ঞাত পরিবাহিতার দ্রবণ বিশিষ্ট কোনো কোশের রোধের পরিমাপের সাহায্যে সাধারণত কোশ ধ্রুবককে গণনা করা হয়। এর জন্য আমরা সাধারণত KCl দ্রবণ ব্যবহার করি, বিভিন্ন গাঢ়ত্বে (সারণি 3.3) এবং বিভিন্ন উষ্ণতায় যেটির পরিবাহিতার মান সঠিকভাবে পূর্ব থেকেই জানা, কোশ ধ্রুবক $G^*$ কে নীচের সমীকরণের সাহায্যে প্রকাশ করা হয়।

$$G^* = \frac{l}{A} = \mathrm{R}\,k \tag{3.18}$$

**সারণি 3.3: 298.15K উষ্ণতায় KCl দ্রবণের পরিবাহিতাঙ্ক ও মোলার পরিবাহিতাঙ্ক**

| গাঢ়ত্ব/মোলারিটি | | পরিবাহিতাঙ্ক | | মোলার পরিবাহিতাঙ্ক | |
|---|---|---|---|---|---|
| mol $L^{-1}$ | mol $m^{-3}$ | S $cm^{-1}$ | S $m^{-1}$ | S $cm^2mol^{-1}$ | S $m^2$ $mol^{-1}$ |
| 1.000 | 1000 | 0.1113 | 11.13 | 111.3 | $111.3\times10^{-4}$ |
| 0.100 | 100.0 | 0.0129 | 1.29 | 129.0 | $129.0\times10^{-4}$ |
| 0.010 | 10.00 | 0.00141 | 0.141 | 141.0 | $141.0\times10^{-4}$ |




*চিত্র 3.5: একটি তড়িৎবিশ্লেষ্য দ্রবণের রোধ পরিমাপের জন্য সজ্জা*

কোশ ধ্রুবক একবার নির্ণীত হলে আমরা একে কোনো দ্রবণের রোধ বা পরিবাহিতা পরিমাপ করার জন্য ব্যবহার করতে পারি। রোধ পরিমাপের জন্য সজ্জাটি চিত্র 3.5 -এ দেখানো হয়েছে।

এটি জ্ঞাতমানের রোধ $R_3$ ও $R_4$ পরিবর্তনশীল রোধ $R_1$ এবং অজ্ঞাত রোধ $R_2$ বিশিষ্ট একটি পরিবাহিতা কোশ নিয়ে গঠিত। হুইস্টোন ব্রীজে একটি দোলকের (550 থেকে 5000 সাইকেলস্ প্রতি সেকেন্ড শ্রাব্যস্পন্দ সংখ্যা (audio frequency) বিশিষ্ট পরিবর্তী প্রবাহের উৎস-এর সঙ্গে সংযুক্ত থাকে। P হল একটি উপযুক্ত ডিটেক্টর (হেডফোন বা অন্নান্য বৈদ্যুতিন যন্ত্র)। ডিটেক্টারের মধ্য দিয়ে কোন তড়িৎ প্রবাহিত না হলে ব্রীজটি সাম্যাবস্থায় থাকে। এই সকল শর্তে–

$$\text{অজ্ঞাত রোধ } R_2 = \frac{\mathrm{R_1\ R_4}}{\mathrm{R_3}} \tag{3.19}$$

বর্তমানে সুলভ মূল্যের পরিবাহীতা মিটার (conductivity meters) সহজলভ্য যেগুলোর সাহায্যে সরাসরি পরিবাহীতা কোশের দ্রবণের পরিবাহিতা বা রোধ নির্ণয় করা যায়। কোশ ধ্রুবক এবং কোশ মধ্যস্থ দ্রবণের রোধ নির্ণীত হলে, দ্রবণটির পরিবাহিতা নিম্নলিখিত সমীকরণের সাহায্যে নির্ণয় করা যায়–

$$\kappa = \frac{\text{কোশ ধ্রুবক}}{\mathrm{R}} = \frac{\mathrm{G^*}}{\mathrm{R}} \tag{3.20}$$

একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় একই দ্রাবকে ভিন্ন তড়িৎবিশ্লেষ্য যুক্ত দ্রবণের পরিবাহিতা ভিন্ন হয়, কারণ পরিবাহিতা নিম্নলিখিত বিষয়গুলোর উপর নির্ভর করে। বিয়োজনে উৎপন্ন আয়নের আধান এবং আকার

আয়নের গাঢ়ত্ব বা 1 cm দূরত্বে রক্ষিত নির্দিষ্ট তড়িৎদ্বার বিভবে (potential gradient) আয়ন চলাচলের সুবিধার উপর। সেইজন্য ভৌতিকদিক থেকে অধিক গুরুত্বপূর্ণ রাশি মোলার পরিবাহিতা– সংজ্ঞায়িত করা প্রয়োজন। এটিকে $\Lambda_m$ (গ্রীক ল্যাম্বডা) চিহ্নের সাহায্যে প্রকাশ করা হয়। দ্রবণের পরিবাহিতার সঙ্গে এই রাশিটির সম্পর্ক নিম্নলিখিত সমীকরণের সাহায্যে প্রকাশ করা যায়।

$$\text{মোলার পরিবাহিতা} = \Lambda_m = \frac{\kappa}{c} \qquad (3.21)$$

উপরের সমীকরণে যদি $k$ কে S $m^{-1}$ এ, গাঢ়ত্ব c কে mol $m^{-3}$ এককে প্রকাশ করা হয় তবে $\Lambda_m$ এর মাত্রা S $m^2$ $mol^{-1}$ হবে। মনে রাখতে হবে–

1 mol $m^{-3}$ = 1000(L/$m^3$) × মোলারিটি (mol/L), এবং সেজন্য

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

যদি $\kappa$ এর একক S $cm^{-1}$ এ এবং গাঢ়ত্বকে mol $cm^{-3}$ এককে প্রকাশ করা হয় তখন $\Lambda_m$ এর একক হবে S $cm^2$ $mol^{-1}$। এটি নিম্নলিখিত সমীকরণের সাহায্যে গণনা করা যায়।

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

উভয় ধরনের এককই রসায়ন সাহিত্যে ব্যবহার করা হয় এবং নীচের সমীকরণের মাধ্যমে তাদের মধ্যে সম্পর্ককে প্রকাশ করা যায়–

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

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

**নমুনা প্রশ্ন 3.4**

0.1 mol $L^{-1}$ KCl দ্রবণ বিশিষ্ট কোনো পরিবাহীতা কোশের রোধ 100 Ω। যদি কোশটিকে 0.02 mol $L^{-1}$ গাঢ়ত্ব যুক্ত KCl দ্রবণ দিয়ে পূর্ণ করলে 520 Ω রোধ হয়। তবে 0.02 mol $L^{-1}$ KCl দ্রবণের পরিবাহিতা এবং মোলার পরিবাহিতা গণনা করো। 0.1 mol $L^{-1}$ KCl দ্রবণের পরিবাহিতা 1.29 S/m।

**সমাধান**

কোশ ধ্রুবককে নিম্নলিখিত সমীকরণের সাহায্যে প্রকাশ করা যায় :

কোশ ধ্রুবক = $G^*$ = পরিবাহিতা × রোধ

= 1.29 S/m × 100 Ω = 129 $m^{-1}$ = 1.29 $cm^{-1}$

0.02 mol $L^{-1}$ KCl দ্রবণের পরিবাহিতা = কোশ ধ্রুবক /রোধ

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

গাঢ়ত্ব = 0.02 mol $L^{-1}$

= 1000 × 0.02 mol $m^{-3}$ = 20 mol $m^{-3}$

মোলার পরিবাহিতা $= \Lambda_m = \frac{\kappa}{c}$

$$= \frac{248\quad 10^{-3}\ \text{S m}^{-1}}{20\ \text{mol m}^{-3}} = 124 \times 10^{-4}\ \text{S m}^2\text{mol}^{-1}$$

অন্যভাবে, $\kappa = \frac{1.29\ \text{cm}^{-1}}{520\ \Omega} = 0.248 \times 10^{-2}\ \text{S cm}^{-1}$

এবং $L_m = k \times 1000 \text{ cm}^3 \text{ L}^{-1} \text{ molarity}^{-1}$

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

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

*নমুনা প্রশ্ন 3.5* 1 cm ব্যাস এবং 50 cm দৈর্ঘ্য বিশিষ্ট স্তম্ভে রক্ষিত 0.05 mol $L^{-1}$ গাঢ়ত্ব বিশিষ্ট একটি NaOH দ্রবণের বৈদ্যুতিক রোধ $5.55 \times 10^3$ ohm। দ্রবণটির রোধাঙ্ক, পরিবাহিতা এবং মোলার পরিবাহিতা গণনা করো।

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

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

$$R = \frac{\rho\, l}{A} \quad \text{বা} \quad \rho = \frac{RA}{l} = \frac{5.55\times10^3\,\Omega\times0.785\,\text{cm}^2}{50\,\text{cm}} = 87.135\ \Omega \text{ cm}$$

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

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

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

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

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

যদি আমরা ‘cm’ এর পরিবর্তে ‘m’-এ বিভিন্ন রাশি পরিমাপ করতে চাই, তবে

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

$$= \frac{5.55 \times 10^3\ \Omega \times 0.785 \times 10^{-4} \text{ m}^2}{0.5 \text{ m}} = 87.135 \times 10^{-2}\ \Omega \text{ m}$$

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

$$\text{এবং}\quad \Lambda_m = \frac{\kappa}{c} = \frac{1.148 \text{ S m}^{-1}}{50 \text{ mol m}^{-3}} = 229.6 \times 10^{-4} \text{ S m}^2 \text{ mol}^{-1}.$$

### 3.4.2 গাঢ়ত্বের সঙ্গে পরিবাহিতা এবং মোলার পরিবাহিতার পরিবর্তন

তড়িৎবিশ্লেষ্যের গাঢ়ত্বের সঙ্গে পরিবাহিতা এবং মোলার পরিবাহিতা উভয়ই পরিবর্তিত হয়। তীব্র এবং মৃদু উভয় তড়িৎবিশ্লেষ্যের ক্ষেত্রে গাঢ়ত্ব হ্রাসের সঙ্গে পরিবাহিতা সর্বদা হ্রাস পায়। গাঢ়ত্ব হ্রাসের সঙ্গে প্রতি একক আয়তনে উপস্থিত আয়নের সংখ্যা হ্রাস পায়-এই তথ্যটির সাহায্যে এই ঘটনাকে ব্যাখ্যা করা সম্ভব। একক দূরত্বে রক্ষিত একক প্রস্থচ্ছেদ বিশিষ্ট দুটি প্ল্যাটিনাম তড়িৎদ্বারের মধ্যে অবস্থিত দ্রবণের একক আয়তনের যে পরিবাহিতা তাকে-ঐ প্রদত্ত গাঢ়ত্বের ঐ দ্রবণের পরিবাহিতা বলে। নীচের

সমীকরণ থেকে এটি পরিষ্কারভাবে বুঝা যায়–

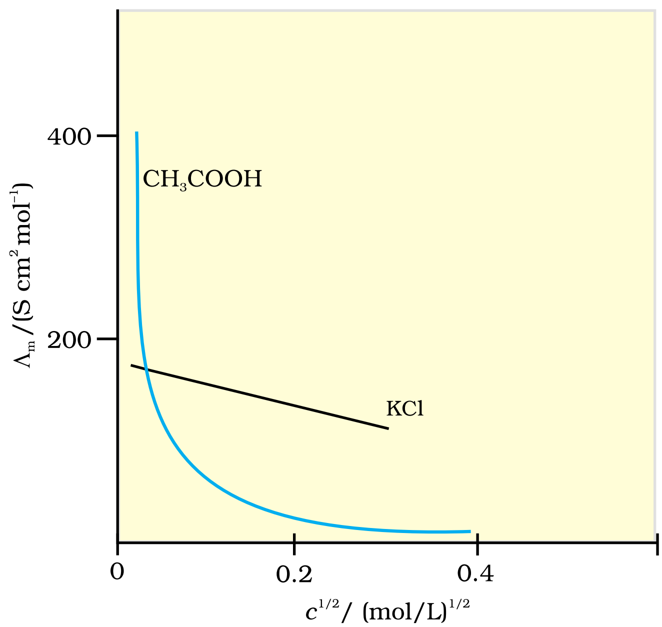
$$G = \frac{\kappa A}{l} = \kappa \quad (A \text{ এবং } l \text{ উভয়ই m বা cm এককে একক মান বিশিষ্ট})$$

একটি প্রদত্ত গাঢ়ত্বে কোন দ্রবণের মোলার পরিবাহিতা বলতে একক দূরত্বে রক্ষিত $A$ প্রস্থচ্ছেদ বিশিষ্ট দুটি তড়িৎদ্বারের মধ্যে রক্ষিত এক মোল তড়িৎবিশ্লেষ্যযুক্ত $V$ আয়তন দ্রবণের পরিবাহিতাকে বুঝায়। সুতরাং,

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

যেহেতু $l = 1$ এবং $A = V$ (1 মোল তড়িৎবিশ্লেষ্য যুক্ত দ্রবণের আয়তন)

$$\Lambda_m = k\ V \qquad (3.22)$$




*চিত্র 3.6 ঃ অ্যাসিটিক অ্যাসিড (মৃদু তড়িৎবিশ্লেষ্য) এবং পটাশিয়াম ক্লোরাইড (তীব্র তড়িৎবিশ্লেষ্য)-এর জলীয় দ্রবণের মোলার পরিবাহিতা বনাম $c^{1/2}$-এর লেখচিত্র)।*

দ্রবণের গাঢ়ত্ব হ্রাসের সাথে সাথে মোলার পরিবাহিতা বৃদ্ধি পায়। কারণ এক মোল তড়িৎবিশ্লেষ্য যুক্ত দ্রবণের মোট আয়তন '$V$' বৃদ্ধি পায়। দেখা গেছে যে লঘুতা বৃদ্ধির সাথে সাথে $k$ এর মানের হ্রাসের প্রভাব থেকে আয়তন বৃদ্ধিজনিত প্রভাব অনেক বেশী হয়। স্থূলভাবে এর অর্থ দাড়ায় কোনো পরিবাহিতা কোষে একক দূরত্বে রক্ষিত এবং যথেষ্ট প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল বিশিষ্ট দুটি তড়িৎদ্বারের মধ্যবর্তী নির্দিষ্ট গাঢ়ত্ব বিশিষ্ট তড়িৎবিশ্লেষ্য দ্রবণের পরিবাহিতাকে $\Lambda_m$ (মোলার পরিবাহিতা) বলে। যখন গাঢ়ত্বের মান শূন্যের দিকে অগ্রসর হয় তখন মোলার পরিবাহিতাকে অসীম লঘুতায় মোলার পরিবাহিতা বা সীমাস্থ মোলার পরিবাহিতা (**limiting molar conductivity**) বলে যাকে $\Lambda_m^\circ$ চিহ্ন দ্বারা প্রকাশ করা হয়। গাঢ়ত্বের সঙ্গে $\Lambda_m$ -এর পরিবর্তন তীব্র ও মৃদু তড়িৎবিশ্লেষ্যের ক্ষেত্রে বিভিন্ন হয়। (চিত্র 3.6)

### *তীব্র তড়িৎবিশ্লেষ্য (Strong Electrolytes)*

তীব্র তড়িৎবিশ্লেষ্যের ক্ষেত্রে লঘুতা বৃদ্ধির সাথে সাথে $\Lambda_m$ ধীরে ধীরে বৃদ্ধি পায়। নিম্নলিখিত সমীকরণের মাধ্যমে এটি প্রকাশ করা যায়–

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

লক্ষ করা যেতে পারে যদি আমরা $\Lambda_m$ বনাম $c^{1/2}$ লেখচিত্র অঙ্কন করি তবে আমরা একটি সরলরেখা পাই যার ছেদিতাংশে $\Lambda_m^\circ$ এর সমান এবং নতি '$A$' এর সমান। একটি প্রদত্ত দ্রাবকের ক্ষেত্রে ধ্রুবক '$A$'-এর মান এবং উষ্ণতা তড়িৎবিশ্লেষ্যের প্রকৃতি অর্থাৎ দ্রবণে তড়িৎবিশ্লেষ্যের বিয়োজনে উৎপন্ন ক্যাটায়ন এবং অ্যানায়নের আধানের ওপর নির্ভর করে। এইজন্য NaCl, $CaCl_2$, $MgSO_4$ ইত্যাদি যথাক্রমে 1-1, 2-1 এবং 2-2 তড়িৎবিশ্লেষ্য হিসাবে পরিচিত। একটি নির্দিষ্ট প্রকারের সকল তড়িৎবিশ্লেষ্যের '$A$' -এর মান একই থাকে।

**নমুনা প্রশ্ন 3.6** 298 K উষ্ণতায় KCl দ্রবণের বিভিন্ন গাঢ়ত্বে মোলার পরিবাহিতার মান নীচে দেওয়া হলো ঃ

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

দেখাও যে, $\Lambda_m$ বনাম $c^{1/2}$ লেখচিত্রটি একটি সরলরেখা। KCl এর ক্ষেত্রে $\Lambda_m^\circ$ এবং A এর মান নির্ণয় করো।

**সমাধান** গাঢ়ত্বের বর্গমূল করে আমরা পাই,

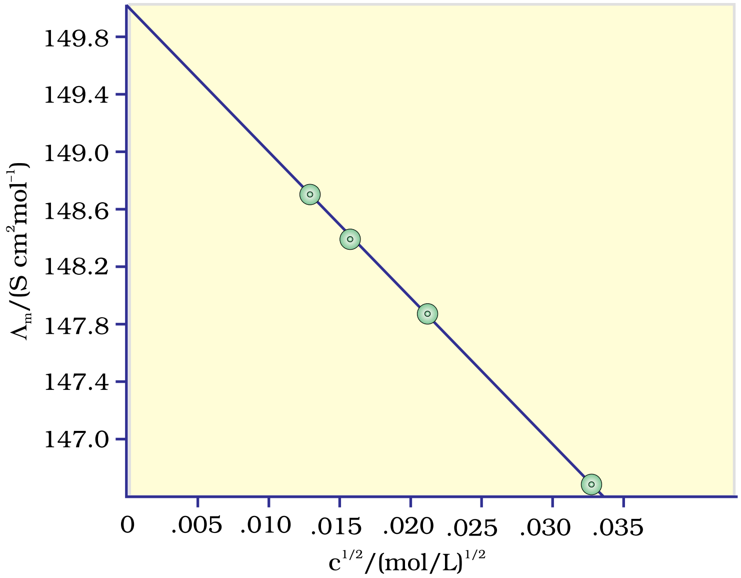
| $c^{1/2}$/(mol $L^{-1}$ $)^{1/2}$ | $\Lambda_m$/S $cm^2 mol^{-1}$ |
|---|---|
| 0.01407 | 148.61 |
| 0.01758 | 148.29 |
| 0.02283 | 147.81 |
| 0.03145 | 147.09 |

$\Lambda_m$ (y-অক্ষ) বনাম $c^{1/2}$ ($x$-অক্ষ) লেখচিত্র 3.7 নং চিত্রে দেখানো হয়েছে।

লক্ষ করা যেতে পারে এটি অনেকটা সরলরেখার মতো। ছেদিতাংশ ($c^{1/2}$ = 0) হতে আমরা পাই,

$\Lambda_m^\circ$ = 150.0 S $cm^2$ $mol^{-1}$ এবং

$A$ = – নতি = 87.46 S $cm^2$ $mol^{-1}/(mol/L^{-1})^{1/2}$.




*চিত্র 3.7 ঃ c½ এর সাপেক্ষে $\Lambda_m$ এর পরিবর্তন*

কোলরাশ (Kohlrausch) অনেকগুলো তীব্র তড়িৎবিশ্লেষ্যের $\Lambda_m^\circ$এর মান পরীক্ষা করেন এবং কিছু নির্দিষ্ট ধারাবাহিকতা লক্ষ করেন। তিনি উল্লেখ করেন NaX এবং KX এর মতো তড়িৎবিশ্লেষ্যের ক্ষেত্রে $X^-$অ্যানায়ন বিশিষ্ট সবক্ষেত্রেই $\Lambda_m^\circ$এর মানের পার্থক্য প্রায় একই হয়। উদাহরণস্বরূপ 298 K উষ্ণতায়

$$\Lambda^\circ_{m\,(KCl)} - \Lambda^\circ_{m\,(NaCl)} = \Lambda^\circ_{m\,(KBr)} - \Lambda^\circ_{m\,(NaBr)}$$
$$= \Lambda^\circ_{m\,(KI)} - \Lambda^\circ_{m\,(NaI)} \simeq 23.4\ \text{S cm}^2\ \text{mol}^{-1}$$

একইভাবে লক্ষ্য করা গেছে,

$$\Lambda^\circ_{m\,(NaBr)} - \Lambda^\circ_{m\,(NaCl)} = \Lambda^\circ_{m\,(KBr)} - \Lambda^\circ_{m\,(KCl)} \simeq 1.8\ \text{S cm}^2\ \text{mol}^{-1}$$

উপরের পর্যবেক্ষণগুলোর উপর নির্ভর করে তিনি আয়নের স্বাধীন বিচরণ সংক্রান্ত কোলরাশের সূত্রটি বিবৃত করেন। এই সূত্রানুসারে কোনো তড়িৎবিশ্লেষ্যের দ্রবণের মোলার পরিবাহিতাকে উহার সংগঠক ক্যাটায়ন ও অ্যানায়নের মোলার আয়নীয় পরিবাহিতার যোগফল রূপে প্রকাশ করা যায়। এইভাবে যদি $\lambda^\circ_{Na^+}$এবং $\lambda^\circ_{Cl^-}$যথাক্রমে সোডিয়াম এবং ক্লোরাইড আয়নের সীমাস্থ (অসীম লঘুতায়) মোলার পরিবাহিতা হয় তবে সোডিয়াম ক্লোরাইডের সীমাস্থ (অসীমলঘুতায়) মোলার পরিবাহিতা নীচের সমীকরণের মাধ্যমে প্রকাশ করা যায়।

$$\Lambda^\circ_{m\,(NaCl)} = \lambda^\circ_{Na^+} + \lambda^\circ_{Cl^-} \tag{3.24}$$

সাধারণত যদি কোনো তড়িৎবিশ্লেষ্যের বিয়োজনের ফলে $\nu_+$ সংখ্যক ক্যাটায়ন এবং $\nu_-$ সংখ্যক অ্যানায়ন উৎপন্ন হয় তবে, এটির সীমাস্থ (অসীম লঘুতায়) মোলার পরিবাহিতাকে নিম্নলিখিতভাবে প্রকাশ করা যায় ঃ

$$\Lambda^\circ_m = \nu_+ \lambda^\circ_+ + \nu_- \lambda^\circ_- \tag{3.25}$$

এখানে $\lambda^\circ_+$ এবং $\lambda^\circ_-$ হলো যথাক্রমে ক্যাটায়ন এবং অ্যানায়নের সীমাস্থ (অসীম লঘুতায়) মোলার পরিবাহিতা। 298 K উষ্ণতায় কিছু ক্যাটায়ন ও অ্যানায়নের $\lambda^\circ$-র মান সারণি 3.4 এ দেওয়া হয়েছে।

**সারণি 3.4: 298 K উষ্ণতায় কিছু আয়নের সীমাস্থ (অসীম লঘুতায়) মোলার পরিবাহিতা**

| আয়ন | $\lambda^0/(\text{S cm}^2\text{mol}^{-1})$ | আয়ন | $\lambda^0/(\text{S cm}^2\ \text{mol}^{-1})$ |
|---|---|---|---|
| $H^+$ | 349.6 | $OH^-$ | 199.1 |
| $Na^+$ | 50.1 | $Cl^-$ | 76.3 |
| $K^+$ | 73.5 | $Br^-$ | 78.1 |
| $Ca^{2+}$ | 119.0 | $CH_3COO^-$ | 40.9 |
| $Mg^{2+}$ | 106.0 | $SO_4^{2-}$ | 160.0 |

### *মৃদু তড়িৎবিশ্লেষ্য (Weak Electrolytes)*

অ্যাসিটিক অ্যাসিডের ন্যায় মৃদু তড়িৎবিশ্লেষ্যগুলোর বেশী গাঢ়ত্বে বিয়োজন মাত্রা কম হয়। এই সমস্ত তড়িৎবিশ্লেষ্যের ক্ষেত্রে লঘুকরণের সাথে $\Lambda_m$ এর পরিবর্তনের কারণ হলো বিয়োজন মাত্রা বৃদ্ধি পায় এবং ফলস্বরূপ 1 মোল তড়িৎবিশ্লেষ্য বিশিষ্ট্য দ্রবণের মোট আয়তনে আয়নের মোট সংখ্যা বৃদ্ধি পায়। এই সকল ক্ষেত্রে লঘুতার সাথে সাথে বিশেষ করে নিম্ন গাঢ়ত্বে $\Lambda_m$ অত্যধিক (চিত্র 3.12) বৃদ্ধি পায়। এই কারণে শূন্য গাঢ়ত্বে $\Lambda_m$ কে বা-দিকে/পিছন দিকে বাড়ালে $\Lambda^\circ_m$ পাওয়া যায় না। অসীম লঘুতার (অর্থাৎ গাঢ়ত্ব $c \rightarrow$ শূণ্য) তড়িৎবিশ্লেষ্য সম্পূর্ণভাবে বিয়োজিত ($\alpha$ =1) হয় কিন্তু এত নিম্ন গাঢ়ত্বে দ্রবণের পরিবাহিতা এত নিম্নমানের হয় যে এটিকে সঠিকভাবে পরিমাপ করা যায় না। সেইজন্য মৃদু তড়িৎবিশ্লেষ্যের ক্ষেত্রে $\Lambda^\circ_m$-এর মান আয়নের স্বাধীন বিচরণ সংক্রান্ত কোলরাশের সূত্রের সাহায্যে

(উদাহরণ 3.8) পরিমাপ করা হয়। যদি কোনো গাঢ়ত্ব $c$ তে বিয়োজন মাত্রা α হয়, তবে একে $c$ গাঢ়ত্বে মোলার পরিবাহিতা $\Lambda_m$ এবং সীমাস্থ (অসীম লঘুতায়) মোলার পরিবাহিতা'র $\Lambda_m^0$ অনুপাতরূপে প্রকাশ করা যায়। সুতরাং আমরা পাই,

$$\alpha = \frac{\Lambda_m}{\Lambda_m^\circ} \tag{3.26}$$

আবার অ্যাসিটিক অ্যাসিডের (একাদশ শ্রেণি, সপ্তম অধ্যায়) মতো মৃদু তড়িৎবিশ্লেষ্যের ক্ষেত্রে

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

***কোলরাশ সূত্রের প্রয়োগ***

আয়নের স্বাধীন বিচরণ সংক্রান্ত কোলরাশের সূত্রটি ব্যবহার করে কোনো আয়নের $\lambda^\circ$ মান হতে কোশে তড়িৎবিশ্লেষ্যের $\Lambda_m^0$ গণনা করা সম্ভব। অধিকন্তু অ্যাসিটিক অ্যাসিড এর ন্যায় মৃদু তড়িৎবিশ্লেষ্যের ক্ষেত্রে যদি কোনো প্রদত্ত গাঢ়ত্ব $c$ তে $\Lambda_m^0$ এবং $\Lambda_m$ এর মান জানা থাকে তবে এ তড়িৎবিশ্লেষ্যের বিয়োজন ধ্রুবক নির্ণয় করা যায়।

**নমুনা প্রশ্ন 3.7** 3.4 নং সারণিতে দেওয়া তথ্য থেকে $CaCl_2$ এবং $MgSO_4$ এর $\Lambda_m^0$ গণনা করো।

**সমাধান** কোলরাশের সূত্রানুসারে আমরা পাই,

$$\Lambda^\circ_{m(CaCl_2)} = \lambda^\circ_{Ca^{2+}} + 2\lambda^\circ_{Cl^-} = 119.0 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1} + 2(76.3) \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}$$
$$= (119.0 + 152.6) \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}$$
$$= 271.6 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}$$

$$\Lambda^\circ_{m(MgSO_4)} = \lambda^\circ_{Mg^{2+}} + \lambda^\circ_{SO_4^{2-}} = 106.0 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1} + 160.0 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}$$
$$= 266 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}.$$

**নমুনা প্রশ্ন 3.8** NaCl, HCl এবং NaAc এর $\Lambda_m^0$ 'র মান যথাক্রমে 126.4, 425.9 এবং 91.0 S cm² mol⁻¹ এর $\Lambda^0$ গণনা করো।

**সমাধান**

$$\Lambda^\circ_{m(HAc)} = \lambda^\circ_{H^+} + \lambda^\circ_{Ac^-} = \lambda^\circ_{H^+} + \lambda^\circ_{Cl^-} + \lambda^\circ_{Ac^-} + \lambda^\circ_{Na^+} - \lambda^\circ_{Cl^-} - \lambda^\circ_{Na^+}$$
$$= \Lambda^\circ_{m(HCl)} + \Lambda^\circ_{m(NaAc)} - \Lambda^\circ_{m(NaCl)}$$
$$= (425.9 + 91.0 - 126.4) \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}$$
$$= 390.5 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}.$$

**নমুনা প্রশ্ন 3.9** 0.001028 mol L⁻¹ অ্যাসিটিক অ্যাসিডের পরিবাহিতা $4.95 \times 10^{-5}$ S cm⁻¹। যদি অ্যাসিটিক অ্যাসিডের $\Lambda_m^0$-এর মান 390.5 S cm² mol⁻¹ হয় তবে এর বিয়োজন ধ্রুবক গণনা করো।

**সমাধান**

$$\Lambda_m = \frac{\kappa}{c} = \frac{4.95\times10^{-5}\text{ S cm}^{-1}}{0.001028\text{ mol L}^{-1}} \times \frac{1000\text{ cm}^3}{\text{L}} = 48.15 \text{ S cm}^3 \text{ mol}^{-1}$$

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

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

## বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলি

3.7 লঘুতার বৃদ্ধির সাথে সাথে দ্রবণের পরিবাহিতা হ্রাস পায় কেন?

3.8 জলের $\Lambda_m^\circ$-এর মান নির্ণয় করার একটি পদ্ধতি প্রস্তাব করো।

3.9 0.025 mol $L^{-1}$ মিথানোয়িক অ্যাসিডের মোলারটি 46.1 S $cm^2$ $mol^{-1}$ অ্যাসিডটির বিয়োজন মাত্রা এবং বিয়োজন ধ্রুবক গণনা করো। দেওয়া আছে $\lambda^0(H^+) = 349.6$ S $cm^2$ $mol^{-1}$ এবং $\lambda^0(HCOO^-) = 54.6$ S $cm^2$ $mol^{-1}$।

## 3.5 তড়িৎবিশ্লেষণ কোশ এবং তড়িৎবিশ্লেষণ

তড়িৎরাসায়নিক কোশে রাসায়নিক বিক্রিয়া সংঘটিত করার জন্য বিভবের বাহ্যিক উৎস ব্যবহার করা হয়। তড়িৎরাসায়নিক প্রক্রিয়া পরীক্ষাগারে এবং রাসায়নিক শিল্পে খুবই গুরুত্বপূর্ণ। কপার সালফেট দ্রবণে আংশিক নিমজ্জিত দুটি কপার পাত নিয়ে একটি সরলতম তড়িৎরাসায়নিক কোশ গঠণ করা যায়। যদি দুটি পাতে সম প্রবাহ (DC) প্রয়োগ করা হয়, তখন ক্যাথোডে (ধনাত্মক আধানগ্রস্থ) $Cu^{2+}$ আয়ন সঞ্চিত হয় এবং নীচের বিক্রিয়াটি সংঘটিত হয়।

$$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu\ (s) \qquad (3.28)$$

ক্যাথোডে কপার ধাতু জমা হয়। অ্যানোডে কপার ধাতু নীচের বিক্রিয়া অনুসারে $Cu^{2+}$ আয়নে পরিনত হয়।

$$Cu(s) \rightarrow Cu^{2+}(s) + 2e^- \qquad (3.29)$$

এইভাবে অ্যানোডের কপার দ্রবীভূত (জারিত) হয় এবং ক্যাথোডে সঞ্চিত (বিজারিত) হয়। এই প্রক্রিয়াটিই হলো অশুদ্ধ কপারকে উচ্চ বিশুদ্ধতা সম্পন্ন কপার ধাতুতে রূপান্তরিত করার শিল্প পদ্ধতির মূল ভিত্তি। অশুদ্ধ কপারের পাতকে অ্যানোড হিসাবে ব্যবহার করা হয় যেটি তড়িৎ প্রবাহের ফলে দ্রবীভূত হয় এবং বিশুদ্ধ কপার ধাতু ক্যাথোডে সঞ্চিত হয়। অনেক ধাতু যেমন Na, Mg, Al ইত্যাদিকে তাদের নিজ নিজ ক্যাটায়নকে তড়িৎরাসায়নিক বিজারণের মাধ্যমে বিজারিত করে বিশাল পরিমাণে উৎপাদিত করা হয় কারণ এদের ক্ষেত্রে কোনো উপযুক্ত রাসায়নিক বিজারক পাওয়া যায় না।

সোডিয়াম এবং ম্যাগনেশিয়াম ধাতুকে তাদের গলিত ক্লোরাইডের তড়িৎবিশ্লেষণ ঘটিয়ে উৎপাদিত করা হয় এবং অ্যালুমিনিয়াম অক্সাইডের সঙ্গে ক্রায়োলাইট মিশিয়ে, তড়িৎবিশ্লেষণ ঘটিয়ে অ্যালুমিনিয়াম উৎপাদিত করা হয় (দ্বাদশ শ্রেণি ৬ষ্ঠ অধ্যায়)।

### *তড়িৎবিশ্লেষণের পরিমাণগত দিক (Quantitative Aspects of Electrolysis)*

মাইকেল ফ্যারাডে (**Michael Faraday**) হলেন প্রথম বিজ্ঞানী যিনি তড়িৎবিশ্লেষণের পরিমাণগত দিকটি বর্ণনা করেছিলেন। উপরের আলোচনা থেকেও ফ্যারাডের সূত্রগুলো বিবৃত করা যায়–

### *তড়িৎবিশ্লেষণ সম্পর্কিত ফ্যারাডের সূত্রাবলি*

তড়িৎবিশ্লেষ্যের দ্রবণ এবং গলিত রূপের ব্যাপক পরীক্ষানিরীক্ষার পর ফ্যারাডে তাঁর গবেষণালব্ধ ফলাফলকে 1833-34 সালে নীচের দুটি সূত্ররূপে প্রকাশ করেছিলেন, যেগুলো ফ্যারাডের তড়িৎবিশ্লেষণ সূত্র সংক্রান্ত সূত্র রূপে অধিক পরিচিত।

(i) প্রথম সূত্র ঃ তড়িৎ প্রবাহের ফলে সংঘঠিত তড়িৎবিশ্লেষণের সময় কোনো তড়িৎদ্বারে যে পরিমাণ রাসায়নিক বিক্রিয়া সংঘঠিত হয় সেটি তড়িৎবিশ্লেষ্যের (দ্রবণ বা গলিত অবস্থা) মধ্যে দিয়ে প্রবাহিত তড়িতের পরিমাণের সঙ্গে সমানুপাতিক।

(ii) দ্বিতীয় সূত্র ঃ বিভিন্ন তড়িৎবিশ্লেষ্য দ্রবণের মধ্য দিয়ে একই পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহিত হলে যে পরিমাণ পদার্থ মুক্ত হয় সেগুলো তাদের রাসায়নিক তুল্যাঙ্কভার (ধাতুর পারমাণবিক ভর ÷ ক্যাটায়নের বিজারণে প্রয়োজনীয় ইলেকট্রন সংখ্যা)–এর সমানুপাতিক।

ফ্যারাডের সময়কালে তড়িতের কোন স্থায়ী উৎস ছিল না। সঞ্চিত বা ক্ষয়প্রাপ্ত ধাতু থেকে যে পরিমাণ তড়িৎ পাওয়া যায় সেটি পরিমাপ করার জন্য সাধারণত একটি কলোমিটার (coulometers, একটি প্রমাণ তড়িৎবিশ্লেষণ কোশ) ব্যবহার করা হতো। তবে বর্তমানে কলোমিটার অপ্রচলিত এবং তড়িতের স্থায়ী ($I$) উৎস সহজলভ্য হয়েছে। প্রবাহিত তড়িতের পরিমাণ ($Q$) নীচের সমীকরণের মাধ্যমে প্রকাশ করা হয়–

$$Q = It$$

এখানে $Q$ কুলম্ব এককে, $I$ অ্যাম্পিয়ার এবং $t$ সেকেন্ড এককে প্রকাশিত।

জারণ বা বিজারণে প্রয়োজনীয় তড়িতের পরিমাণ (বা আধান) নির্ভর করে তড়িৎদ্বার বিক্রিয়ার স্টয়শিওমিতির (stoichiometry) উপর। উদাহরণস্বরূপ নীচের বিক্রিয়াটিতে–

$$Ag^{+}(aq) + e^{-} \rightarrow Ag(s) \qquad (3.30)$$

এক মোল রূপার আয়নকে বিজারিত করতে এক মোল ইলেকট্রনের প্রয়োজন।

আমরা জানি একটি ইলেকট্রনের আধানের মান $1.6021\times 10^{-19}$C এর সমান।

অতএব, এক মোল ইলেকট্রনের আধানের মান =

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

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

এই পরিমাণ তড়িৎকে এক ফ্যারাডে বলা হয় এবং **F** চিহ্নের সাহায্যে প্রকাশ করা হয়।

গণনার সুবিধার্থে আমরা $1F \simeq 96500\ C\ mol^{-1}$ হিসাবে ধরে নেই।

নীচের তড়িৎদ্বার বিক্রিয়াগুলোর ক্ষেত্রে ঃ

$$Mg^{2+}(l) + 2e^{-} \longrightarrow Mg(s) \qquad (3.31)$$

$$Al^{3+}(l) + 3e^{-} \longrightarrow Al(s) \qquad (3.32)$$

এটি স্পষ্ট যে এক মোল $Mg^{2+}$ এবং $Al^{3+}$ এর জন্য যথাক্রমে 2 মোল ইলেকট্রন (2F) এবং 3 মোল ইলেকট্রন (3F) প্রয়োজন। তড়িৎবিশ্লেষণের সময় তড়িৎবিশ্লেষণ কোশের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত তড়িৎআধানের পরিমাণ অ্যাম্পিয়ার এককে প্রবাহিত তড়িৎ প্রবাহ এবং সেকেন্ড এককে প্রয়োজনীয় সময়ের গুণফলের সমান। ধাতুর শিল্প উৎপাদনে 50,000 অ্যাম্পিয়ারের মত উচ্চ তড়িৎ অর্থাৎ প্রতি সেকেন্ডে প্রায় 0.518 F তড়িৎ ব্যবহার করা হয়।

***নমুনা প্রশ্ন 3.10***

কপার সালফেটের ($CuSO_4$) একটি দ্রবণকে 10 মিনিট ধরে 1.5 অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ প্রবাহ দ্বারা তড়িৎবিশ্লেষণ করা হল। ক্যাথোডে সঞ্চিত কপারের ভর গণনা করো।

**সমাধান**

$t$ = 600 s আধান = প্রবাহিত তড়িৎ × সময় = 1.5A × 600s = 900c

বিক্রিয়া অনুসারে :

$Cu^{2+}(aq) + 2e^{-} = Cu(s)$

1 মোল বা 63 g তামা সঞ্চিত হওয়ার জন্য 2F বা 2 × 96487 C আধানের প্রয়োজন।

900 C আধান প্রবাহিত হলে সঞ্চিত তামার পরিমাণ

$= (63\ g\ mol^{-1} \times 900\ C)/(2 \times 96487\ C\ mol^{-1}) = 0.2938\ g.$

### 3.5.1 তড়িৎবিশ্লেষণজাত পদার্থ

তড়িৎবিশ্লেষণে ব্যবহৃত পদার্থের প্রকৃতি এবং তড়িৎদ্বারের প্রকৃতির উপর তড়িৎবিশ্লেষণজাত পদার্থ নির্ভর করে। যদি তড়িৎদ্বার নিষ্ক্রিয় (উদাহরণ প্ল্যাটিনাম বা স্বর্ণ/গোল্ড) হয় তবে এটি রাসায়নিক বিক্রিয়াতে অংশ গ্রহণ করে না এবং কেবলমাত্র ইলেকট্রনের উৎস বা ভাণ্ডার (sink) রূপে কাজ করে। অন্যদিকে যদি তড়িৎদ্বারটি সক্রিয় হয় তবে এটি তড়িৎদ্বার বিক্রিয়াতে অংশগ্রহণ করে। এইভাবে সক্রিয় বা নিষ্ক্রিয় তড়িৎদ্বারের জন্য তড়িৎবিশ্লেষণজাত পদার্থ বিভিন্ন হতে পারে। তড়িৎবিশ্লেষণ কোশে

উপস্থিত বিভিন্ন জারক এবং বিজারক পদার্থ এবং তাদের প্রমাণ তড়িৎদ্বার বিভবের উপর নির্ভর করে তড়িৎবিশ্লেষণজাত পদার্থ পাওয়া যায়। অধিকন্তু নিম্ন বিভবে কিছু কিছু তড়িৎরাসায়নিক প্রক্রিয়া সম্ভব হলেও গতিতত্ত্ব অনুসারে এত ধীর গতি সম্পন্ন হয় যে আপাতভাবে বিক্রিয়াটি ঘটে না বলেই মনে হয়, তারজন্য অতিরিক্ত বিভব প্রয়োগ করতে হয় এবং এই অতিরিক্ত বিভবে বিক্রিয়াটি আরও কষ্ঠসাধ্য হয়।

উদাহরণস্বরূপ যদি আমরা গলিত NaCl ব্যবহার করি তবে তড়িৎবিশ্লেষণজাত পদার্থগুলো হল সোডিয়াম ধাতু এবং $Cl_2$ গ্যাস। এক্ষেত্রে আমরা পাই কেবলমাত্র একটি ক্যাটায়ন ($Na^+$), যেটি ক্যাথোডে বিজারিত হয় ($Na^+ + e^- \rightarrow Na$) এবং কেবলমাত্র একটি অ্যানায়ন ($Cl^-$) যেটি অ্যানোডে জারিত হয় ($Cl^- \rightarrow ½Cl_2 + e^-$)। সোডিয়াম ক্লোরাইডের জলীয় দ্রবণের তড়িৎবিশ্লেষণে উৎপন্ন পদার্থগুলো হল NaOH, $Cl_2$ এবং $H_2$। এক্ষেত্রে $Na^+$ এবং $Cl^-$ আয়নের পাশাপাশি আমরা $H^+$ এবং $OH^-$ আয়ন এবং দ্রাবক অণু $H_2O$ ও পাই।

ক্যাথোডে নিম্নলিখিত দুটি বিজারণ বিক্রিয়ার মধ্যে প্রতিযোগিতা ঘটে ঃ

$$Na^+ (aq) + e^- \rightarrow Na (s) \qquad E^{\ominus}_{(cell)} = -2.71 \text{ V}$$

$$H^+ (aq) + e^- \rightarrow ½ H_2 (g) \qquad E^{\ominus}_{(cell)} = 0.00 \text{ V}$$

উচ্চ $E^{\ominus}$ মান বিশিষ্ট বিক্রিয়াটি প্রাধান্য পায় এবং ফলস্বরূপ তড়িৎবিশ্লেষণ কালে ক্যাথোডে সংঘটিত বিক্রিয়াটি হলো ঃ

$$H^+ (aq) + e^- \rightarrow ½ H_2 (g) \qquad (3.33)$$

কিন্তু $H_2O$-এর বিয়োজনে $H^+$ (aq) উৎপন্ন হয় অর্থাৎ

$$H_2O (l) \rightarrow H^+ (aq) + OH^- (aq) \qquad (3.34)$$

সুতরাং ক্যাথোডে সংঘটিত সামগ্রিক বিক্রিয়াটিকে সমীকরণ (3.33) এবং সমীকরণ (3.34) -এর যোগফল রূপে লেখা যেতে পারে–

$$H_2O (l) + e^- \rightarrow ½H_2(g) + OH^- \qquad (3.35)$$

অ্যানোডে নিম্নলিখিত জারণ বিক্রিয়াগুলো ঘটা সম্ভব ঃ

$$Cl^- (aq) \rightarrow ½ Cl_2 (g) + e^- \qquad E^{\ominus}_{(cell)} = 1.36 \text{ V} \qquad (3.36)$$

$$2H_2O (l) \rightarrow O_2 (g) + 4H^+(aq) + 4e^- \qquad E^{\ominus}_{(cell)} = 1.23 \text{ V} \qquad (3.37)$$

অ্যানোডে নিম্ন $E^{\ominus}$ মান বিশিষ্ট বিক্রিয়া প্রাধান্য পায় এবং ফলস্বরূপ $Cl^-$ (aq) এর সাপেক্ষে জলের জারণ প্রাধান্য পায়। যদিও অক্সিজেনের উচ্চ বিভবের জন্য (3.36) বিক্রিয়াটি সংঘটিত হয়। সুতরাং সমগ্র বিক্রিয়াগুলোকে নীচের মতো করে সংক্ষিপ্তরূপে প্রকাশ করা যায়।

$$NaCl (aq) \xrightarrow{H_2O} Na^+ (aq) + Cl^- (aq)$$

ক্যাথোড ঃ $H_2O(l) + e^- \rightarrow ½ H_2(g) + OH^- (aq)$

অ্যানোড ঃ $Cl^- (aq) \rightarrow ½ Cl_2(g) + e^-$

সামগ্রিক বিক্রিয়াটি হল ঃ

$$NaCl(aq) + H_2O(l) \rightarrow Na^+(aq) + OH^-(aq) + ½H_2(g) + ½Cl_2(g)$$

গাঢ়ত্বের প্রভাবকে বিবেচনা করতে গিয়ে প্রমাণ তড়িৎদ্বার বিভবকে নার্নস্টের সমীকরণ (সমীকরণ 3.8) থেকে প্রাপ্ত তড়িৎদ্বার বিভব দ্বারা প্রতিস্থাপন করা হয়। সালফিউরিক অ্যাসিডের তড়িৎবিশ্লেষণ কালে অ্যানোডে নিম্নলিখিত প্রক্রিয়াগুলো ঘটা সম্ভব ঃ

$$2H_2O(l) \rightarrow O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e^- \qquad E^{\ominus}_{(কোশ)} = +1.23 \text{ V} \ (3.38)$$

$$2SO_4^{2-}\ (aq) \rightarrow S_2O_8^{2-}\ (aq) + 2e^- \qquad E^V_{(\text{কোশ})} = 1.96\ V \qquad (3.39)$$

লঘু সালফিউরিক অ্যাসিডের ক্ষেত্রে (3.38) বিক্রিয়াটি প্রাধান্য পায় কিন্তু $H_2SO_4$ এর উচ্চগাঢ়ত্বে (3.39) বিক্রিয়াটি প্রাধান্য পায়।

**বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলি**

**3.10** যদি কোনো ধাতব তারের মধ্য দিয়ে 2 ঘন্টা ধরে 0.5 অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ প্রবাহিত হয় তবে তারের মধ্য দিয়ে কত সংখ্যক ইলেকট্রন প্রবাহিত হবে?

**3.11** তড়িৎবিশ্লেষণের সাহায্যে নিষ্কাশন করা হয় এমন ধাতুর নামের তালিকা লিখ।

**3.12** নীচের বিক্রিয়াটি লক্ষ করো ঃ $Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \rightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$

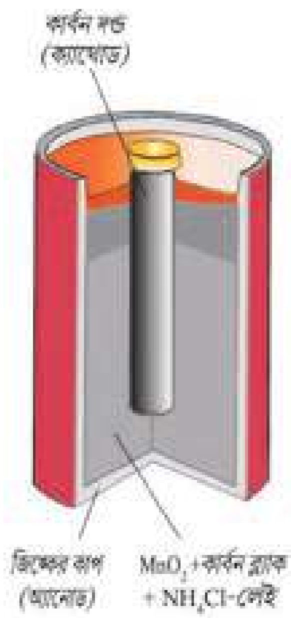
1 মোল $Cr_2O_7^{2-}$ কে বিজারিত করতে প্রয়োজনীয় তড়িতের পরিমাণকে কুলম্ব এককে গণনা করো।

## 3.6 ব্যাটারি

যেকোনো ব্যাটারি (প্রকৃতপক্ষে এটি এক বা একাধিক কোশের শ্রেণি সমবায়ে গঠিত হতে পারে) বা কোশ যেগুলো আমরা তড়িতের উৎস হিসেবে ব্যবহার করি, সেগুলো মূলত একটি গ্যালভানীয় কোশ যেখানে রেডক্স বিক্রিয়ায় উৎপন্ন রাসায়নিক শক্তি তড়িৎ শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। কিন্তু কোনো ব্যাটারির ব্যবহারিক প্রয়োগের ক্ষেত্রে এটি অপেক্ষাকৃত হাল্কা ও ঠাসা হতে হবে এবং এর ভোল্টেজ যাতে ব্যবহারের সময় হ্রাস পেয়ে পরিবর্তিত না হয় সেদিকেও লক্ষ্য রাখতে হবে। ব্যাটারি সাধারণত দুই প্রকারের হয়।

### 3.6.1 প্রাইমারি বা প্রাথমিক ব্যাটারি

প্রাইমারি ব্যাটারিতে বিক্রিয়া একবারই সংঘটিত হয় এবং কিছু সময় ধরে ব্যবহার করার পর ব্যাটারিটি নিঃশেষিত হয়ে যায়। যাকে পুনরায় আর ব্যবহার করা যায় না। এই ধরনের ব্যাটারির সব থেকে পরিচিত উদাহরণ হল নির্জল (dry) কোশ (আবিষ্কারকের নামানুসারে ল্যাকলেন্স কোশ হিসাবে পরিচিত) যেটি সাধারণ রেডিও ও ঘড়িতে ব্যবহার করা হয়। এই কোশটি জিঙ্ক নির্মিত একটি পাত্র, যেটি অ্যানোড হিসেবেও কাজ করে এবং এই ধারক পাত্রটির মধ্যে কার্বন ও ম্যাঙ্গানিজ ডাইঅক্সাইডের পাউডার দিয়ে ঘেরা কার্বন (গ্রাফাইট) দন্ড যেটি ক্যাথোড হিসাবে কাজ করে। দুটি তড়িৎদ্বারের মধ্যবর্তী স্থান অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড ($NH_4Cl$) এবং জিঙ্ক ক্লোরাইড ($ZnCl_2$) এর সামান্য জলসিক্ত লেই দ্বারা পূর্ণ থাকে। তড়িৎদ্বার বিক্রিয়াগুলো জটিল কিন্তু এগুলোকে অনেকটা নীচের মতো করে লেখা যায় ঃ




*চিত্র 3.8 ঃ বাণিজ্যিকভাবে ব্যবহৃত নির্জল কোশ জিঙ্ক পাত্রে রক্ষিত গ্রাফাইট (কার্বন) ক্যাথোড নিয়ে গঠিত, জিঙ্ক পাত্র অ্যানোড হিসেবে কাজ করে।*

ক্যাথোড ঃ $Zn(s) \longrightarrow Zn^{2+} + 2e^-$

অ্যানোড ঃ $MnO_2 + NH_4^+ + e^- \longrightarrow MnO(OH) + NH_3$

ক্যাথোডে সংঘটিত বিক্রিয়াতে ম্যাঙ্গানিজ + 4 জারণ অবস্থা থেকে + 3 জারণ অবস্থাতে বিজারিত হয়। বিক্রিয়াতে উৎপন্ন অ্যামোনিয়া $Zn^{2+}$ এর সঙ্গে একটি জটিল আয়ন $[Zn\ (NH_3)_4]^{2+}$ গঠন করে। এই কোশটির বিভব 1.5 V এর কাছাকাছি থাকে।

মার্কারি কোশ সাধারণত ঘড়ি শব্দ সম্প্রসারক যন্ত্র (hearing aids) ইত্যাদির মতো নিম্নমানের বিদ্যুৎ চালিত যন্ত্রের জন্য উপযুক্ত। এটি জিঙ্ক-মার্কারি সংকর ধাতু নির্মিত অ্যানোড এবং HgO ও কার্বনের লেই দ্বারা নির্মিত ক্যাথোড নিয়ে গঠিত। তড়িৎবিশ্লেষ্য রূপে KOH এবং ZnO এর লেই ব্যবহার করা হয়। কোশটির তড়িৎদ্বার বিক্রিয়াগুলো নীচে দেওয়া হয়েছে–

ক্যাথোড ঃ $Zn(Hg) + 2OH^- \longrightarrow ZnO(s) + H_2O + 2e^-$

অ্যানোড ঃ $HgO + H_2O + 2e^- \longrightarrow Hg(l) + 2OH^-$

*চিত্র 3.9 ঃ*
*সচরাচর ব্যবহৃত মার্কারি কোশ বিজারক দ্রব্যরূপে জিঙ্ক এবং জারক দ্রব্য রূপে মার্কারি (II) অক্সাইড থাকে।*

সার্বিক বিক্রিয়াটিকে এভাবে প্রকাশ করা যায়–

$$Zn(Hg) + HgO(s) \longrightarrow ZnO(s) + Hg(l)$$

কোশ বিভব 1.35 V এর কাছাকাছি থাকে এবং কোশটির আয়ুষ্কাল পর্যন্ত একই থাকে, কারণ সামগ্রিক বিক্রিয়াতে এমন কোনো আয়ন সংযুক্ত থাকে না যার গাঢ়ত্ব কোশটির আয়ুষ্কালের মধ্যে পরিবর্তিত হতে পারে।

### 3.6.2 সেকেণ্ডারি বা গৌণ ব্যাটারি

একটি সেকেণ্ডারি কোশকে ব্যবহার করার পর বিপরীত দিক থেকে বিদ্যুৎ পাটিয়ে পুর্নআহিত করে পুনঃ ব্যবহারযোগ্য করা যায়। একটি উত্তম সেকেণ্ডারি কোশ বহুসংখ্যক বার আহিত এবং অনাহিত চক্রের মধ্যে দিয়ে কার্যক্ষম থাকে। সব থেকে গুরুত্বপূর্ণ সেকেণ্ডারি কোশ হল লেড সঞ্চয়ক ব্যাটারি (চিত্র 3.10) যেটি সাধারণত যানবাহন এবং ইনভার্টারে ব্যবহার করা হয়। এটি লেড অ্যানোড এবং লেড ডাই অক্সাইড ($PbO_2$) পূর্ণ লেডের জালি বিশিষ্ট ক্যাথোড নিয়ে গঠিত। 38% সালফিউরিক অ্যাসিড দ্রবণকে তড়িৎবিশ্লেষ্য হিসেবে ব্যবহার করা হয়।

ব্যাটারি চলাকালীন সময়ে কোশ বিক্রিয়াগুলোকে নিম্নরূপে প্রকাশ করা যায় ঃ

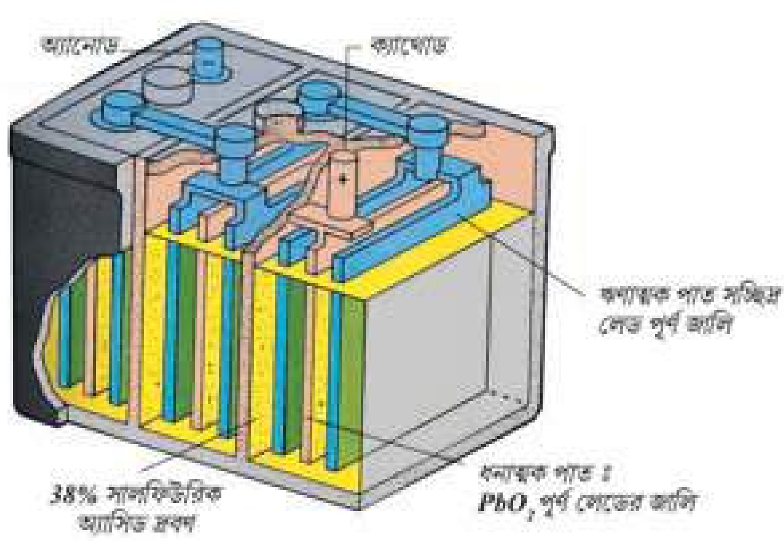
অ্যানোড ঃ $Pb(s) + SO_4^{2-}(aq) \rightarrow PbSO_4(s) + 2e^-$

ক্যাথোড ঃ $PbO_2(s) + SO_4^{2-}(aq) + 4H^+(aq) + 2e^- \rightarrow PbSO_4\ (s) + 2H_2O\ (l)$

অর্থাৎ ক্যাথোড এবং অ্যানোড মিলিয়ে সামগ্রিক কোশ বিক্রিয়াটি হল ঃ

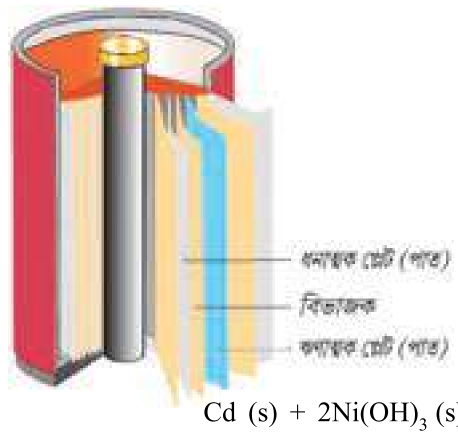
$$Pb(s) + PbO_2(s) + 2H_2SO_4(aq) \rightarrow 2PbSO_4(s) + 2H_2O(l)$$

ব্যাটারিকে আহিত করলে বিক্রিয়াটি বিপরীতমুখী হয় এবং অ্যানোড এবং ক্যাথোডের $PbSO_4(s)$ যথাক্রমে Pb ও $PbO_2$ তে রূপান্তরিত হয়।




*চিত্র 3.10 ঃ লেড সঞ্চয়ক ব্যাটারি*

আরেকটি গুরুত্বপূর্ণ সেকেণ্ডারি কোশ হচ্ছে নিকেল ক্যাডমিয়াম কোশ (চিত্র 3.11), যার আয়ুষ্কাল লেড সঞ্চয়ক কোশ থেকে বেশী কিন্তু উৎপাদন প্রক্রিয়া ব্যয়বহুল। আমরা এই কোশটির কার্য্যপ্রণালী এবং আহিতকরণ ও তড়িৎক্ষরণের সময় তড়িৎদ্বারে সংঘটিত বিক্রিয়াগুলো সম্পর্কে বিস্তারিত আলোচনায় যাব না। তড়িৎক্ষরণের সময় সার্বিক বিক্রিয়াটি হল ঃ

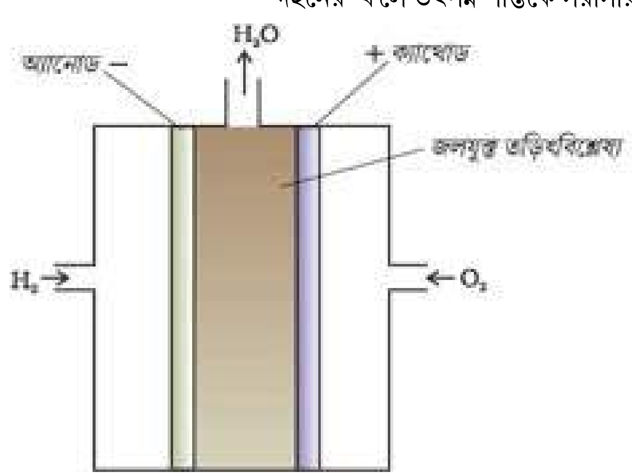



*চিত্র 3.11 ঃ একটি বেলনাকার সজ্জা বিশিষ্ট এবং সোডিয়াম বা পটাশিয়াম হাইড্রোক্সাইড সিক্ত বিভাজক যুক্ত পুর্নআহিতকরণযোগ্য নিকেল ক্যাডমিয়াম কোশ*

$$Cd\ (s) + 2Ni(OH)_3\ (s) \rightarrow CdO\ (s) + 2Ni(OH)_2\ (s) + H_2O\ (l)$$

## 3.7 জ্বালানি কোশ

তাপবিদ্যুৎ কেন্দ্রে বিদ্যুৎ উৎপাদন একটি বিশেষ ফলপ্রদ প্রক্রিয়া নয় এবং এটি দূষণের একটি বড় উৎসও বটে। এই সমস্ত তাপবিদ্যুৎ কেন্দ্রে জীবাশ্ম জ্বালানির (কয়লা, গ্যাস বা তেল) রাসায়নিক শক্তি (দহন তাপ) সর্বপ্রথম জলকে উচ্চ চাপ বিশিষ্ট বাস্পে পরিণত করতে ব্যবহৃত হয়। যেটি পরবর্তী পর্যায়ে টারবাইনকে ঘুড়িয়ে বিদ্যুৎ উৎপাদনের কাজে লাগানো হয়। আমরা জানি গ্যালভানীয় কোশ সরাসরি রাসায়নিক শক্তিকে তড়িৎ-শক্তিতে রূপান্তরিত করে এবং এটি যথেষ্ট কার্যকর। বর্তমান সময়ে এমন ধরনের কোশ নির্মাণ করা সম্ভব হয়েছে যেখানে তড়িৎদ্বারগুলোতে অবিরামভাবে বিক্রিয়ক পদার্থ যোগ করা যায় এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলোকে অবিরামভাবে তড়িৎবিশ্লেষ্য প্রকোষ্ঠ থেকে অপসারিত করা যায়। বিশেষভাবে নির্মিত গ্যালভানীয় কোশ যাতে হাইড্রোজেন, মিথেন, মিথানল ইত্যাদি জ্বালানির দহনের ফলে উৎপন্ন শক্তিকে সরাসরি বিদ্যুৎ শক্তিতে রূপান্তরিত করা হয়– তাকে জ্বালানি কোশ বলে।




*চিত্র 3.12 ঃ $H_2$ এবং $O_2$ ব্যবহার করে জ্বালানি কোশে বিদ্যুৎ উৎপাদন*

সর্বাপেক্ষা সফল জ্বালানী কোশের মধ্যে একটিতে হাইড্রোজেন এবং অক্সিজেনের বিক্রিয়ায় জল উৎপাদনের বিক্রিয়াটিকে ব্যবহার করা হয় (চিত্র 3.12)। অ্যাপোলো মহাকাশযানে এই কোশটিকে তড়িৎ শক্তি সরবরাহের জন্য ব্যবহার করা হয়েছিল। বিক্রিয়াজাত পদার্থরূপে উৎপন্ন জলকে ঘনীভূত করে মহাকাশচারীদের পানীয় জল সরবরাহ করা হতো। এই কোশে হাইড্রোজেন এবং অক্সিজেনকে বুদবুদ করে সচ্ছিদ্র কার্বন তড়িৎদ্বারগুলোর মধ্য দিয়ে গাঢ় জলীয় সোডিয়াম হাইড্রাক্সাইড দ্রবণে প্রবেশ করানো হয়। প্লাটিনাম বা প্যালাডিয়াম ধাতুর সুক্ষ্মচূর্নকে তড়িৎদ্বারে অন্তর্ভুক্ত করে তড়িৎদ্বার বিক্রিয়ার গতি বৃদ্ধি করা হয়। তড়িৎদ্বার বিক্রিয়াগুলো নীচে দেওয়া হলো ঃ

ক্যাথোড ঃ $O_2(g) + 2H_2O(l) + 4e^- \longrightarrow 4OH^-(aq)$

অ্যানোড ঃ $2H_2\ (g) + 4OH^-(aq) \longrightarrow 4H_2O(l) + 4e^-$

সামগ্রিক বিক্রিয়াটি হল ঃ

$$2H_2(g) + O_2(g)\ ¾ \rightarrow 2H_2O(l)$$

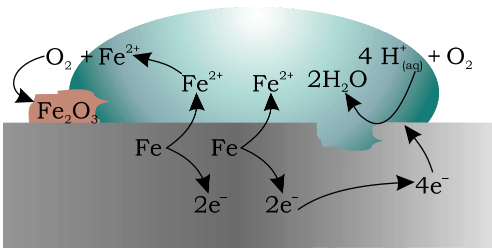
যতক্ষণ ধরে বিক্রিয়কের যোগান থাকে কোশটি অবিরামভাবে কার্য্যক্ষম থাকে। জ্বালানি কোশ প্রায় 70 % সফলতার সঙ্গো বিদ্যুৎ উৎপাদন করে যেখানে তাপবিদ্যুৎ কেন্দ্রে মাত্র 40% সফলতা পাওয়া

যায়। জ্বালানি কোশের কার্যকারিতা বৃদ্ধির জন্য তড়িৎদ্বারের জন্য ব্যবহৃত পদার্থ তুলনামূলকভাবে উত্তম অনুঘটক এবং তড়িৎবিশ্লেষ্যের পদার্থসমূহের প্রভৃতি উন্নতি ঘটেছে। যানবাহনে এগুলোকে পরীক্ষামূলকভাবে ব্যবহার করা হচ্ছে। জ্বালানি কোশ দূষণমুক্ত এবং ভবিষ্যতে এদের গুরুত্ব উপলব্ধি করে, বিভিন্ন ধরনের জ্বালানি কোশ নির্মাণ করে প্রয়োগ করা হচ্ছে।

## 3.8 অপক্ষয়

অপক্ষয় ধীরে ধীরে ধাতব বস্তুর পৃষ্ঠতলকে ধাতব অক্সাইড বা ধাতু অন্যান্য ধাতব লবণ দ্বারা আচ্ছাদিত করে। অপক্ষয়ের কিছু সাধারণ উদাহরণ হল লোহায় মরিচা পড়া, রূপার বস্তু বিবর্ণ হওয়া, তামা এবং ব্রাঞ্জের উপর সবুজ আস্তরণ পড়া ইত্যাদি। এটি বিল্ডিং, সেতু, জাহাজ এবং বিশেষ করে লৌহা নির্মিত বস্তুর প্রভূত ক্ষতি সাধন করে। অপক্ষয়ের কারণে প্রতি বছর আমাদের কোটি কোটি টাকার লোকসান হয়।

অপক্ষয়ে, ধাতু অক্সিজেনকে ইলেকট্রন দান করে এবং ধাতব অক্সাইড গঠনের মাধ্যমে জারিত হয়। লোহার অপক্ষয় (সাধারণভাবে মরিচা পড়া হিসাবে পরিচিত) জল এবং বায়ুর উপস্থিতিতে ঘটে। অপক্ষয়ের রাসায়নিক প্রক্রিয়াটি জটিল কিন্তু এটিকে মূলত একটি তড়িৎ-রাসায়নিক ঘটনা হিসেবে বিবেচনা করা যেতে পারে। আয়রণ নির্মিত কোনো বস্তুর অকুস্থলে (spot) (চিত্র 3.13) জারণ সংঘটিত হয় এবং ঐ স্থান বা বিন্দুটি অ্যানোড হিসেবে আচরণ করে। আমরা এক্ষেত্রে নীচের বিক্রিয়াটি লিখতে পারি।




*জারণ ঃ* $Fe\ (s) \rightarrow Fe^{2+}\ (aq) + 2e^-$

*বিজারণ ঃ* $O_2\ (g) + 4H^+(aq) + 4e^- \rightarrow 2H_2O(l)$

*বায়ুমণ্ডলীয় জারণ ঃ* $2Fe^{2+}(aq) + 2H_2O(l) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow Fe_2O_3(s) + 4H^+(aq)$

***চিত্র 3.13 ঃ বায়ুমণ্ডলে আয়রনের অপক্ষয়।***

অ্যানোড ঃ $2\ Fe\ (s) \longrightarrow 2\ Fe^{2+} + 4\ e^-$ $\quad E^{V}_{(Fe^{2+}/Fe)} = -\ 0.44\ V$

অ্যানোডিক অকুস্থান থেকে মুক্ত ইলেকট্রন ধাতুর মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হয়ে অন্য একটি অকুস্থানে (spot) পৌঁছায় এবং $H^+$ আয়নের উপস্থিতিতে অক্সিজেন বিজারিত হয় (মনে করা হয় এই $H^+$ আয়নটি পাওয়া যায় $H_2CO_3$ থেকে যা বায়ুতে উপস্থিত $CO_2$ জলে দ্রবীভূত হয়ে উৎপন্ন হয় এবং জলের হাইড্রোজেন আয়নটি বায়ুমণ্ডলে উপস্থিত আম্লিক অক্সাইড এর দ্রবীভবনের ফলে পাওয়া যায় বলে মনে করা হয়)। এই অকুস্থানটি ক্যাথোড হিসেবে আচরণ করে এবং নীচের বিক্রিয়াটি ঘটে ঃ

ক্যাথোড ঃ $O_2(g) + 4\ H^+(aq) + 4\ e^- \longrightarrow 2\ H_2O\ (l)$ $\quad E^{V}_{H^+|O_2\,|H_2O} = 1.23\,V$

সামগ্রিক বিক্রিয়াটি হল ঃ

$2Fe(s) + O_2(g) + 4H^+(aq) \longrightarrow 2Fe^{2+}(aq) + 2\ H_2O\ (l)$ $\quad E^{V}_{(\text{কোশ})} = 1.67\ V$

ফেরাস আয়ন পরবর্তীধাপে বায়ুমণ্ডলীয় অক্সিজেন দ্বারা জারিত হয়ে ফেরিক আয়নে পরিনত হয় যেটি আর্দ্র ফেরিক অক্সাইড ($Fe_2O_3 .\ x\ H_2O$) বা মরিচা রূপে প্রকাশ পায় এবং তৎসঙ্গো হাইড্রোজেন আয়নও উৎপন্ন করে।

অপক্ষয় নিবারণ করা খুবই গুরুত্বপূর্ণ। এটি কেবলমাত্র অর্থ সাশ্রয়ই করে না বরং সেতুর ভেঙ্গো পড়াজনিত দুর্ঘটনা থেকেও রক্ষা করে বা কোনো গুরুত্বপূর্ণ যন্ত্রাংশের অপক্ষয়জনিত কার্যবিপত্তি থেকেও রক্ষা করে। অপক্ষয় প্রতিরোধের একটি সরলতম পদ্ধতি হলো ধাতব বস্তুর পৃষ্ঠতলকে বায়ুমণ্ডলের সংস্পর্শে আসতে বাধা দেওয়া। পৃষ্ঠতলের রং করে বা কিছু রাসায়নিক পদার্থের (উদা: বিসফিনল) প্রলেপ দিয়ে এটি করা যেতে পারে। অন্য একটি সহজ পদ্ধতি হলো অন্য ধাতু (Sn, Zn প্রভৃতি) দিয়ে পৃষ্ঠতলকে আচ্ছাদিত করা যেগুলো সাধারণত নিষ্ক্রিয় প্রকৃতির হয় বা বিক্রিয়া করে বস্তুটিকে রক্ষা করে। একটি তড়িৎ রাসায়নিক পদ্ধতি হলো অন্য ধাতুর (যেমন-Mg, Zn, ইত্যাদি)’ একটি উৎসর্গীকৃত তড়িৎদ্বার ব্যবহার করা যেটি নিজে অপক্ষয় অংশগ্রহণ করে বস্তুটিকে অপক্ষয় থেকে রক্ষা করবে।

## বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলি

**3.13** লেড সঞ্চয়ক কোশের পুর্নআহিতকরণে জড়িত সকল পদার্থগুলো উল্লেখ করে এর রাসায়নিক প্রক্রিয়াটি বর্ণনা করো।

**3.14** হাইড্রোজেন ব্যতীত জ্বালানি কোশে ব্যবহার করা যেতে পারে এমন দুটি জ্বালানির নাম বলো।

**3.15** লোহায় মরিচা পড়া ঘটনাটি কিভাবে তড়িৎরাসায়নিক কোশের পরিকল্পনা গঠনে সাহায্য করেছে– ব্যাখ্যা করো।

## হাইড্রোজেন অর্থনীতি

কয়লা, তেল এবং গ্যাস ইত্যাদির ন্যায় জীবাশ্ম জ্বালানিগুলো বর্তমানে আমাদের অর্থব্যবস্থা পরিচালনকারী শক্তির মূল উৎস রূপে কাজ করছে। এই গ্রহের যতবেশী সংখ্যক মানুষ তাদের জীবনযাত্রার মানের উন্নতি ঘটাতে চেষ্ঠা করবে, তাদের শক্তির চাহিদাও বৃদ্ধি পাবে। মাথাপিছু শক্তি ভোগ বিকাশের একটি মাপকাঠি হিসেবে ব্যবহৃত হয়। অবশ্যই ধরে নেওয়া হয় শক্তি গঠনমূলক উদ্দেশ্যেই ব্যবহৃত হচ্ছে এবং শক্তির অপচয় ঘটছে না। আমরা জানি যে জীবাশ্ম জ্বালানির দহনে উৎপন্ন কার্বন ডাই অক্সাইড 'গ্রীণ হাউজ প্রভাব' সৃষ্টি করছে। ভূ-পৃষ্ঠের উচ্চতা বৃদ্ধি, মেরু অঞ্চলের বরফের গলন এবং সমুদ্রপৃষ্ঠের উচ্চতা বৃদ্ধিতে এটি প্রধান ভূমিকা পালন করছে। এর ফলে উপকূলবর্তী নিম্ন অঞ্চলগুলো প্লাবিত হবে এবং মালদ্বীপের মতো কিছু দ্বীপরাষ্ট্র সম্পূর্ণ নিমজ্জিত হয়ে যাবে। এই ধরনের বিপর্যয়কে এড়াতে হলে আমাদের উচিত কার্বন ঘটিত জ্বালানির ব্যবহারকে সীমিত করা। হাইড্রোজেন এই ক্ষেত্রে একটি উত্তম বিকল্প হিসেবে ব্যবহৃত হতে পারে, যেহেতু এটির দহনে কেবলমাত্র জলই উৎপন্ন হয়। সৌর শক্তিকে ব্যবহার করে জলের বিভাজনে হাইড্রোজেন উৎপন্ন করতে হবে। এইভাবে হাইড্রোজেন একটি নবীকরণযোগ্য এবং দূষণমুক্ত শক্তির উৎস হিসেবে ব্যবহৃত হতে পারে। এটিই হলো হাইড্রোজেন অর্থনীতির মূল দর্শন। ভবিষ্যতে জলের তড়িৎবিশ্লেষণে হাইড্রোজেনের উৎপাদন এবং জ্বালানি কোশে হাইড্রোজেন দহন উভয়ই শক্তি উৎপাদনের ক্ষেত্রে গুরুত্বপূর্ণ স্থান পাবে। এই দুটি প্রযুক্তিই তড়িৎরাসায়নিক নীতির উপর প্রতিষ্ঠিত।

## সারাংশ

তড়িৎবিশ্লেষ্য দ্রবণে আংশিক নিমজ্জিত দুটি ধাতব তড়িৎদ্বার নিয়ে একটি তড়িৎরাসায়নিক কোশ গঠিত হয়। এই কারণে তড়িৎরাসায়নিক কোশের একটি গুরুত্বপূর্ণ গঠনকারী উপাদান হল আয়নীয় পরিবাহী বা তড়িৎবিশ্লেষ্য। তড়িৎরাসায়নিক কোশ দুই প্রকার। গ্যালভানীয় কোশে স্বত:স্ফূর্ত রেডক্স বিক্রিয়ার রাসায়নিক শক্তি বৈদ্যুতিক কার্যে রূপান্তরিত করা হয় যেখানে তড়িৎরাসায়নিক কোশে অস্বত:স্ফূর্ত রেডক্স বিক্রিয়াকে সংঘটিত করার জন্য বৈদ্যুতিক শক্তিকে ব্যবহার করা হয়। হাইড্রোজেন তড়িৎদ্বারের প্রমাণ তড়িৎদ্বার বিভবকে শূন্য ধরে এর সাপেক্ষে উপযুক্ত তড়িৎবিশ্লেষ্য দ্রবণে আংশিক নিমজ্জিত কোনো তড়িৎদ্বারের প্রমাণ তড়িৎদ্বার বিভবকে সংজ্ঞায়িত করা হয়। ক্যাথোডের প্রমাণ বিভব এবং অ্যানোডের প্রমাণ বিভবের পার্থক্য থেকে আমরা কোশের প্রমাণ বিভবকে পরিমাপ করতে পারি ( $\mathbf{E}^{V}_{(\text{কোশ})} = E^{\ominus}_{\text{ক্যাথোড}} - E^{\ominus}_{\text{অ্যানোড}}$ ) কোশের প্রমাণ বিভব, কোশে সংঘটিত রাসায়নিক বিক্রিয়ার প্রমাণ গিবস্ শক্তি ($\Delta_r G^{\ominus} = -nF\,\mathbf{E}^{V}_{(\text{কোশ})}$) এবং সাম্য ধ্রুবক ($\Delta_r G^{\ominus} = -RT \ln K$) এর সঙ্গে সম্পর্কযুক্ত কোশ বিভব এবং তড়িৎদ্বার বিভবের উপর গাঢ়ত্বের প্রভাব নার্নস্টের সমীকরণের মাধ্যমে প্রকাশ করা হয়।

কোনো তড়িৎবিশ্লেষ্য দ্রবণের পরিবাহিতা (concentration) $k$, তড়িৎবিশ্লেষ্যের গাঢ়ত্ব, দ্রাবকের প্রকৃতি এবং উষ্ণতার উপর নির্ভর করে। মোলার পরিবাহিতা $\Lambda_m$ কে $k/c$ হিসাবে সংজ্ঞায়িত করা হয় যেখানে $C$ হল গাঢ়ত্ব। গাঢ়ত্ব হ্রাসের সাথে পরিবাহিতা হ্রাস পায় কিন্তু মোলার হ্রাসের সাথে পরিবাহিতা হ্রাস পায় কিন্তু মোলার পরিবাহিতা বৃদ্ধি পায়। তীব্র তড়িৎবিশ্লেষ্যের ক্ষেত্রে গাঢ়ত্ব হ্রাসের সাথে এটি ($k$) ধীরে ধীরে বৃদ্ধি পায়, আবার মৃদু তড়িৎবিশ্লেষ্যের অতি লঘু দ্রবণের ক্ষেত্রে এটি দ্রুত বৃদ্ধি পায়। কোলরাশ দেখতে পান অসীম লঘুতায় কোনো তড়িৎবিশ্লেষ্যের মোলার পরিবাহিতা এর উপাদান আয়নগুলো বিশ্লেষিত রূপের মোলার পরিবাহিতার যোগফলের

সমান। এটি আয়নের স্বাধীন বিচরণ সংক্রান্ত সূত্র হিসাবে পরিচিত যার অনেক প্রয়োগ বর্তমান। তড়িৎরাসায়নিক কোশে আয়নগুলো দ্রবণের মধ্য দিয়ে তড়িৎ পরিবহণ করে, কিন্তু আয়নগুলোর জারণ এবং বিজারণ, তড়িৎদ্বারেই ঘটে। গ্যালভানীয় কোশের খুবই উপযোগী দুটি রূপ হলো ব্যাটারী এবং জ্বালানি কোশ। ধাতুর অপক্ষয় মূলত একটি তড়িৎরাসায়নিক ঘটনা। তড়িৎরাসায়নিক নীতিসমূহ হাইড্রোজেন অর্থনীতির সঙ্গে প্রাসঙ্গিক।

# অনুশীলনী

3.1 একটি ধাতু অপর একটি ধাতুর লবণের দ্রবণ থেকে প্রতিস্থাপিত করার প্রবণতার উপর নির্ভর করে নিম্নলিখিত ধাতুগুলোর ক্রম নির্ণয় করো।

Al, Cu, Fe, Mg এবং Zn.

3.2 কিছু ধাতুর ক্ষেত্রে প্রমাণ তড়িৎদ্বার বিভবের মান দেওয়া হলো

$K^+/K$ = –2.93V, $Ag^+/Ag$ = 0.80V,

$Hg^{2+}/Hg$ = 0.79V

$Mg^{2+}/Mg$ = –2.37 V, $Cr^{3+}/Cr$ = – 0.74V

এই ধাতুগুলোকে তাদের বিজারণ ক্ষমতার উর্ধ্বক্রমানুসারে সাজাও।

3.3 নিচের বিক্রিয়া সংশ্লিষ্ট গ্যালভানীয় কোশটির সাংকেতিক গঠনটি লিখ।

$Zn(s)+2Ag^+(aq) \rightarrow Zn^{2+}(aq)+2Ag(s)$ আরো দেখাও যে,

(i) কোন তড়িৎদ্বারটি ঋণাত্মক আধানগ্রস্থ?

(ii) কোশে উপস্থিত তড়িৎ-বাহক সমূহ।

(iii) প্রতিটি তড়িৎদ্বারে সংঘটিত বিক্রিয়াসমূহ।

3.4 গ্যালভানীয় কোশের প্রমাণ বিভব গণনা কর, যেখানে নীচের বিক্রিয়াগুলো সংঘটিত হয়।

(i) $2Cr(s) + 3Cd^{2+}(aq) \rightarrow 2Cr^{3+}(aq) + 3Cd$

(ii) $Fe^{2+}(aq) + Ag^+(aq) \rightarrow Fe^{3+}(aq) + Ag(s)$

বিক্রিয়াগুলোর $\Delta_r G^\ominus$ এবং সাম্য ধ্রুবকের মান গণনা করো।

3.5 298 K উষ্ণতায় নিম্নলিখিত কোশগুলোর ক্ষেত্রে নার্নস্ট সমীকরণটি লিখ এবং তড়িৎচালক বল গণনা করো।

(i) $Mg(s) \mid Mg^{2+}(0.001M) \parallel Cu^{2+}(0.0001\ M) \mid Cu(s)$

(ii) $Fe(s) \mid Fe^{2+}(0.001M) \parallel H^+(1M) \mid H_2(g)(1bar) \mid Pt(s)$

(iii) $Sn(s) \mid Sn^{2+}(0.050\ M) \parallel H^+(0.020\ M) \mid H_2(g)\ (1\ bar) \mid Pt(s)$

(iv) $Pt(s) \mid Br^-(0.010\ M) \mid Br_2(l) \parallel H^+(0.030\ M) \mid H_2(g)\ (1\ bar) \mid Pt(s)$.

3.6 ঘড়ি এবং অন্যান্য যন্ত্রে ব্যাপকভাবে ব্যবহৃত বোতাম কোশে নিম্নলিখিত বিক্রিয়াটি সংঘটিত হয় ঃ

$Zn(s) + Ag_2O(s) + H_2O(l) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2Ag(s) + 2OH^-(aq)$

বিক্রিয়া সম্পর্কিত $\Delta_r G^\ominus$ এবং $E^\ominus$ নির্ণয় করো।

3.7 কোনো তড়িৎবিশ্লেষ্য দ্রবণের পরিবাহিতা এবং মোলার পরিবাহিতার সংজ্ঞা দাও। দ্রবণের গাঢ়ত্বের সঙ্গে এদের কীরূপ পরিবর্তন হয় তা বর্ণনা করো।

3.8 298 K উষ্ণতায় 0.20M KCl দ্রবণের পরিবাহিতা 0.0248 S $cm^{-1}$। দ্রবণটির মোলার পরিবাহিতা গণনা করো।

3.9 298 K উষ্ণতায় 0.001M KCl দ্রবণ বিশিষ্ট পরিবাহিতা কোশের রোধ 1500 Ω। যদি 298 K উষ্ণতায় 0.001M KCl দ্রবণের পরিবাহিতা $0.146 \times 10^{-3}$ S $cm^{-1}$ হয় তবে কোশটির কোশ ধ্রুবক কত হবে?

3.10 298 K উষ্ণতায় বিভিন্ন গাঢ়ত্বে সোডিয়াম ক্লোরাইডের পরিবাহিতাকে পরিমাপ করা হলো এবং ফলাফল নীচে দেওয়া হলো ঃ

| গাঢ়ত্ব/M | 0.001 | 0.010 | 0.020 | 0.050 | 0.100 |
|---|---|---|---|---|---|
| $10^2 \times k$/S $m^{-1}$ | 1.237 | 11.85 | 23.15 | 55.53 | 106.74 |

সকল গাঢ়ত্বে $\Lambda_m$ গণনা করো এবং $\Lambda_m$ বনাম $c^{½}$ এর লেখচিত্র অঙ্কন করো। $\Lambda_m^0$ এর মান নির্ণয় করো।

3.11 0.00241 M অ্যাসিটিক অ্যাসিড দ্রবণের পরিবাহিতা $7.896 \times 10^{-5}$ S $cm^{-1}$। দ্রবণটির মোলার পরিবাহিতা গণনা করো। যদি অ্যাসিটিক অ্যাসিডের $\Lambda_m^0$ -এর মান 390.5 S $cm^2$ $mol^{-1}$ হয় তবে এর বিয়োজন ধ্রুবকের মান কত হবে?

3.12 নিম্নের বিজারণগুলোতে কি পরিমাণ আধানের প্রয়োজন হবে ঃ

(i) 1 মোল $Al^{3+}$ কে Al এ বিজারিত করতে?

(ii) 1 মোল $Cu^{2+}$ কে Cu এ বিজারিত করতে?

(iii) 1 মোল $MnO_4^-$ কে $Mn^{2+}$ এ বিজারিত করতে?

3.13 নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে, ফ্যারাডে এককে কি পরিমাণ তড়িতের প্রয়োজন হবে?

(i) বিগলিত $CaCl_2$ থেকে 20.0 g Ca পেতে।

(ii) বিগলিত $Al_2O_3$ থেকে 40.0 g Al পেতে।

3.14 নিম্নের জারণগুলোর ক্ষেত্রে, কুলম্ব এককে কি পরিমাণ তড়িতের প্রয়োজন হবে?

(i) 1 মোল $H_2O$ কে $O_2$ তে জারিত করতে।

(ii) 1 মোল FeO কে $Fe_2O_3$ তে জারিত করতে।

3.15 প্ল্যাটিনাম তড়িৎদ্বারের মধ্যে রক্ষিত $Ni(NO_3)_2$ দ্রবণকে 20 মিনিট ধরে 5 অ্যাম্পায়ার তড়িৎ প্রবাহের সাহায্যে তড়িৎবিশ্লেষিত করা হলো। ক্যাথোডে কী পরিমাণ Ni সঞ্চিত হবে?

3.16 $ZnSO_4$, $AgNO_3$ এবং $CuSO_4$ দ্রবণকে যথাক্রমে A,B,C তড়িৎবিশ্লেষণ কোশে নিয়ে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করা হয়েছে। 1.5 অ্যাম্পিয়ার মানের একটি স্থির তড়িৎ প্রবাহ কোশের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত করা হলো যতক্ষণ না পর্যন্ত 1.45 g সিলভার B কোশের ক্যাথোডে সঞ্চিত হয়। কতক্ষণ ধরে বিদ্যুৎ প্রবাহ চলছিল? কত ভরের তামা এবং জিঙ্ক জমা হয়েছে?

3.17 সারণি 3.1 প্রদত্ত প্রমাণ তড়িৎদ্বার বিভবের মান ব্যবহার করে নিম্নলিখিত পদার্থগুলোর মধ্যে বিক্রিয়া সম্ভব কি?

(i) $Fe^{3+}$(aq) এবং $I^-$(aq)

(ii) $Ag^+$ (aq) এবং Cu(s)

(iii) $Fe^{3+}$ (aq) এবং $Br^-$ (aq)

(iv) Ag(s) এবং $Fe^{3+}$ (aq)

(v) $Br_2$ (aq) এবং $Fe^{2+}$ (aq).

3.18 নিচের প্রতিক্ষেত্রে সম্ভাব্য তড়িৎবিশ্লেষণ জাত পদার্থগুলো কি লিখ ঃ

(i) সিলভার তড়িৎদ্বারের সাহায্যে $AgNO_3$ এর জলীয় দ্রবণের তড়িৎবিশ্লেষণ

(ii) প্ল্যাটিনাম তড়িৎদ্বারের সাহায্যে $AgNO_3$ এর জলীয় দ্রবণের তড়িৎবিশ্লেষণ

(iii) প্ল্যাটিনাম তড়িৎদ্বারের সাহায্যে $H_2SO_4$ এর লঘু দ্রবণের তড়িৎবিশ্লেষণ

(iv) প্ল্যাটিনাম তড়িৎদ্বারের সাহায্যে $CuCl_2$ এর লঘু দ্রবণের তড়িৎবিশ্লেষণ

## কিছু বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলির উত্তরমালা

3.5 $E_{(\text{কোশ})} = 0.91$ V

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

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

অধ্যায়

# 4

# রাসায়নিক গতিবিদ্যা

## উদ্দেশ্য

এই অধ্যায়টি অধ্যয়নের পর তোমরা জানতে সক্ষম হবে

- কোনো বিক্রিয়ার গড় এবং তাৎক্ষণিক হার সংজ্ঞায়িত করতে।
- সময়ের সঙ্গে বিক্রিয়ক অথবা বিক্রিয়াজাত পদার্থের গাঢ়ত্বের পরিবর্তনের সাপেক্ষে বিক্রিয়ার হার প্রকাশ করতে।
- মৌলিক এবং জটিল বিক্রিয়ার মধ্যে পার্থক্য করতে।
- কোনো বিক্রিয়ার আণবিকতা এবং ক্রমের মধ্যে পার্থক্য করতে।
- হার-ধ্রুবক সংজ্ঞায়িত করতে।
- বিক্রিয়া হারের উপর গাঢ়ত্ব, উষ্ণতা এবং অনুঘটকের প্রভাব আলোচনা করতে।
- শূন্য এবং প্রথম ক্রম বিক্রিয়ার সমাকলিত রূপে বিক্রিয়া হার সমীকরণ প্রতিষ্ঠা করতে।
- শূন্য এবং প্রথম ক্রম বিক্রিয়ার হার-ধ্রুবক নির্ণয় করতে।
- সংঘর্ষ তত্ত্ব বর্ণনা করতে।

*"রাসায়নিক বিক্রিয়া কিভাবে সংঘটিত হয় তা বুঝতে রাসায়নিক গতিবিদ্যার প্রয়োজন।"*

রসায়নবিদ্যা, তার প্রকৃতি অনুযায়ী পরিবর্তনের সঙ্গে সম্পর্কিত। নির্দিষ্ট ধর্মবিশিষ্ট পদার্থ রাসায়নিক বিক্রিয়ার মাধ্যমে ভিন্ন ধর্মবিশিষ্ট অন্য পদার্থে পরিবর্তিত হয়। যেকোন রাসায়নিক বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে রসায়নবিদরা যে বিষয়গুলো খুঁজে বের করার চেষ্টা করেন, সেগুলো হল–

(a) কোন রাসায়নিক বিক্রিয়া আদৌ সংঘটিত হবে কিনা, তা তাপগতিবিদ্যার সাহায্যে অনুমান করতে পারেন (তোমরা এটা জান যে নির্দিষ্ট উষ্ণতা ও চাপে কোন বিক্রিয়ার $\Delta G < 0$ হলে বিক্রিয়াটি সংঘটিত করা সম্ভব);

(b) কোন একটি রাসায়নিক বিক্রিয়া কতদূর পর্যন্ত সংঘটিত করা যাবে তা রাসায়নিক সাম্যাবস্থার সাহায্যে গণনা করা সম্ভব;

(c) বিক্রিয়াটি গতিবেগ অর্থাৎ সাম্যাবস্থায় পৌঁছাতে বিক্রিয়াটি কতটুকু সময় নেবে;

রাসায়নিক বিক্রিয়া সম্পর্কে সম্পূর্ণ ধারণা লাভ করতে গেলে সম্ভাব্যতা এবং অগ্রগতির পাশাপাশি বিক্রিয়া-হার ও হার নিয়ন্ত্রণকারী বিষয়গুলো সমান গুরুত্বসহ জানা দরকার। উদাহরণস্বরূপ, খাদ্য কত দ্রুত নষ্ট হবে তা কোন্ পরিমাপকগুলো নির্ধারণ করে? দাঁতের গর্ত পূরণ করতে কীভাবে একটি দ্রুত জমাট-বাঁধা পদার্থ গঠন করা যায়? অথবা একটি স্বয়ংক্রিয় ইঞ্জিনে জ্বালানি দহনের হার কিভাবে নিয়ন্ত্রিত হয়? এই সব প্রশ্নগুলোর উপর রসায়নবিদ্যার সেই শাখার মাধ্যমে দেওয়া যেতে পারে যা বিক্রিয়ার হার এবং তাদের ক্রিয়াকৌশল নিয়ে কাজ করে এবং একে রাসায়নিক গতিবিদ্যা (**chemical kinetics**) বলে। **Kinetics** শব্দটি গ্রীক শব্দ 'kinesis' থেকে উৎপত্তি হয়েছে যার অর্থ 'গতি'। তাপগতিবিদ্যা শুধুমাত্র কোনো বিক্রিয়ার সম্ভাব্যতা সম্পর্কে বলতে পারে কিন্তু রাসায়নিক গতিবিদ্যা বিক্রিয়ার হার সম্পর্কে বলতে পারে। উদাহরণস্বরূপ, তাপগতীয় তথ্য নির্দেশ করে যে হীরক গ্রাফাইট রূপান্তরিত হয় কিন্তু বাস্তবে এই রূপান্তরের হার এত মন্থর যে পরিবর্তনটি বোধগম্য নয়। সুতরাং, অধিকাংশ লোক মনে করে যে, হীরক

চিরকাল থাকবে। গতিবিদ্যার অধ্যয়ন শুধুমাত্র একটি রাসায়নিক বিক্রিয়ার গতিবেগ বা হার নির্ণয়ে সাহায্য করে না বরং যে শর্তগুলো রাসায়নিক বিক্রিয়ার হার পরিবর্তন করতে পারে সেগুলোও বর্ণনা করতে পারে। গাঢ়ত্ব, উষ্ণতা, চাপ এবং অনুঘটক এই বিষয়গুলো বিক্রিয়ার হারকে প্রভাবিত করে। ম্যাক্রোস্কপিক স্তরে, কি পরিমাণ পদার্থ বিক্রিয়া করল অথবা উৎপন্ন হল এবং তাদের অন্তর্হিত হওয়ার হার অথবা উৎপন্ন হওয়ার হার নিয়েই আমরা উৎসাহী। আণবিক স্তরে, সংঘর্ষে লিপ্ত অণুগুলোর বিন্যাস এবং শক্তি সংক্রান্ত বিক্রিয়ার ক্রিয়াকৌশল আলোচনা করা হল।

এই অধ্যায়ে, আমরা গড় এবং তাৎক্ষণিক বিক্রিয়া-হার এবং যে বিষয়গুলো এদেরকে প্রভাবিত করে তা নিয়ে আলোচনা করব। বিক্রিয়া-হারের সংঘর্ষ তত্ত্ব সম্পর্কেও কিছু মৌলিক ধারণা দেওয়া হয়েছে। তবে, এই সবগুলো বুঝতে হলে চলো প্রথমে আমরা বিক্রিয়ার হার সম্পর্কে শিখি।

## 4.1 রাসায়নিক বিক্রিয়ার হার (Rate of a Chemical Reaction)

কিছু বিক্রিয়া যেমন আয়নীয় বিক্রিয়াগুলো খুব দ্রুত ঘটে, উদাহরণস্বরূপ, সিলভার নাইট্রেটের জলীয় দ্রবণ এবং সোডিয়াম ক্লোরাইডের জলীয় দ্রবণ মিশ্রিত করলে তৎক্ষণাৎ সিলভার ক্লোরাইড অধঃক্ষিপ্ত হয়। অপরদিকে, কিছু বিক্রিয়া খুবই মন্থর, উদাহরণস্বরূপ, আর্দ্র বায়ুর উপস্থিতিতে লোহায় মরিচা পড়া। আরও কিছু বিক্রিয়া আছে যেমন, ইক্ষু-শর্করার অপবর্তন এবং স্টার্চের আর্দ্রবিশ্লেষণ, যেগুলো মধ্যম গতিতে হয়। তোমরা কি প্রতিটি প্রকারের আরও উদাহরণ চিন্তা করতে পারো?

তোমরা নিশ্চয়ই জান যে, একট মোটরগাড়ির গতিবেগ একটি নির্দিষ্ট সময়ে এর দ্বারা অবস্থান অথবা দূরত্ব পরিবর্তনের সাপেক্ষে প্রকাশ করা হয়। একইভাবে, কোনো বিক্রিয়ার গতিবেগ বা বিক্রিয়ার হারকে একক সময়ে একটি বিক্রিয়ক অথবা বিক্রিয়াজাত পদার্থের গাঢ়ত্বের পরিবর্তনের সাহায্য সংজ্ঞায়িত করা যায়। আরও সুনির্দিষ্টভাবে, ইহা প্রকাশ করা যেতে পারে।

(i) যে কোনো একটি বিক্রিয়কের গাঢ়ত্ব হ্রাসের হারের দ্বারা অথবা

(ii) যেকোনো একটি বিক্রিয়াজাত পদার্থের গাঢ়ত্ব বৃদ্ধির হারের দ্বারা

একটি কাল্পনিক বিক্রিয়া বিবেচনা করা যাক, ধরে নেওয়া হয়েছে, সিস্টেমের আয়তন ধ্রুবক থাকে।

$$R \rightarrow P$$

এক মোল বিক্রিয়ক R এক মোল বিক্রিয়াজাত পদার্থ P উৎপন্ন করে। যদি $t_1$ সময়ে $[R]_1$ এবং $[P]_1$ যথাক্রমে R এবং P এর গাঢ়ত্ব হয় এবং $t_2$ সময়ে এদের গাঢ়ত্ব $[R]_2$ এবং $[P]_2$ হয়, তাহলে

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

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

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

উপরের রাশিমালাগুলোতে বর্গাকার বন্ধনীগুলো মোলার গাঢ়ত্ব প্রকাশ করতে ব্যবহৃত হয়েছে।

Rএর অর্ন্তহিত হওয়ার হার,

$$= \frac{\text{R এর গাঢ়ত্বের হ্রাস}}{\text{প্রয়োজনীয় সময়}} = -\frac{\Delta[R]}{\Delta t} \quad (4.1)$$

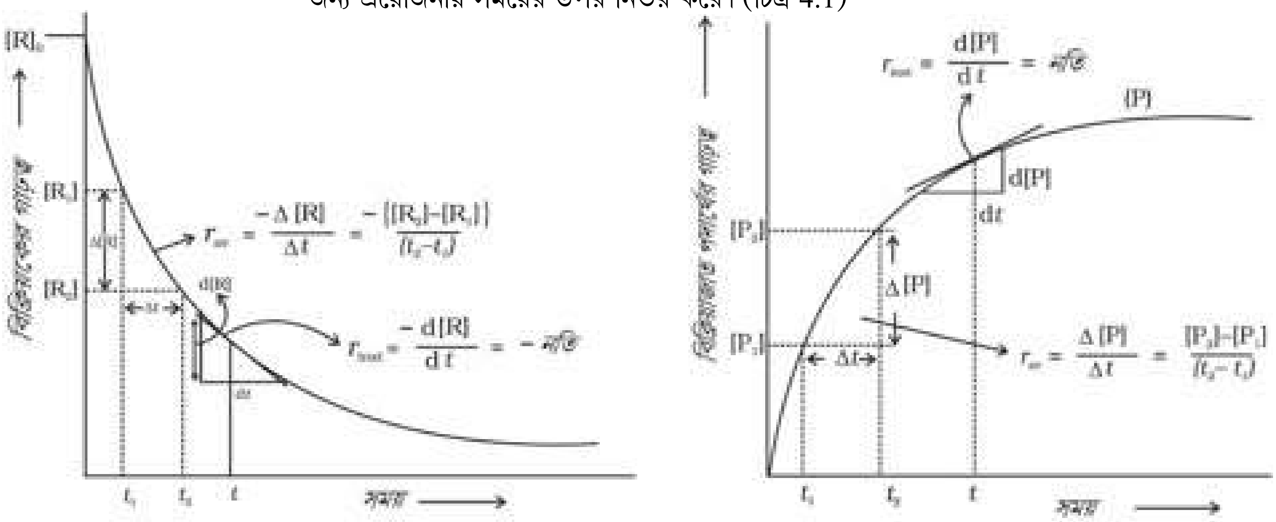
P -এর উৎপন্ন হওয়ার হার,

$$= \frac{\text{P এর গাঢ়ত্বের বৃদ্ধি}}{\text{প্রয়োজনীয় সময়}} = +\frac{\Delta[P]}{\Delta t} \qquad (4.2)$$

বিক্রিয়ার হার একটি ধনাত্মক রাশি, তাই ঋণাত্মক রাশি $\Delta[R]$ (যেহেতু সময়ের সঙ্গো বিক্রিয়কের গাঢ়ত্ব হ্রাস পায়) কে –1 দ্বারা গুণ করা হয়।

উপরে উল্লেখিত সমীকরণ (4.1) এবং (4.2) বিক্রিয়ার গড় হারকে ($r_{av}$) নির্দেশ করে।

বিক্রিয়ার গড় হার বিক্রিয়ক অথবা বিক্রিয়াজাত পদার্থের গাঢ়ত্বের পরিবর্তন এবং এই পরিবর্তনের জন্য প্রয়োজনীয় সময়ের উপর নির্ভর করে। (চিত্র 4.1)




(a) (b)

*চিত্র 4.1: তাৎক্ষণিক এবং গড় বিক্রিয়া হার*

### *বিক্রিয়া হারের একক* **(Units of rate of a reaction)**

সমীকরণ (4.1) এবং (4.2) থেকে এটি স্পষ্ট যে, হারের একক হল গাঢ়ত্ব সময় $^{-1}$। উদাহরণস্বরূপ, যদি গাঢ়ত্বকে mol $L^{-1}$ এবং সময়কে সেকেন্ডে প্রকাশ করা হয়, তাহলে হারের একক হবে mol $L^{-1}s^{-1}$. তবে গ্যাসীয় বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে, যখন গ্যাসের গাঢ়ত্বকে আংশিক চাপ দ্বারা প্রকাশ করা হয়, তখন হার সমীকরণের একক হবে atm $s^{-1}$.

**নমুনা প্রশ্ন 4.1**

বিভিন্ন সময়ে $C_4H_9Cl$ (বিউটাইল) ক্লোরাইড এর নিম্নলিখিত গাঢ়ত্বগুলো থেকে বিক্রিয়ার গড় হার গণনা করো।

$$C_4H_9Cl + H_2O \rightarrow C_4H_9OH + HCl$$

সময়ের বিভিন্ন ব্যবধান,

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $t$/s | 0 | 50 | 100 | 150 | 200 | 300 | 400 | 700 | 800 |
| $[C_4H_9Cl]$/mol $L^{-1}$ | 0.100 | 0.0905 | 0.0820 | 0.0741 | 0.0671 | 0.0549 | 0.0439 | 0.0210 | 0.017 |

**সমাধান**

সময়ের বিভিন্ন ব্যবধানে আমরা গাঢ়ত্বের পার্থক্য নির্ণয় করতে পারি এবং এভাবে $\Delta[R]$ কে $\Delta t$ দ্বারা ভাগ করে গড় হার নির্ণয় করতে পারি (সারণি 4.1)

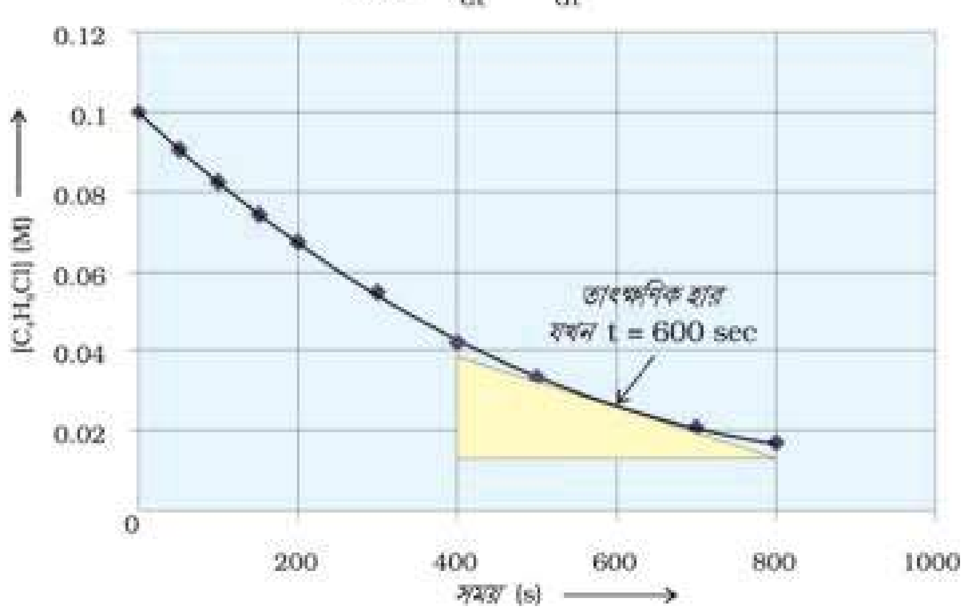
সারণি 4.1: বিউটাইল ক্লোরাইডের আর্দ্র বিশ্লেষণের গড় হার

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

সারণি 4.1 থেকে থেকে দেখা যায় যে, গড় হার $1.90 \times 0^{-4}$ mol $L^{-1}s^{-1}$ থেকে কমে $0.4 \times 10^{-4}$ mol $L^{-1}s^{-1}$ হয়। তবে গড় হারকে কোনো একটি নির্দিষ্ট মুহূর্তে বিক্রিয়ার হার নির্ণয়ে ব্যবহার করা যায় না যেহেতু এর মান সময়ের ব্যবধানে ধ্রুবক থাকে। সুতরাং সময়ের কোনো একটি মুহূর্তে বিক্রিয়ার হার প্রকাশ করতে আমরা তাৎক্ষণিক হার নির্ণয় করি। আমরা যখন ক্ষুদ্র সময়ের ব্যবধানে যেমন d$t$ (অর্থাৎ যখন $\Delta t$ এর মান শূন্যের দিকে অগ্রসর হয়) গড় হারকে বিবেচনা করি, তখন তাৎক্ষণিক হার পাওয়া যায়। তাই, গাণিতিকভাবে অতি ক্ষুদ্র d$t$ এর জন্য, তাৎক্ষণিক হার হল

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

$\Delta t \rightarrow 0$ হলে অথবা $r_{\text{তাৎক্ষণিক}} = \frac{-d[R]}{dt} = \frac{d[P]}{dt}$




*চিত্র 4.2 বিউটাইল ক্লোরাইড ($C_4H_9Cl$) আর্দ্র বিশ্লেষণের তাৎক্ষণিক হার*

সময় t বনাম R অথবা P যে কোনো একটির গাঢ়ত্বের বক্ররেখার উপর t সময়ে একটি স্পর্শক অঙ্কন করে এবং ইহার নতি গণনা করে লেখচিত্র থেকে তাৎক্ষণিক হার নির্ণয় করা যায় (চিত্র 4.1)। সুতরাং, 4.1 সমস্যাতে, উদাহরণস্বরূপ, 600 s সময়ে $r_{\text{তাৎক্ষণিক}}$, সময়ের সাপেক্ষে বিউটাইল ক্লোরাইডের গাঢ়ত্ব বসিয়ে গণনা করা যায়। একটি স্পর্শক অঙ্কন করা হল যা $t = 600$ s এ বক্ররেখাটির স্পর্শ করে। (চিত্র 4.2)।

এই স্পর্শকের নতি থেকে তাৎক্ষণিক হার পাওয়া যায়।

$$\text{সুতরাং, } 600\text{ s এ } r_{\text{তাৎক্ষণিক}} = -\left(\frac{0.0165 \quad 0.037}{(800 \quad 400)\text{ s}}\right) \text{mol L}^{-1} = 5.12 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}\text{s}^{-1}$$

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

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

$t = 450$ s এ $r_{\text{তাৎক্ষণিক}} = 6.4 \times 10^{-5}$ mol L$^{-1}$s$^{-1}$

এখন একটি বিক্রিয়া বিবেচনা করা যাক,

$$Hg(l) + Cl_2(g) \rightarrow HgCl_2(s)$$

যেখানে বিক্রিয়ক এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলোর স্টয়সিওমেট্রিক সহগ সমান, তাহলে বিক্রিয়ার হার হবে,

$$\text{বিক্রিয়ার হার} = -\frac{\Delta[Hg]}{\Delta t} = -\frac{\Delta[Cl_2]}{\Delta t} = \frac{\Delta[HgCl_2]}{\Delta t}$$

অর্থাৎ, যে কোনো একটি বিক্রিয়কের অন্তর্হিত হওয়ার হার বিক্রিয়াজাত পদার্থের উৎপন্ন হওয়ার হারের সমান। কিন্তু নীচের বিক্রিয়াটিতে, দুই মোল HI বিয়োজিত হয়ে এক মোল $H_2$ এবং এক মোল $I_2$ উৎপন্ন হয়।

$$2HI(g) \rightarrow H_2(g) + I_2(g)$$

এই ধরনের বিক্রিয়ার হার প্রকাশ করতে যেখানে বিক্রিয়ক বা বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলোর স্টয়সিও মেট্রিক সহগ একের সমান নয়, যে কোনো একটি বিক্রিয়কের অন্তর্হিত হওয়ার হার অথবা বিক্রিয়াজাত পদার্থের উৎপন্ন হওয়ার হারকে তাদের নিজ নিজ স্টয়সিওমেট্রিক সহগ দ্বারা ভাগ করা হয়। যেহেতু, HI এর বিয়োজনের হার $H_2$ অথবা $I_2$ এর উৎপন্ন হওয়ার হারের দ্বিগুণ, তাই এদেরকে সমান করতে $\Delta$[HI] পদটিকে 2 দ্বারা ভাগ করা হল। এই বিক্রিয়াটির হার হল,

$$\text{বিক্রিয়ার হার} = -\frac{1}{2}\frac{\Delta[HI]}{\Delta t} = \frac{\Delta[H_2]}{\Delta t} = \frac{\Delta[I_2]}{\Delta t}$$

একই ভাবে,

$5\,Br^-(aq) + BrO_3^-(aq) + 6\,H^+(aq) \rightarrow 3\,Br_2(aq) + 3\,H_2O(l)$ বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে।

$$\text{হার} = -\frac{1}{5}\frac{\Delta[Br^-]}{\Delta t} = -\frac{\Delta[BrO_3^-]}{\Delta t} = -\frac{1}{6}\frac{\Delta[H^+]}{\Delta t} = \frac{1}{3}\frac{\Delta[Br_2]}{\Delta t} = \frac{1}{3}\frac{\Delta[H_2O]}{\Delta t}$$

একটি গ্যাসীয় বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে, নির্দিষ্ট উষ্ণতায়, কোনো পদার্থের গাঢ়ত্ব আংশিক চাপের সমানুপাতিক এবং এজন্য বিক্রিয়ার হারকে বিক্রিয়ক অথবা বিক্রিয়াজাত পদার্থের আংশিক চাপের পরিবর্তনের হার দ্বারাও প্রকাশ করা যায়।

**নমুনা প্রশ্ন 4.2** 318K উষ্ণতায় $CCl_4$ এ $N_2O_5$ এর বিয়োজন দ্রবণে $N_2O_5$ এর গাঢ়ত্ব পর্যবেক্ষণ করে অধ্যয়ন করা হয়েছে। প্রাথমিক অবস্থায় $N_2O_5$ এর গাঢ়ত্ব 2.33 mol $L^{-1}$ এবং 184 মিনিট পরে ইহা কমে হয় 2.08 mol $L^{-1}$ । বিক্রিয়াটি নিম্নলিখিত সমীকরণ অনুযায়ী ঘটে-

$$2\ N_2O_5\ (g) \rightarrow\ 4\ NO_2\ (g) + O_2\ (g)$$

ঘণ্টা, মিনিট এবং সেকেন্ডের সাপেক্ষে এই বিক্রিয়াটির গড় হার গণনা করো। এই সময়ে $NO_2$ এর উৎপন্ন হওয়ার হার কত?

**সমাধান** গড় হার $= \frac{1}{2}\left\{-\frac{\Delta[N_2O_5]}{\Delta t}\right\} = -\frac{1}{2}\left[\frac{(2.08-2.33)\text{ mol L}^{-1}}{184\text{ min}}\right]$

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

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

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

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

ইহা মনে করা হয় যে,

হার $= \frac{1}{4}\left\{\frac{\Delta[NO_2]}{\Delta t}\right\}$

$$\frac{\Delta[NO_2]}{\Delta t} = 6.79 \times 10^{-4} \times 4\text{ mol L}^{-1}\text{ min}^{-1} = 2.72 \times 10^{-3}\text{ mol L}^{-1}\text{min}^{-1}$$

## বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলি

4.1 $R \rightarrow P$ বিক্রিয়াটির ক্ষেত্রে, 25 মিনিটে একটি বিক্রিয়কের গাঢ়ত্ব পরিবর্তিত হয়ে 0.03M থেকে 0.02M হয়। সময়ের একক মিনিট এবং সেকেন্ডে ব্যবহার করে বিক্রিয়াটির গড় হার গণনা করো।

4.2 $2A \rightarrow$ বিক্রিয়াজাত পদার্থ, বিক্রিয়াটিতে A -এর গাঢ়ত্ব 10 মিনিটে 0.5 mol $L^{-1}$ থেকে হ্রাস পেয়ে 0.4 mol $L^{-1}$ হয়। এই ব্যবধানে বিক্রিয়াটির হার গণনা করো।

## 4.2 বিক্রিয়ার হার নিয়ন্ত্রণকারী বিষয়সমূহ

বিক্রিয়ার হার পরীক্ষালব্ধ শর্ত যথা বিক্রিয়কের গাঢ়ত্ব (গ্যাসের ক্ষেত্রে, চাপ), উষ্ণতা এবং অনুঘটকের উপর নির্ভরশীল।

### 4.2.1 গাঢ়ত্বের উপর বিক্রিয়া-হারের নির্ভরশীলতা

একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় একটি রাসায়নিক বিক্রিয়ার হার এক বা একাধিক বিক্রিয়ক এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থের গাঢ়ত্বের উপর নির্ভর করে। বিক্রিয়ক পদার্থের গাঢ়ত্বের সাপেক্ষে প্রকাশিত বিক্রিয়ার হার, বিক্রিয়ার গতি সূত্র (**rate law**) নামে পরিচিত। একে হার সমীকরণ বা হার রাশিমালাও বলে।

### 4.2.2 বিক্রিয়া-হারের রাশিমালা এবং হার-ধ্রুবক

4.1 সারণির ফলাফল থেকে স্পষ্ট দেখা যায় যে, বিক্রিয়ার হার সময়ের সাথে হ্রাস পায় যেহেতু বিক্রিয়কের গাঢ়ত্ব হ্রাস পায়। বিপরীতক্রমে, বিক্রিয়কের গাঢ়ত্ব বৃদ্ধি পেলে সাধারণত বিক্রিয়ার হার বৃদ্ধি পায়। সুতরাং, বিক্রিয়ার হার বিক্রিয়কের গাঢ়ত্বের উপর নির্ভর করে।

একটি সাধারণ বিক্রিয়া বিবেচনা করা যাক,

$$aA + bB \rightarrow cC + dD$$

যেখানে a, b, c এবং d হল বিক্রিয়ক এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থের স্টয়সিওমেট্রিক সহগ।

এই বিক্রিয়ার বিক্রিয়া-হারের রাশিমালা হল

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

যেখানে, সূচক x এবং y বিক্রিয়াকের স্টয়সিওমেট্রিক সহগ (a এবং b)-এর সমান হতে পারে আবার নাও হতে পারে। উপরের সমীকরণটিকে নিম্নরূপেও লেখা যায়।

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

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

(4.4 b) সমীকরণের এই রূপটি হল বিক্রিয়া-হারের অবকলিত রূপ, যেখানে হল $k$ একটি সমানুপাতিক ধ্রুবক, একে বিক্রিয়ার হার-ধ্রুবক বলে। (4.4) এর মত সমীকরণ, যা বিক্রিয়ার হারকে বিক্রিয়কের গাঢ়ত্বের সঙ্গে সম্পর্কযুক্ত করে, তাকে বিক্রিয়ার গতিসূত্র বা বিক্রিয়ার হার সমীকরণ বলে। সুতরাং, বিক্রিয়ার গতিসূত্র হল সেই রাশিমালা যেখানে বিক্রিয়ার হারকে প্রতিটি বিক্রিয়কের ঘাতে উন্নীত মোলার গাঢ়ত্বের দ্বারা প্রকাশ করা হয় এবং এই ঘাত সমতাযুক্ত রাসায়নিক সমীকরণে বিক্রিয়কগুলোর স্টয়সিওমেট্রিক সহগের সমান হতে পারে আবার নাও হতে পারে। উদাহরণস্বরূপ,

$$2NO(g) + O_2(g) \rightarrow 2NO_2 \ (g)$$

আমরা প্রাথমিক গাঢ়ত্বের সাপেক্ষে এই বিক্রিয়ার হার পরিমাপ করতে পারি। এজন্য যে কোনো একটি বিক্রিয়কের গাঢ়ত্ব ধ্রুবক রেখে এবং অন্য একটি বিক্রিয়কের গাঢ়ত্ব পরিবর্তন করে অথবা উভয় বিক্রিয়কের গাঢ়ত্ব পরিবর্তন করে বিক্রিয়ার হার পরিমাপ করা যায়। নিম্নলিখিত ফলাফল পাওয়া গেল (সারণি 4.2)

**সারণি 4.2: $NO_2$ উৎপাদনের প্রাথমিক হার**

| পরীক্ষা | প্রাথমিক [NO]/ mol $L^{-1}$ | প্রাথমিক [$O_2$]/ mol $L^{-1}$ | $NO_2$ উৎপাদনের প্রাথমিক হার/ mol $L^{-1}s^{-1}$ |
|---|---|---|---|
| 1. | 0.30 | 0.30 | 0.096 |
| 2. | 0.60 | 0.30 | 0.384 |
| 3. | 0.30 | 0.60 | 0.192 |
| 4. | 0.60 | 0.60 | 0.768 |

এই ফলাফলগুলো দেখার পর ইহা স্পষ্ট যে $O_2$ এর গাঢ়ত্ব ধ্রুবক রেখে NO এর গাঢ়ত্ব দ্বিগুণ করার ফলে প্রাথমিক হার চার গুণ বৃদ্ধি পেয়ে 0.096 থেকে 0.384 mol $L^{-1}s^{-1}$ হয়। ইহা নির্দেশ করে যে, বিক্রিয়ার হার NO এর গাঢ়ত্বের বর্গের উপর নির্ভর করে। NO এর গাঢ়ত্ব ধ্রুবক রেখে $O_2$ এর গাঢ়ত্ব দ্বিগুণ করলে বিক্রিয়ার হারও দ্বিগুণ হয়, ফলে বিক্রিয়ার হার $O_2$ এর গাঢ়ত্বের প্রথম ঘাতের উপর নির্ভর করে। সুতরাং, এই বিক্রিয়ার বিক্রিয়া-হার সমীকরণটি হবে,

$$\text{বিক্রিয়ার হার} = k[NO]^2[O_2]$$

এই বিক্রিয়া-হারের রাশিমালাটির অবকলিত রূপটি হল

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

এখন, এই বিক্রিয়ার পরীক্ষালব্ধ ফলাফলের ভিত্তিতে প্রাপ্ত বিক্রিয়া-হার সমীকরণ থেকে আমরা লক্ষ করি যে, গাঢ়ত্ব পদগুলোর সূচকগুলো সমতাযুক্ত রাসায়নিক সমীকরণে তাদের স্টয়সিওমেট্রিক সহগের সমান হয়।

নীচে আরও কিছু উদাহরণ দেওয়া হল।

| বিক্রিয়া | পরীক্ষালব্ধ হার সমীকরণ |
|---|---|
| 1. $CHCl_3 + Cl_2 \rightarrow CCl_4 + HCl$ | হার $= k\,[CHCl_3]\ [Cl_2]^{1/2}$ |
| 2. $CH_3COOC_2H_5 + H_2O \rightarrow CH_3COOH + C_2H_5OH$ | হার $= k\,[CH_3COOC_2H_5]^1\ [H_2O]^0$ |

এই বিক্রিয়াগুলোতে, গাঢ়ত্ব পদগুলোর সূচকগুলো তাদের স্টয়সিওমেট্রিক সহগের সমান হয়। তাই, তাত্ত্বিকভাবে আমরা বলতে পারি যে,

*কোনও বিক্রিয়ার সমতাযুক্ত রাসায়নিক সমীকরণ থেকে বিক্রিয়ার গতিসূত্র নির্ণয় করা যায় না, কেবলমাত্র পরীক্ষালব্ধ ফলাফলের ভিত্তিতেই নির্ণয় করতে হবে।*

### 4.2.3 বিক্রিয়ার ক্রম

বিক্রিয়া-হার সমীকরণ (4.4) -এ

হার $= k\ [A]^x\ \ [B]^y$

A এবং B-এর গাঢ়ত্বের পরিবর্তনে বিক্রিয়ার হার কীভাবে প্রভাবিত হয় তা x এবং y নির্দেশ করে। (4.4) -এ এই সূচকগুলোর যোগফল অর্থাৎ x + y কোনো বিক্রিয়ার সামগ্রিক ক্রম বোঝায় এবং x ও y যথাক্রমে বিক্রিয়ক A ও B-এর ক্রম প্রকাশ করে।

সুতরাং, **কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ার বিক্রিয়া-হার রাশিমালায় বিক্রিয়কগুলোর গাঢ়ত্বের ঘাতসমূহের সমষ্টিকে বিক্রিয়াটির ক্রম বলে।**

কোনো বিক্রিয়ার ক্রম 0, 1, 2, 3 এবং এমনকি ভগ্নাংশও হতে পারে। একটি শূন্য ক্রমের বিক্রিয়া বলতে বোঝায় যে, বিক্রিয়াটির ক্রম বিক্রিয়কের গাঢ়ত্বের উপর নির্ভরশীল নয়।

**নমুনা প্রশ্ন 4.3** একটি বিক্রিয়ার সামগ্রিক ক্রম গণনা করো যার বিক্রিয়া-হার সমীকরণ হল

(a) বিক্রিয়া হার $= k\ [A]^{1/2}\ [B]^{3/2}$

(b) বিক্রিয়া হার $= k\ [A]^{3/2}\ [B]^{-1}$

**সমাধান**

(a) বিক্রিয়া হার $= k\ [A]^x\ \ [B]^y$

ক্রম = x + y

সুতরাং, ক্রম = 1/2 + 3/2 = 2, দ্বিতীয় ক্রম

(b) ক্রম = 3/2 + (–1) = 1/2, অর্থাৎ অর্ধক্রম

একটি সমতাযুক্ত রাসায়নিক সমীকরণ কখনও আমাদের একটি বিক্রিয়া কীভাবে সংঘটিত হয় তার সঠিক চিত্র দেয় না, যেহেতু কোনো বিক্রিয়া, একটি ধাপে সম্পূর্ণ হয় না বললেই চলে। যে বিক্রিয়াগুলো একটি ধাপে সম্পূর্ণ হয় তাদের মৌলিক বিক্রিয়া বলে। যখন মৌলিক বিক্রিয়াগুলোর একটি বিন্যাসক্রম (ক্রিয়াকৌশল) বিক্রিয়াজাত পদার্থ উৎপন্ন করে, তখন বিক্রিয়াগুলোকে জটিল বিক্রিয়া বলে।

এইগুলো ধারাবাহিক বিক্রিয়া (যেমন, ইথেনের জারণে $CO_2$ এবং $H_2O$ উৎপন্ন হওয়ার প্রক্রিয়াটি অনেকগুলো অন্তর্বর্তী ধাপে সম্পন্ন হয়, এই অন্তর্বর্তী ধাপগুলোতে অ্যালকোহল, অ্যালডিহাইড এবং অ্যাসিড উৎপন্ন হয়), বিপরীত বিক্রিয়া এবং পার্শ্ব বিক্রিয়া (যেমন, ফেনলের নাইট্রেশনে, *o*-নাইট্রোফেনল এবং *p*-নাইট্রোফেনল উৎপন্ন হয়) হতে পারে।

***হার-ধ্রুবক একক***

একটি সাধারণ বিক্রিয়া

$$aA + bB \rightarrow cC + dD$$ এর ক্ষেত্রে

বিক্রিয়ার হার $= k\ [A]^x\ [B]^y$

যেখানে $x + y = n$ = বিক্রিয়াটির ক্রম

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

$$= \frac{\text{গাঢ়ত্ব}}{\text{সময়}} \times \frac{1}{(\text{গাঢ়ত্ব})^n} \quad (\text{যেখানে } [A]=[B])$$

গাঢ়ত্বের SI একক, mol $L^{-1}$ এবং সময়ের SI একক, s নিয়ে বিভিন্ন ক্রমের বিক্রিয়ার $k$ এর একক সারণি 4.3 এ দেওয়া হল/লিপিবদ্ধ করা হল।

**সারণি 4.3: হার ধ্রুবকের একক**

| বিক্রিয়া | ক্রম | হার-ধ্রবকের একক |
|---|---|---|
| শূন্য ক্রমের বিক্রিয়া | 0 | $\frac{\text{mol L}^{-1}}{\text{s}} \times \frac{1}{(\text{mol L}^{-1})^0} = \text{mol L}^{-1}\text{s}^{-1}$ |
| প্রথম ক্রমের বিক্রিয়া | 1 | $\frac{\text{mol L}^{-1}}{\text{s}} \times \frac{1}{(\text{mol L}^{-1})^1} = \text{s}^{-1}$ |
| দ্বিতীয় ক্রমের বিক্রিয়া | 2 | $\frac{\text{mol L}^{-1}}{\text{s}} \times \frac{1}{(\text{mol L}^{-1})^2} = \text{mol}^{-1}\text{L s}^{-1}$ |

**নমুনা প্রশ্ন 4.4**

নীচের প্রতিটি হার-ধ্রুবক থেকে বিক্রিয়ার ক্রম শনাক্ত করো।

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

(ii) $k = 3 \times 10^{-4}$ $s^{-1}$

**সমাধান**

(i) দ্বিতীয় ক্রম হার-ধ্রুবকের একক L $mol^{-1}$ $s^{-1}$, সুতরাং $k = 2.3\times10^{-5}$ L $mol^{-1}$ $s^{-1}$ একটি প্রথম ক্রমের বিক্রিয়াকে প্রকাশ করে।

(ii) প্রথম ক্রম হার-ধ্রুবক একক $s^{-1}$ সুতরাং, $k = 3 \times 10^{-4}$ $s^{-1}$ একটি প্রথম ক্রমের বিক্রিয়াকে প্রকাশ করে।

## 4.2.4 বিক্রিয়ার আণবিকতা

আনবিকতা হল বিক্রিয়ার অন্য একটি ধর্ম যা বিক্রিয়ার ক্রিয়াকৌশল বুঝতে সাহায্য করে। একটি মৌলিক বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণকারী বিক্রিয়ক পদার্থ (পরমাণু, আয়ন অথবা অণু) গুলোর মধ্যে যারা একসঙ্গে সংঘর্ষের দ্বারা একটি রাসায়নিক বিক্রিয়া ঘটাতে সক্ষম, তাদেরকেই বলা হয় বিক্রিয়ার আনবিকতা। বিক্রিয়ায় একটি বিক্রিয়ক অংশগ্রহণ করলে, বিক্রিয়াটির আনবিকতা হবে এক, যেমন- অ্যামোনিয়াম নাইট্রেটের বিয়োজন।

$$NH_4NO_2 \rightarrow N_2 + 2H_2O$$

দ্বি-আণবিক বিক্রিয়াতে দুইটি বিক্রিয়কের মধ্যে এক সাথে সংঘর্ষ ঘটে। উদাহরণস্বরূপ, হাইড্রোজেন আয়োডাইডের বিয়োজন।

$$2HI \rightarrow H_2 + I_2$$

ত্রি-আণবিক অথবা টার আণবিক বিক্রিয়ায় তিনটি বিক্রিয়কের মধ্যে এক সাথে সংঘর্ষ ঘটে। উদাহরণস্বরূপ,

$$2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$$

তিনটির অধিক অণুর মধ্যে সংঘর্ষ এবং একসঙ্গে বিক্রিয়া করার সম্ভাবনা খুব কম। তাই তিন আণবিকতাসম্পন্ন বিক্রিয়া খুবই বিরল এবং খুবই ধীরগতিসম্পন্ন হয়।

সুতরাং, ইহা প্রমাণিত যে, স্টয়সিওমেট্রিক সমীকরণে তিনটির বেশী অণু সমন্বিত জটিল বিক্রিয়াগুলো একাধিক ধাপের মাধ্যমে সম্পন্ন হয়।

$$KClO_3 + 6FeSO_4 + 3H_2SO_4 \rightarrow KCl + 3Fe_2(SO_4)_3 + 3H_2O$$

এই বিক্রিয়াটি আপাতদৃষ্টিতে দশম ক্রমের মনে হলেও প্রকৃতপক্ষে ইহা একটি দ্বিতীয় ক্রমের বিক্রিয়া। ইহা দেখায় যে, এই বিক্রিয়াটি কয়েকটি ধাপে সম্পন্ন হয়। কোন ধাপটি সামগ্রিক বিক্রিয়ার হার হবে? এই প্রশ্নটির উত্তর পাওয়ার জন্য বিক্রিয়াটির ক্রিয়াকৌশল অবশ্যই জানতে হবে। উদাহরণস্বরূপ, একটি দলের রিলে দৌড় (relay race) প্রতিযোগিতায় জেতার সম্ভাবনা দলের সবচেয়ে ধীরগতিসম্পন্ন ব্যক্তির উপর নির্ভর করে। অনুরূপভাবে, বিক্রিয়াটির সামগ্রিক হার বিক্রিয়ার সবচেয়ে ধীরগতির ধাপ দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়, যাকে বিক্রিয়ার হার নির্ণায়ক ধাপ বলে। ক্ষারীয় মাধ্যমে হাইড্রোজেন পারঅক্সাইডের বিয়োজন বিবেচনা করা যাক, যেখানে আয়োডাইড আয়ন অনুঘটক হিসাবে কাজ করে।

$$2H_2O_2 \xrightarrow[\text{ক্ষারীয় মাধ্যম}]{I^-} 2H_2O + O_2$$

এই বিক্রিয়াটির বিক্রিয়া-হারের সমীকরণ হল,

$$\text{হার} = \frac{-d[H_2O_2]}{dt} = k[H_2O_2][I^-]$$

বিক্রিয়াটি $H_2O_2$ এবং $I^-$ উভয়ের সাপেক্ষে প্রথম ক্রমের বিক্রিয়া। এর দ্বারা প্রমাণিত হয় যে, এই বিক্রিয়াটি দুই ধাপে সম্পন্ন হয়।

(1) $H_2O_2 + I^- \rightarrow H_2O + IO^-$

(2) $H_2O_2 + IO^- \rightarrow H_2O + I^- + O_2$

উভয় ধাপই হল দ্বি-আণবিক মৌলিক বিক্রিয়া। যেহেতু বিক্রিয়া চলাকালীন সময়ে $IO^-$ অন্তর্বর্তীকালীন আয়ন হিসেবে উৎপন্ন হয়, কিন্তু সামগ্রিক সমতাযুক্ত সমীকরণে উৎপন্ন হয় না। প্রথম ধাপটি ধীরগতিসম্পন্ন হওয়ায়, ইহাই বিক্রিয়ার হার নির্ণায়ক ধাপ। তাই, অন্তর্বর্তী যৌগের উৎপন্ন হওয়ার হার বিক্রিয়াটির হার নির্ণয় করবে।

সুতরাং, এখন পর্যন্ত আলোচনা থেকে আমরা নিম্নলিখিত সিদ্ধান্তগুলো নিতে পারি,

(i) কোন বিক্রিয়ার ক্রম একটি পরীক্ষালব্ধ রাশি। ইহা শূন্য হতে পারে এবং এমনকি ভগ্নাংশও হতে পারে কিন্তু আণবিকতা শূন্য অথবা ভগ্নাংশ হতে পারে না।

(ii) মৌলিক বিক্রিয়ার পাশাপাশি জটিল বিক্রিয়ার ক্ষেত্রেও ক্রম প্রযোজ্য। যেখানে আণবিকতা শুধুমাত্র মৌলিক বিক্রিয়ার ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য। জটিল বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে আণবিকতার কোনো অর্থ নেই।

(iii) ধীরগতি সম্পন্ন ধাপ থেকে জটিল বিক্রিয়ার ক্রম নির্ণয় করা হয় এবং সামগ্রিক বিক্রিয়ার ক্রম ধীরগতি সম্পন্ন ধাপের আণবিকতার সমান হয়।

### বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলি

4.3 $A + B \rightarrow$ বিক্রিয়াজাত পদার্থ, বিক্রিয়াটির ক্ষেত্রে, বিক্রিয়ার গতিসূত্র হল, $r = k[A]^{1/2}[B]^2$, বিক্রিয়াটির ক্রম কত?

4.4 X অণু থেকে Y অণুতে রূপান্তর দ্বিতীয় ক্রমের গতিবিদ্যা অনুসরণ করে। যদি X-এর গাঢ়ত্ব তিনগুণ বৃদ্ধি করা হয়, তাহলে ইহা কীভাবে Y উৎপন্ন হওয়ার হারকে প্রভাবিত করবে?

## 4.3 সমাকলিত বিক্রিয়া-হারের সমীকরণ

আমরা আগেই লক্ষ করেছি যে, গাঢ়ত্ব নির্ভর বিক্রিয়ার হারকে অবকলিত বিক্রিয়া-হার সমীকরণ বলে। বিক্রিয়ার তাৎক্ষণিক হার নির্ণয় করা সর্বদা সুবিধাজনক হয় না কারণ, ইহা গাঢ়ত্ব বনাম সময়ের লেখচিত্রে (চিত্র 4.1) '$t$' বিন্দুতে স্পর্শকের নতি নির্ণয় করে পরিমাপ করা হয়। এর ফলে বিক্রিয়ার গতিসূত্র নির্ণয়ে অসুবিধা হয় এবং ফলে বিক্রিয়ার ক্রম নির্ণয়েও অসুবিধা হয়। এই অসুবিধা দূর করতে আমরা অবকলিত বিক্রিয়া হার সমীকরণকে সমাকলন করে সরাসরি পরীক্ষালব্ধ তথ্যের সঙ্গে সম্পর্ক স্থাপন করতে পারি অর্থাৎ বিভিন্ন সময়ে গাঢ়ত্ব এবং প্রথম হার ধ্রুবকের মধ্যে একটি সম্পর্ক প্রকাশ করে।

সমাকলিত বিক্রিয়া-হার সমীকরণগুলো বিভিন্ন ক্রমের বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে বিভিন্ন হয়। আমরা শুধুমাত্র শূন্য এবং প্রথম ক্রমের রাসায়নিক বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে এই সমীকরণগুলো নির্ণয় করবো।

### 4.3.1 শূন্য ক্রমের বিক্রিয়া

শূন্য ক্রমের বিক্রিয়ার অর্থ হল যে, বিক্রিয়ার হার বিক্রিয়কের গাঢ়ত্বের শূন্য ঘাতের সমানুপাতিক। নীচের বিক্রিয়াটি বিবেচনা করা যাক।

$$R \rightarrow P$$

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

যেহেতু, কোনো রাশির ঘাত শূন্য হলে মান 1 হয়,

$$\text{বিক্রিয়া হার} = -\frac{d[R]}{dt} = k \quad 1$$

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

উভয়দিকে সমাকলন করে পাই,

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

যেখানে, I হল সমাকলন ধ্রুবক

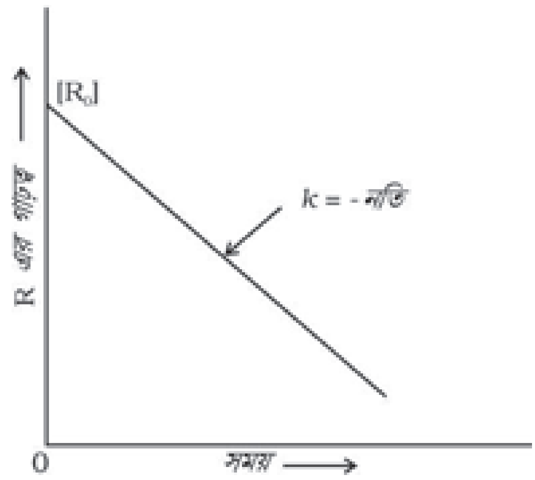
$t = 0$ হলে, বিক্রিয়কের গাঢ়ত্ব $R = [R]_0$, যেখানে, $[R]_0$ হল বিক্রিয়কের প্রাথমিক গাঢ়ত্ব (4.5) সমীকরণে বসিয়ে পাই,

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

$$[R]_0 = I$$

(4.5) সমীকরণে I এর মান বসিয়ে পাই,

$$[R] = -kt + [R]_0 \qquad (4.6)$$




*চিত্র 4.3 একটি শূন্য ক্রমের বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে, গাঢ়ত্বের পরিবর্তন বনাম সময়ের লেখচিত্র*

(4.6) কে একটি সরলরেখার সমীকরণ $y = mx + c$ এর সঙ্গে তুলনা করে, যদি আমরা [R] এর সাপেক্ষে t এর লেখচিত্র অঙ্কন করি, তাহলে আমরা একটি সরলরেখা পাই (চিত্র 4.3) যার নতি = $-k$ এবং ছেদিতাংশ হল $[R]_0$.

(4.6) সমীকরণকে আরও সরল করে আমরা হার-ধ্রুবক $k$ পাই,

$$k = \frac{[R]_0 - [R]}{t} \tag{4.7}$$

শূন্য ক্রমের বিক্রিয়া তুলনামূলকভাবে কম থাকে কিন্তু এগুলো বিশেষ শর্তে ঘটে থাকে। কিছু এনজাইম (উৎসেচক) বিক্রিয়া এবং ধাতব পৃষ্ঠতলে সংঘটিত বিক্রিয়াগুলো শূন্যক্রমের বিক্রিয়ার কয়েকটি উদাহরণ। উচ্চ চাপে উত্তপ্ত প্লাটিনামের পৃষ্ঠতলে অ্যামোনিয়া গ্যাসের বিয়োজন একটি শূন্যক্রমের বিক্রিয়া।

$$2NH_3(g) \xrightarrow[\text{Pt অনুঘটক}]{1130K} N_2(g) + 3H_2(g)$$

বিক্রিয়ার হার = $k\,[NH_3]^0 = k$

এই বিক্রিয়ায় প্লাটিনাম ধাতু অনুঘটক হিসাবে কাজ করে। উচ্চ চাপে, ধাতব পৃষ্ঠটি গ্যাস অণুগুলোর দ্বারা সম্পৃক্ত হয়। সুতরাং, বিক্রিয়ার শর্তের আরও পরিবর্তন করলেও অনুঘটকের পৃষ্ঠতলে অ্যামোনিয়ার পরিমাণ অপরিবর্তিত থাকে। অর্থাৎ বিক্রিয়ার হার ইহার গাঢ়ত্বের উপর নির্ভরশীল নয়। গোল্ডের পৃষ্ঠতলে HI এর তাপীয় বিয়োজন শূন্য ক্রম বিক্রিয়ার আরেকটি উদাহরণ।

### 4.3.2 প্রথম ক্রমের বিক্রিয়া

এই ধরনের বিক্রিয়াগুলোতে, বিক্রিয়ার হার বিক্রিয়ক R এর গাঢ়ত্বের প্রথম ঘাতের সমানুপাতিক, উদাহরণস্বরূপ,

$$R \rightarrow P$$

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

$$\text{অথবা,}\quad \frac{d[R]}{[R]} = kdt$$

এই সমীকরণটিকে সমাকলন করে আমরা পাই,

$$\ln [R] = -kt + I \tag{4.8}$$

পুনরায় I হল সমাকলন ধ্রুবক এবং ইহার মান সহজেই নির্ণয় করা যেতে পারে।

যখন, $t = 0$, $R = [R]_0$, যেখানে $[R]_0$ হল বিক্রিয়কের প্রাথমিক গাঢ়ত্ব।

সুতরাং, (4.8) সমীকরণকে লেখা যায়,

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

$$\ln [R]_0 = I$$

(4.8) সমীকরণে I -এর মান বসিয়ে পাই,

$$\ln [R] = -kt + \ln[R]_0 \tag{4.9}$$

এই সমীকরণটিকে সাজিয়ে পাই,

$$\ln \frac{[R]}{[R]_0} = -kt$$

অথবা $k = \frac{1}{t} \ln \frac{[R]_0}{[R]}$ (4.10)

$t_1$ সময়ে, (4.8) সমীকরণ থেকে,

$$*\ln[R]_1 = -kt_1 + *\ln[R]_0 \quad (4.11)$$

$t_2$ সময়ে

$$\ln[R]_2 = -kt_2 + \ln[R]_0 \quad (4.12)$$

যেখানে $[R]_1$ এবং $[R]_2$ হল যথাক্রমে $t_1$ এবং $t_2$ সময়ের বিক্রিয়কের গাঢ়ত্ব।

(4.11) থেকে (4.12) বিয়োগ করে,

$$\ln[R]_1 - \ln[R]_2 = -kt_1 - (-kt_2)$$

$$\ln \frac{[R]_1}{[R]_2} = k(t_2 - t_1)$$

$$k = \frac{1}{(t_2 - t_1)} \ln \frac{[R]_1}{[R]_2} \quad (4.13)$$

(4.9) সমীকরণকে অন্যভাবে লেখা যায়,

$$\ln \frac{[R]}{[R]_0} = -kt$$

উভয়দিকে antilog নিয়ে,

$$[R] = [R]_0 e^{-kt} \quad (4.14)$$

(4.9) সমীকরণকে $y = mx + c$ এর সঙ্গে তুলনা করে, যদি আমরা ln [R] এর সাপেক্ষে $t$ এর লেখচিত্র অঙ্কন করি, (চিত্র 4.4), তাহলে আমরা একটি সরলরেখা পাই যার নতি = $-k$ এবং ছেদিতঅংশ $\ln [R]_0$ এর সমান।

প্রথম ক্রমের বিক্রিয়ার হার সমীকরণ (4.10) কে অন্যভাবেও লেখা যায়,

$$k = \frac{2.303}{t} \log \frac{[R]_0}{[R]} \quad (4.15)$$

$$*\log \frac{[R]_0}{[R]} = \frac{kt}{2.303}$$

যদি আমরা $\log [R]_0/[R]$ বনাম $t$ লেখচিত্র (চিত্র 4.5) অঙ্কন করি, তাহলে নতি = $k/2.303$ হয়।

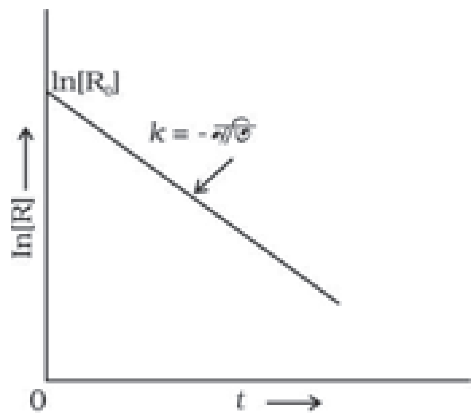
ইথিনের হাইড্রোজেনেশন/হাইড্রোজেন সংযুক্তিকরণ একটি প্রথম ক্রমের বিক্রিয়ার উদাহরণ।

$$C_2H_4(g) + H_2(g) \rightarrow C_2H_6(g)$$

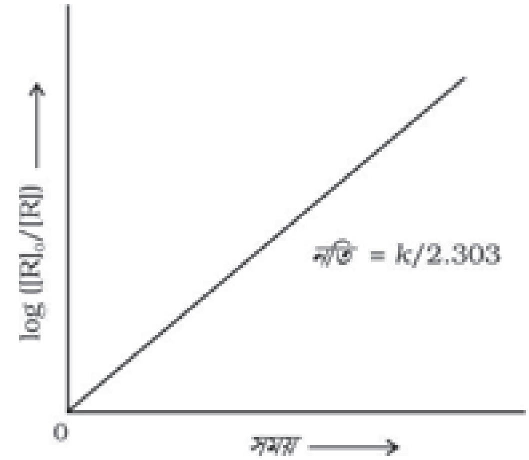
বিক্রিয়া-হার = $k [C_2H_4]$

সব প্রাকৃতিক এবং কৃত্রিম অস্থায়ী নিউক্লিয়াসের তেজস্ক্রিয় বিক্রিয়া প্রথম ক্রমের গতিবিদ্যা মেনে চলে।

* *ln এবং log (লগারিদম) এর জন্য পরিশিষ্ট-IV দেখো।*




*চিত্র 4.4: প্রথম ক্রমের বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে ln[R]এবং t এর মধ্যে লেখ*




*চিত্র 4.5: প্রথম ক্রমের বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে log $[R]_0/[R]$ বনাম সময়ের লেখ*

$$^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow {}^{4}_{2}\text{He} + {}^{222}_{86}\text{Rn}$$

বিক্রিয়া-হার = $k$ [Ra]

$N_2O_5$ এবং $N_2O$ এর বিয়োজন প্রথম ক্রম বিক্রিয়ার আরো কয়েকটি উদাহরণ।

**নমুনা প্রশ্ন 4.5** নীচের প্রথম ক্রমের বিক্রিয়াটিতে $N_2O_5(g) \rightarrow 2\ NO_2(g) + 1/2O_2\ (g)$, $N_2O_5$ এর প্রাথমিক গাঢ়ত্ব 318 K উষ্ণতায় $1.24 \times 10^{-2}$ mol $L^{-1}$ ছিল। 60 মিনিট পরে $N_2O_5$ এর গাঢ়ত্ব ছিল $0.20 \times 10^{-2}$ mol $L^{-1}$। 318 K উষ্ণতায় বিক্রিয়াটির হার-ধ্রুবক গণনা করো।

**সমাধান** প্রথম ক্রমের বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে,

$$\log\frac{[R]_1}{[R]_2} = \frac{k(t_2 - t_1)}{2.303}$$

$$k = \frac{2.303}{(t_2 - t_1)}\log\frac{[R]_1}{[R]_2}$$

$$= \frac{2.303}{(60\text{ min} - 0\text{ min})}\log\frac{1.24\quad 10^{-2}\text{ mol L}^{-1}}{0.20\quad 10^{-2}\text{ mol L}^{-1}}$$

$$= \frac{2.303}{60}\log 6.2\text{ min}^{-1}$$

$$k = 0.0304\ \text{min}^{-1}$$

চলো আমরা প্রথম ক্রমের গ্যাসীয় দশার একটি আদর্শ বিক্রিয়া বিবেচনা করি,

$$A(g) \rightarrow B(g) + C(g)$$

ধরা যাক, A এর প্রাথমিক চাপ $p_i$ এবং '$t$' সময়ে মোট চাপ $p_t$। এরূপ একটি বিক্রিয়ার সমাকলিত বিক্রিয়া-হার সমীকরণ নিম্নলিখিতভাবে প্রতিষ্ঠা করা যেতে পারে।

মোট চাপ $p_t = p_A + p_B + p_C$ (চাপ একক)

$p_A$, $p_B$ এবং $p_C$ হল যথাক্রমে A, B এবং C -এর আংশিক চাপ।

যদি $t$ সময়ে A এর চাপ x atm হ্রাস পায় এবং B ও C প্রত্যেকের এক মোল উৎপন্ন হয়, তাহলে B এবং C প্রত্যেকের চাপও x atm বৃদ্ধি পাবে।

| | A(g) | → | B(g) | + | C(g) |
|---|---|---|---|---|---|
| $t = 0$ হলে | $p_i$ atm | | 0 atm | | 0 atm |
| সময় $t$ তে | $(p_i – x)$ atm | | x atm | | x atm |

যেখানে, $p_i$ হল প্রাথমিক চাপ যখন সময় $t = 0$.

$$p_t = (p_i - x) + x + x = p_i + x$$

$$x = (p_t - p_i)$$

যেখানে, $p_A = p_i - x = p_i - (p_t - p_i)$

$$= 2p_i - p_t$$

$$k = \left(\frac{2.303}{t}\right)\left(\log \frac{p_i}{p_A}\right) \tag{4.16}$$

$$= \frac{2.303}{t} \log \frac{p_i}{(2p_i - p_t)}$$

**নমুনা প্রশ্ন 4.6**

নির্দিষ্ট আয়তনে $N_2O_5$ (g) এর প্রথম ক্রমের তাপীয় বিয়োজনের সময় নিম্নলিখিত তথ্যগুলো পাওয়া যায়।

$$2N_2O_5(g) \rightarrow 2N_2O_4(g) + O_2(g)$$

| ক্রমিক সংখ্যা | সময়/সে: | মোট চাপ/(atm) |
|---|---|---|
| 1. | 0 | 0.5 |
| 2. | 100 | 0.512 |

হার-ধ্রুবক গণনা করো।

**সমাধান**

ধরা যাক, $N_2O_5$(g) এর চাপ 2x atm হ্রাস পায়। যেহেতু, দুই মোল $N_2O_5$ বিয়োজিত হয়ে দুই মোল $N_2O_4$(g) এবং এক মোল $O_2$ (g) উৎপন্ন করে, তাই $N_2O_4$(g) এর চাপ 2x atm বৃদ্ধি পায় এবং $O_2$ (g) এর x atm বৃদ্ধি পায়।

| | $2N_2O_5(g)$ | → | $2N_2O_4(g)$ | + | $O_2(g)$ |
|---|---|---|---|---|---|
| শুরুতে, $t = 0$ | 0.5 atm | | 0 atm | | 0 atm |
| সময় $t$ তে | (0.5 – 2x) atm | | 2x atm | | x atm |

$$p_t = p_{N_2O_5} + p_{N_2O_4} + p_{O_2}$$

$$= (0.5 - 2x) + 2x + x = 0.5 + x$$

$$x = p_t - 0.5$$

$$p_{N_2O_5} = 0.5 - 2x$$

$$= 0.5 - 2(p_t - 0.5) = 1.5 - 2p_t$$

$t$ = 100 s হলে $p_t$ = 0.512 atm

$P_{N_2O_5} = 1.5 - 2 \times 0.512 = 0.476$ atm

(4.16) সমীকরণ প্রয়োগ করে,

$$k = \frac{2.303}{t}\log\frac{p_i}{p_A} = \frac{2.303}{100\,s}\log\frac{0.5\,atm}{0.476\,atm}$$

$$= \frac{2.303}{100\,s}\quad 0.0216 = 4.98 \quad 10^{-4}\,s^{-1}$$

**4.3.3 বিক্রিয়ার অর্ধায়ু**

কোনো বিক্রিয়ার অর্ধায়ু বলতে বুঝায় যে সময়ে কোনো বিক্রিয়কের গাঢ়ত্ব হ্রাস পেয়ে ইহার প্রাথমিক গাঢ়ত্বের অর্ধেক হয়। একে $t_{1/2}$ দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

শূন্য ক্রমের বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে, 4.7 নং সমীকরণ দ্বারা হার ধ্রুবক সমীকরণটি প্রকাশ করা হয়েছে।

$$k = \frac{[R]_0 - [R]}{t}$$

যখন $t = t_{1/2}$, $[R] = \frac{1}{2}[R]_0$

$\therefore$ $t_{1/2}$ -এ হার-ধ্রুবক হবে,

$$k = \frac{[R]_0 - 1/2[R]_0}{t_{1/2}}$$

$$t_{1/2} = \frac{[R]_0}{2k}$$

ইহা স্পষ্টত যে, শূন্য ক্রমের বিক্রিয়ার $t_{1/2}$ বিক্রিয়কগুলোর প্রাথমিক গাঢ়ত্বের সমানুপাতিক এবং হার-ধ্রুবকের ব্যস্তানুপাতিক।

প্রথম ক্রমের বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে,

$$k = \frac{2.303}{t}\log\frac{[R]_0}{[R]} \qquad (4.15)$$

$$t_{1/2} \text{ -এ, } [R] = \frac{[R]_0}{2} \qquad (4.16)$$

সুতরাং, উপরের সমীকরণটি হবে,

$$k = \frac{2.303}{t_{1/2}}\log\frac{[R]_0}{[R]/2}$$

অথবা, $t_{1/2} = \frac{2.303}{k}\log 2$

$$t_{1/2} = \frac{2.303}{k}\quad 0.301$$

$$t_{1/2} = \frac{0.693}{k} \qquad (4.17)$$

ইহা স্পষ্টত যে, প্রথম ক্রমের বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে, অর্ধায়ুর মান ধ্রুবক হয়। অর্থাৎ, ইহা বিক্রিয়কের প্রাথমিক গাঢ়ত্বের উপর নির্ভরশীল নয়। প্রথম ক্রমের সমীকরণের অর্ধায়ু সহজেই হার-ধ্রুবক থেকে গণনা করা যায় এবং ইহা বিপরীতক্রমেও সত্য।

শূন্য ক্রমের বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে, $t_{1/2} \propto [R]_0$, প্রথম ক্রমের বিক্রিয়ার $t_{1/2}$ $[R]_0$-এর উপর নির্ভরশীল নয়।

**নমুনা প্রশ্ন 4.7**

একটি প্রথম ক্রমের বিক্রিয়ার হার-ধ্রুবকের মান হল, $k = 5.5 \times 10^{-14}\ s^{-1}$. বিক্রিয়াটির অর্ধায়ু নির্ণয় করো।

**সমাধান**

প্রথম ক্রমের বিক্রিয়ার অর্ধায়ু হল,

$$t_{1/2} = \frac{0.693}{k}$$

$$t_{1/2} = \frac{0.693}{5.5\quad 10^{\ 14} s^{\ 1}} = 1.26 \times 10^{13} s$$

**নমুনা প্রশ্ন 4.7**

দেখাও যে, প্রথম ক্রমের বিক্রিয়ার 99.9% সম্পূর্ণ হতে প্রয়োজনীয় সময় বিক্রিয়াটির অর্ধায়ুর ($t_{1/2}$) 10 গুণ।

**সমাধান**

যখন বিক্রিয়াটি 99.9%, সম্পূর্ণ হয়, $[R]_n = [R]_0 - 0.999[R]_0$

$$k = \frac{2.303}{t} \log \frac{[R]_0}{[R]}$$

$$= \frac{2.303}{t} \log \frac{[R]_0}{[R]_0 - 0.999[R]_0} = \frac{2.303}{t} \log 10^3$$

$$t = 6.909/k$$

বিক্রিয়াটির অর্ধায়ু,

$$t_{1/2} = 0.693/k$$

$$\frac{t}{t_{1/2}} = \frac{6.909}{k} \quad \frac{k}{0.693} = 10$$

সারণি 4.4 শূন্য এবং প্রথম ক্রমের বিক্রিয়ার সমাকলিত সূত্রের গাণিতিক বৈশিষ্ট্যগুলো সংক্ষিপ্তভাবে প্রকাশ করে।

**সারণি 4.4:** শূন্য এবং প্রথম ক্রমের বিক্রিয়ার সমাকলিত গতিসূত্র

| ক্রম | বিক্রিয়ার ধরন | অবকলিত গতিসূত্র | সমাকলিত গতিসূত্র | সরলরৈখিক লেখচিত্র | অর্ধায়ু | $k$ -এর একক |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | $R \rightarrow P$ | $d[R]/dt = -k$ | $kt = [R]_0 - [R]$ | [R] বনাম $t$ | $[R]_0/2k$ | গাঢ়ত্বের সময় $^{-1}$ অথবা mol $L^{-1}s^{-1}$ |
| 1 | $R \rightarrow P$ | $d[R]/dt = -k[R]$ | $[R] = [R]_0 e^{-kt}$ অথবা $kt = \ln\{[R]_0/[R]\}$ | ln[R] বনাম $t$ | ln 2/$k$ | সময় $^{-1}$ অথবা $s^{-1}$ |

## 4.4 ছদ্ম প্রথম ক্রমের বিক্রিয়া

বিক্রিয়ার ক্রম মাঝে মাঝে শর্তের দ্বারা পরিবর্তিত হয়। দুইটি পদার্থের মধ্যে একটি রাসায়নিক বিক্রিয়া বিবেচনা করা যাক, যেখানে একটি বিক্রিয়ক খুব বেশী পরিমাণে উপস্থিত থাকে। বিক্রিয়ার শুরুতে ($t$ = 0) এবং বিক্রিয়া শেষে ($t$ -সময়ে), 10 মোল জলের সঙ্গে 0.01 মোল ইথাইল অ্যাসিটেটের আর্দ্র বিশ্লেষণের সময় বিভিন্ন উপাদানগুলোর গাঢ়ত্বের পরিমাণ নিচে দেওয়া হল :

| | $CH_3COOC_2H_5$ | + $H_2O$ | $\xrightarrow{H^+}$ | $CH_3COOH$ | + $C_2H_5OH$ |
|---|---|---|---|---|---|
| $t = 0$ | 0.01 মোল | 10 মোল | | 0 মোল | 0 মোল |
| $t$ | 0 মোল | 9.9 মোল | | 0.01 মোল | 0.01 মোল |

বিক্রিয়া চলাকালীন সময়ে জলের গাঢ়ত্বের বেশী পরিবর্তন হয় না। সুতরাং, বিক্রিয়া হারের সমীকরণে,

বিক্রিয়া-হার = $k'$ $[CH_3COOC_2H_5]$ $[H_2O]$

$[H_2O]$ কে ধ্রুবক ধরা যেতে পারে। সুতরাং, সমীকরণটি হবে,

বিক্রিয়া-হার = $k$ $[CH_3COOC_2H_5]$

যেখানে, $k = k'$ $[H_2O]$

এবং বিক্রিয়াটি প্রথম ক্রম বিক্রিয়ার ন্যায় আচরণ করে। এই ধরনের বিক্রিয়াগুলোকে ছদ্ম প্রথম ক্রমের বিক্রিয়া বলে।

ইক্ষু শর্করার অপবর্তন আরেকটি ছদ্ম প্রথম ক্রমের বিক্রিয়া।

$$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \xrightarrow{H^+} C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6$$

ইক্ষু শর্করা     গ্লুকোজ     ফ্রুকোজ

বিক্রিয়ার-হার = $k$ $[C_{12}H_{22}O_{11}]$

**নমুনা প্রশ্ন 4.9** জলীয় দ্রবণে মিথাইল অ্যাসিটেটের আর্দ্র বিশ্লেষণে উৎপন্ন অ্যাসিটিক অ্যাসিডকে সোডিয়াম হাইড্রোঅক্সাইড দ্বারা ট্রাইট্রেশন করা হল। বিভিন্ন সময়ে এস্টারের গাঢ়ত্ব নীচে দেওয়া হল।

| $t$/min | 0 | 30 | 60 | 90 |
|---|---|---|---|---|
| $C$/mol $L^{-1}$ | 0.8500 | 0.8004 | 0.7538 | 0.7096 |

দেখাও যে, এটি ছদ্ম প্রথম ক্রমের বিক্রিয়াকে অনুসরণ করে, যেহেতু বিক্রিয়া চলাকালীন সময়ে জলের গাঢ়ত্ব প্রায় ধ্রুবক থাকে (55 mol $L^{-1}$)। এই সমীকরণটি $k$-এর মান কত?

বিক্রিয়া-হার = $k'$ $[CH_3COOCH_3][H_2O]$

**সমাধান** ছদ্ম প্রথম ক্রমের বিক্রিয়ার জন্য, বিক্রিয়াটি এস্টারের সাপেক্ষে ক্রমের হওয়া উচিত, যখন $[H_2O]$ ধ্রুবক। ছদ্ম প্রথম ক্রম ব্রিক্রিয়ার হার ধ্রুবক $k$ হল,

$$k = \frac{2.303}{t}\log\frac{C_0}{C}$$ যেখানে, $k = k'[H_2O]$

উপরের তথ্যগুলো থেকে আমরা পাই,

| $t$/min | C/ mol $L^{-1}$ | $k'$/$min^{-1}$ |
|---|---|---|
| 0 | 0.8500 | – |
| 30 | 0.8004 | $2.004 \times 10^{-3}$ |
| 60 | 0.7538 | $2.002 \times 10^{-3}$ |
| 90 | 0.7096 | $2.005 \times 10^{-3}$ |

ইহা দেখা যাচ্ছে যে, $k'$ $[H_2O]$ ধ্রুবক এবং $2.004 \times 10^{-3}$ $min^{-1}$-এর সমান এবং এজন্য ইহা একটি ছদ্ম প্রথম ক্রমের বিক্রিয়া। আমরা এখন $k$ নির্ণয় করতে পারি,

$$k' [H_2O] = 2.004 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$$

$$k' [55 \text{ mol L}^{-1}] = 2.004 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$$

$$k' = 3.64 \times 10^{-5} \text{ mol}^{-1} \text{ L min}^{-1}$$

### বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলি

**4.5** একটি প্রথম ক্রম বিক্রিয়ার হার-ধ্রুবক হল $1.15 \times 10^{-3}$ $s^{-1}$, কত সময়ে এই বিক্রিয়কের 5 g হ্রাস পেয়ে 3 g হবে?

**4.6** $SO_2Cl_2$-এর বিয়োজন ঘটিয়ে ইহার প্রাথমিক পরিমাণের অর্ধেক করতে 60 মিনিট সময় লাগে। যদি বিয়োজনটি একটি প্রথম ক্রমের বিক্রিয়া হয়, তাহলে বিক্রিয়াটির হার-ধ্রুবক গণনা করো।

## 4.5 বিক্রিয়ার হারের উপর উষ্ণতার প্রভাব

অধিকাংশ রাসায়নিক বিক্রিয়াই উষ্ণতা বৃদ্ধির দ্বারা ত্বরান্বিত করা হয়। উদাহরণস্বরূপ, $N_2O_5$ এর বিয়োজন, 50°C উষ্ণতায় 12 মিনিটে $N_2O_5$ তার প্রকৃত পরিমাণের অর্ধেক বিয়োজিত হয়, 25°C উষ্ণতায় এবং 0°C উষ্ণতায় ঐ বিয়োজনের জন্য যথাক্রমে 5 ঘন্টা এবং 10 দিন সময় লাগে। তোমরা আরও জানো যে, পটাশিয়াম পারম্যাঙ্গানেট ($KMnO_4$) এবং অক্সালিক অ্যাসিডের ($H_2C_2O_4$) একটি মিশ্রণে পটাশিয়াম পারম্যাঙ্গানেটের বর্ণ নিম্ন উষ্ণতার তুলনায় উচ্চ উষ্ণতায় দ্রুত হারে বর্ণহীন হয়।

ইহা দেখা যাচ্ছে যে, একটি রাসায়নিক বিক্রিয়ায় 10° উষ্ণতা বৃদ্ধিতে বিক্রিয়ার হার-ধ্রুবক প্রায় দ্বিগুণ হয়।

একটি রাসায়নিক বিক্রিয়ার হারের উপর উষ্ণতা প্রভাব আরহেনিয়াসের সমীকরণ (4.18) দ্বারা সঠিকভাবে ব্যাখ্যা করা যায়। ইহা প্রথম হল্যান্ডের (Dutch) রসায়নবিদ, J.H. van't Hoff প্রস্তাব করেছিলেন, কিন্তু সুইডেনের (Swedish) রসায়নবিদ, আরহেনিয়াম ইহার ভৌত ব্যাখ্যা এবং যুক্তি দিয়েছিলেন।

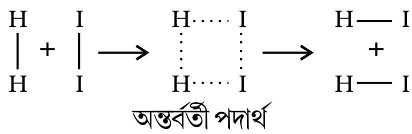
$$k = A\ e^{-Ea/RT} \qquad (4.18)$$

যেখানে $A$ হল আরহেনিয়াস গুণক অথবা কম্পাঙ্ক গুণক। ইহাকে প্রাক্-সূচকীয় গুণকও (pre-exponential factor) বলে। একটি নির্দিষ্ট বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে ইহা ধ্রুবক, $R$ হল গ্যাস ধ্রুবক এবং $E_a$ হল সক্রিয়করণ শক্তি যা জুল/মোল (J $mol^{-1}$) এককে পরিমাপ করা হয়।

নীচের সরল বিক্রিয়াটি প্রয়োগ করে ইহা সহজেই অনুমান করা যেতে পারে

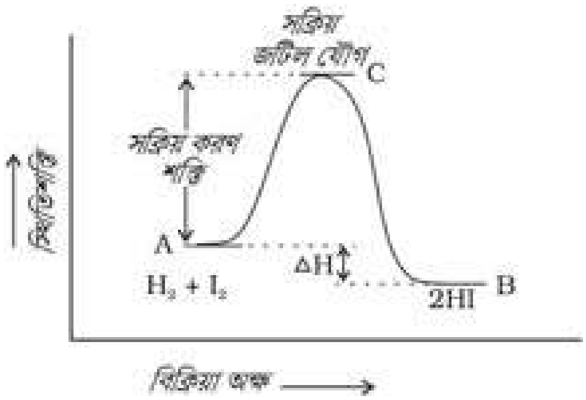
$$H_2(g) + I_2(g) \rightarrow 2HI(g)$$

আরহেনিয়াসের মতো, এই বিক্রিয়াটি তখনই সংঘটিত হবে যখন এক অণু হাইড্রোজেন এবং এক অণু আয়োডিন সংঘর্ষ করে একটি অস্থায়ী অন্তর্বর্তী পদার্থ গঠন করবে (চিত্র 4.6)। ইহা খুবই কম সময় স্থায়ী হয় এবং এরপর ভেঙ্গে দুই অণু হাইড্রোজেন আয়োডাইড গঠন করে।




*চিত্র 4.6:* অন্তর্বর্তী পদার্থের মাধ্যমে HI এর উৎপাদন

এই অন্তর্বর্তী পদার্থ তৈরি করতে যে শক্তির প্রয়োজন হয় তা সক্রিয়করণ শক্তি ($E_a$) নামে পরিচিত এবং অন্তর্বর্তী পদার্থকে সক্রিয় জটিল যৌগ (C) বলে। স্থিতিশক্তি বনাম বিক্রিয়া অক্ষের মধ্যে লেখচিত্র অঙ্কন করে চিত্র 4.7 পাওয়া যায়। বিক্রিয়া অক্ষ বিক্রিয়ক থেকে বিক্রিয়াজাত পদার্থের পরিবর্তনে শক্তির পরিবর্তন পরিলেখ নিদেশ করে।



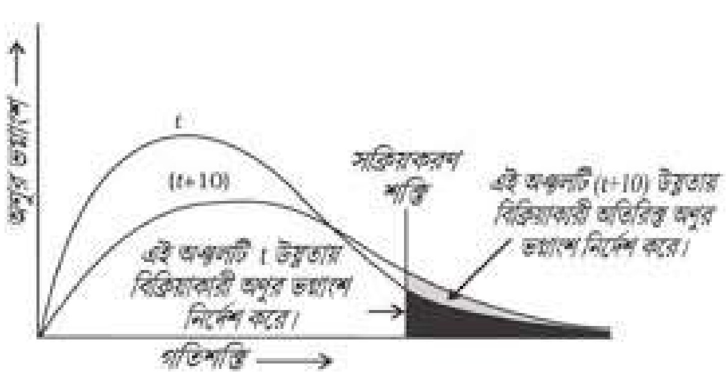

*চিত্র 4.7:* স্থিতিশীল বনাম বিক্রিয়া অক্ষের লেখচিত্র

যখন জটিল যৌগ বিয়োজিত হয়ে বিক্রিয়াজাত পদার্থ উৎপন্ন করে তখন কিছু পরিমাণ শক্তি নির্গত হয়। সুতরাং, বিক্রিয়াটির অন্তিম এন্থ্যালপি বিক্রিয়ক এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে।

সকল বিক্রিয়ক অণুগুলোর গতিশক্তি সমান থাকে না। যেহেতু কোনো একটি অণুর আচরণ নির্ভুলভাবে নির্ণয় করা কঠিন, তাই লুডভিগ বোল্ট্জম্যান (Ludwig Boltzmann) এবং জেমস্ ক্লার্ক ম্যাক্সওয়েল (James Clark Maxwell) বহু সংখ্যক অণুর আচরণের ভবিষ্যৎবাণী করার জন্য রাশিবিজ্ঞানের ব্যবহার করেছিলেন। তাদের মতে, গতিশক্তির বণ্টনকে নির্দিষ্ট গতিশক্তি (E) সম্পন্ন অণুর ভগ্নাংশ ($N_E/N_T$) বনাম গতিশক্তির লেখচিত্রের সাহায্যে বর্ণনা করা যেতে পারে (চিত্র 4.8)। এখানে, $N_E$ হল $E$ শক্তিসম্পন্ন অণুর সংখ্যা এবং $N_T$ হল মোট অণুর সংখ্যা।

*চিত্র 4.8:* গ্যাসীয় অণুগুলোর মধ্যের শক্তির বণ্টন রেখাচিত্র

রেখাটির শীর্ষ সর্বাধিক সম্ভাব্য গতিশক্তি অর্থাৎ সর্বাধিক অণুর ভগ্নাংশের গতিশক্তি নির্দেশ করে। এই শক্তির চেয়ে বেশী বা কম শক্তির অণুর সংখ্যা কম হয়। যখন উষ্ণতা বৃদ্ধি করা হয়, রেখাটির সর্বোচ্চ মান অধিক শক্তির দিকে অগ্রসর হয় (চিত্র 4.9) এবং রেখাটি বিস্তৃত হয় অর্থাৎ এমনভাবে ডানদিকে ছড়িয়ে যায় যে, অধিক শক্তিসম্পন্ন অণুর সংখ্যা বৃদ্ধি পায়। বক্ররেখাটির অধীনে থাকা অঞ্চলের ক্ষেত্রফল অবশ্যই ধ্রুবক হবে যেহেতু




*চিত্র 4.9:* বিক্রিয়ার হারের উষ্ণতার উপর নির্ভরতার বণ্টন রেখাচিত্র

মোট সম্ভাব্যতার মান সর্বদাই এক হয়। ম্যাক্সওয়েল বোলজ্‌ম্যান বণ্টন রেখাচিত্র (চিত্র 4.9) $E_a$ এর অবস্থানকে আমরা চিহ্নিত করতে পারি।

পদার্থের উষ্ণতা বৃদ্ধি করলে অণুর ভগ্নাংশ বৃদ্ধি পায় যারা $E_a$ এর চেয়ে অধিক শক্তি নিয়ে সংঘর্ষ করে। ইহা চিত্র থেকে স্পষ্ট যে, $(t + 10)$ উষ্ণতায় রেখাটিতে সক্রিয়করণ শক্তির সমান বা অধিক শক্তিসম্পন্ন অণুর ভগ্নাংশের ক্ষেত্রফল দ্বিগুণ হয়ে যায় যা বিক্রিয়ার হারকে দ্বিগুণ করে।

আরহেনিয়াসের সমীকরণে (4.18) $e^{-Ea/RT}$ গুণকটি $E_a$ এর চেয়ে অধিক গতিশক্তিসম্পন্ন অণুর ভগ্নাংশ নির্দেশ করে। সমীকরণ (4.18) এর উভয়দিকে সাধারণ লগারিদম নিয়ে পাই,

$$\ln k = -\frac{E_a}{RT} + \ln A \qquad (4.19)$$

সমীকরণ (4.19) অনুযায়ী, ln $k$ বনাম 1/T এর লেখচিত্রটি একটি সরলরেখাকে নির্দেশ করে যা চিত্র 4.10 তে দেখানো হয়েছে।

সুতরাং, আরহেনিয়াস সমীকরণ (4.18) থেকে ইহা দেখা যায় যে, উষ্ণতার বৃদ্ধি করলে অথবা সক্রিয়করণ শক্তি হ্রাস করলে বিক্রিয়ার হার বৃদ্ধি পায় এবং বিক্রিয়ার হার-ধ্রুবকও সূচকীয় হারে বৃদ্ধি পায়।

চিত্র 4.10-এ নতি = $-\frac{E_a}{R}$ এবং ছেদিতাংশ ln $A$ সুতরাং এই মানগুলো প্রয়োগ করে আমরা $E_a$ এবং $A$ গণনা করতে পারি।

$T_1$ উষ্ণতায়, সমীকরণ (4.19) হল,

$$\ln k_1 = -\frac{E_a}{RT_1} + \ln A \qquad (4.20)$$

$T_2$ উষ্ণতায়, সমীকরণ (4.19) হল

$$\ln k_2 = -\frac{E_a}{RT_2} + \ln A \qquad (4.21)$$

(যেহেতু, কোনো একটি বিক্রিয়ার জন্য $A$ ধ্রুবক)

$k_1$ এবং $k_2$ যথাক্রমে $T_1$ এবং $T_2$ উষ্ণতায় হার-ধ্রুবকের মান।

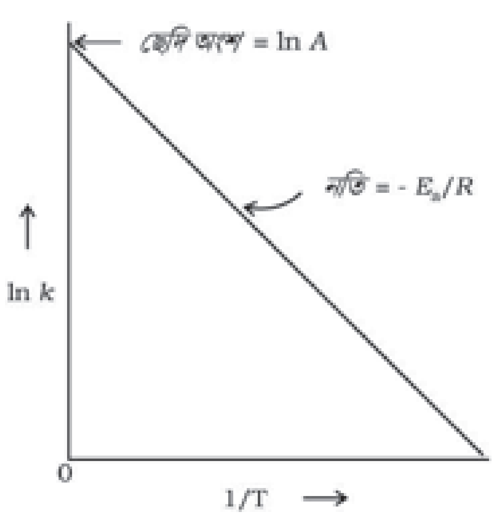
সমীকরণ (4.21) থেকে সমীকরণ (4.20), বিয়োগ করে, আমরা পাই,

$$\ln k_2 - \ln k_1 = \frac{E_a}{RT_1} - \frac{E_a}{RT_2}$$

$$\ln\frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{R}\left[\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right]$$

$$\log\frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{2.303R}\left[\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right] \qquad (4.22)$$

$$\log\frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{2.303R}\left[\frac{T_2 - T_1}{T_1T_2}\right]$$




*চিত্র 4.10:* $k$ এবং $1/T$ এর মধ্যে লেখচিত্র

**নমুনা প্রশ্ন 4.10** 500K এবং 700K উষ্ণতায় একটি বিক্রিয়ার হার-ধ্রুবকের মান যথাক্রমে $0.02s^{-1}$ এবং $0.07s^{-1}$, $E_a$ এবং $A$ এর মান গণনা করো।

**সমাধান**

$$\log\frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{2.303R}\left[\frac{T_2 - T_1}{T_1T_2}\right]$$

$$\log\frac{0.07}{0.02} = \left(\frac{E_a}{2.303 \times 8.314\, JK^{-1}mol^{-1}}\right)\left[\frac{700-500}{700 \times 500}\right]$$

$$0.544 = E_a \times 5.714 \times 10^{-4}/19.15$$

$$E_a = 0.544 \times 19.15/5.714 \times 10^{-4} = 18230.8 \text{ J}$$

যেহেতু $k = Ae^{-Ea/RT}$

$$0.02 = Ae^{-18230.8/8.314 \times 500}$$

$$A = 0.02/0.012 = 1.61$$

**নমুনা প্রশ্ন 4.11** ইথাইল আয়োডাইডের বিয়োজনের বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে,

$$C_2H_5I(g) \rightarrow C_2H_4\,(g) + HI(g)$$

প্রথম ক্রমের হার-ধ্রুবকের মান 600K উষ্ণতায় $1.60 \times 10^{-5}\ s^{-1}$, ইহার সক্রিয়করণ শক্তি 209 kJ/mol বিক্রিয়াটির হার-ধ্রুবক 700K উষ্ণতায় গণনা করো।

**সমাধান** আমরা জানি যে,

$$\log k_2 - \log k_1 = \frac{E_a}{2.303R}\left[\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right]$$

$$\log k_2 = \log k_1 + \frac{E_a}{2.303R}\left[\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right]$$

$$= \frac{J\ mol\ L^{-1}}{4\ J\ mol\ L^{-1}K^{-1}}\left[\frac{1}{600\ K} - \frac{1}{700\ K}\right]$$

$$\log k_2 = -4.796 + 2.599 = -2.197$$

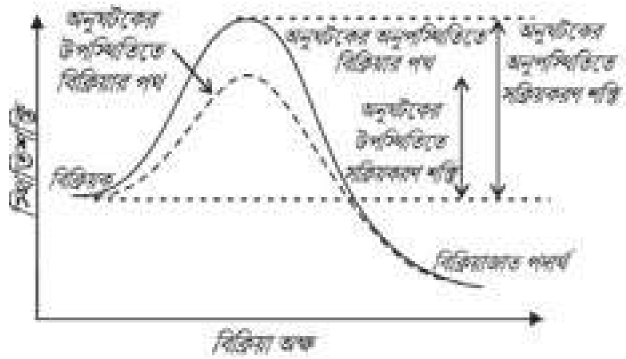
$$k_2 = 6.36 \times 10^{-3}\ s^{-1}$$

**4.5.1** *অনুঘটকের প্রভাব*

অনুঘটক হল এমন একটি পদার্থ যা নিজের কোনো স্থায়ী রাসায়নিক পরিবর্তন না ঘটিয়ে বিক্রিয়ার হার বৃদ্ধি করে। উদাহরণস্বরূপ, নীচের বিক্রিয়াটিতে $MnO_2$ অনুঘটক হিসাবে কাজ করে বিক্রিয়াটির হার যথেষ্ট পরিমাণে বৃদ্ধি করে।

$$2KClO_3 \xrightarrow{MnO_2} 2\ KCl + 3O_2$$

যদি অতিরিক্ত পদার্থটি বিক্রিয়ার হার হ্রাস করে তখন অনুঘটক শব্দটি প্রয়োগ করা উচিত নয়। পদার্থটিকে তখন প্রতিরোধী বলে। অনুঘটকের কার্যকলাপ অন্তর্বর্তী জটিল যৌগ তত্ত্বেও সাহায্যে ব্যাখ্যা করা যেতে পারে। এই তত্ত্ব অনুযায়ী, একটি অনুঘটক বিক্রিয়কের সঙ্গে অস্থায়ী বন্ধন গঠন করার মাধ্যমে রাসায়নিক বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করে এবং একটি অন্তর্বর্তী জটিল যৌগ উৎপন্ন করে। ইহার একটি ক্ষণস্থায়ী অস্তিত্ব আছে এবং বিয়োজিত হয়ে বিক্রিয়াজাত পদার্থ এবং অনুঘটক উৎপন্ন করে।




*চিত্র 4.11:* সক্রিয়করণ শক্তির উপর অনুঘটকের প্রভাব

ইহা ধারণা করা হয় যে, অনুঘটক বিক্রিয়ক এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থের মধ্যে সক্রিয়করণ শক্তির কমিয়ে একটি বিকল্প পথ অথবা বিকল্প ক্রিয়াকৌশল প্রদান করে এবং স্থিতিশক্তির বাধা কমিয়ে দেয় যা চিত্র 4.11-এ দেখানো হয়েছে।

আরহেনিয়াস সমীকরণ (4.18) থেকে ইহা স্পষ্টত যে, সক্রিয়করণ শক্তির মান কম হলে বিক্রিয়ার হার দ্রুত হবে।

স্বল্প পরিমাণ অনুঘটক অধিক পরিমাণ বিক্রিয়কে ত্বরান্বিত করতে পারে। একটি অনুঘটক কোনো একটি বিক্রিয়ার গিব্‌স শক্তির, $\Delta G$ এর পরিবর্তন করতে পারে না। ইহা স্বতঃস্ফূর্ত বিক্রিয়াকে ত্বরান্বিত করতে পারে কিন্তু অস্বতঃস্ফূর্ত বিক্রিয়াকে ত্বরান্বিত করতে পারে না। আরও লক্ষ্য করা গেছে যে, একটি অনুঘটক কোন একটি বিক্রিয়ার সাম্যধ্রুবকের মান পরিবর্তন করতে পারে না বরং ইহা দ্রুত সাম্যবস্থায় পৌঁছাতে সাহায্য করে অর্থাৎ ইহা সম্মুখ ও পশ্চাৎ উভয় বিক্রিয়াকেই একই হারে ত্বরান্বিত করে যাতে সাম্যবস্থা একই থাকে কিন্তু সাম্যবস্থাটি দ্রুত পৌঁছায়।

## 4.6 রাসায়নিক বিক্রিয়ার সংঘর্ষ তত্ত্ব

আরহেনিয়াস সমীকরণের ব্যাপক প্রয়োগ থাকা স্বত্ত্বেও 1916 -18 সালে প্রবর্তিত ম্যাক্সট্রুইজ (Max Trautz) এবং উইলিয়াম লুইস (William Lewis) এদের সংঘর্ষ তত্ত্বটি বিক্রিয়ার শক্তি এবং ক্রিয়া কৌশল সংক্রান্ত ব্যাপক ধারণা প্রদান করেন। ইহা গ্যাসের গতিতত্ত্বের উপর ভিত্তি করে করা হয়েছে। এই তত্ত্ব অনুযায়ী বিক্রিয়ক অণুগুলোকে শক্ত গোলক হিসেবে ধরা হয় এবং অণুগুলোর মধ্যে পারস্পরিক সংঘর্ষের ফলে বিক্রিয়া সংগঠিত হয়। বিক্রিয়া মিশ্রণের প্রতি একক আয়তনে প্রতি সেকেন্ডে সংঘর্ষের সংখ্যা সংঘর্ষ কম্পাঙ্ক **(Z)** নামে পরিচিত। আরেকটি বিষয় যা রাসায়নিক বিক্রিয়ার হারকে প্রভাবিত করে তা হল সক্রিয়করণ শক্তি (যা আমরা আগেই অধ্যয়ন করেছি)। একটি দ্বি-আণবিক মৌলিক বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে,

$$A + B \rightarrow \text{বিক্রিয়াজাত পদার্থ}$$

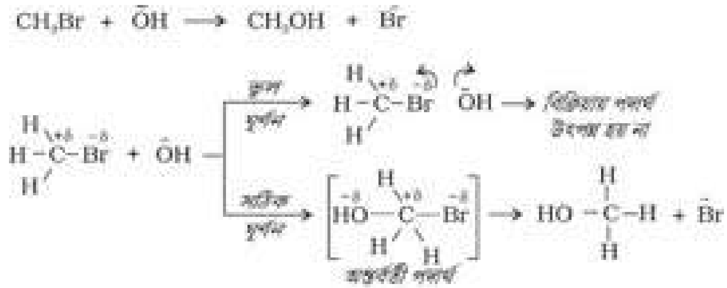
বিক্রিয়ার হারকে প্রকাশ করা যেতে পারে

$$\text{বিক্রিয়ার হার} = Z_{AB}\, e^{-E_a/RT} \qquad (4.23)$$

যেখানে $Z_{AB}$ হল A এবং B বিক্রিয়কের সংঘর্ষ কম্পাঙ্ক এবং $e^{-Ea/RT}$, $E_a$ অথবা $E_a$ এর চেয়ে অধিক শক্তি সম্পন্ন অণুর ভগ্নাংশ নির্দেশ করে। আরহেনিয়াসের সমীকরণের সঙ্গে (4.23) তুলনা করে, আমরা বলতে পারি যে, $A$ সংঘর্ষ কম্পাঙ্কের সাথে সম্পর্কযুক্ত।

সমীকরণ (4.23) এর সাহায্যে যে সকল বিক্রিয়ায় পরমাণু অথবা সরল অণু অংশগ্রহণ করে তাদের হার-ধ্রুবকের মান খুবই নির্ভুলভাবে নির্ণয় করা যায়, কিন্তু জটিল অণুর ক্ষেত্রে লক্ষণীয় বিচ্যুতি পর্যবেক্ষণ করা গেছে। এর কারণ হতে পারে যে, সব সংঘর্ষের ফলে বিক্রিয়াজাত পদার্থ উৎপন্ন হয় না। যে সংঘর্ষগুলোতে অণুগুলো উপযুক্ত গতিশক্তি (সূচনা শক্তি*) এবং সঠিক বিন্যাসসহ সংঘর্ষ করে বিক্রিয়কগুলোর মধ্যে বন্ধনের বিভাজন এবং নতুন বন্ধন গঠনের মাধ্যমে বিক্রিয়াজাত পদার্থের উৎপন্ন হওয়ার প্রক্রিয়াকে সহজ করে, তাদেরকে কার্যকরী সংঘর্ষ বলে।

* *সূচনা শক্তি = সক্রিয়করণ শক্তি + বিক্রিয়াগুলোর দ্বারা অধিকৃত শক্তি*




*চিত্র 4.12:* ***সঠিক এবং ভুল বিন্যাসযুক্ত অণুর রেখাচিত্র***

উদাহরণস্বরূপ, ব্রোমোমিথেন থেকে মিথানলের উৎপাদন বিক্রিয়ক অণুগুলোর বিন্যাসের উপর নির্ভর করে যা চিত্র 4.12-এ দেখানো হয়েছে। বিক্রিয়ক অণুগুলোর সঠিক বিন্যাস বন্ধন গঠন করে অপরদিকে ভুল বিন্যাসের ফলে অণুগুলো ফিরে আসে এবং কোনো বিক্রিয়াজাত পদার্থ উৎপন্ন হয় না।

কার্যকরী সংঘর্ষের কারণ হিসাবে আরেকটি গুণক $P$ উপস্থাপিত করা হয়েছে যাকে সম্ভাব্যতা অথবা স্টেরিক গুণক বলা হয়। এক্ষেত্রে মনে করা হয় যে, একটি সংঘর্ষে অণুগুলোর বিন্যাস সঠিক হতেই হবে অর্থাৎ

$$\text{হার} = PZ_{AB}e^{-E_a/RT}$$

সুতরাং, সংঘর্ষ তত্ত্বে অণুগুলোর সক্রিয়করণ শক্তি এবং সঠিক বিন্যাস একসঙ্গে একটি কার্যকরী সংঘর্ষের শর্ত নির্ধারণ করে এবং অতঃপর রাসায়নিক বিক্রিয়ার হার নির্ধারণ করে।

সংঘর্ষ তত্ত্বেরও কিছু অপূর্ণতা রয়েছে যেহেতু ইহা পরমাণু/অণুগুলোকে শক্ত গোলক হিসাবে ধরেছে এবং তাদের গঠনগত দিককে উপেক্ষা করেছে। তোমরা এই তত্ত্ব সম্পর্কে এবং অন্যান্য তত্ত্ব সম্পর্কে বিস্তারিত তোমাদের পরবর্তী শ্রেণিগুলোতে অধ্যয়ন করবে।

## বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলি

**4.7** হার-ধ্রুবকের উপর উষ্ণতার প্রভাব কী হবে?

**4.8** 298K থেকে পরম উষ্ণতা 10K বৃদ্ধি করলে রাসায়নিক বিক্রিয়ার হার দ্বিগুণ হয়। $E_a$ গণনা করো।

**4.9** 581K উষ্ণতায়

$$2\,HI(g) \rightarrow H_2 + I_2\,(g)$$

বিক্রিয়ার সক্রিয়করণ শক্তি 209.5 kJ $mol^{-1}$, সক্রিয়করণ শক্তির সমান বা বেশী শক্তিসম্পন্ন বিক্রিয়ক অণুগুলোর ভগ্নাংশ গণনা করো।

## সারাংশ

রাসায়নিক গতিবিদ্যা হল বিক্রিয়া-হারের সাপেক্ষে রাসায়নিক বিক্রিয়ার অধ্যয়ন, বিভিন্ন চলরাশির প্রভাব, পরমাণুগুলোর পূর্ণবিন্যাস এবং অন্তর্বর্তী পদার্থের গঠন। বিক্রিয়ার হার প্রতি একক সময়ে বিক্রিয়কগুলোর গাঢ়ত্বের বৃদ্ধির সঙ্গে সম্পর্কিত। ইহা সময়ের কোনো একটি মুহূর্তে তাৎক্ষণিক হার এবং সময়ের বেশী ব্যবধানে গড় হার দ্বারা প্রকাশ করা যেতে পারে। কতকগুলো বিষয় যেমন উষ্ণতা, বিক্রিয়কের গাঢ়ত্ব, অনুঘটক বিক্রিয়ার হারকে প্রভাবিত করে। একটি বিক্রিয়ার হারের গাণিতিক উপস্থাপন গতিসূত্র দ্বারা প্রকাশ করা হয়। ইহা পরীক্ষালব্ধভাবে নির্ণয় করতে হয় এর ধারণা করা যায় না। একটি বিক্রিয়কের সাপেক্ষে বিক্রিয়ার ক্রম হল বিক্রিয়কের গাঢ়ত্বের ঘাত যা গতিসূত্র

সমীকরণে উপস্থিত থাকে। কোনো বিক্রিয়ার ক্রম হল বিভিন্ন বিক্রিয়াগুলোর গাঢ়ত্বের ঘাতের সমষ্টি। হার-ধ্রুবক হল গতিসূত্র সমীকরণে সমানুপাতিক গুণক। কোনো বিক্রিয়ার হার-ধ্রুবক এবং ক্রম বিক্রিয়ার গতিসূত্র সমীকরণ অথবা ইহার সমাকলিত হার সমীকরণ থেকে নির্ণয় করা যায়। আণবিকতা শব্দটি শুধুমাত্র একটি মৌলিক বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে প্রযোজ্য। ইহার মান 1 থেকে 3 পর্যন্ত সীমাবদ্ধ, যেখানে ক্রম 0, 1, 2, 3 অথবা এমনকি ভগ্নাংশও হতে পারে। একটি মৌলিক বিক্রিয়ার আণবিকতা এবং ক্রম একই হয়।

হার-ধ্রবকের উপর উষ্ণতার প্রভাব আরহেনিয়াস সমীকরণের ($k = Ae^{-Ea/RT}$) দ্বারা নির্ণয় করা যায়। $E_a$ সক্রিয়করণ শক্তিকে নির্দেশ করে এবং সক্রিয় জটিল যৌগ এবং বিক্রিয়ক অণুগুলোর শক্তির পার্থক্যের দ্বারা নির্ণয় করা হয় এবং $A$ (আরহেনিয়াস গুণক বা প্রাক্-সূচকীয় গুণক) সংঘর্ষ কম্পাঙ্ক নির্দেশ করে। সমীকরণটিতে স্পষ্টভাবে দেখায় যে, উষ্ণতার বৃদ্ধি অথবা $E_a$-এর হ্রাস বিক্রিয়ার হার বৃদ্ধি করবে এবং অনুঘটকের উপস্থিতি বিক্রিয়ার জন্য একটি বিকল্প পথের যোগান দিয়ে সক্রিয়করণ শক্তির হ্রাস ঘটায়। সংঘর্ষ তত্ত্ব অনুযায়ী, আরেকটি গুণক $P$, যাকে স্টেরিক গুণক বলে এবং যা সংঘর্ষকারী অণুগুলোর বিন্যাস নির্দেশ করে, গুরুত্বপূর্ণ এবং কার্যকরী সংঘর্ষে এর অবদান রয়েছে। সুতরাং, আরহেনিয়াস সমীকরণের সংশোধিত রূপ হবে $k = PZ_{AB}e^{-E_a/RT}$.

# অনুশীলনী

**4.1** নীচের বিক্রিয়াগুলোর হার সমীকরণ থেকে বিক্রিয়ার ক্রম এবং হার-ধ্রুবকের মাত্রা নির্ণয় করো।

(i) $3NO(g) \rightarrow N_2O\ (g)$ হার $= k[NO]^2$

(ii) $H_2O_2\ (aq) + 3I^-\ (aq) + 2H^+ \rightarrow 2H_2O\ (l) + I_3^-$ হার $= k[H_2O_2][I^-]$

(iii) $CH_3CHO\ (g) \rightarrow CH_4\ (g) + CO(g)$ হার $= k\,[CH_3CHO]^{3/2}$

(iv) $C_2H_5Cl\ (g) \rightarrow C_2H_4\ (g) + HCl\ (g)$ হার $= k\,[C_2H_5Cl]$

**4.2** $2A + B \rightarrow A_2B$ এই বিক্রিয়ার জন্য,

হার $= k[A][B]^2$ এবং $k = 2.0 \times 10^{-6}\ mol^{-2}\ L^2\ s^{-1}$. বিক্রিয়াটির প্রাথমিক বিক্রিয়া হার গণনা করো যখন $[A] = 0.1\ mol\ L^{-1}$, $[B] = 0.2\ mol\ L^{-1}$. [A] হ্রাস পেয়ে $0.06\ mol\ L^{-1}$ হওয়ার পর বিক্রিয়ার হার গণনা করো।

**4.3** প্লাটিনামের পৃষ্ঠতলে $NH_3$ এর বিয়োজন একটি শূন্য ক্রমের বিক্রিয়া। $N_2$ এবং $H_2$ এর উৎপন্ন হওয়ার হার কী হবে যদি $k = 2.5 \times 10^{-4}\ mol^{-1}\ L\ s^{-1}$ হয়।

**4.4** ডাই মিথাইল ইথারের বিয়োজনে $CH_4$, $H_2$ এবং CO উৎপন্ন হয় এবং বিক্রিয়ার হার হল,

হার $= k\ [CH_3OCH_3]^{3/2}$

বিক্রিয়ার হার একটি আবদ্ধ পাত্রে চাপ বৃদ্ধিকে মেনে চলে, সুতরাং, বিক্রিয়ার হার ডাই মিথাইল ইথারের আংশিক চাপ দ্বারাও প্রকাশ করা যেতে পারে, অর্থাৎ

হার$= k\left(p_{CH_3OCH_3}\right)^{3/2}$

যদি চাপকে বার (bar) এবং সময়কে মিনিটের এককে পরিমাপ করা হয়, তাহলে বিক্রিয়ার হার এবং হার-ধ্রুবকের একক কী হবে?

**4.5** রাসায়নিক বিক্রিয়ার হারকে প্রভাবিত করে এমন বিষয়গুলো উল্লেখ করো।

4.6 একটি বিক্রিয়া, একটি বিক্রিয়কের সাপেক্ষে দ্বিতীয় ক্রমের যদি বিক্রিয়কের গাঢ়ত্ব

(i) দ্বিগুণ করা হয় (ii) কমিয়ে অর্ধেক করা হয়, তাহলে বিক্রিয়ার হার কীভাবে প্রভাবিত হবে?

4.7 একটি বিক্রিয়ার হার-ধ্রুবকের উপর উষ্ণতার প্রভাব কী হয়? হার–ধ্রুবকের উপর উষ্ণতার এই প্রভাব কীভাবে পরিমাণগতভাবে উপস্থাপন করা যায়?

4.8 জলে এস্টারের আর্দ্রবিশ্লেষণ একটি ছদ্ম প্রথম ক্রমের বিক্রিয়া এবং নিম্নলিখিত ফলাফলগুলো পাওয়া গেল।

| t/s | 0 | 30 | 60 | 90 |
|---|---|---|---|---|
| [এস্টার]/mol $L^{-1}$ | 0.55 | 0.31 | 0.17 | 0.085 |

(i) 30 থেকে 60 সেকেন্ড সময়ের ব্যবধানে বিক্রিয়ার গড় হার গণনা করো।

(ii) এস্টারের আর্দ্র বিশ্লেষণের ক্ষেত্রে ছদ্ম প্রথম ক্রমের হার-ধ্রুবক গণনা করো।

4.9 একটি বিক্রিয়া A এর সাপেক্ষে প্রথম ক্রমের এবং B -এর সাপেক্ষে দ্বিতীয় ক্রমের।

(i) অবকলিত হার সমীকরণটি লেখো।

(ii) B এর গাঢ়ত্ব তিনগুণ বৃদ্ধি করলে বিক্রিয়ার হার কীভাবে প্রভাবিত হয়?

(iii) A এবং B উভয়ের গাঢ়ত্ব দ্বিগুণ করা হলে, বিক্রিয়ার হার কীভাবে প্রভাবিত হয়?

4.10 A এবং B এর মধ্যে একটি বিক্রিয়ায়, A এবং B এর বিভিন্ন প্রাথমিক গাঢ়ত্বের জন্য বিক্রিয়ার প্রাথমিক হার ($r_0$) পরিমাপ করা হল যা নীচে দেওয়া হল।

| | | | |
|---|---|---|---|
| A/ mol $L^{-1}$ | 0.20 | 0.20 | 0.40 |
| B/ mol $L^{-1}$ | 0.30 | 0.10 | 0.05 |
| $r_0$/mol $L^{-1}s^{-1}$ | $5.07 \times 10^{-5}$ | $5.07 \times 10^{-5}$ | $1.43 \times 10^{-4}$ |

A এবং B এর সাপেক্ষে বিক্রিয়ার ক্রম কী হবে?

4.11 নিচের বিক্রিয়াটির গতি অধ্যয়নের সময় নিম্নলিখিত ফলাফলগুলো পাওয়া গেল।

$$2A + B \rightarrow C + D$$

| পরীক্ষা | [A]/mol $L^{-1}$ | [B]/mol $L^{-1}$ | D উৎপন্ন হওয়ার প্রাথমিক হার /mol $L^{-1}$ $min^{-1}$ |
|---|---|---|---|
| I | 0.1 | 0.1 | $6.0 \times 10^{-3}$ |
| II | 0.3 | 0.2 | $7.2 \times 10^{-2}$ |
| III | 0.3 | 0.4 | $2.88 \times 10^{-1}$ |
| IV | 0.4 | 0.1 | $2.40 \times 10^{-2}$ |

বিক্রিয়াটির গতিসূত্র এবং হার-ধ্রুবক নির্ণয় করো।

4.12 A এবং B এর মধ্যে বিক্রিয়াটি A এর সাপেক্ষে প্রথম ক্রমের এবং B এর সাপেক্ষে শূন্য ক্রমের। নীচের সারণিতে শূণ্যস্থান পূর্ণ করো।

| পরীক্ষা | [A]/ mol $L^{-1}$ | [B]/ mol $L^{-1}$ | প্রাথমিক হার/ mol $L^{-1}$ $min^{-1}$ |
|---|---|---|---|
| I | 0.1 | 0.1 | $2.0 \times 10^{-2}$ |
| II | – | 0.2 | $4.0 \times 10^{-2}$ |
| III | 0.4 | 0.4 | – |
| IV | – | 0.2 | $2.0 \times 10^{-2}$ |

4.13 একটি প্রথম ক্রম বিক্রিয়ার হার-ধ্রুবকগুলো নিচে উল্লেখ করা আছে, তার থেকে বিক্রিয়ার অর্ধায়ু গণনা করো।

(i) 200 $s^{-1}$ (ii) 2 $min^{-1}$ (iii) 4 $years^{-1}$

4.14 $^{14}C$ এর তেজস্ক্রিয় বিভাজনের অর্ধায়ু হল 5730 বছর। একজন প্রত্নতাত্ত্বিকের হস্ত দ্বারা নির্মিত একটি কাঠের বস্তুতে, একটি জীবিত গাছে থাকা $^{14}C$ এর শুধুমাত্র 80% ছিল। নমুনাটির বয়স গণনা করো।

4.15 318K উষ্ণতায় গ্যাসীয় দশায় $N_2O_5$ এর বিয়োজনের পরীক্ষালব্ধ তথ্য নীচে দেওয়া হল।

$[2N_2O_5 \rightarrow 4NO_2 + O_2]$

| *t*/s | 0 | 400 | 800 | 1200 | 1600 | 2000 | 2400 | 2800 | 3200 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $10^2 \times [N_2O_5]$/ mol $L^{-1}$ | 1.63 | 1.36 | 1.14 | 0.93 | 0.78 | 0.64 | 0.53 | 0.43 | 0.35 |

(i) $t$ এর সাপেক্ষে $[N_2O_5]$ এর লেখচিত্র অঙ্কন করো।

(ii) বিক্রিয়াটির অর্ধজীবনকাল নির্ণয় করো।

(iii) $\log[N_2O_5]$ এবং $t$ এর মধ্যে লেখচিত্র অঙ্কন করো।

(iv) গতি সূত্রটি কী হবে?

(v) হার-ধ্রুবক গণনা করো।

(vi) $k$ -এর মান থেকে অর্ধজীবনকাল গণনা করো এবং একে (ii) এর সাথে তুলনা করো।

4.16 একটি প্রথম ক্রমের বিক্রিয়ার হার-ধ্রুবক 60 $s^{-1}$ বিক্রিয়কের প্রাথমিক গাঢ়ত্ব কমিয়ে 1/16 করতে কত সময় লাগবে?

4.17 নিউক্লিয় বিস্ফোরণের সময় একটি উৎপন্ন পদার্থ হল $^{90}Sr$ যার অর্ধায়ু হল 28.1 বছর। যদি একজন সদ্যোজাত শিশুর হাড়ে ক্যালসিয়ামের পরিবর্তে 1μg $^{90}Sr$ শোষিত হয়, 10 বছর এবং 60 বছর পরে ইহার কী পরিমাণ অবশিষ্ট থাকবে যদি ইহা বিপাকীয়ভাবে নষ্ট না হয়।

4.18 একটি প্রথম ক্রমের বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে, দেখাও যে, 99% বিক্রিয়া সম্পন্ন হতে যে সময় লাগে, তা 90% বিক্রিয়া সম্পন্ন হতে প্রয়োজনীয় সময়ের দ্বিগুণ।

4.19 একটি প্রথম ক্রমের বিক্রিয়া 30% বিয়োজনের জন্য 40 মিনিট সময় লাগে। $t_{1/2}$ গণনা করো।

4.20 543 K উষ্ণতায় অ্যাজোআইসোপ্রোপেন বিয়োজিত হয়ে হেক্সেন এবং নাইট্রোজেন উৎপন্ন হওয়ার সময় নিম্নলিখিত তথ্যগুলি পাওয়া গেল।

| *t* (sec) | P(mm of Hg) |
|---|---|
| 0 | 35.0 |
| 360 | 54.0 |
| 720 | 63.0 |

হার-ধ্রুবক গণনা করো।

4.21 একটি নির্দিষ্ট আয়তনে $SO_2Cl_2$-এর প্রথম ক্রমের তাপীয় বিয়োজনের সময় নিম্নলিখিত তথ্যগুলো পাওয়া গেল।

$SO_2Cl_2(g) \rightarrow SO_2(g) + Cl_2\ (g)$

| পরীক্ষা | সময়/$s^{-1}$ | মোট চাপ/atm |
|---|---|---|
| 1 | 0 | 0.5 |
| 2 | 100 | 0.6 |

বিক্রিয়াটির হার গণনা করো যখন মোট চাপ 0.65 atm

4.22 বিভিন্ন উষ্ণতায় $N_2O_5$-এর বিয়োজনের ক্ষেত্রে হার-ধ্রুবক নীচে দেওয়া হল।

| $T$/°C | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 |
|---|---|---|---|---|---|
| $10^5 \times k/s^{-1}$ | 0.0787 | 1.70 | 25.7 | 178 | 2140 |

ln $k$ এবং $1/T$ এর মধ্যে একটি লেখচিত্র অঙ্কন করো এবং $A$ ও $E_a$ এর মান গণনা করো। 30° এবং 50°C উষ্ণতায় হার-ধ্রুবক নির্ণয় করো।

4.23 হাইড্রোকার্বনের বিয়োজনের জন্য 546 K উষ্ণতায় হার-ধ্রুবক হল $2.418 \times 10^{-5}$ $s^{-1}$, যদি সক্রিয়করণ শক্তি 179.9 kJ/mol হয়, তাহলে প্রাক্-সূচকীয় গুণকের মান কী হবে?

4.24 ধরা যাক, একটি বিক্রিয়া, A → বিক্রিয়াজাত পদার্থ, যার $k = 2.0 \times 10^{-2}$ $s^{-1}$, যদি A এর প্রাথমিক গাঢ়ত্ব 1.0 mol.$L^{-1}$ হয়, হবে 100 s পরে অবশিষ্ট A এর গাঢ়ত্ব গণনা করো।

4.25 প্রথম ক্রমের গতিসূত্র অনুযায়ী সুক্রোজ, অ্যাসিড দ্রবণে গ্লুকোজ এবং ফ্রুক্টোজ বিয়োজিত হয় যার $t_{1/2}$ = 3.00 ঘন্টা, 8 ঘন্টা পরে সুক্রোজের নমুনাটির কত ভগ্নাংশ অবশিষ্ট থাকে?

4.26 হাইড্রোকার্বনের বিয়োজন নীচের বিক্রিয়াটি অনুসরণ করে,

$$k = (4.5 \times 10^{11} s^{-1})\ e^{-28000K/T}$$

$E_a$ গণনা করো।

4.27 $H_2O_2$ এর প্রথম ক্রমের বিয়োজনের জন্য হার-ধ্রুবক নীচের সমীকরণ দ্বারা দেওয়া হল,

$$\log k = 14.34 - 1.25 \times 10^4\ K/T$$

এই বিক্রিয়ার জন্য $E_a$ গণনা করো এবং কোন উষ্ণতায় ইহার অর্ধায়ু 256 মিনিট হবে?

4.28 10°C উষ্ণতায় A বিয়োজিত হয়ে বিক্রিয়াজাত পদার্থ উৎপন্ন হওয়ার সময় $k$ -এর মান $4.5 \times 10^3$ $s^{-1}$ এবং সক্রিয়করণ শক্তি 60 kJ $mol^{-1}$। কোন উষ্ণতায় $k$ এর মান $1.5 \times 10^4$ $s^{-1}$ হবে?

4.29 298 K উষ্ণতায় একটি প্রথম ক্রমের বিক্রিয়া 10% সম্পন্ন হতে প্রয়োজনীয় সময় 308 K উষ্ণতায় বিক্রিয়াটির 25% সম্পন্ন হতে প্রয়োজনীয় সময়ের সমান। যদি $A$ এর মান $4 \times 10^{10} s^{-1}$ হয়, তাহলে 318 K উষ্ণতায় $k$ এবং $E_a$ গণনা কারো।

4.30 একটি বিক্রিয়ার হার চারগুণ হয় যখন উষ্ণতা পরিবর্তিত হয়ে 293 K থেকে 313 K হয়। বিক্রিয়াটির সক্রিয়করণ শক্তি গণনা করো, ধরে নাও, ইহা উষ্ণতার সঙ্গে পরিবর্তিত হয় না।

## কয়েকটি বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নের উত্তর

4.1 $r_{av} = 6.66 \times 10^{-6}$ $Ms^{-1}$

4.2 বিক্রিয়ার হার = A এর অন্তর্হিত হওয়ার হার
= 0.005 mol $litre^{-1} min^{-1}$

4.3 বিক্রিয়াটির ক্রম হল 2.5

4.4 X → Y
হার = $k[X]^2$
বিক্রিয়ার হার 9 গুণ বৃদ্ধি পাবে,

4.5 t = 444 s

4.6 $1.925 \times 10^{-4}$ $s^{-1}$

4.8 Ea = 52.897 kJ $mol^{-1}$

4.9 $1.471 \times 10^{-19}$

অধ্যায়

# 5

# পৃষ্ঠতলীয় রসায়ন

## উদ্দেশ্য

এই অধ্যায়টি অধ্যয়নের পর তোমরা সক্ষম হবে

- আন্তঃপৃষ্ঠীয় ঘটনা এবং এটির গুরুত্ব বর্ণনা করতে।
- অধিশোষনের সংজ্ঞা এবং ভৌত ও রাসায়নিক অধিশোষন রূপে এটিকে শ্রেণিবিভাগ করতে।
- অধিশোষনের ক্রিয়া কৌশল ব্যাখ্যা করতে।
- কঠিনের উপরিতলে গ্যাস এবং দ্রবণের অধিশোষন নিয়ন্ত্রণকারী শর্তগুলো ব্যাখ্যা করতে।
- ফ্রয়েন্ডলিশের সমতাপীয় অধিশোষন এর উপর ভিত্তি করে অধিশোষনের ফলাফলগুলো ব্যাখ্যা করতে।
- শিল্পক্ষেত্রে অনুঘটকের ভূমিকা উপলব্ধি করতে।
- কোলয়েডীয় অবস্থার প্রকৃতি উল্লেখ করতে।
- কোলয়েডের প্রস্তুতি, ধর্মাবলি এবং বিশুদ্ধীকরণ বর্ণনা করতে।
- ইমালসনের শ্রেণিবিভাগ এবং তাদের প্রস্তুতি ও ধর্মাবলি বর্ণনা করতে।
- জেল গঠনের ঘটনা বর্ণনা করতে।
- কোলয়েডের ব্যবহারগুলো তালিকাভুক্ত করতে।

*"কঠিন অনুঘটকের পৃষ্ঠতলে সংঘটিত রাসায়নিক বিক্রিয়ার দ্বারা শিল্পক্ষেত্রে খুবই গুরুত্বপূর্ণ কিছু রাসায়নিক দ্রব্যাদি প্রস্তুত করা হয়।"*

পৃষ্ঠতলে বা আন্তঃপৃষ্ঠে সংঘটিত ঘটনাবলি পৃষ্ঠতলীয় রসায়নে চর্চা করা হয়। আন্তঃপৃষ্ঠ বা পৃষ্ঠতল এবং স্থূল দশাকে পৃথকভাবে প্রদর্শণের জন্য এদের মধ্যে একটি হাইপেন (–) বা শ্লেষ (/) ব্যবহার করা হয়। উদাহরণস্বরূপ কঠিন এবং গ্যাসের মধ্যবর্তী আন্তঃপৃষ্ঠকে কঠিন-গ্যাস অথবা কঠিন/গ্যাস দ্বারা প্রদর্শন করা হয়। সম্পূর্ণভাবে মিশে যায় বলে বলে গ্যাসগুলোর মধ্যে কোন আন্তঃপৃষ্ঠ থাকে না। পৃষ্ঠতলীয় রসায়নে আমরা যে স্থূল দশা (bulk) নিয়ে আলোচনা করি তা বিশুদ্ধ যৌগ অথবা দ্রবণ হতে পারে। আন্তঃপৃষ্ঠটির গরুত্ব সাধারণত কয়েকটি অণুর ব্যাসের সমষ্টির সমান হয় কিন্তু এর ক্ষেত্রফল স্থূল দশার কণাগুলোর আকারের উপর নির্ভর করে। লক্ষ্য করার মত কিছু গুরুত্বপূর্ণ ঘটনাবলী যেমন অপক্ষয়, তড়িৎদ্বারে সংঘটিত বিক্রিয়া, অসমসত্ত্ব অনুঘটন, দ্রবীভবন এবং কেলাসন আন্তঃ পৃষ্ঠে সংঘটিত হয়। পৃষ্ঠতলীয় রসায়ন সংক্রান্ত বিষয়টির বিভিন্ন প্রয়োগ শিল্পক্ষেত্রে, বিশ্লেষণমূলক কার্যে এবং দৈনন্দিন জীবনের বিভিন্ন পরিস্থিতিতে পরিলক্ষিত হয়।

পৃষ্ঠতল সংক্রান্ত অধ্যয়ন নিখুঁতভাবে করার জন্য পৃষ্ঠতলটি পরিষ্কার হওয়া বাধ্যতামূলক। $10^{-8}$ থেকে $10^{-9}$ পাস্কালের মত খুবই উচ্চ শূণ্যতার অধীনে, ধাতুগুলোর অতি পরিষ্কার পৃষ্ঠতল আজকাল পাওয়া সম্ভব। এরূপ পরিষ্কার পৃষ্ঠতল বিশিষ্ট কঠিন পদার্থগুলোকে অবশ্যই বায়ুশূন্য অবস্থায় সংরক্ষণ করার প্রয়োজন, অন্যথায় বায়ুর মুখ্য উপাদান যেমন ডাই অক্সিজেন এবং ডাই নাইট্রোজেন দ্বারা এই পৃষ্ঠতলগুলো ঢেকে যাবে।

এই অধ্যায়ে, তোমরা পৃষ্ঠতলীয় রসায়নের কয়েকটি গুরুত্বপূর্ণ বৈশিষ্ট যেমন– অধিশোষন, অনুঘটন এবং ইমালসন ও জেল সহ কোলয়েড সম্পর্কে অধ্যয়ন করবে।

## 5.1 অধিশোষন

কোন কঠিন পদার্থ যে দশাটির সংস্পর্শে থাকে সেই দশার অণুগুলোকে আকর্ষণ করে এবং ধরে রাখার প্রবণতা প্রদর্শণ করে, এমন অনেক উদাহরণ রয়েছে। এই অণুগুলো কেবলমাত্র পৃষ্ঠতলে অবস্থান করে এবং স্থূল দশার গভীরে প্রবেশ করতে পারে না। কঠিন অথবা তরল পদার্থের স্থূলের (**bulk**) সমগ্র দশার পরিবর্তে কেবলমাত্র পৃষ্ঠতলে আণবিক পদার্থ সমূহের সঞ্চিত হওয়াকে অধিশোষন বলে। অণুসমূহ বা আণবিক পদার্থ, যা পৃষ্ঠতলে ঘনীভূত বা সঞ্চিত হয় তাদের অধিশোষিত পদার্থ এবং যে সকল পদার্থের পৃষ্ঠতলে অধিশোষন সংঘটিত হয় তাকে অধিশোষক বলে।

অধিশোষন অবশ্যই একটি পৃষ্ঠতলীয় ঘটনা। কঠিন পদার্থের, বিশেষ করে অতি সূক্ষ্মভাবে বিভাজিত অবস্থায়, পৃষ্ঠতলের ক্ষেত্রফল অনেক বেশী হয় এবং তাই, চারকোল, সিলিকা তেল, অ্যালুমিনা জেল, কাদা, কোলয়েডসমূহ, অতি সূক্ষ্মভাবে বিভাজিত ধাতু সমূহ ইত্যাদি ভালো অধিশোষক রূপে ক্রিয়া করে।

*অধিশোষন ক্রিয়ার বিভিন্ন উদাহরণ ঃ*

(i) যদি চারকোল চূর্ণ সম্বন্বিত কোন আবদ্ধ পাত্রে $O_2$, $H_2$, CO, $Cl_2$, $NH_3$ অথবা $SO_2$ এর মত গ্যাস নেওয়া হয় তবে লক্ষ করা যায় যে আবদ্ধ পাত্রের গ্যাসের চাপ হ্রাস পায়। গ্যাসের অণুগুলো চারকোলের পৃষ্ঠতলে ঘনীভূত হয় অর্থাৎ পৃষ্ঠতলে গ্যাসগুলো অধিশোষিত হয়।

(ii) একটি জৈব রঞ্জক যেমন মিথিলিন ব্লু এর দ্রবণের মধ্যে যখন প্রাণীজ চারকোল যোগ করা হয় এবং দ্রবণটিকে ভালভাবে ঝাঁকানো হয়, তখন দেখা গেছে যে পরিস্রুতটি বর্ণহীন হয়ে পরে। কারণ রঞ্জকের অণুসমূহ, চারকোলের পৃষ্ঠতলে সঞ্চিত হয় অর্থাৎ অধিশোষিত হয়।

(iii) অপরিশোধিত চিনির দ্রবণ, যখন প্রাণীজ চারকোলের স্তরের উপর দিয়ে চালনা করা হয় তখন এটি বর্ণহীন হয়ে পরে কারণ রঙিন দ্রব্যগুলো চারকোল দ্বারা অধিশোষিত হয়।

(iv) সিলিকা জেলের উপস্থিতিতে বায়ু শুষ্ক হয়ে যায়, কারণ জেলের পৃষ্ঠতলে জলের অণুসমূহ অধিশোষিত হয়ে যায়।

উপরের উদাহরণগুলো থেকে এটি স্পষ্ট যে কঠিন পৃষ্ঠতল অধিশোষনের মাধ্যমে গ্যাস অথবা তরলের অণুগুলোকে ধরে রাখতে পারে। অধিশোষিত পৃষ্ঠতল থেকে অপরিশোষিত দ্রব্যটিকে অপসারণ করার বিশেষ প্রক্রিয়াটিকে বিশোষন (**desorption**) বলে।

### 5.1.1 অধিশোষন এবং শোষনের মধ্যে পার্থক্য

অধিশোষনে পদার্থ কেবলমাত্র পৃষ্ঠতলেই ঘনীভূত হয় এবং অধিশোষকের পৃষ্ঠতলের মধ্য দিয়ে অভ্যন্তরে প্রবেশ করে না, অপর পক্ষে শোষনের ক্ষেত্রে পদার্থ, কঠিনের অভ্যন্তরে সমস্ত অংশে সমানভাবে বণ্ঠিত হয়। উদাহরণস্বরূপ যখন একটি চকের টুকরোকে কালির দ্রবণে ডুবানো হয় তখন রঙিন অণুগুলোর অধিশোষনের ফলে চকের পৃষ্ঠতল কালির রং ধারন করে যেখানে শোষনের ফলে কালির দ্রাবক চকের গভীরে প্রবেশ করে। চকের টুকরোটিকে ভাঙ্গা হলে লক্ষ করা যায় যে এর ভেতরের দিকটি সাদা থাকে। জলীয় বাষ্পের উদাহরণের সাহায্য নিয়ে অধিশোষন এবং শোষনের মধ্যে পার্থক্য দেখানো যায়। জলীয় বাষ্প অনার্দ্র ক্যালসিয়াম ক্লোরাইড দ্বারা শোষিত হয় কিন্তু সিলিকা জেল দ্বারা অধিশোষিত হয়। অন্যভাবে বলা যায় যে অধিশোষনের ক্ষেত্রে অধিশোষিত পদার্থের গাঢ়ত্ব কেবলমাত্র অধিশোষকের পৃষ্ঠতলে বৃদ্ধি পায় কিন্তু শোষনের ক্ষেত্রে গাঢ়ত্ব কঠিনের সমস্ত অংশে সমান থাকে।

*অধিশোষন এবং শোষন একই সাথে সংঘটিত হতে পারে। উভয় প্রক্রিয়াকে বর্ণনা করার জন্য জর্পসন (sorption) পদটি ব্যবহার করা হয়।*

### 5.1.2 অধিশোষনের ক্রিয়াকৌশল

অধিশোষন ঘটার কারণ হল অধিশোষকের পৃষ্ঠতলের কণাগুলো, অভ্যন্তরীন (bulk) কণাগুলোর মতো একই পরিবেশে থাকে না। অধিশোষকের অভ্যন্তরে কণাগুলোর মধ্যে ক্রিয়াশীল বল সমূহ একে অপরকে

প্রশমিত করে কিন্তু পৃষ্ঠতলেস্থিত কণাগুলো সবদিক থেকে নিজের মত পরমাণু বা অণুসমূহ দ্বারা বেষ্টিত থাকে না এবং এই কারণে এদের মধ্যে একটি অপ্রতিসম বা অবশিষ্ট (লব্ধি) আকর্ষণ বল ক্রিয়াশীল থাকে অধিশোষকের এই বলই এর পৃষ্ঠতলে অধিশোষিত কণাগুলোকে আকর্ষণ করার জন্য দায়ী। প্রদত্ত উষ্ণতায় এবং চাপে অধিশোষকের প্রতি একক ভরের পৃষ্ঠতলের ক্ষেত্রফল বৃদ্ধির সাথে সাথে অধিশোষনের মাত্রা বৃদ্ধি পায়।

অধিশোষন সংক্রান্ত অপর একটি গুরুত্বপূর্ণ শর্ত হল অধিশোষন তাপ। অধিশোষনের সময় সর্বদাই পৃষ্ঠতলের লব্ধি বল হ্রাস পায় অর্থাৎ পৃষ্ঠতলের শক্তির হ্রাস ঘটে যেটি তাপ রূপে বিকশিত হতে দেখা যায়। সুতরাং অধিশোষন সর্বদাই একটি তাপ উৎপাদক প্রক্রিয়া। অন্যভাবে বললে, অধিশোষনের $\Delta H$ সর্বদাই ঋণাত্মক হয়। যখন একটি গ্যাস অধিশোষিত হয়, তখন এর অণুগুলোর মুক্ত চলাচল সীমাবদ্ধ হয়ে পড়ে। এর ফলস্বরূপ অধিশোষনের পরে গ্যাসের এনট্রপি হ্রাস পায় অর্থাৎ $\Delta S$ ঋণাত্মক হয়। অধিশোষনের ফলে এনথ্যালপি যেমন হ্রাস পায়, তেমনি সিস্টেমের এনট্রপিও হ্রাস পায়। একটি স্বত:স্ফূর্ত প্রক্রিয়ার ক্ষেত্রে তাপগতীয় শর্তগুলো হল, স্থির উষ্ণতা এবং চাপে, $\Delta G$ এর মান অবশ্যই ঋণাত্মক হবে অর্থাৎ গিব্‌সের মুক্ত শক্তির হ্রাস ঘটে। $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ এই সমীকরণের উপর ভিত্তি করে বলা যায় যে, যদি $\Delta H$ এর মান খুব বেশী ঋণাত্মক হয় এবং $- T\Delta S$ এর মান অপেক্ষাকৃত ধনাত্মক হয় তবে $\Delta G$ এর মান ঋণাত্মক হয়। তাই একটি অধিশোষন প্রক্রিয়ার ক্ষেত্রে যা কিনা স্বত:স্ফূর্তভাবে সংঘটিত হয়, এই দুটো শর্তের যুগ্ম প্রভাবের ফলেই $\Delta G$ এর মান ঋণাত্মক হয়। অধিশোষন প্রক্রিয়ার অগ্রগতির সাথে সাথে $\Delta H$ এর ঋণাত্মক মান ক্রমশ হ্রাস পায় এবং অবশেষে $T\Delta S$ এর সমান হয় এবং $\Delta G$ এর মান শূণ্য হয়। এই অবস্থাটিতেই সাম্যবস্থার সৃষ্টি হয়।

### 5.1.3 অধিশোষনের প্রকারভেদ

কঠিন পদার্থের পৃষ্ঠতলে গ্যাসসমূহের অধিশোষন মূলত দুই প্রকারের হয়। যদি কঠিন পদার্থের পৃষ্ঠতলে দুর্বল ভেন্ডার ওয়াল আকর্ষণ বলের প্রভাবে গ্যাস সঞ্চিত হয়, তবে এই অধিশোষনকে ভৌত অধিশোষন বলে। যখন গ্যাসের অণু অথবা পরমাণু সমূহ কঠিন পদার্থের পৃষ্ঠতলের সাথে রাসায়নিক বন্ধন দ্বারা যুক্ত থাকে, তখন এই অধিশোষনকে রাসায়নিক অধিশোষন বলে। এই ধরনের রাসায়নিক বন্ধন সমযোজী অথবা আয়নীয় প্রকৃতির হতে পারে। রাসায়নিক অধিশোষনে একটি উচ্চতর সক্রিয়করণ শক্তি জড়িত থাকে তাই একে সক্রিয় অধিশোষনও বলা হয়। কখনও কখনও এই দুটি প্রক্রিয়া একই সাথে ঘটে এবং কোন্ প্রকারের অধিশোষন সংগঠিত হয়েছে তা নির্ধারণ করা সহজ নয়। নিম্ন উষ্ণতায় সংঘটিত কোন ভৌত অধিশোষন উষ্ণতা বৃদ্ধিতে রাসায়নিক অধিশোষনে রূপান্তরিত হয়ে যেতে পারে। উদাহরণস্বরূপ, ডাই হাইড্রোজেন প্রথম দিকে ভেন্ডার ওয়াল বলের দ্বারা নিকেলের পৃষ্ঠতলে অধিশোষিত হয়। হাইড্রোজেন অণু পরবর্তী পর্যায়ে বিয়োজিত হয়ে হাইড্রোজেন পরমাণু উৎপন্ন করে যেগুলো রাসায়নিক অধিশোষনের মাধ্যমে পৃষ্ঠতলের সাথে যুক্ত থাকে।

উভয় প্রকার অধিশোষনের কয়েকটি গুরুত্বপূর্ণ বৈশিষ্ট্য নিচে আলোচনা করা হয় ঃ

*ভৌত অধিশোষনের বৈশিষ্ট্য সমূহ*

(i) *স্বাতন্ত্রতার অভাব ঃ* ভেন্ডারওয়াল আকর্ষণ বলটি সর্বজনীন হওয়ায় একটি প্রদত্ত অধিশোষনের পৃষ্ঠতলে কোন একটি নির্দিষ্ট গ্যাসের জন্য বিশেষ কোনো পক্ষপাতিত্ব প্রদর্শন করে না।

(ii) *অধিশোষিত পদার্থের প্রকৃতি ঃ* কোনো কঠিন পদার্থ দ্বারা অধিশোষিত গ্যাসের পরিমাণ গ্যাসটির প্রকৃতির ওপর নির্ভর করে। সাধারণত, যে সকল গ্যাস সহজে তরলে পরিনত হয় (অর্থাৎ উচ্চ সংকট উষ্ণতা বিশিষ্ট) এরা সহজে অধিশোষিত হয় কারণ ভেন্ডারওয়াল বল সংকট উষ্ণতার কাছাকাছি অধিকতর শক্তিশালী হয়। তাই 1 গ্রাম সক্রিয় চারকোল, মিথেন (সংকট উষ্ণতা 190K) অপেক্ষা অধিক সালফার ডাই অক্সাইড (সংকট উষ্ণতা 630K) গ্যাস অধিশোষন করে যা 4.5mL ডাই হাইড্রোজেন (সংকট উষ্ণতা 33K) থেকেও বেশী।

(iii) *পরাবর্ত প্রকৃতি ঃ* কঠিন পদার্থ দ্বারা গ্যাসের ভৌত অধিশোষন প্রক্রিয়াটি সাধারণত একটি পরাবর্ত প্রক্রিয়া। তাই

কঠিন + গ্যাস = গ্যাস/কঠিন + তাপ

যখন চাপ বৃদ্ধি করা হয় তখন অধিক পরিমাণে গ্যাস অধিশোষিত হয় কারণ গ্যাসের আয়তন হ্রাস পায় (লা–শাতেলিয়ারের নীতি) এবং চাপ হ্রাস করে গ্যাস অপসারিত করা যায়। অধিশোষন প্রক্রিয়াটি একটি তাপ উৎপাদক প্রক্রিয়া বলেই নিম্ন উষ্ণতায় ভৌত অধিশোষন প্রক্রিয়াটি অধিক সহজে সংঘটিত হয় এবং উষ্ণতা বৃদ্ধিতে হ্রাস পায় (লা-শাতেলিয়ারের নীতি)।

(iv) *অধিশোষকের পৃষ্ঠতলের ক্ষেত্রফল ঃ* অধিশোষকের পৃষ্ঠতলের ক্ষেত্রফল বৃদ্ধির সাথে সাথে অতিসূক্ষ্মভাবে বিভাজিত ধাতু এবং সূক্ষ্ম ছিদ্র যুক্ত পদার্থের পৃষ্ঠতলের ক্ষেত্রফল বেশি হওয়ায় এরা উত্তম অধিশোষক হিসাবে আচরণ করে।

(v) অধিশোষন তাপ বা এনথ্যালপি ঃ কোন সন্দেহ নেই যে ভৌত অধিশোষন একটি তাপ উৎপাদক প্রক্রিয়া কিন্তু এর অধিশোষন এনথ্যালপি খুবই কম (20–40 kJ $mol^{-1}$)। এর কারণ হল গ্যাসের অণুসমূহ এবং কঠিনের পৃষ্ঠতলের মধ্যে আকর্ষণ, কেবলমাত্র ভ্যান্ডারওয়াল বলের কারণে হয়।

*রাসায়নিক অধিশোষনের বৈশিষ্ট্য সমূহ ঃ*

(i) *উচ্চ স্বাতন্ত্রতা ঃ* রাসায়নিক অধিশোষন খুবই সুনির্দিষ্ট (স্বাতন্ত্র্য) প্রকৃতির এবং অধিশোষক ও অধিশোষিত পদার্থের মধ্যে রাসায়নিক বন্ধন গঠনের সম্ভবনা থাকলেই এ ধরনের অধিশোষন সংঘটিত হয়। উদাহরণস্বরূপ অক্সিজেন, অক্সাইড গঠন করার ধর্মের জন্য ধাতুর পৃষ্ঠতলে অধিশোষিত হয় এবং হাইড্রাইড গঠন করার জন্য হাইড্রোজেন সন্ধিগত ধাতুর দ্বারা অধিশোষিত হয়।

(ii) *অপরাবর্ত প্রকৃতি ঃ* রাসায়নিক অধিশোষনে যৌগ উৎপন্ন হয়, তাই এটি সাধারণত অপরাবর্ত প্রকৃতির। রাসায়নিক অধিশোষনও একটি তাপ উৎপাদক প্রক্রিয়া কিন্তু উচ্চ সক্রিয়করণ শক্তির কারণে নিম্ন উষ্ণতায় প্রক্রিয়াটি খুবই মন্থর হয়। অধিকাংশ রাসায়নিক পরিবর্তনের মতই উষ্ণতা বৃদ্ধি পেলে অধিশোষনের মাত্রা প্রায়শ: বেড়ে যায়। নিম্ন উষ্ণতায় কোন গ্যাসের অধিশোষন প্রক্রিয়াটি ভৌত অধিশোষন হলেও উচ্চ উষ্ণতায় সেটি রাসায়নিক অধিশোষনে পরিবর্তিত হতে পারে। সাধারণত উচ্চ চাপ রাসায়নিক অধিশোষনের জন্য সহায়ক হয়।

(iii) *পৃষ্ঠতলের ক্ষেত্রফল ঃ* ভৌত অধিশোষনের মতই, অধিশোষনের পৃষ্ঠতলের ক্ষেত্রফল বৃদ্ধি পেলে রাসায়নিক অধিশোষনের মাত্রা বৃদ্ধি পায়।

(iv) *অধিশোষন তাপ বা এনথ্যালপি ঃ* রাসায়নিক বন্ধন গঠনের ফলে রাসায়নিক অধিশোষনের এনথ্যালপি উচ্চ হয় (80-240 kJ $mol^{-1}$)।

সারণি 5.1: ভৌত অধিশোষন এবং রাসায়নিক অধিশোষনের তুলনা

| ভৌত অধিশোষন | রাসায়নিক অধিশোষন |
|---|---|
| 1. এটি ভ্যান্ডারওয়াল বলের কারণে সংঘটিত হয়। | 1. এটি রাসায়নিক বন্ধন গঠনের কারণে ঘটে। |
| 2. এটি স্বাতন্ত্র্য প্রকৃতির হয়। | 2. এটি খুবই স্বাতন্ত্র্য প্রকৃতির হয়। |
| 3. এটি পরাবর্ত প্রকৃতির হয়। | 3. এটি অপরাবর্ত প্রকৃতির হয়। |
| 4. এটি গ্যাসের প্রকৃতির ওপর নির্ভরশীল। সহজে তরলে পরিনত হয় এমন গ্যাস সহজে অধিশোষিত হয়। | 4. এটি গ্যাসের প্রকৃতির ওপর নির্ভর করে। যে সকল গ্যাস অধিশোষকের সাথে বিক্রিয়া করে এরা রাসায়নিক অধিশোষন প্রদর্শন করে। |
| 5. এক্ষেত্রে অধিশোষন এনথ্যালপি কম (20-40 kJ $mol^{-1}$ ) হয়। | 5. এইক্ষেত্রে অধিশোষন এনথ্যালপি বেশি (80-240 kJ $mol^{-1}$) হয়। |

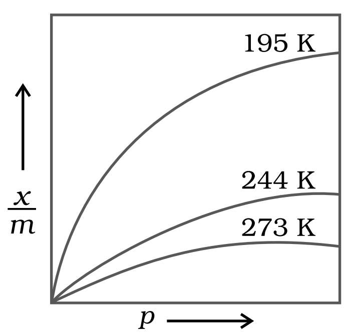
| | |
|---|---|
| 6. নিম্ন উষ্ণতা ভৌত অধিশোষনের জন্য সহায়ক হয়। উষ্ণতা বৃদ্ধি করলে এটি হ্রাস পায়। | 6. উচ্চ উষ্ণতা রাসায়নিক অধিশোষনের জন্য সহায়ক। উষ্ণতা বৃদ্ধি করলে এটি বৃদ্ধি পায়। |
| 7. এক্ষেত্রে উল্লেখযোগ্য সক্রিয়করণ শক্তির প্রয়োজন হয় না। | 7. অনেক ক্ষেত্রে উচ্চ সক্রিয়করণ শক্তির প্রয়োজন হয়। |
| 8. এটি পৃষ্ঠতলের ক্ষেত্রফলের ওপর নির্ভর করে। পৃষ্ঠতলের ক্ষেত্রফল বৃদ্ধি করলে এটি বৃদ্ধি পায়। | 8. এটিও পৃষ্ঠতলের ক্ষেত্রফলের ওপর নির্ভর করে। পৃষ্ঠতলের ক্ষেত্রফল বৃদ্ধি করলে এটিও বৃদ্ধি পায়। |
| 9. এক্ষেত্রে উচ্চ চাপে অধিশোষকের পৃষ্ঠতলের ওপর একাধিক আণবিক স্তর সৃষ্টি হয়। | 9. এইক্ষেত্রে একটি মাত্র আণবিক স্তর সৃষ্টি হয়। |

### 5.1.4 অধিশোষন সমতাপীয়

স্থির উষ্ণতায় চাপের পরিবর্তনের সাথে অধিশোষিত গ্যাসের পরিমাণের পরিবর্তন একটি বক্র রেখার মাধ্যমে প্রকাশ করা যায়, যাকে অধিশোষন সমতাপীয় সমোষ্ণক বলে।

*ফ্রয়েন্ডলিশের অধিশোধন সমতাপীয় ঃ* 1909 খ্রিস্টাব্দে ফ্রয়েন্ডলিশ একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় একক ভরের কঠিন অধিশোষক দ্বারা অধিশোষিত গ্যাসের মাত্রা এবং চাপের মধ্যে একটি স্থূল সম্পর্ক উদ্ভাবন করেন। সম্পর্কটি নিম্নলিখিত সমীকরণের সাহায্যে প্রকাশ করা যায় ঃ

$$\frac{x}{m} = k.p^{1/n} \ (n > 1) \quad \dots (5.1)$$

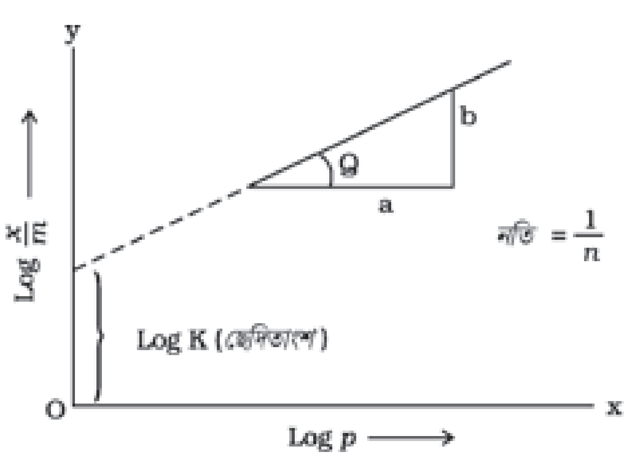


*চিত্র 5.1: অধিশোষন সমতাপীয়*

যেখানে $x$ হল $P$ চাপে, $m$ ভরের অধিশোষকের ওপর অধিশোষিত গ্যাসের ভর এবং $k$ ও n হল ধ্রুবক যেগুলি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় অধিশোষকের এবং অধিশোষিত গ্যাসের প্রকৃতির ওপর নির্ভরশীল। এই সম্পর্কটি সাধারণত একটি বক্র রেখার মাধ্যমে প্রদর্শন করা হয়, যেখানে প্রতি গ্রাম ওজনের অধিশোষকের পৃষ্ঠতলে অধিশোষিত গ্যাসের ভর বনাম চাপের লেখচিত্র অঙ্কন করা হয় (চিত্র 5.1)। এই লেখচিত্রগুলো নির্দেশ করে যে স্থির চাপে, উষ্ণতা বৃদ্ধি করলে ভৌত অধিশোষন হ্রাস পায়। এই বক্ররেখাটি উচ্চ চাপে সর্বদাই একটি সীমাস্থমানের দিকে অগ্রসর হয়।

সমীকরণ 5.1 এর উভয় দিকে লগারিদম করে পাই,

$$\log \frac{x}{m} = \log k + \frac{1}{n} \log p \quad \dots (5.2)$$



*চিত্র 5.2: ফ্রয়ন্ডলিশের সমতাপীয়*

$y$-অক্ষ (কোটি) বরাবর $\log \frac{x}{m}$ এবং x-অক্ষ (ভুজ) বরাবর $\log p$ মান বসিয়ে ফ্রয়ন্ডলিশের সমতাপীয়ের বৈধতা যাচাই করা যায়। যদি এটি সরলরৈখিক হয় তবে ফ্রয়ন্ডলিশের সমতাপীয় বৈধ নতুবা এটি বৈধ নয় (চিত্র 5.2)। সরলরেখার নতি থেকে $\frac{1}{n}$ এর মান পাওয়া যায়। $y$-অক্ষের ছেদিতাংশ থেকে $k$ এর মান পাওয়া যায়।

ফ্রয়েন্ডলিশের সমতাপীয় অধিশোষনের প্রকৃতিকে আনুমানিক ভাবে ব্যাখ্যা করে। $\frac{1}{n}$ গুণকের মান 0 এবং 1 এর মধ্যে (সম্ভবত 0.1 থেকে 0.5 পরিসরে) হতে পারে। সুতরাং সমীকরণ (5.2) চাপের একটি সীমিত পরিসরে প্রযোজ্য হয়।

যখন $\frac{1}{n} = 0$, তখন $\frac{x}{m}$ = ধ্রুবক হয়, অর্থাৎ অধিশোষন প্রক্রিয়াটি তখন চাপের উপর নির্ভরশীল থাকে না।

যখন $\frac{1}{n} = 1$, তখন $\frac{x}{m} = k\,p$ অর্থাৎ . $\frac{x}{m} \propto p$ হয়। অর্থাৎ অধিশোষন প্রক্রিয়াটি চাপের সাথে সমানুপাতিক হয়ে পরিবর্তিত হয়।

দুটি শর্তকেই পরীক্ষালব্ধ ফলাফল সমর্থন করে। পরীক্ষালব্ধ সমতাপীয় উচ্চ চাপে সর্বদাই স্থিরমানের দিকে অগ্রসর হয়। যাকে ফ্রয়েন্ডলিশের সমতাপীয় দ্বারা ব্যাখ্যা করা যায় না। তাই উচ্চ চাপে অধিশোষন সমতাপীয় ব্যর্থতা প্রদর্শণ করে।

### 5.1.5 দ্রবণ দশা থেকে অধিশোষন

কঠিন পদার্থ দ্রবণ থেকেও দ্রাবের কণা অধিশোষন করতে পারে। যখন অ্যাসিটিক অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণের সাথে চারকোল মিশ্রিত করে ঝাঁকানো হয়, তখন অ্যাসিডের একটি অংশ চারকোল দ্বারা অধিশোষিত হয় এবং দ্রবণের মধ্যে অ্যাসিডের গাঢ়ত্ব হ্রাস পায়। অনুরূপে, লিটমাস দ্রবণ যখন চারকোল সহ ঝাঁকানো হয় তখন দ্রবণ বর্ণহীন হয়। $Mg(OH)_2$ এর অধ:ক্ষেপ ম্যাগনেশন বিকারকের উপস্থিতিতে নীল বর্ণ ধারণ করে। ম্যাগনেশনের অধিশোষনের জন্যই এই বর্ণ দেখা যায়। দ্রবণ দশা থেকে অধিশোষনের জন্যই এই বর্ণ দেখা যায়। দ্রবণ দশা থেকে অধিশোষনের ক্ষেত্রে নিম্নলিখিত পর্যবেক্ষনগুলো লক্ষ করা যায় ঃ

(i) উষ্নতা বৃদ্ধির সাথে অধিশোষনের মাত্রা হ্রাস পায়।

(ii) অধিশোষকের পৃষ্ঠতলের ক্ষেত্রফল বৃদ্ধি পেলে অধিশোষনের মাত্রা বৃদ্ধি পায়।

(iii) দ্রবণের মধ্যে দ্রাবের গাঢ়ত্বের উপর অধিশোষনের মাত্রা নির্ভর করে।

(iv) অধিশোষক এবং অধিশোষিত পদার্থের প্রকৃতির ওপর অধিশোষনের মাত্রা নির্ভর করে।

দ্রবণ দশা থেকে অধিশোষনের যথাযথা ক্রিয়া কৌশল জানা নেই। ফ্রয়েন্ডেলিশের সমীকরণ দ্রবণ থেকে অধিশোষনের আচরণকে মোটামুটিভাবে ব্যাখা করতে পারে, পার্থক্য শুধু এই যে চাপের পরিবর্তে, দ্রবণের গাঢ়ত্বকে এক্ষেত্রে বিবেচনা করা হয়।

$$\frac{x}{m} = k\,C^{1/n} \qquad \ldots(5.3)$$

*'C'* হল সাম্য গাঢ়ত্ব অর্থাৎ যখন অধিশোষন সম্পূর্ণ হয়। উপরের সমীকরণের উভয় দিকে লগারিদম করে পাই,

$$\log\frac{x}{m} = \log k + \frac{1}{n}\log C \qquad \ldots(5.4)$$

$\log\frac{x}{m}$ বনাম $\log C$ এর লেখচিত্র অংকন করলে একটি সরলরেখা পাওয়া যায় যা ফ্রয়েন্ডলিশের সমতাপীয়ের যথার্থতা প্রদর্শণ করে। বিভিন্ন গাঢ়ত্বের অ্যাসিটিক অ্যাসিড দ্রবণ নিয়ে পরীক্ষামূলকভাবে এটি প্রমাণ করা যায়। ভিন্ন ভিন্ন ফ্লাস্কে সম আয়তনের দ্রবণ নিয়ে এতে সমপরিমাণ চারকোল যোগ করা হয়। অধিশোষনের পর প্রতিটি ফ্লাস্কের অন্তিম গাঢ়ত্ব গণনা করা হয়। প্রাথমিক এবং অন্তিম গাঢ়ত্বের বিয়োগফল থেকে *'x'* এর মান পাওয়া যায়। উপরের সমীকরণটি ব্যবহার করে ফ্লয়েন্ডলিশের সমতাপীয়ের যথার্থতা প্রতিষ্ঠা করা যায়।

### 5.1.6 অধিশোধনের প্রয়োগ

অধিশোষন ঘটনাটিকে বিভিন্ন ক্ষেত্রে প্রয়োগ করা হয়। এদের মধ্যে কিছু গুরুত্বপূর্ণ প্রয়োগ এখানে লিপিবদ্ধ করা হল ঃ

(i) *উচ্চ বায়ুশূণ্য স্থান সৃষ্টি ঃ* বায়ুশূণ্য (ভ্যাকুয়াম) পাম্প দ্বারা পাত্রের ভেতরের বায়ু খালি করার পর অবশিষ্ট খুবই স্বল্প পরিমাণ বায়ুকে চারকোল দ্বারা অধিশোষিত করে উচ্চ বায়ুশূণ্যতা সৃষ্টি করা যায়।

(ii) *গ্যাস মুখোশ ঃ* গ্যাস মুখোশ (একটি যন্ত্র, যার মধ্যে সক্রিয় চালকোল বা অধিশোষকের মিশ্রণ থাকে) সাধারণত কয়লার খনিতে শ্বাসকার্যের সময় বিষাক্ত গ্যাসগুলোকে অধিশোষিত করতে ব্যবহৃত হয়।

(iii) *আর্দ্রতা নিয়ন্ত্রণ ঃ* সিলিকা এবং অ্যালুমিনিয়াম জেল জলীয়বাষ্প দূরীকরণে এবং আর্দ্রতা নিয়ন্ত্রণে অধিশোষক হিসেবে ব্যবহৃত হয়।

(iv) *দ্রবণ থেকে রঙিন পদার্থের অপসারন ঃ* প্রাণীজ চালকোল রঙিন অপদ্রব্যগুলোকে অধিশোষন করে দ্রবণের রঙিন বর্ণ অপসারণ করে।

(v) *অসমসত্ত্ব অনুঘটন ঃ* অনুঘটকের কঠিন পৃষ্ঠতলে বিক্রিয়কের অধিশোষন বিক্রিয়ার গতিকে ত্বরান্বিত করে। শিল্পক্ষেত্রে গুরুত্বপূর্ণ এমন অনেক গ্যাসীয় রাসায়নিক বিক্রিয়া রয়েছে যেখানে অনুঘটক কঠিন হওয়া আবশ্যক। আয়রন অনুঘটক ব্যবহার করে অ্যামোনিয়ার শিল্পোৎপাদন, স্পর্শ পদ্ধতিতে $H_2SO_4$ এর শিল্পোৎপাদন এবং তেলের হাইড্রোজেনেশনে সূক্ষ্মভাবে বিভাজিত নিকেলের ব্যবহার হল অসমসত্ত্ব অনুঘটনের উৎকৃষ্ট উদাহরণ।

(vi) *নিষ্ক্রিয় গ্যাসের পৃথকীকরণ ঃ* চারকোল দ্বারা গ্যাসসমূহের অধিশোষনের মাত্রার বিভিন্নতার কারণে, বিভিন্ন উষ্ণতায় নারিকেল থেকে প্রাপ্ত চারকোলের দ্বারা অধিশোষন সংঘটিত করে নিস্কৃয় গ্যাসের মিশ্রণকে আলাদা করা যায়।

(vii) *রোগ নিরাময়ে ঃ* বহু সংখ্যক ঔষধ আছে যারা জীবাণুর অধিশোষনের দ্বারা জীবাণু ধ্বংশ করতে ব্যবহৃত হয়।

(viii) *তৈল ভাসন পদ্ধতি ঃ* পাইন তেল এবং ফেনা সৃষ্টিকারী পদার্থ ব্যবহার করে এই পদ্ধতির সাহায্যে নিম্ন শ্রেণির সালফাইড আকরিক থেকে সিলিকা এবং অন্যান্য মাটি জাতীয় পদার্থ আলাদা করে আকরিককে গাঢ় করা হয়। (ষষ্ঠ অধ্যায় দেখ)।

(ix) *অধিশোষন নির্দেশক ঃ* সিলভার হ্যালাইডের মত কিছু অধ:ক্ষেপের পৃষ্ঠতলে কিছু রঞ্জক যেমন ইওসিন (eosin), ফ্লুরোসিন ইত্যাদিকে অধিশোষন করার ধর্ম রয়েছে এবং যার ফলে অন্তিম বিন্দুতে একটি বৈশিষ্টসূচক বর্ণ ধারণ করে।

(x) *ক্রোমাটোগ্রাফিক বিশ্লেষণ ঃ* অধিশোষনের ওপর নির্ভর করে ক্রোমাটোগ্রাফি বিশ্লেষণের অনেক প্রয়োগ বিশ্লেষণাত্মক এবং শিল্পক্ষেত্রে পাওয়া যায়।

### বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলী

**5.1** রাসায়নিক অধিশোষনের যে কোন দুটি বৈশিষ্ট লিখ।

**5.2** উষ্ণতা বৃদ্ধিতে ভৌত অধিশোষন হ্রাস পায় কেন?

**5.3** কোন পদার্থ কেলাসাকার রূপের চেয়ে বিচূর্ণ অবস্থায় অধিশোষক হিসেবে অধিক কার্যকরী কেন?

## 5.2 অনুঘটন

পটাশিয়াম ক্লোরেটকে যখন তীব্রভাবে উত্তপ্ত করা হয় তখন এটি ধীরে ধীরে বিয়োজিত হয়ে ডাই অক্সিজেন উৎপন্ন করে। এই বিয়োজন বিক্রিয়াটি 653-873K উষ্ণতার পরিসরে সম্পন্ন হয়।

$$2KClO_3 \rightarrow 2KCl + 3O_2$$

যদিও, স্বল্প পরিমাণ ম্যাঙ্গানিজ ডাই অক্সাইড যোগ করা হলে বিয়োজন বিক্রিয়াটি অনেক কম উষ্ণতায় অর্থাৎ 473-633K পরিসরে এবং অতি দ্রুততার সঙ্গে সম্পন্ন হয়। এক্ষেত্রে মিশ্রিত ম্যাঙ্গানিজ ডাই অক্সাইড এর ভর এবং সংযুতি অপরিবর্তিত থাকে। একইভাবে বাহ্যিক কোনো পদার্থের নিছক উপস্থিতির মাধ্যমে বহু রাসায়নিক বিক্রিয়ার গতি পরিবর্তিত করা যায়। 1835 খ্রিষ্টাব্দে সর্বপ্রথম

বার্জেলিয়াস, রাসায়নিক বিক্রিয়া সমূহের হারের ওপর বাইরে থেকে যোগ করা বিভিন্ন পদার্থের প্রভাব সুশৃঙ্খলভাবে অধ্যয়ন করেন। এরূপ পদার্থসমূহের জন্য তিনি অনুঘটক নামক পদটির প্রস্তাবনা করেছিলেন।

যে সকল পদার্থ রাসায়নিক বিক্রিয়ার গতি ত্বরান্বিত করে এবং বিক্রিয়ার শেষে উক্ত পদার্থটি রাসায়নিকভাবে এবং পরিমাণগতভাবে অপরিবর্তিত থাকে, তাকে অণুঘটক বলে এবং এই ঘটনাকে অনুঘটন বলে। তোমরা 4.5 অনুচ্ছেদে অনুঘটক এবং এদের কার্যপ্রণালী সম্পর্কে পড়েছ।

*অনুঘটক উদ্দীপক এবং অনুঘটক বিষ ঃ*

অনুঘটক উদ্দীপক হল এমন পদার্থ যা অনুঘটকের কার্যকারিতাকে ত্বরান্বিত করে এবং অনুঘটক বিষ অনুঘটকের কার্যকারিতাকে মন্দীভূত করে। উদাহরণস্বরূপ, হেবার পদ্ধতিতে অ্যামোনিয়ার শিল্পোৎপাদনে, অনুঘটক রূপে ব্যবহৃত আয়রনের উদ্দীপক হিসাবে মলিবডেনাম ব্যবহৃত হয়।

$$N_2(g) + 3H_2(g) \xrightarrow[Mo(s)]{Fe(s)} 2NH_3(g)$$

### 5.1.3 সমসত্ত্ব এবং অসমসত্ত্ব অনুঘটক

অনুঘটনকে মূলত দুটি শ্রেণিতে বিভক্ত করা যায়

*(a) সমসত্ত্ব অনুঘটন*

যখন বিক্রিয়ক, বিক্রিয়াজাত পদার্থ এবং অনুঘটক একই ভৌত দশায় (অর্থাৎ তরল বা গ্যাসীয়) থাকে তবে এই প্রক্রিয়াকে সমসত্ত্ব অনুঘটন বলে। সমসত্ত্ব অনুঘটনের কয়েকটি উদাহরণ নীচে দেওয়া হল ঃ

(i) লেড কক্ষ পদ্ধতিতে নাইট্রোজেন অক্সাইড অনুঘটকের উপস্থিতিতে, ডাই অক্সিজেনের সহযোগে সালফার, সালফার ডাইঅক্সাইডে জারিত হওয়া।

$$2SO_2(g) + O_2(g) \xrightarrow{NO(g)} 2SO_3(g)$$

বিকারক রূপে সালফার ডাইঅক্সাইড এবং অক্সিজেন এবং অনুঘটক রূপে নাইট্রিক অক্সাইড, সকলেই একই ভৌত দশায় রয়েছে।

(ii) হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড থেকে উৎপন্ন $H^+$ আয়ন মিথাইল অ্যাসিটেটের আর্দ্রবিশ্লেষনে অনুঘটক রূপে কাজ করে।

$$CH_3COOCH_3(l) + H_2O(l) \xrightarrow{HCl(l)} CH_3COOH(aq) + CH_3OH(aq)$$

বিক্রিয়ক এবং অনুঘটক উভয়ে একই ভৌত দশায় আছে।

(iii) সালফিউরিক অ্যাসিড থেকে উৎপন্ন $H^+$ আয়ন চিনির (sugar) আর্দ্রবিশ্লেষণে অনুঘটক রূপে কাজ করে।

$$\underset{\text{দ্রবণ}}{C_{12}H_{22}O_{11}(aq)} + H_2O(l) \xrightarrow{H_2SO_4(l)} \underbrace{\underset{\text{গ্লুকোজ}}{C_6H_{12}O_6(aq)} + \underset{\text{ফ্রুক্টোজ}}{C_6H_{12}O_6(aq)}}_{\text{দ্রবণ}}$$

বিক্রিয়ক এবং অনুঘটক উভয়ে একই ভৌত দশায় আছে।

*(b) অসমসত্ত্ব অনুঘটন*

যে অনুঘটন প্রক্রিয়ায় বিক্রিয়ক এবং অনুঘটক ভিন্ন ভিন্ন ভৌত দশায় উপস্থিত থাকে, তাকে অসমসত্ত্ব অনুঘটন বলে। অসমসত্ত্ব অনুঘটনের কয়েকটি উদাহরণ নিচে দেওয়া হল ঃ

(i) অনুঘটকের উপস্থিতিতে সালফার ডাই অক্সাইডের সালফার ট্রাই অক্সাইডে জারিত হওয়া।

$$2SO_2(g) \xrightarrow{Pt(s)} 2SO_3(g)$$

এখানে বিক্রিয়ক গ্যাসীয় অবস্থায় রয়েছে কিন্তু অনুঘটক আছে কঠিন অবস্থায়।

(ii) হেবার পদ্ধতিতে সূক্ষ্মভাবে বিভাজিত আয়রনের উপস্থিতিতে ডাই নাইট্রোজেন এবং ডাই হাইড্রোজেনের সংযুক্তিকরণের মাধ্যমে অ্যামোনিয়া উৎপাদন।

$$N_2(g) + 3H_2(g) \xrightarrow{Fe(s)} 2NH_3(g)$$

এখানে বিক্রিয়ক সমূহ গ্যাসীয় অবস্থায় রয়েছে কিন্তু অনুঘটক আছে কঠিন অবস্থায়।

(iii) অস্‌ওয়াল্ড পদ্ধতিতে প্ল্যাটিনাম জালির (gauze) উপস্থিতিতে অ্যামোনিয়া নাইট্রাস অক্সাইডে জারিত হওয়া।

$$4NH_3(g) + 5O_2(g) \xrightarrow{Pt(s)} 4NO(g) + 6H_2O(g)$$

এখানে বিক্রিয়ক সমূহ গ্যাসীয় অবস্থায় রয়েছে কিন্তু অনুঘটক আছে কঠিন অবস্থায়।

(iv) অতিসূক্ষ্মভাবে বিভাজিত নিকেল অনুঘটকের উপস্থিতিতে উদ্ভিজ তেলের হাইড্রোজেনেশন বা হাইড্রোজেন সংযুক্তিকরণ প্রক্রিয়া।

$$\text{উদ্ভিজ তেল}\,(l) + H_2(g) \xrightarrow{Ni(s)} \text{উদ্ভিজ ঘি}\,(s)$$

এখানে একটি বিক্রিয়ক তরল অবস্থায় এবং অপর বিক্রিয়কটি গ্যাসীয় অবস্থায় রয়েছে কিন্তু অনুঘটক আছে কঠিন অবস্থায়।

### 5.2.2 অসমসত্ত্ব অনুঘটনের অধিশোষন তত্ত্ব

এই তত্ত্ব অসমসত্ত্ব অনুঘটনের ক্রিয়াকৌশল ব্যাখ্যা করে। পুরাতন তত্ত্ব অনুযায়ী বিক্রিয়কসমূহ গ্যাসীয় অবস্থায় বা দ্রবণে উপস্থিত হলে কঠিন অনুঘটকের পৃষ্ঠতলে অধিশোষিত হয়ে যায়। ফলে পৃষ্ঠতলে বিক্রিয়কের গাঢ়ত্ব বৃদ্ধি পায় এবং বিক্রিয়ার গতিও বৃদ্ধি পায়। যেহেতু অধিশোষন একটি তাপ উৎপাদক প্রক্রিয়া, অধিশোষনের ফলে উৎপন্ন তাপ, বিক্রিয়ার গতিকে ত্বরান্বিত করতে ব্যবহৃত হয়।

অণুঘটকের ক্রিয়া অন্তর্বর্তী যৌগ উৎপাদন তত্ত্বের সাহায্যেও ব্যাখ্যা করা যায়, যে তত্ত্বটি তোমরা পূর্বেই 4.5.1 অনুচ্ছেদে পড়েছ।

আধুনিক অধিশোষন তত্ত্ব অন্তর্বর্তী যৌগ উৎপাদন তত্ত্ব এবং পুরাতন অধিশোষন তত্ত্বের সংযোজিতরূপ। অনুঘটকের কার্যকারিতা অনুঘটকের পৃষ্ঠতলে কেন্দ্রীভূত থাকে। এই ক্রিয়া কৌশলটি নিম্নলিখিত পাঁচটি ধাপে সম্পন্ন হয় ঃ

(i) অনুঘটকের পৃষ্ঠতলে বিক্রিয়কের ব্যাপন।

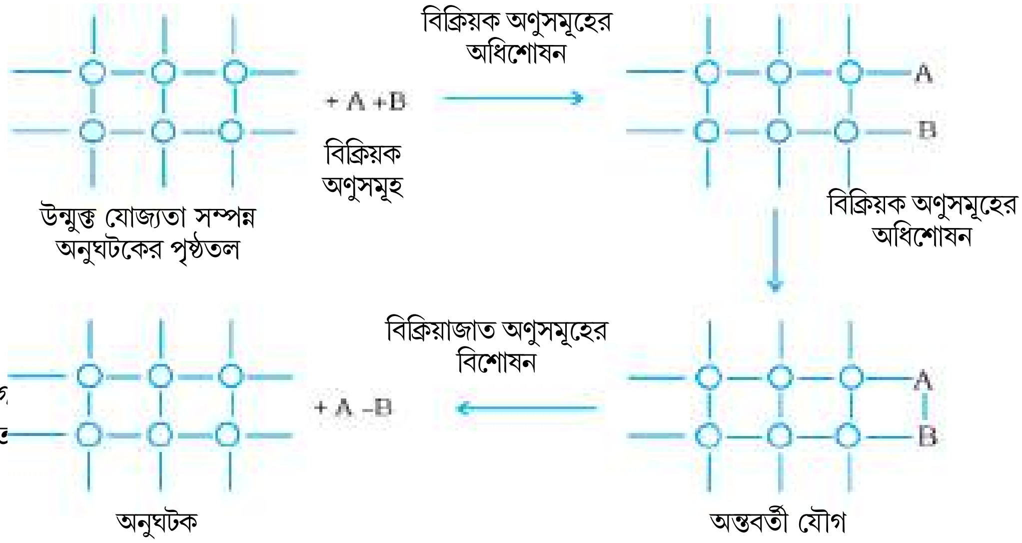
(ii) অনুঘটকের পৃষ্ঠতলে বিক্রিয়ক অণুসমূহের অধিশোষন।

(iii) অনুঘটকের পৃষ্ঠতলে অন্তর্বর্তী যৌগ উৎপাদনের মাধ্যমে রাসায়নিক বিক্রিয়া সংঘটিত হওয়া।

(iv) অনুঘটকের পৃষ্ঠতল থেকে বিক্রিয়াজাত পদার্থের বিশোষন এবং এর মাধ্যমে বিক্রিয়া সংঘটিত করার জন্য আবারও পৃষ্ঠতলকে প্রস্তুত করে তোলা।

(v) অনুঘটকের পৃষ্ঠতল থেকে ব্যাপন প্রক্রিয়ার মাধ্যমে বিক্রিয়ায় উৎপন্ন বিক্রিয়াজাত পদার্থ অপসারণ করা। অনুঘটকের পৃষ্ঠতলে মুক্ত যোজ্যতা রয়েছে যা স্থূলদশার আভ্যন্তরিন অংশে থাকে না, এই অবশিষ্ট যোজ্যতা রাসায়নিক আকর্ষণ বলের জন্য ক্ষেত্র সরবরাহ করে। যখন একটি গ্যাস এরূপ পৃষ্ঠতলের সংস্পর্শে আসে, তখন এর অণুসমূহ দুর্বল রাসায়নিক সংযোজন হারিয়ে পৃষ্ঠতলে আবদ্ধ হয়ে পড়ে। যদি পাশাপাশি বিভিন্ন অণুসমূহের অধিশোষন ঘটে তবে এরা পরস্পর বিক্রিয়া করে নতুন অণুসমূহ উৎপন্ন করতে পারে। এভাবে উৎপন্ন অণুসমূহ নতুন বিক্রিয়ক অণুগুলোর জন্য পৃষ্ঠতল ছেড়ে দিয়ে বাষ্পায়িত হয়।

বিক্রিয়ার শেষে কেন অনুঘটকের ভর এবং রাসায়নিক সংযুতি অপরিবর্তিত থাকে এবং স্বল্প পরিমাণ অনুঘটকও কার্যকরী হয়– এই তত্ত্ব সেটি ব্যাখ্যা করে। যদিও এই তত্ত্ব অনুঘটক উদ্দীপক এবং অনুঘটক




*চিত্র 5.3*
*বিক্রিয়ক অণুসমূহের অধিশোষন, অন্তর্বর্তী যৌগ উৎপাদন এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থের বিশোষন।*

বিষের কার্যকারিতা ব্যাখ্যা করতে পারে না।

*কঠিন অনুঘটকগুলোর গুরুত্বপূর্ণ বৈশিষ্ট্যসমূহ*

*(a) সক্রিয়তা*

অনুঘটকের সক্রিয়তা রাসায়নিক অধিশোষনের মাত্রার ওপর বহুলাংশে নির্ভর করে। বিক্রিয়ক পদার্থকে সক্রিয় হয়ে উঠার জন্য, অনুঘটকের ওপর পর্যপ্ত পরিমাণে দৃঢ়ভাবে অধিশোষিত হওয়া প্রয়োজন। তবে এদের অধিশোষন এতটাও দৃঢ় হওয়া বাঞ্চনীয় নয় যে এরা নিশ্চল হয়ে পড়ে এবং অনুঘটকের পৃষ্ঠতলে অন্য বিক্রিয়ক পদার্থের অধিশোষনের জন্য কোন ফাঁকা স্থান না থাকে। হাইড্রোজেনেশন বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে এটি লক্ষ্য করা যায় যে, অনুঘটকীয় সক্রিয়তা পর্যায় সারণির পঞ্চম শ্রেণি থেকে একাদশ শ্রেণি পর্যন্ত ধাতুসমূহে ক্রমশ: বৃদ্ধি পায় যেখানে সপ্তম শ্রেণি থেকে নবম শ্রেণির মৌলসমূহ সর্বাধিক সক্রিয়তা প্রদর্শণ করে। (একাদশ শ্রেণি, তৃতীয় অধ্যায়)।

$$2H_2(g) + O_2(g) \xrightarrow{Pt} 2H_2O(l)$$

*(b) সুনির্দিষ্টতা*

একই বিক্রিয়াকালীন শর্তে বহু সংখ্যক যৌগ উৎপাদনের সম্ভাবনা আছে এরূপ বিক্রিয়াকে একটি সুনির্দিষ্ট পথে পরিচালনা করে একটি নির্দিষ্ট বিক্রিয়াজাত পদার্থ উৎপাদন করাই হল একটি অনুঘটকের সুনির্দিষ্টতা। একই বিক্রিয়কের ক্ষেত্রে বিভিন্ন অনুঘটকের সুনির্দিষ্টতা বিভিন্ন হয়। উদাহরণস্বরূপ, বিভিন্ন ধরনের অনুঘটক ব্যবহার করে $H_2$ এবং CO কে প্রারম্ভিক যৌগ হিসেবে নিয়ে বিক্রিয়া ঘটালে আমরা ভিন্ন ভিন্ন বিক্রিয়াজাত পদার্থ পাই,

$$\text{(i)}\quad CO(g) + 3H_2(g) \xrightarrow{Ni} CH_4(g) + H_2O(g)$$

$$\text{(ii)}\quad CO(g) + 2H_2(g) \xrightarrow{Cu/ZnO\text{-}Cr_2O_3} CH_3OH(g)$$

$$\text{(iii)}\quad CO(g) + H_2(g) \xrightarrow{Cu} HCHO(g)$$

সুতরাং আমরা এই সিদ্ধান্তে আসতে পারি যে, অনুঘটকের কার্যকারীতা খুবই সুনির্দিষ্ট প্রকৃতির হয়। ফলস্বরূপ একটি পদার্থ যা একটি বিক্রিয়ার অনুঘটক রূপে কাজ করে তা অন্য বিক্রিয়ার অনুঘটনে অসমর্থ হয়।

### 5.2.3 জিওলাইটের আকৃতিগত বরণাত্মক অনুঘটন

যে সকল অনুঘটন বিক্রিয়া অণুঘটকের সচ্ছিদ্র গঠনাকৃতি এবং বিক্রিয়ক এবং বিক্রিয়াজাত অণুর আকারের ওপর নির্ভরশীল তাদের আকৃতিগত বরণাত্মক অনুঘটন বলে। মৌচাকের মত ষড়ভূজাকার প্রকোষ্ট বিশিষ্ট গঠনাকৃতির জন্য জিওলাইট একটি উত্তম আকৃতিগত বরণাত্মক অনুঘটক। এরা সিলিকেটের

আনুবীক্ষনিক সচ্ছিদ্র ত্রিমাত্রিক গঠন বিশিষ্ট অ্যালুমিনোসিলিকেট যেখানে কিছু সংখ্য Si পরমাণু Al দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে Al–O–Si গঠন কাঠামো প্রদান করে। জিওলাইটে সংঘটিত রাসায়নিক বিক্রিয়াসমূহ বিক্রিয়ক এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থের অণুসমূহের আকার এবং আকৃতি, সেই সাথে জিওলাইটের সচ্ছিদ্রতা এবং গর্তসমূহের উপর নির্ভর করে। এদের প্রকৃতিতে পাওয়া যায় এবং অনুঘটকের সুনির্দিষ্টতার জন্য কৃত্রিম ভাবেও সংশ্লেষিত করা হয়।

পেট্রোলিয়াম শিল্পে হাইড্রোকার্বনের ক্র্যাকিং এবং সমাবয়ব প্রস্তুতিতে জিওলাইট ব্যাপক পরিমাণে ব্যবহৃত হয়। পেট্রোলিয়াম শিল্পে ব্যবহৃত একটি গুরুত্বপূর্ণ জিওলাইট অনুঘটক হল ZSM-5। এটি নিরুদনের দ্বারা অ্যালকোহলকে সরাসরি গ্যাসোলিনে (পেট্রোল) রূপান্তরিত করে হাইড্রোকার্বনের মিশ্রণ উৎপন্ন করে।

### 5.2.4 এনজাইম অনুঘটন

এনজাইম হল একটি নাইট্রোজেন গঠিত জটিল জৈব যৌগ যেগুলো সজীব উদ্ভিদ এবং প্রাণীদেহে উৎপন্ন হয়। প্রকৃতপক্ষে এরা হল উচ্চ আণবিক গুরুত্ব বিশিষ্ট প্রোটিন অণু এবং জলে এরা দ্রবীভূত হয়ে কোলয়েডীয় দ্রবণ উৎপন্ন করে। এরা খুবই কার্যকরী অনুঘটক এবং এরা বহু সংখ্যক বিক্রিয়াকে অনুঘটিত করে, বিশেষত যে সকল বিক্রিয়াসমূহ প্রাকৃতিক প্রক্রিয়ার সাথে সম্পর্কযুক্ত। জীবন প্রক্রিয়া বজায় রাখার জন্য উদ্ভিদ ও প্রাণী দেহে সংঘটিত বহু সংখ্যক বিক্রিয়ায় এনজাইজ অনুঘটক রূপে কাজ করে। এই কারণে এনজাইমকে জীব রাসায়নিক অনুঘটক এবং এই ঘটনাকে জৈব রাসায়নিক অনুঘটন বলে।

জীবন্ত কোষ থেকে বিশুদ্ধ কেলাসার অবস্থায় অসংখ্য এনজাইম পাওয়া যায়। কিন্তু 1969 খ্রিষ্টাব্দেই সর্বপ্রথম পরীক্ষাগারে এনজাইম সংশ্লেষিত করা হয়েছিল। এনজাইম অনুঘটক বিক্রিয়ার কিছু উদাহরণ নীচে দেওয়া হল ঃ

(i) *ইক্ষু শর্করার অপবর্তন ঃ* ইনভারটেজ এনজাইম ইক্ষু শর্করাকে গ্লুকোজ এবং ফ্রুক্টোজে রূপান্তরিত করে।

$$\underset{\text{ইক্ষু শর্করা}}{C_{12}H_{22}O_{11}(aq)} + H_2O(l) \xrightarrow{\text{ইনভারটেজ}} \underset{\text{গ্লুকোজ}}{C_6H_{12}O_6(aq)} + \underset{\text{ফ্রুক্টোজ}}{C_6H_{12}O_6(aq)}$$

(ii) *গ্লুকোজকে ইথাইল অ্যালকোহলে রূপান্তর ঃ* জাইমেজ এনজাইম গ্লুকোজকে ইথাইল অ্যালকোহল এবং কার্বন ডাই অক্সাইডে রূপান্তরিত করে।

$$\underset{\text{গ্লুকোজ}}{C_6H_{12}O_6(aq)} \xrightarrow{\text{জাইমেজ}} \underset{\text{ইথাইল অ্যালকোহল}}{2C_2H_5OH(aq)} + 2CO_2(g)$$

(iii) *স্টার্চকে মল্টোজে রূপান্তর ঃ* ডায়াস্টেজ এনজাইম স্টার্চকে মল্টোজে রূপান্তর করে।

$$2(C_6H_{10}O_5)_n(aq) + nH_2O(l) \xrightarrow{\text{ডায়াস্টেজ}} \underset{\text{মল্টোজ}}{nC_{12}H_{22}O_{11}(aq)}$$

(iv) *মল্টোজকে গ্লুকোজে রূপান্তর ঃ* মল্টেজ এনজাইম মল্টোজকে গ্লুকোজে রূপান্তরিত করে।

$$\underset{\text{মল্টোজ}}{C_{12}H_{22}O_{11}(aq)} + H_2O(l) \xrightarrow{\text{মল্টেজ}} \underset{\text{গ্লুকোজ}}{2C_6H_{12}O_6(aq)}$$

(v) *ইউরিয়ার বিয়োজনের ফলে প্রাপ্ত অ্যামোনিয়া এবং কার্বন ডাই অক্সাইড ঃ* ইউরিয়েজ এনজাইম এই বিয়োজনে অনুঘটক রূপে কাজ করে।

$$NH_2CONH_2(aq) + H_2O(l) \xrightarrow{\text{ইউরিয়েজ}} 2NH_3(g) + CO_2(g)$$

(vi) পাকস্থলীতে পেপ্‌সিন এনজাইম প্রোটিনকে পলিপেপটাইডে রূপান্তরিত করে এবং ক্ষুদ্রান্তে, অগ্নাশয় থেকে নিঃসৃত ট্রিপ্‌সিন এনজাইম প্রোটিনকে অ্যামিনো অ্যাসিডে আর্দ্রবিশ্লেষিত করে।

(vii) *দুধকে দইয়ে রূপান্তরিত করা ঃ* এটি একটি এনজাইম গঠিত রাসায়নিক বিক্রিয়া যা দইয়ে উপস্থিত ল্যাকটোব্যাসিলি এনজাইম দ্বারা সংঘটিত হয়।

কয়েকটি গুরুত্বপূর্ণ এনজাইম গঠিত বিক্রিয়া সারণি 5.2 তে দেওয়া হয়েছে।

**সারণি 5.2 ঃ কিছু এনজাইম বিক্রিয়া**

| এনজাইম | উৎস | এনজাইম গঠিত বিক্রিয়া | |
|---|---|---|---|
| ইনভারটেজ | ইস্ট | সুক্রোজ | → গ্লুকোজ এবং ফ্রুক্টোজ |
| জাইমেজ | ইস্ট | গ্লুকোজ | → ইথাইল অ্যালকোহল + কার্বন ডাই অক্সাইড |
| ডায়াস্টেজ | মল্ট | স্টার্চ | → মল্টোজ |
| মল্টোজ | ইস্ট | মল্টোজ | → গ্লুকোজ |
| ইউরিয়েজ | সোয়াবিন | ইউরিয়া | → অ্যামোনিয়া এবং কার্বন ডাই অক্সাইড |
| পেপসিন | পাকস্থলী | প্রোটিন | → অ্যামিনো অ্যাসিড |

*এনজাইম অনুঘটনের বৈশিষ্ট্যসমূহ*

এদের দক্ষতা এবং উচ্চ মাত্রার নির্দিষ্টতার জন্য এনজাইম অনুঘটক অতুলনীয়। এনজাইম অনুঘটক নিম্নলিখিত বৈশিষ্টগুলো প্রদর্শণ করে।

(i) *সর্বোত্তম দক্ষতা ঃ* এনজাইমের একটি অণু এক মিনিটে দশ লক্ষ বিক্রিয়ক অণুর পরিবর্তন ঘটাতে পারে।

(ii) *উচ্চ নির্দিষ্টতা প্রকৃতি ঃ* একটি প্রদত্ত বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে একটি এনজাইম নির্দিষ্ট থাকে অর্থাৎ একটি এনজাইম একাধিক বিক্রিয়ায় অনুঘটক রূপে ক্রিয়া করতে পারে না। উদাহরণস্বরূপ, ইউরিয়েজ এনজাইম কেবলমাত্র ইউরিয়ার আর্দ্রবিশ্লেষণে অনুঘটক রূপে ক্রিয়া করে। এটি অন্য কোনো অ্যামাইডের আর্দ্রবিশ্লেষণে অনুঘটকরূপে ক্রিয়া করে না।

(iii) *সর্বোত্তম উষ্ণতায় অধিক কার্যকারিতা ঃ* একটি এনজাইম বিক্রিয়ার হার একটি নির্দিষ্ট উচ্চতায় সর্বোচ্চ হয়, এই উষ্ণতাকে সর্বোত্তম উষ্ণতা বলে। সর্বোত্তম উষ্ণতার উপরে বা নীচে এনজাইমের সক্রিয়তা বা কার্যকারিতা হ্রাস পায়। এনজাইমের কার্যকরীতার জন্য সর্বোত্তম উষ্ণতা 298-310K পর্যন্ত হয়। মানব দেহের উষ্ণতা 310 K হওয়ার কারণে এনজাইম অনুঘটক বিক্রিয়ার জন্য যথেষ্ট উপযুক্ত।

(iv) *সর্বোত্তম pH এ অধিক সক্রিয়তা বা কার্যকারিতা ঃ* একটি এনজাইম অনুঘটন বিক্রিয়ার হার একটি নির্দিষ্ট pH এ সর্বোচ্চ হয়, এই pH কে সর্বোত্তম pH বলে। সর্বোত্তম pH এর মান 5 থেকে 7 এর মধ্যে হয়।

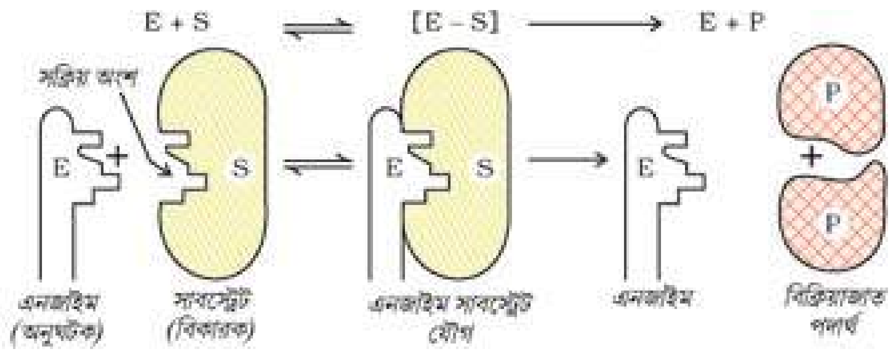
(v) *সক্রিয়কারক এবং কো-এনজাইমের উপস্থিতিতে সক্রিয়তার বৃদ্ধি ঃ* কিছু বিশেষ পদার্থের উপস্থিতিতে এনজাইম অনুঘটকের ক্রিয়া বৃদ্ধি পায় এদের কো-এনজাইম বলে। দেখা গেছে যে, যখন এনজাইমের সাথে সামান্য পরিমাণে নন-প্রোটিন (ভিটামিন) উপস্থিত থাকে তখন এনজাইমের সক্রিয়তা উল্লেখযোগ্যভাবে বৃদ্ধি পায়।

সক্রিয়কারক পদার্থগুলো সাধারণত $Na^+$, $Mn^{2+}$, $Co^{2+}$, $Cu^{2+}$ ইত্যাদির মত ধাতব আয়ন হয়। এই সকল ধাতব আয়ন যখন এনজাইম অণুর সাথে দুর্বলভাবে যুক্ত থাকে তখন এনজাইমের সক্রিয়তা বৃদ্ধি পায়। অ্যামাইলেজ, সোডিয়াম ক্লোরাইডের অর্থাৎ $Na^+$ এর উপস্থিতিতে অধিক সক্রিয় অনুঘটক রূপে ক্রিয়া করে।

(vi) অনুঘটনে বাধাদানকারী পদার্থ এবং অনুঘটক বিষ এর প্রভাব ঃ কিছু পদার্থের উপস্থিতিতে সাধারণ অনুঘটকের মতই এনজাইমেরও কার্যক্ষমতা বাধা প্রাপ্ত হয় এবং এটি বিষাক্ত হয়ে যায়। অনুঘটনে বাধাদানকারী পদার্থ অথবা অনুঘটক বিষ এনজাইমের পৃষ্টতলে সক্রিয় কার্যকরী মূলক সমূহের সাথে বিক্রিয়া করে এবং এনজাইমের অনুঘটন ক্রিয়ার হ্রাস ঘটায় বা সম্পূর্ণ রূপে বিনষ্ট করে। মানব দেহে বহু ঔষধ ব্যবহৃত হয় যারা এনজাইমের ক্রিয়ায় বাধাদান করে।

*এনজাইম অনুঘটনের ক্রিয়াকৌশল %*

এনজাইমের কোলয়েডীয় কণাসমূহের পৃষ্ঠতলে অসংখ্য গর্ত রয়েছে। এই গর্তগুলো বিশেষ আকৃতি বিশিষ্ট এবং এদের মধ্যে- $NH_2$, -COOH, -SH, -OH, ইত্যাদির মত সক্রিয় মূলক উপস্থিত থাকে।




*চিত্র 5.4 ঃ এনজাইম অনুঘটন বিক্রিয়ার ক্রিয়াকৌশল*

এগুলিই হল প্রকৃতপক্ষে এনজাইম কণাসমূহের পৃষ্ঠতলের উপরে সক্রিয় কেন্দ্র। বিক্রিয়ক পদার্থের অণুগুলো এই সকল গর্তের পরিপূরক আকৃতির, সেগুলোই এই সকল গর্তে আবদ্ধ বা ফিট হয়, যেমনটা একটি চাবি একটি তালায় আবদ্ধ বা ফিট হয়। সক্রিয় মূলকের উপস্থিতির কারণে, একটি সক্রিয় জটিল যৌগ উৎপন্ন হয় যেটি পরে বিয়োজিত হয়ে বিক্রিয়াজাত পদার্থ উৎপন্ন করে।

সুতরাং, এনজাইম অনুঘটন বিক্রিয়া দুটি ধাপে সম্পন্ন হয় বলে মনে করা যেতে পারে।

**ধাপ- 1** ঃ এনজাইম সাবস্ট্রেটের সাথে যুক্ত হয়ে একটি সক্রিয় জটিল যৌগ গঠন করে।

$$E + S \rightarrow ES^{\neq}$$

**ধাপ- 2** ঃ সক্রিয় জটিল যৌগ বিয়োজিত হয়ে বিক্রিয়াজাত পদার্থ উৎপন্ন করে।

$$ES^{\neq} \rightarrow E + P$$

### 5.2.5 শিল্পকারখানায় অনুঘটক

শিল্প কারখানায় অনুঘটকের উপযোগীতা সম্পর্কে ধারণা পাওয়ার জন্য কয়েকটি গুরুত্বপূর্ণ প্রযুক্তিগত অনুঘটন প্রক্রিয়া সারণি 5.3 এ দেওয়া হল।

সারণি 5.3 ঃ শিল্পক্ষেত্রে সংঘটিত কিছু সংখ্যক অনুঘটন প্রক্রিয়া

| প্রক্রিয়া | অনুঘটক |
|---|---|
| 1. অ্যামোনিয়ার শিল্পোৎপাদনের জন্য হেবার পদ্ধতি।<br>$N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$ | বিচূর্ণ আয়রন, উদ্দীপক হিসাবে মলিবডেনাম; শর্ত ঃ 200 বার বায়ুমন্ডলীয় চাপ এবং 723-773K উষ্ণতা। বর্তমানে আয়রন অক্সাইড, পটাশিয়াম অক্সাইড এবং অ্যালুমিনার মিশ্রণ ব্যবহার করা হয়। |
| 2. নাইট্রিক অ্যাসিডের শিল্পোৎপাদনের জন্য অসওয়াল্ড পদ্ধতি।<br>$4NH_3(g) + 5O_2(g) \rightarrow 4NO(g) + 6H_2O(g)$<br>$2NO(g) + O_2(g) \rightarrow 2NO_2(g)$<br>$4NO_2(g) + 2H_2O(l) + O_2(g) \rightarrow 4HNO_3(aq)$ | প্লাটিনাম আস্তরণযুক্ত অ্যাসবেস্টস্;<br>উষ্ণতা 573K. |
| 3. সালফিউরিক অ্যাসিড শিল্পোৎপাদনের স্পর্শ পদ্ধতি।<br>$2SO_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2SO_3(g)$<br>$SO_3(g) + H_2SO_4(aq) \rightarrow H_2S_2O_7(l)$<br>ওলিয়াম<br>$H_2S_2O_7(l) + H_2O(l) \rightarrow 2H_2SO_4(aq)$ | প্লাটিনাম আস্তরণযুক্ত অ্যাসবেস্টস অথবা ভ্যানাডিয়াম পেন্টা অক্সাইড ($V_2O_5$);<br>উষ্ণতা- 673-723K. |

## বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলী

5.4 হেবার পদ্ধতিতে NiO অনুঘটকের উপস্থিতিতে মিথেনের সাথে স্টীমের বিক্রিয়ায় হাইড্রোজেন উৎপন্ন করা হয়। এই প্রক্রিয়াকে স্টীমপুনর্গঠন প্রক্রিয়া বলে। হেবার পদ্ধতিতে অ্যামোনিয়া উৎপাদনের সময় CO কে অপসারণ করা প্রয়োজন হয় কেন?

5.5 প্রারম্ভিক অবস্থায় এস্টারের আর্দ্রবিশ্লেষণ মন্থর হয় কিন্তু কিছুক্ষণ পর দ্রুততার সাথে সম্পন্ন হয়, কেন?

5.6 অনুঘটন প্রক্রিয়ায় বিশোষনের ভূমিকা কী?

## 5.3 কোলয়েড

আমরা দ্বিতীয় অধ্যায়ে জেনেছি–দ্রবণ হল সমসত্ত্ব সিস্টেম বা তন্ত্র। আমরা এও জানি, জল ও বালির মিশ্রণকে নাড়ালে একটি প্রলম্বন (suspension) তৈরী হয় যেটি সময়ের সাথে ধীরে ধীরে নীচে থিতিয়ে পড়ে। প্রলম্বন এবং প্রকৃত দ্রবণের দুটি প্রান্তসীমার মাঝে আমরা বিশাল সংখ্যক তন্ত্রের একটি শ্রেণি পাই যাকে– কোলয়ডীয় বিস্তার বা সংক্ষেপে কোলয়েড বলে।

কোলয়েড হল একটি অসমসত্ত্ব তন্ত্র যার মধ্যে একটি পদার্থ (বিস্তৃত দশা) খুবই সূক্ষ্ম কণারূপে অপর একটি পদার্থের মধ্যে বিস্তৃত থাকে, যাকে বিস্তার মাধ্যম বলে।

দ্রবণ এবং কোলয়েডের মধ্যে মূখ্য পার্থক্য হচ্ছে কণার আকার। প্রকৃত দ্রবণের ক্ষেত্রে গঠণকারী কণাগুলো আয়ন বা ক্ষুদ্রাকৃতির অণু নিয়ে গঠিত এবং কোলয়েডের ক্ষেত্রে বিস্তৃত দশাটি একটি বৃহদাণবিক কণা (যেমন প্রোটিন বা কৃত্রিম পলিমার) বা অনেকগুলো পরমাণু আয়ন বা অণুর সমন্বয়ে গঠিত হতে পারে। কোলয়েড কণাগুলো সাধারণ অণু থেকে বড়ো আকারের হলেও দ্রবণে প্রলম্বিত থাকার জন্য যথেষ্ঠ ছোট আকৃতি বিশিষ্ট হয়। কোলয়েড কণাগুলো 1 থেকে 1000 nm ($10^{-9}$m থেকে $10^{-6}$ m) ব্যাস বিশিষ্ট হয়।

কোলয়েড কণাগুলোর ছোট আকৃতির ফলস্বরূপ প্রতি একক ভরে এরা বৃহদ্ পৃষ্ঠক্ষেত্রফল বিশিষ্ট হয়। 1 cm ধার বিশিষ্ট একটি ঘনক-এর কল্পনা করো। এর পৃষ্ঠতলের মোট ক্ষেত্রফল হল 6 $cm^2$। যদি এটিকে একই ধরনের $10^{12}$ সংখ্যক ঘনক-এ বিভাজিত করা হয় তবে প্রতিটি ঘনকের আকৃতি বৃহদ্ কোলয়েড কণার মতো হবে যাদের পৃষ্ঠতলের মোট ক্ষেত্রফল হবে 60,000 $cm^2$ বা 6 $m^2$। এই বিশাল পরিমাণ পৃষ্ঠক্ষেত্রফল কোলয়েডের বিশেষ ধর্মের জন্য দায়ী, যেগুলো এই অধ্যায়ে পরবর্তী পর্যায়ে আলোচিত হবে।

## 5.4 কোলয়েডের শ্রেণিবিন্যাস

নিম্নলিখিত মানদণ্ডের ওপর নির্ভর করে কোলয়েডের শ্রেণিবিন্যাস করা হয় ঃ

(i) বিস্তৃত দশা (dispersed phase) এবং বিস্তার মাধ্যমের ভৌত অবস্থা।
(ii) বিস্তৃত দশা এবং বিস্তার মাধ্যমের মধ্যে মিথষ্ক্রিয়া প্রকৃতি।
(iii) বিস্তৃত দশার কণাগুলোর প্রকৃতি।

### 5.4.1 বিস্তৃত দশা এবং বিস্তার মাধ্যমের ভৌত অবস্থার উপর নির্ভর করে কোলয়েডের শ্রেণিবিন্যাস

বিস্তৃত দশা এবং বিস্তার মাধ্যম কঠিন, তরল, না গ্যাসীয়-এর ওপর নির্ভর করে কোলয়েডীয় তন্ত্রকে আটটি শ্রেণিতে ভাগ করা যায়। একটি গ্যাস অপর একটি গ্যাসের সঙ্গে মিশ্রিত হয়ে একটি সমসত্ত্ব মিশ্রণ তৈরী করে এবং এই কারণে এটি কোলয়েড তন্ত্র নয়। সারণি 5.4-এ প্রচলিত নাম সহ বিভিন্ন প্রকার কোলয়েডের উদাহরণ দেওয়া হয়েছে।

বহু সুপরিচিত বাণিজ্যিক পণ্য এবং প্রকৃতিজাত বস্তু কোলয়েডীয় প্রকৃতির হয়। যেমন- ফেটান ক্রিম (মাখন) এক প্রকার ফোম, যেখানে তরল বিস্তার মাধ্যমে গ্যাস বিস্তৃত অবস্থায় থাকে। উড়োজাহাজের

সারণি 5.4 ঃ বিভিন্ন ধরনের কোলয়েডীয় তন্ত্র

| বিস্তৃত দশা | বিস্তার মাধ্যম | কোলয়েডীয় তন্ত্র | উদাহরণ |
|---|---|---|---|
| কঠিন | কঠিন | কঠিন সল | কিছু রঙিন কাচ এবং রত্নপাথর |
| কঠিন | তরল | সল | রং, কোশ মধ্যস্থ তরল |
| কঠিন | গ্যাস | এরোসল | ধোঁয়া, ধূলি |
| তরল | কঠিন | জেল | পনির, জেলি |
| তরল | তরল | ইমালসন | দুধ, চুলের ক্রিম, মাখন |
| তরল | গ্যাস | এরোসল | কুয়াশা, ধূম, মেখ, কীটনাশকের স্প্রে |
| গ্যাস | কঠিন | কঠিন সল | ঝামাপাথর, ফোম রাবার |
| গ্যাস | তরল | ফোম | ফেনা, ফেটানো ক্রিম, সাবানের ফেনা |

আপাতকালীন অবতরনের সময় ব্যবহৃত অগ্নিনির্বাপক ফোমও কোলয়েডীয় তন্ত্রের অন্তর্গত। বেশিরভাগ জৈবিকতরল হল জলীয় সল (জলে বিস্তৃত কঠিন)। একটি সাধারণ কোশে উপস্থিত প্রোটিন এবং নিউক্লিক অ্যাসিড কোলয়ডীয় কণার আকারের হয় যেগুলো আয়ন এবং ক্ষুদ্র আকারের অণুর জলীয় দ্রবণে বিস্তৃত থাকে।

সারণি 5.4-এ দেওয়া বিভিন্ন প্রকারের কোলয়েডগুলোর মধ্যে সবচেয়ে অধিক প্রচলিত হল সল (তরলে কঠিন), জেল (কঠিনে তরল) এবং ইমালসন (তরলে তরল)। যদিও এই অধ্যায়ে আমরা কেবলমাত্র 'সল' এবং 'ইমালসন' নিয়ে আলোচনা করবো। আবার এও উল্লেখ করা যেতে পারে, যদি বিস্তার মাধ্যমটি জল হয়, তবে সলটিকে জলীয়সল বা হাইড্রোসল এবং যদি বিস্তার মাধ্যমটি অ্যালকোহল হয় তবে সলটিকে অ্যালকোসল বলে এবং এভাবে এগিয়ে চলে।

### 5.4.2 বিস্তৃত দশা এবং বিস্তার মাধ্যমের মধ্যে সংঘটিত মিথষ্ক্রিয়ার প্রকৃতি অনুযায়ী কোলয়েডের শ্রেণিবিন্যাস

বিস্তৃত দশা এবং বিস্তার মাধ্যমের মধ্যে সংঘটিত মিথষ্ক্রিয়ার প্রকৃতির ওপর নির্ভর করে কোলয়েডীয় সলগুলোকে দুটি শ্রেণিতে ভাগ করা হয়, এগুলো হল দ্রাবক আকর্ষী (লায়োফিলিক) এবং দ্রাবক-বিকর্ষী (লায়োফোবিক) কোলয়েড। যদি বিস্তার মাধ্যম হিসেবে জল ব্যবহৃত হয় তবে যথাক্রমে জলাকর্ষী (হাইড্রোফিলিক) এবং জলবিকর্ষী (হাইড্রোফোবিক) পরিভাষা ব্যবহার করা হয়।

(i) *দ্রাবক-আকর্ষী কোলয়েড বা লায়োফিলিক কোলয়েড ঃ* 'লায়োফিলিক' শব্দটির অর্থ হলো তরল-আকর্ষী, আঠা, জিলাটিন, স্টার্চ, রাবার ইত্যাদি বস্তুকে উপযুক্ত তরলে (বিস্তার মাধ্যম) সরাসরি মিশ্রিত করে যে কোলয়ডীয় সল প্রস্তুত করা হয় তাকে দ্রাবক আকর্ষী সল বা লায়োফিলিক সল বলে। এই সলগুলোর একটি উল্লেখযোগ্য বৈশিষ্ট হল– যদি বিস্তার মাধ্যমকে বিস্তৃত দশা থেকে পৃথক করা হয় (ধর বাষ্পায়নের সাহায্য) তবে বিস্তার মাধ্যমের সঙ্গে মিশ্রিত করে সলটিকে পুনরায় তৈরি করা যায়। এই কারণে এই সলগুলোকে পরাবর্ত সলও (**reversible sols**) বলা হয়। অধিকন্তু, এই সলগুলো খুবই স্থায়ী প্রকৃতির হয় এবং সহজে এদের তঞ্চিত করা যায় না। এই বিষয়ে পরে আলোচনা করা হয়েছে।

(ii) *দ্রাবক-বিকর্ষী বা লায়োফোবিক কোলয়েড ঃ* লায়োফোবিক শব্দটির অর্থ হলো তরল-বিকর্ষী। ধাতু এবং ধাতব সালফাইড ইত্যাদির ন্যায় পদার্থগুলোকে যখন সরাসরি বিস্তার মাধ্যমের সঙ্গে মিশ্রিত করা হয়, এরা কোলয়ডীয় সল গঠন করে না। কেবলমাত্র বিশেষ কৌশলের সাহায্যে (পরে আলোচিত হয়েছে) এদের কোলয়ডীয় সল প্রস্তুত করা যায়। এই ধরনের সলগুলোকে দ্রাবক-বিকর্ষী সল বলে। সামান্য পরিমাণ তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য যোগ করে, তাপ প্রয়োগ করে বা ঝাঁকিয়ে এই সলগুলোকে সহজে অধঃক্ষিপ্ত (বা তঞ্চিত) করা যায় বলে এরা স্থায়ী প্রকৃতির হয় না। আবার একবার অধঃক্ষিপ্ত হলে, কেবলমাত্র বিস্তার মাধ্যম যোগ করে এদের পুনরায় কোলয়ডীয় সলে পরিনত করা যায় না। এজন্য এই সলগুলোকে অপরাবর্ত সল (**irreversible sols**) বলা হয়। দ্রাবক-বিকর্ষী সলকে সংরক্ষিত করার জন্য সংরক্ষকের (stabilising agents) প্রয়োজন হয়।

### 5.4.3 বিস্তৃত দশার কণার প্রকৃতির উপর নির্ভর করে কোলয়েডের শ্রেণিবিন্যাস– বহু অণুসমন্বিত, বৃহদাণবিক এবং সংযোজিত কোলয়েড

বিস্তৃত দশার কণার প্রকৃতির উপর নির্ভর করে কোলয়েডকে বহু অণুসমন্বিত, বৃহদাণবিক এবং সংযোজিত কোলয়েড রূপে শ্রেণিবিন্যাস করা হয়।

(i) *বহু অণুসমন্বিত কোলয়েড ঃ* দ্রবীভবনে কোন পদার্থের বহুসংখ্যক পরমাণু বা ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র অণুর একত্রীভবনের ফলে কোলয়ডীয় আকৃতি বিশিষ্ট (1–1000 nm) এক প্রকার কণা গঠিত হয়। এই প্রকার কণাকে বহু অণুসমন্বিত কোলয়েড বলে। উদাহরণস্বরূপ একটি গোল্ড সলে বহু পরমাণু সমন্বিত বিভিন্ন আকারের কণা থাকতে পারে। সালফার সলে এক হাজার বা তারও বেশী সংখ্যক $S_8$-সালফার অণু সমন্বিত কণা থাকে।

(ii) *বৃহদাণবিক কোলয়েড ঃ* উপযুক্ত দ্রাবকে বৃহৎঅণু (পঞ্চদশ অধ্যায়) গুলো এমন দ্রবণ গঠণ করতে পারে যেখানে বৃহৎঅণুর আকৃতি কোলয়েড সীমার মধ্যে থাকে। এই ধরনের তন্ত্রকে বৃহদাণবিক

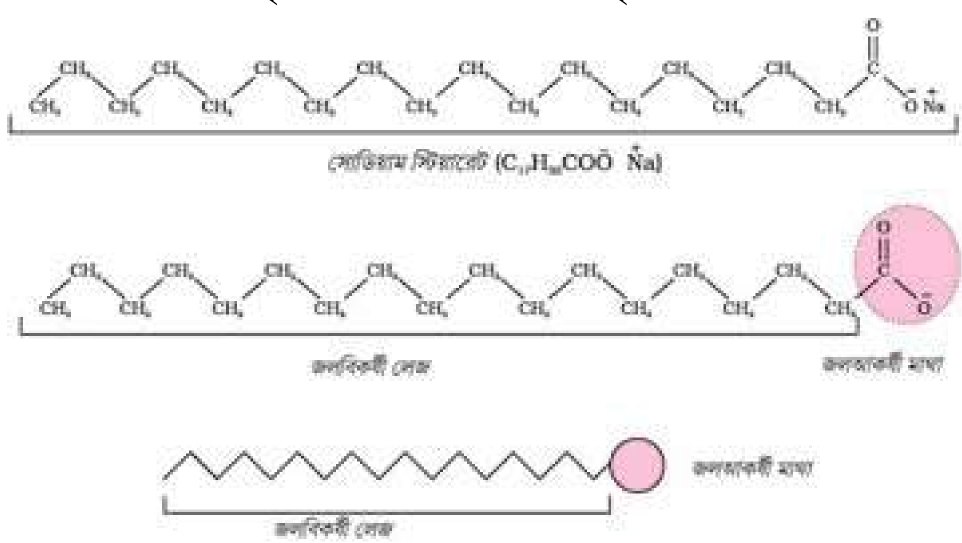
কোলয়েড বলে। এই কোলয়েডগুলো খুবই স্থায়ী প্রকৃতির হয় এবং অনেকক্ষেত্রে প্রকৃত দ্রবণের অনুরূপ হয়। প্রকৃতিতে পাওয়া যায় এমন বৃহদাণবিক কোলয়েডের উদাহরণ হল স্টার্চ, সেলুলোজ, প্রোটিন ও এনজাইম (অনুঘটক); মনুষ্য নির্মিত বৃহদাণবিক অণুর উদাহরণ হল–পলিইথিলিন, নাইলন, পরিস্টাইরিন, কৃত্রিম রাবার ইত্যাদি।

(iii) *সংযোজিত কোলয়েড (মাইসেলি) ঃ* কিছু পদার্থ আছে যারা নিম্নগাঢ়ত্বে সাধারণভাবে তীব্র তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য হিসেবে আচরণ করে কিন্তু উচ্চ গাঢ়ত্বে জোটবদ্ধ হওয়ার ফলে কোলয়ডীয় ধর্ম প্রদর্শণ করে। এই জোট বদ্ধ কণাগুলোকে মাইসেলি বলে। এগুলো সংযোজিত কোলয়েড রূপেও পরিচিত। মাইসেলি গঠন প্রক্রিয়াটি কেবলমাত্র একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতার উর্ধ্বে ঘটে, যাকে ক্র্যাফ্‌ট উষ্ণতা ($T_k$) বলে। আবার এটি একটি নির্দিষ্ট গাঢ়ত্বের উর্ধ্বে ঘটে যাকে সংকট মিসেলীকরণ গাঢ়ত্ব **[critical micelle concentration (CMC)]** বলে। লঘুকরণের ফলে এই কোলয়েডগুলো স্বতন্ত্র আয়নরূপে প্রত্যাবর্তন করে। পৃষ্ঠতল সক্রিয় পদার্থ যেমন সাবান এবং কৃত্রিম ডিটারজেন্ট এই শ্রেণিভুক্ত। সাবানের ক্ষেত্রে **CMC** এর মান $10^{-4}$ থেকে $10^{-3}$ মোল লিটার $^{-1}$। এই কোলয়েডগুলোর গঠনে দ্রাবক–আকর্ষী এবং দ্রাবক–বিকর্ষী উভয় অংশই থাকে প্রতিটি মাইসেলিতে 100 বা তারও বেশী সংখ্যক অণু থাকতে পারে।

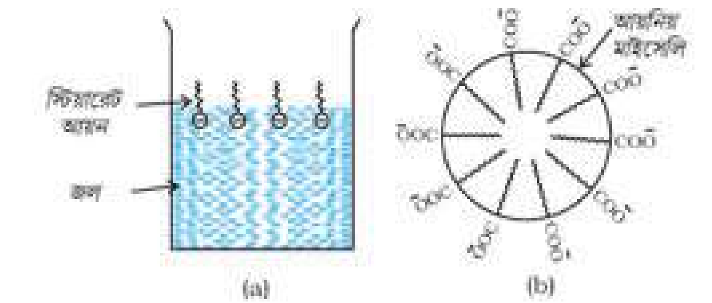
*মাইসেলি গঠনের ক্রিয়াকৌশল*

চলো আমরা সাবানের দ্রবণকে উদাহরণ হিসেবে নিই। সাবান হল উচ্চ আণবিক গুরুত্ব বিশিষ্ট ফ্যাটি অ্যাসিডের সোডিয়াম বা পটাশিয়াম ঘটিত লবণ যাকে $RCOO^-Na^+$ রূপে [উদাহরণ- সোডিয়াম স্টিয়ারেট $CH_3(CH_2)_{16}COO^-Na^+$, যেটি বিভিন্ন ধরনের টুকরো সাবানের (bar soaps) মূল উপাদান] প্রকাশ করা যেতে পারে। যখন এটিকে জলে দ্রবীভূত করা হয়, এটি $RCOO^-$ এবং $Na^+$ আয়নে বিয়োজিত হয়। $RCOO^-$ আয়নটিতে আবার দুটি অংশ থাকে– একটি লম্বা হাইড্রোকার্বন শৃঙ্খল R (যাকে অধ্রুবীয় 'লেজ' বলা হয়) যেটি হাইড্রোফোবিক (জল বিকর্ষী) প্রকৃতির হয় এবং অপর অংশটি হল ধ্রুবীয় $COO^-$ (যাকে ধ্রুবীয় আয়নিয় মস্তক বলা হয়), যেটি হাইড্রোফিলিক (জল আকর্ষী) প্রকৃতির হয়।

পৃষ্ঠতলে অবস্থিত $RCOO^-$ আয়নগুলোর $COO^-$ অংশটি জলের দিকে এবং হাইড্রোকার্বন শৃঙ্খল R, জলের বিপরীতে সজ্জিত হয়ে পৃষ্ঠতলে অবস্থান করে। কিন্তু সংকট মিসেলীকরণ গাঢ়ত্বে অ্যানায়নগুলো দ্রবণের ভেতরের দিকে আকৃষ্ট হয় এবং জোটবদ্ধ হয়ে গোলকাকৃতি গঠন লাভ করে যেখানে তাদের




*চিত্র 5.5 ঃ স্টিয়ারেট আয়নের জল বিকর্ষী এবং জল আকর্ষী অংশ*



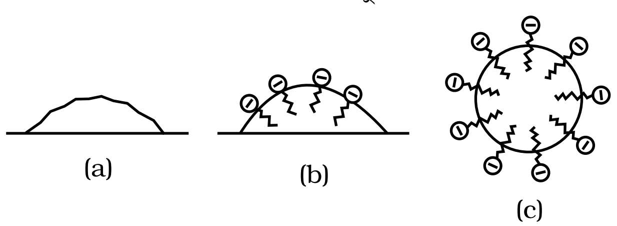

*চিত্র 5.6: (a) সাবানের নিম্ন গাঢ়ত্বের জলের পৃষ্ঠতলে স্টিয়ারেট আয়নগুলোর সজ্জা।*
*(b) সাবানের সংকট মাইসেলিকরণ গাঢ়ত্বে জলের অভ্যন্তরে (আয়নিয় মাইসেলি) স্টিয়ারেট আয়নগুলোর সজ্জা।*

হাইড্রোকার্বন শৃঙ্খলটি গোলকের কেন্দ্রের দিকে অভিমুখ করে থাকে এবং $COO^-$ অংশটি গোলকের পৃষ্ঠ তলের দিকে অভিমুখ করে থাকে। এভাবে গঠিত জোটবদ্ধ সজ্জাকে আয়নিয় মাইসেলি বলে। মাইসেলিগুলোর প্রতিটিতে 100 সংখ্যক এই রকম আয়ন থাকতে পারে।

একইভাবে, ডিটারজেন্টের ক্ষেত্রে, উদাঃ, সোডিয়াম লরাইল সালফেট, $CH_3(CH_2)_{11}SO_4^-Na^+$-এ ধ্রুবীয় মাথাটি হল-$SO_4^-$এবং অধ্রুবীয় লেজটি হল লম্বা হাইড্রোকার্বন শৃঙ্খল। এইজন্য মাইসেলি গঠনের ক্রিয়া কৌশলটি এই ক্ষেত্রেও সাবানের মতোই।

*সাবানের পরিষ্কারক ক্রিয়া*

পূর্বেই উল্লেখ করা হয়েছে যে মিসেলে একটি কেন্দ্রীয় অংশ থাকে যেটি জল বিকর্ষী হাইড্রোকার্বন প্রান্তগুলো নিয়ে গঠিত। সাবানের পরিষ্কারক কার্যটির কারণ হল- সাবান অণুগুলো তৈলবিন্দুর চারপাশে এমনভাবে মাইসেলি গঠণ করে যেখানে স্টিয়ারেট আয়নের জল বিকষী অংশটি তৈলবিন্দুতে থাকে আর জলআকর্ষী প্রান্তটি তৈলবিন্দু থেকে বাইরের দিকে লোমের মতো (চিত্র 5.7) বেরিয়ে থাকে। যেহেতু ধ্রুবীয় গ্রুপটির সঙ্গে জলের মিথোষ্ক্রিয়া ঘটে সেইজন্য স্টিয়ারেট আয়ন দ্বারা ঘেরা তৈল বিন্দু টান খেয়ে ময়লা পৃষ্ঠ থেকে বেরিয়ে জলে চলে আসে এইভাবে সাবান ইমালসান গঠনে সাহায্য করে ও তেল এবং চর্বিকে ধুয়ে বের করে দেয়। গোলকগুলোর চারদিকে ঋণাত্মক আধানগ্রস্থ শীষগুলোর উপস্থিতির জন্য এরা জোটবদ্ধ হতে পারে না।




*চিত্র 5.7: (a) কাপড়ে গ্রীজ/তেল (b) গ্রীজ বিন্দুর চারপাশে স্টিয়ারেট আয়নের সজ্জা গঠন এবং (c) স্টিয়ারেট আয়ন দ্বারা ঘেরা গ্রীজ বিন্দু (মাইসেলি গঠন)*

### 5.4.4 কোলয়েডের প্রস্তুতি

কোলয়েড প্রস্তুতির কিছু উল্লেখযোগ্য পদ্ধতি নীচে দেওয়া হল ঃ

*(a) রাসায়নিক পদ্ধতি*

কোলয়েডীয় দ্রবণ দ্বি-বিনিময় বা দ্বি-বিয়োজন (double decomposition), জারণ, বিজারণ বা আর্দ্রবিশ্লেষণ ইত্যাদি রাসায়নিক বিক্রিয়ার সাহায্যে তৈরী করা যায়। এগুলোর সাহায্যে নতুন অণু তৈরী হয়। এই অণুগুলো জোট বন্ধ হয়ে সল গঠন করে।

$$As_2O_3 + 3H_2S \xrightarrow{\text{দ্বি-বিনিময়/দ্বি-বিয়োজন}} As_2S_3(sol) + 3H_2O$$

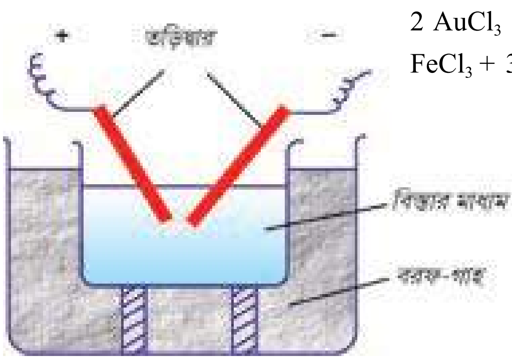
$$SO_2 + 2H_2S \xrightarrow{\text{জারণ}} 3S(sol) + 2H_2O$$

$$2\ AuCl_3 + 3\ HCHO + 3H_2O \xrightarrow{\text{বিজারণ}} 2Au(sol) + 3HCOOH + 6HCl$$

$$FeCl_3 + 3H_2O \xrightarrow{\text{আর্দ্র বিশ্লেষণ}} Fe(OH)_3\ (sol) + 3HCl$$

*(b) বৈদ্যুতিক বিভাজন বা ব্রেডিগের আর্ক পদ্ধতি*

এই পদ্ধতিতে বিভাজনের সাথে সাথে ঘনীভবন প্রক্রিয়াটিও সংঘটিত হয়। সোনা, রূপা, প্ল্যাটিনাম ইত্যাদি ধাতুর কোলয়েডীয় সল এই পদ্ধতিতে তৈরী করা যায়। এই পদ্ধতিতে বিস্তার মাধ্যমে আংশিক নিমজ্জিত ধাতব তড়িদ্বার দুটির মধ্যে বিদ্যুৎ স্ফুলিঙ্গের সৃষ্টি করা হয় (চিত্র 5.8)। এর ফলস্বরূপ যে অত্যাধিক পরিমাণে তাপ উৎপন্ন হয় তা ধাতব বাষ্প তৈরী করে যা ঠাণ্ডা জলে ঘনীভূত হয়ে কোলয়ডীয় আকৃতির কণা উৎপন্ন করে।




*চিত্র 5.8 ঃ ব্রেডিগের আর্ক পদ্ধতি*

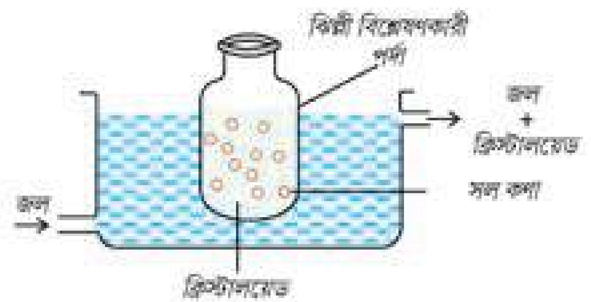
### (c) *পেপটাইজেশন (Peptization)*

যে পদ্ধতিতে কোনো অধঃক্ষেপকে কোলয়েডীয় সলে পরিনত করার জন্য বিস্তার মাধ্যমে সামান্য পরিমাণ তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য যোগ করে ঝাঁকানো হয় তাকে অপলয়ন (পেপটাইজেশন) বলে। এই উদ্দেশ্যে ব্যবহৃত তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যকে পেপটাইজিং এজেন্ট বা অপলয়ক বলে। এই পদ্ধতিটি সাধারণত সদ্য প্রস্তুত অধঃক্ষেপকে কোলডীয় সলে পরিনত করতে ব্যবহার করা হয়।

অপলয়ন কালে, অধঃক্ষেপটি তড়িৎবিশ্লেষ্য থেকে একটি আয়নকে নিজের পৃষ্ঠতলে অধিশোষিত করে। এর ফলে অধঃক্ষেপটিতে ধনাত্মক বা ঋণাত্মক আধানের সৃষ্টি হয়, যেটি শেষ পর্যন্ত ভেঙ্গে গিয়ে কোলয়েডীয় আকৃতির বিশিষ্ট অপেক্ষাকৃত ছোট আকারের কণা গঠন করে। তুমি 5.4.6 অনুচ্ছেদে 'কোলয়ডীয় কণাতে আধানের উপস্থিতি' -এই শিরোনামের অধীনে -কঠিন কণাতে আধানের উৎপত্তি এবং তাদের বিভাজন সম্পর্কিত ঘটনাগুলো সম্পর্কে জানতে পারবে।

### 5.4.5 কোলয়েড দ্রবণের বিশুদ্ধিকরণ

যখন কোলয়েড দ্রবণ প্রস্তুত করা হয় তখন এর মধ্যে সাধারণত অত্যাধিক পরিমাণ তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য এবং অন্যান্য দ্রবণীয় অশুদ্ধি উপস্থিত থাকে। সামান্য পরিমাণ তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যের উপস্থিতি কোলয়ডীয় দ্রবণের স্থায়িত্বের জন্য খুবই প্রয়োজনীয় কিন্তু অত্যাধিক পরিমাণে তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যের উপস্থিতি এক তঞ্চিত করে। সেইজন্য এই ধরনের দ্রবণীয় অশুদ্ধিগুলোকে সর্বনিম্ন প্রয়োজনীয় গাঢ়ত্বে কমিয়ে আনা প্রয়োজন। অশুদ্ধিগুলোকে সর্বনিম্ন প্রয়োজনীয় গাঢ়ত্বে কমিয়ে আনার জন্য যে পদ্ধতি ব্যবহার করা হয় যেটি কোলয়েডীয় দ্রবণের বিশুদ্ধিকরণ পদ্ধতি হিসেবে পরিচিত। কোলয়েডীয় দ্রবণের বিশুদ্ধিকরণ নিম্নে বর্ণিত পদ্ধতিগুলির সাহায্যে সম্পন্ন করা হয় ঃ




*চিত্র 5.9 ঃ* ডায়ালিসিস

(i) *ডায়ালিসিস ঃ* এই পদ্ধতিতে একটি উপযুক্ত ঝিল্লীর ভিতর দিয়ে ব্যাপন ক্রিয়ার মাধ্যমে কোলয়েড দ্রবণে দ্রবীভূত পদার্থকে অপসারণ করা হয়। যেহেতু প্রকৃত দ্রবণের কণাগুলো (আয়ন বা ক্ষুদ্রতর অণুসমূহ) প্রাণীজ ঝিল্লী (ব্লাডার) বা পার্চমেন্ট কাগজ বা সেলোফোন চাদর ইত্যাদির মধ্য দিয়ে পার হয়ে যেতে পারে কিন্তু কোলয়েড কণাগুলো পারে না সেজন্য এই ঝিল্লীগুলোকে ঝিল্লী বিশ্লেষণের জন্য ব্যবহার করা যেতে পারে। এ কাজে ব্যবহৃত যন্ত্রটিকে ডায়ালাইজার (**dialyser**) বলে। উপযুক্ত ঝিল্লী দিয়ে তৈরী ব্যাগের মধ্যে কোলয়ডীয় দ্রবণ নিয়ে একে একটি পাত্রে ভিতর ঝুলানো হয় যার মধ্য দিয়ে বিশুদ্ধ জলের অবিরাম প্রবাহ ঘটতে থাকে (চিত্র 5.9) ক্ষুদ্র অণু এবং আয়নগুলো ঝিল্লীর মধ্য দিয়ে ব্যাপিত হয়ে বাইরে প্রবাহিত জলে চলে আসে এবং বিশুদ্ধ কোলয়ডীয় দ্রবণটি ঝিল্লী দ্বারা নির্মিত ব্যাগে থেকে যায়।

(ii) *তড়িৎ-ঝিল্লী বিশ্লেষণ ঃ* সাধারণত ঝিল্লী বিশ্লেষণ (ডায়ালিসিস) প্রক্রিয়াটি খুবই মন্থর। যদি অবিশুদ্ধ কোলয়ডীয় দ্রবণে দ্রবীভূত পদার্থটি কেবলমাত্র তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য প্রকৃতির হয় তবে তড়িৎ ক্ষেত্র প্রয়োগ করে এই প্রক্রিয়াটিকে আরো দ্রুত করা যায়। এই প্রক্রিয়াটিকে তখন তড়িৎ-ঝিল্লী বিশ্লেষণ বলে। উপযুক্ত ঝিল্লী দিয়ে নির্মিত একটি ব্যাগে কোলয়ডীয় দ্রবণ নেওয়া হয় এবং বাইরের দিকে বিশুদ্ধ জল নেওয়া হয়। চিত্র 5.10 অনুসারে ইলেকট্রোডগুলোকে প্রকোষ্ঠে লাগানো হয়। কোলয়ডীয় দ্রবণে উপস্থিত আয়নগুলো বিপরীত আধানে আহিত ইলেকট্রোডের দিকে ধাবিত হয়।

*চিত্র 5.10 ঃ তড়িৎ-ঝিল্লী বিশ্লেষণ*

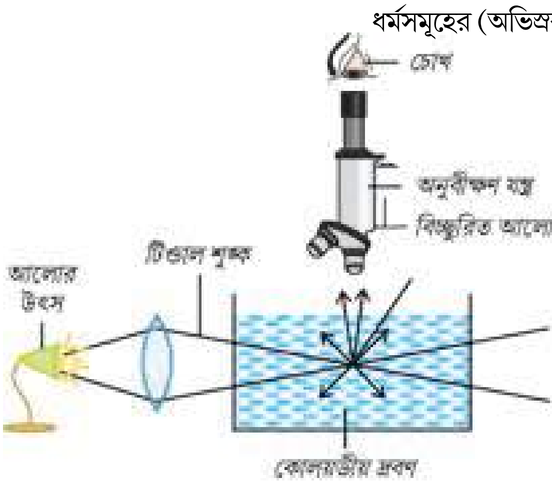
(iii) *অতিসূক্ষ্ম পরিস্রাবন ঃ* অতিসূক্ষ্ম পরিস্রাবন হল বিশেষভাবে নির্মিত পরিস্রাবকের সাহায্যে কোলয়ডীয় দ্রবণ থেকে কোলয়েড কণাগুলোকে দ্রাবক এবং দ্রবণীয় দ্রাব থেকে পৃথক করার পদ্ধতি। এই পরিস্রাবকগুলো কোলয়ডীয় কণা ব্যতীত সকল পদার্থের জন্য ভেদ্য। কোলয়ডীয় কণাগুলো সাধারণ ফিল্টার কাগজের মধ্য দিয়ে বেরিয়ে যেতে পারে কারণ ফিল্টার কাগজের ছিদ্রগুলো বড় আকারের থাকে। কিন্তু ফিল্টার কাগজের ছিদ্রগুলোকে আঠালো রাসায়নিক পদার্থের দ্রবণ ব্যবহার করে ছোট আকারের পরিণত করা যায় যাতে

কোলয়েড কণাগুলো এর মধ্যে দিয়ে বেড়িয়ে যেতে না পারে। গতানুগতিক ব্যবহৃত আঠালো রাসায়নিক দ্রবণটি হল অ্যালকোহল এবং ইথারের মিশ্রণে নাইট্রো -সেলুলোজের 4% দ্রবণ। একটি সাধারণ ফিল্টার কাগজকে আঠালো রাসায়নিক দ্রবণে (কোলয়ডীয়ন) ভিজিয়ে, ফরম্যালডিহাইড দ্বারা শক্ত করে, শেষে শুকিয়ে নিয়ে অতিসূক্ষ্ম পরিস্রাবক কাগজে পরিনত করা যায়। এভাবে প্রাপ্ত অতিসূক্ষ্ম পরিস্রাবক কাগজকে ব্যবহার করে অন্যান্য পদার্থ থেকে কোলয়ডীয় কণাগুলোকে পৃথক করা যায়। অতিসূক্ষ্ম পরিস্রাবন একটি মন্থর প্রক্রিয়া। প্রক্রিয়াটিকে তরান্বিত করার জন্য চাপ বা চোষনবল (suction) প্রয়োগ করা হয়। অতিসূক্ষ্ম পরিস্রাবকে পড়ে থাকা কোলয়ডীয় কণাগুলোকে নূতন বিস্তার মাধ্যমে (দ্রাবক) নিয়ে নাড়িয়ে বিশুদ্ধ কোলয়ডীয় দ্রবণ তৈরী করা হয়।

### 5.4.6 কোলয়ডীয় দ্রবণের ধর্ম

কোলয়ডীয় দ্রবণের বিভিন্ন ধর্মগুলো নীচে আলোচনা করা হয়েছে ঃ

(i) *সংখ্যাগত ধর্ম ঃ* কোলয়ডীয় কণাগুলো পুঞ্জীভূত বা জোটবদ্ধ অবস্থায় থাকে বলে কোলয়ডীয় দ্রবণে কণাসংখ্যা প্রকৃত দ্রবণ অপেক্ষা কম হয়। সেই কারণে কোলয়ডীয় দ্রবণের ক্ষেত্রে সংখ্যাগত ধর্মসমূহের (অভিস্রবণ চাপ, বাষ্পচাপের অবনমন, হিমাঙ্কের অবনমন এবং স্ফুটনাঙ্কের উন্নয়ন) মান একই গাঢ়ত্বের প্রকৃত দ্রবণের সংখ্যাগত ধর্মের মান থেকে নিম্নমানের হয়।




*চিত্র 5.11 ঃ টিণ্ডাল প্রভাব*

(ii) *টিণ্ডাল প্রভাব ঃ* যদি অন্ধকারে রাখা একটি সমসত্ত্ব দ্রবণকে আলোর গতিপথ অনুযায়ী পর্যবেক্ষণ করা হয় তবে এটিকে স্বচ্ছ দেখায় কিন্তু যদি আলোর গতিপথের সঙ্গে লম্বভাবে অবস্থান করে পর্যবেক্ষণ করা হয় তখন এটিকে সম্পূর্ণভাবে অন্ধকারময় দেখায়। একইভাবে যদি কোলয়েডীয় দ্রবণকে পর্যবেক্ষণ করা হয় তবে প্রেরিত আলোতেএটিকে অনেকটা পরিষ্কার বা সদচ্ছ (translucent) দেখায় কিন্তু আলোর গতিপথের সঙ্গে লম্বভাবে অবস্থান করে পর্যবেক্ষণ করলে এটি হাল্কা থেকে গাঢ় উপলবৎ বর্ণময়তা প্রর্দশণ করে অর্থাৎ আলোর গতিপথ নীল আলোকে দীপ্ত হয়। এই প্রভাবটি সর্বপ্রথম পর্যবেক্ষণ করেন ফ্যারাডে এবং পরবর্তী সময়ে টিণ্ডাল এই ঘটনাটির উপর বিস্তৃত গবেষণা চালান এবং এটিকে টিণ্ডাল প্রভাব বলে। আলোর উজ্জ্বল শঙ্কুটিকে টিণ্ডাল শঙ্কু (চিত্র 5.11) বলে। টিণ্ডাল প্রভাবের কারণ হল -কোলয়েড কণাগুলো কোন স্থানের সবদিকে আলো বিচ্ছুরিত করে। কোলয়ডীয় বিস্তৃততন্ত্রে আলোর এই বিচ্ছুরণ, আলোর গতিপথকে আলোকিত করে।

সিনেমা হলে ছবির প্রক্ষেপনের (projection) সময় ঐস্থানে উপস্থিত ধূলিকণা এবং ধোয়ার কণা দ্বারা আলোর বিচ্ছুরণের জন্য টিণ্ডাল প্রভাব লক্ষ্য করা যায়। নীচে দেওয়া দুটি শর্ত পূর্ণ হলেই কেবলমাত্র টিণ্ডাল প্রভাব পর্যবেক্ষণ করা যায়।

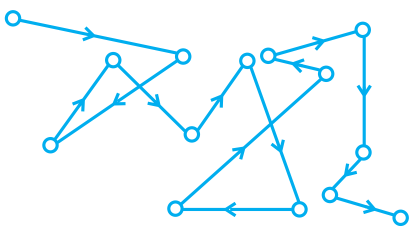
(i) বিস্তৃত দশার কণাগুলোর ব্যাস ব্যবহৃত আলোর তরঙ্গ দৈর্ঘ্য অপেক্ষা বেশী ক্ষুদ্র হওয়া বাঞ্ছনীয় নয়।

(ii) বিস্তৃত দশা এবং বিস্তার মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের পার্থক্য অনেক বেশী হওয়া বাঞ্ছনীয়।

প্রকৃত দ্রবণ এবং কোলয়ডীয় দ্রবণের মধ্যে পার্থক্য করতে টিণ্ডাল প্রভাব প্রয়োগ করা হয়। জিগমাণ্ডি (Zsigmondy) 1903 সালে টিণ্ডাল প্রভাবকে কাজে লাগিয়ে একটি যন্ত্র আবিষ্কার করেন, যেটি পুরাণুবীক্ষণ যন্ত্র (Ultramicroscope) নামে পরিচিত। একটি কাঁচের পাত্রে রক্ষিত কোলয়ডীয় দ্রবণের ওপর অতি উজ্জ্বল একটি আলোকরশ্মি ফোকাস করা হয়। আলোর গতিপথের সঙ্গে লম্বভাবে একটি অনুবীক্ষণ যন্ত্র রেখে এই ফোকাস স্থানটিকে পর্যবেক্ষণ করা হয়। অন্ধকারময় পটভূমিতে প্রত্যেকটি কোলয়েড কণাকে উজ্জ্বল তারার মতো দেখায় পুরানুবীক্ষণ যন্ত্র প্রকৃত কোলয়েড কণাগুলোকে দেখায় না কেবলমাত্র কোলয়েড কণাগুলো দ্বারা বিচ্ছুরিত আলোককে দেখায়। এই কারণে পুরাণুবীক্ষণ যন্ত্র কোলয়ডীয় কণার আকার এবং আকৃতির বিষয়ে কোনোও তথ্য প্রকাশ করে না।

(iii) বর্ণ ঃ বিস্তৃত দশার কণাগুলোর দ্বারা বিচ্ছুরিত আলোর তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের ওপর কোলয়েড দ্রবণের বর্ণ নির্ভর করে। আবার এই বিচ্ছুরিত আলোর তরঙ্গ দৈর্ঘ্য কোলয়েড কণার আকার ও প্রকৃতির

ওপর নির্ভর করে। একজন পর্যবেক্ষক কোন্ বর্ণের আলো অবলোকন করবেন তা নির্ভর করে কোলয়েড দ্রবণ থেকে আগত কোন ধরনের আলোকে উনি পর্যবেক্ষণ করছেন তার ওপর। উদাহরণস্বরূপ, দুধ এবং জলের মিশ্রণকে, আগত প্রতিফলিত আলোক রশ্মি দ্বারা পর্যবেক্ষণ করলে নীল এবং বিচ্ছুরিত আলোকরশ্মি দ্বারা পর্যবেক্ষণ করলে লাল দেখায়। প্রকৃত গোল্ড সলের বর্ণ লাল, কিন্তু কণাগুলো আকার বৃদ্ধির সাথে এটি নীলাভ বেগুনী, তারপর নীল এবং শেষ পর্যন্ত সোনালী বর্ণের হয়।



*চিত্র 5.12 ঃ ব্রাউনীয় গতি*

(iv) *ব্রাউনীয় গতি ঃ* যখন কোলয়ডীয় দ্রবণকে একটি উচ্চ ক্ষমতা সম্পন্ন পুরাণুবীক্ষণ (Ultramicroscope) যন্ত্রে পর্যবেক্ষণ করা হয়, তখন কোলয়েডীয় কণাগুলিকে বিরামহীনভাবে ইতস্তত (zig-zag) ছুটে বেড়াতে দেখা যায়। ব্রিটিশ উদ্ভিদ বিজ্ঞানী রবার্ট ব্রাউন এই ধরনের গতিকে সর্বপ্রথম পর্যবেক্ষণ করেন। উনার নামানুসারে এটি ব্রাউনীয় গতি (চিত্র 5.12) হিসাবে পরিচিত। এই গতি কোলয়েড দ্রবণের প্রকৃতির ওপর নির্ভর করে না কিন্তু কোলয়েড কণার আকার এবং দ্রবণের সান্দ্রতার ওপর নির্ভর করে। আকার যত ছোট হবে এবং সান্দ্রতা যত কম হবে, এই গতি তত দ্রুত হবে।

কোলয়েড কণার সঙ্গে বিস্তার মাধ্যমের কণাগুলোর অসম সংঘাতের ফলে ব্রাউনীয় গতির সৃষ্টি হয়। ব্রাউনীয় গতির একটি মন্থন প্রভাব (stirring effect) আছে যা কণাগুলোকে থিতিয়ে পড়তে বাধা দেয় এবং এই কারণে এটি সলকে স্থায়িত্ব প্রদাণ করে।

(v) *কোলয়েড কণাতে তড়িৎ-আধান ঃ* কোলয়েড কণাগুলো সবসময় তড়িৎ-আধান বহন করে। একটি কোলয়েড দ্রবণের সব কণাতে এই আধানের প্রকৃতি একই রকম হয় এবং এটি হয় ধনাত্মক বা ঋণাত্মক। কোলয়েড কণার ওপর আধানের প্রকৃতি সহ কিছু সাধারণ সল এর তালিকা নীচে দেওয়া হল ঃ

| ধনাত্মক আধানগ্রস্থ সল | ঋণাত্মক আধানগ্রস্থ সল |
|---|---|
| আর্দ্র ধাতব অক্সাইড, উদাহরণ $Al_2O_3.xH_2O$, $CrO_3.xH_2O$ এবং $Fe_2O_3.xH_2O$ ইত্যাদি। | ধাতু উদাহরণ কপার, সিলভার, গোল্ড এর সল। |
| ক্ষারীয় রঞ্জক সমূহ যেমন- মিথিলিন ব্লু সল। | ধাতব সালফাইড, যেমন, $As_2S_3$, $Sb_2S_3$, CdS সল। |
| হিমোগ্লোবিন (রক্ত)। | আম্লিক রঞ্জকসমূহ যেমন, ইওসিন, কঙ্গোরেড সল। |
| অক্সাইড যেমন $TiO_2$ সল। | স্টার্চ, আঠা, জিলেটিন, কাদামাটি, চারকোল ইত্যাদির সল। |

কোলয়েড কণাগুলোতে সমান এবং একই ধরনের আধানের উপস্থিতি কোলয়েড দ্রবণের স্থায়িত্বের জন্য দায়ী, কারণ এই প্রকারের আধানগ্রস্থ কণাগুলোর মধ্যে বিকর্ষণ বল কণাগুলোকে কাছাকাছি এসে সমবেত হতে বা জোটবদ্ধ হতে বাধা দেয়।

সল কণাগুলোতে আধানের উৎপত্তির জন্য এক বা একাধিক কারণ দায়ী থাকতে পারে, যেমন- ধাতুর তড়িৎবিক্ষেপের (electrodispersion) সময় সল কণাগুলোর দ্বারা ইলেকট্রন গ্রহণের ফলে বিস্তার মাধ্যম থেকে কোনো আয়নকে বরণাত্মকভাবে অধিশোষন করার ফলে এবং/বা তড়িৎ-আহিত দ্বিস্তর গঠনের ফলে। বরণাত্মকভাবে আধানের অধিশোষনের ফলে সল কণাগুলোতে আধানের উৎপত্তি নিম্নে বর্ণনা করা হল।

ধণাত্মক বা ঋণাত্মক আয়নের বরণাত্মকভাবে অধিশোষনের মাধ্যমে সল কণাগুলো ধনাত্মক বা ঋণাত্মক আধানগ্রস্থ হয়। যখন বিস্তৃত দশায় দুই বা ততোধিক ভিন্ন ধরনের আয়ন উপস্থিত থাকে,

যে আয়নটি কোলয়ডীয় কণার অনুরূপ হয় সেই আয়নটির বরণাত্মক অধিশোষন ঘটে। নীচের উদাহরণের মাধ্যমে এটি ব্যাখ্যা করা যেতে পারে ঃ

(a) যখন পটাশিয়াম আয়োডাইডের অতি লঘু দ্রবণে সিলভার নাইট্রেটের অতিলঘু দ্রবণ যোগ করা হয়, তখন অধঃক্ষিপ্ত সিলভার আয়োডাইড বিস্তার মাধ্যম থেকে আয়োডাইড আয়নকে অধিশোষিত করে এবং ফলস্বরূপ ঋণাত্মক আধানগ্রস্থ কোলয়ডীয় সল গঠিত হয়। কিন্তু যদি $AgNO_3$ এর অতিলঘু দ্রবণে, KI এর অতি লঘু দ্রবণ যোগ করা হয়, বিস্তার মাধ্যম থেকে $Ag^+$ আয়নের অধিশোষনের ফলে ধনাত্মক আধান বিশিষ্ট্য কোলয়ডীয় সল গঠিত হয়।

$AgI/I^-$ ঋণাত্মক আধানগ্রস্থ $\qquad$ $AgI/Ag^+$ ধনাত্মক আধানগ্রস্থ

(b) যদি গরম জলে (বেশী পরিমাণ) $FeCl_3$ যোগ করা হয় তখন $Fe^{3+}$ আয়নের অধিশোষনের ফলে ধনাত্মক আধান বিশিষ্ট্য জলযোজিত ফেরিক অক্সাইডের কোলয়ডীয় সল গঠিত হয়। কিন্তু যদি ফেরিক ক্লোরাইডকে NaOH দ্রবণে যোগ করা হয় তবে $OH^-$ আয়নের অধিশোষনের ফলে ঋণাত্মক আধানগ্রস্থ কোলয়ডীয় সল পাওয়া যায়।

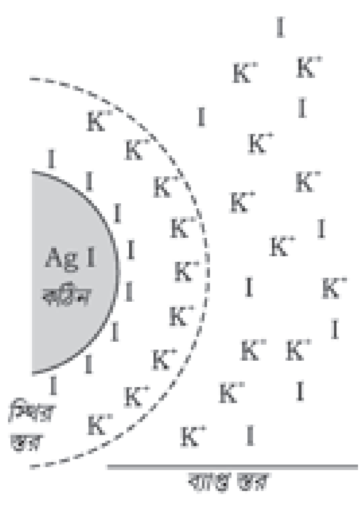
$Fe_2O_3.xH_2O/Fe^{3+}$ ধনাত্মক আধানগ্রস্থ $\qquad$ $Fe_2O_3.xH_2O/OH^-$ ধনাত্মক আধানগ্রস্থ

উপরের বর্ণনা অনুযায়ী কোলয়েড কণাগুলোর পৃষ্ঠতলে বরণাত্মক অধিশোষনের মাধ্যমে ধনাত্মক বা ঋণাত্মক আধানগ্রস্থ স্তর গঠিত হওয়ার পর এই স্তরটি মাধ্যম থেকে বিপরীত আধানগ্রস্থ কণা আকর্ষণ করে দ্বিতীয় একটি স্তর গঠন করে, যেটি নীচে দেখানো হয়েছে।

$AgI/I^- K^+$ $\qquad$ $AgI/Ag^+I^-$

কোলয়েড কণার চারপাশে বিপরীত আধানগ্রস্থ দুটি স্তরকে একসাথে হেলমহোলৎজ তড়িৎ দ্বিস্তর (Helmholtz electrical double layer) বলে। আধুনিক মতঅনুযায়ী আয়নের প্রথম স্তরটি দৃঢ়তা পূর্বক বাঁধা থাকে এবং এটিকে স্থির স্তর বলে। যেখানে দ্বিতীয় স্তরটি গতিশীল থাকে যাকে ব্যাপ্ত স্তর বলে। 5.13 নং চিত্রটিতে দ্বিস্তর গঠন প্রক্রিয়াটি দেখানো হয়েছে। যেহেতু আধানের পৃথকীকরণের ফলে বিভব পার্থক্য সৃষ্টি হয়, ঠিক একইভাবে দ্বিস্তরের স্থির স্তর এবং ব্যাপ্ত স্তরের বিপরীত ধর্মী আধানগুলোর মধ্যেও কেপাসিটরের বা তড়িৎ-ধারকের মতো বিভব পার্থক্য সৃষ্টি হয়। স্থির স্তর এবং ব্যাপ্ত স্তরের বিপরীত ধর্মী আধানের মধ্যে সৃষ্ট এই বিভব পার্থক্যকে বিদ্যুৎগতীয় বিভব বা জিটা পোটেনশিয়াল বলে।

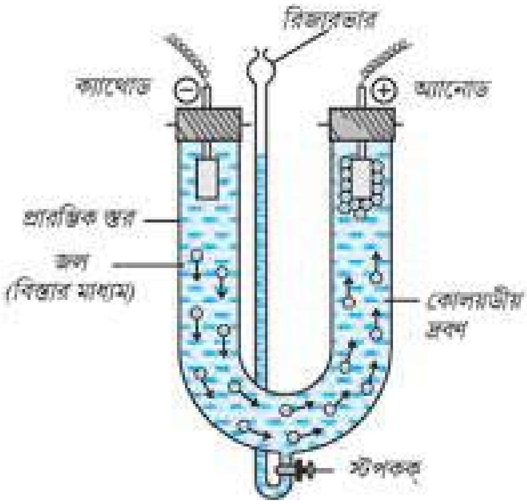
যদি অদ্রাব্য (অধঃক্ষেপ) দুটি কণাতে কোন দ্বিস্তর না থাকে তবে এরা পরস্পরের কাছাকাছি আসতে পারে এবং ভেনডার ওয়াল আকর্ষণ বল এদের টেনে জোটবদ্ধ করতে পারে। চিত্র 5.13 এর মত যদি কণাগুলোতে দ্বিস্তর থাকে তবে এর সামগ্রিক প্রভাবে কণাগুলো পরস্পরকে বিকর্ষণ করে দূরে সরিয়ে দেয়। এই বিকর্ষণ কণাগুলোকে পরস্পরের নিকটে আসতে বাঁধা দেয়। এরা মাধ্যমে বিস্তৃত অবস্থায় থাকে এবং কোলয়েডটি স্থায়িত্ব লাভ করে।




*চিত্র 5.13 ঃ দ্বিস্তর গঠন*

কোলয়েডীয় সলে তড়িৎবিশ্লেষ্য যোগ করলে ব্যাপ্ত দ্বি-স্তরের ওপর চাপ সৃষ্টি হয় এবং এটি সংকুচিত হয়। এর ফলে জিটা পোটেনশিয়ালের মানও হ্রাস পায়। ফলস্বরূপ কোলয়ডীয় কণাগুলোর স্থির তাড়িতিক বিকর্ষণ বল বহুলাংশে হ্রাস পায় এবং কোলয়েড অধঃক্ষিপ্ত হয়। এই কারণে কোলয়েডগুলো বিপরীতধর্মী আধানগ্রস্থ আয়নের প্রতি বিশেষভাবে সংবেদনশীল।

(vi) *তড়িৎসঞ্চলন ঃ* তড়িৎ সঞ্চলন পরীক্ষার সাহায্যে কোলয়েডীয় কণাগুলোতে আধানের উপস্থিতি নিশ্চিত করা যায়। কোলয়ডীয় দ্রবণে আংশিক নিমজ্জিত দুটি প্ল্যাটিনাম তড়িৎদ্বারের মধ্যে তড়িৎ বিভব প্রয়োগ করা হলে, কোলয়ডীয় কণাগুলো কোনো একটি নির্দিষ্ট তড়িৎদ্বারের দিকে (ক্যাথোড বা অ্যানোড) গমন করে। তড়িৎক্ষেত্রে প্রভাবে কোলয়েড কণার কোনো একটি নির্দিষ্ট তড়িৎদ্বারের দিকে গমন করাকে তড়িৎ-সঞ্চলণ বা ইলেকট্রোফোরেসিস্ বলে। ধনাত্মক আধানগ্রস্থ কণাগুলো




*চিত্র 5.14 ঃ তড়িৎ সঞ্চলন*

ক্যাথোডের দিকে আর ঋণাত্মক আধানগ্রস্থ কণাগুলো অ্যানোডের দিকে গমন করে। নীচের পরীক্ষামূলক ব্যবস্থার মাধ্যমে এটি প্রদর্শণ করা যেতে পারে (চিত্র 5.14)।

যদি তড়িৎ সঞ্চলণ অর্থাৎ কণার গতিকে কোনো উপায়ে বন্ধ করে দেওয়া যায়, তাহলে দেখা যায় যে, বিস্তার মাধ্যমটি নিজেই তড়িৎক্ষেত্রের প্রভাবে গমন করতে শুরু করে। এই ঘটনাটিকে তড়িৎ-অভিস্রবণ বা ইলেকট্রো অস্‌মোসিস (**electroosmosis**) বলে।

(vii) *অঞ্জন বা অধঃক্ষেপন ঃ* কোলয়ডীয় কণাসমূহে আধানের উপস্থিতির কারণে দ্রাবকবিকর্ষী সল স্থায়িত্ব লাভ করে। যদি কোনো উপায়ে এই আধান অপসারিত করা হয়, তবে কোলয়ডীয় কণাগুলো পরস্পরের নিকটে এসে জোট গঠন করে (বা জমে যায়) এবং অভিকর্ষ বলের প্রভাবে থিতিয়ে পরে।

**কোলয়ডীয় কণার থিতিয়ে পরার প্রক্রিয়াকে সল এর তঞ্চল বা অধঃক্ষেপণ বলে।**

দ্রাবক বিকর্ষী সলের তঞ্চন নিম্নলিখিত উপায়ে ঘটানো যেতে পারে ঃ

(i) *তড়িৎ সঞ্চলনের সাহায্যে ঃ* কোলয়ডীয় কণাগুলো বিপরীত আধানগ্রস্থ তড়িৎদ্বারের দিকে গমন করে, আধানযুক্ত হয় এবং থিতিয়ে পড়ে।

(ii) *বিপরীতধর্মী আধান বিশিষ্ট্য দুটি সলের মিশ্রণের সাহায্যে ঃ* বিপরীত আধান বিশিষ্ট্য দুটি সলকে সমান অনুপাতে মিশ্রিত করলে, এরা পরস্পরের আধানকে প্রশমিত করে এবং আংশিকরূপে বা সম্পূর্ণরূপে অধঃক্ষিপ্ত হয়। জল যোজিত ফেরিক অক্সাইড (ধনাত্মক সল) এবং আর্সেনিয়াস সালফাইড (ঋণাত্মক সল) মিশ্রিত করলে এরা পরস্পরকে অধঃক্ষিপ্ত করে। এই ধরনের তঞ্চনকে পারস্পরিক তঞ্চন বলে।

(iii) *স্ফুটনের সাহায্যে ঃ* যখন সলকে ফোটানো হয়, বিস্তার মাধ্যমের কণাগুলোর সঙ্গে সল কণাগুলোর সংঘর্ষের বৃদ্ধির ফলে অধিশোষিত স্তরটির স্থায়িত্ব বিঘ্নিত হয়। এর ফলস্বরূপ কণাগুলোর আধান হ্রাস পায় এবং শেষ পর্যন্ত অধঃক্ষেপরূপে কণাগুলো থিতিয়ে পড়ে।

(iv) *দীর্ঘমেয়াদী ঝিল্লী বিশ্লেষণের সাহায্যে ঃ* দীর্ঘ সময় ধরে ঝিল্লী বিশ্লেষণ করলে, সলে উপস্থিত অতি সামান্য পরিমাণ তড়িৎবিশ্লেষ্যও প্রায় সম্পূর্ণরূপে অপসারিত হয় এবং কোলয়েডটি অস্থায়ী হয়ে শেষ পর্যন্ত তঞ্চিত হয়।

(v) *তড়িৎবিশ্লেষ্য যোগ করে ঃ* যখন কোলয়ডীয় দ্রবণে অতিরিক্ত পরিমাণ কোনো তড়িৎবিশ্লেষ্য যোগ করা হয়, কোলয়ডীয় কণাগুলো অধঃক্ষিপ্ত হয়। এর কারণ হলো কোলয়েড কণাগুলো তাদের নিজস্ব আধানের বিপরীতধর্মী আধানের সাথে মিথোষ্ক্রিয়া করে। এর ফলে আধানের প্রমশন ঘটে এবং কোলয়েড কণার তঞ্চন ঘটে। যে আয়নটির জন্য কোলয়ডীয় কণাতে উপস্থিত আধানের প্রশমন ঘটে তাকে তঞ্চনকারী আয়ন বলে। ঋণাত্মক আধানগ্রস্থ আয়ন ধনাত্মক আধানগ্রস্থ সলের তঞ্চন ঘটায় এবং বিপরীতভাবেও এটি সত্য।

লক্ষ্য করা গেছে, সাধারণত তঞ্চনকারী আয়নটির যোজ্যতা যত বেশী হবে তঞ্চনের ক্ষমতাও তত বেশী হবে। এটি হার্ডি-শূলজে নিয়ম নামে পরিচিত। ঋণাত্মক আধানগ্রস্থ সলকে তঞ্চিত করতে তঞ্চন ক্ষমতার ক্রম নীচে দেওয়া হল ঃ $Al^{3+} > Ba^{2+} > Na^{+}$

একইভাবে ধনাত্মক আধানগ্রস্থ সলের তঞ্চনে তঞ্চন ক্ষমতার ক্রমটি নিম্নরূপ ঃ

$$[Fe(CN)_6]^{4-} > PO_4^{3-} > SO_4^{2-} > Cl^-$$

2 ঘন্টার মধ্যে কোনো সলকে তঞ্চিত করতে মিলিমোল/লিটার এককে যে নূন্যতম পরিমাণ তড়িৎবিশ্লেষ্যের প্রয়োজন হয় তাকে ঐ তড়িৎবিশ্লেষ্যের তঞ্চনমান বলে। তড়িৎবিশ্লেষ্যটি যত কম পরিমাণে প্রয়োজন হবে, এর তঞ্চন ক্ষমতাও তত বেশী হবে।

*দ্রাবক-আকর্ষী কোলয়েডের তঞ্চন*

দ্রাবক-আকর্ষী সলের স্থায়িত্বের জন্য দুটি কারণ দায়ী। এগুলো হল কোলয়ডীয় কণার তড়িদাধান এবং দ্রাবক সংযোজন ক্ষমতা। যখন এই দুটো কারণকে অপসারিত করা হয়, তখনই কোনো দ্রাবক-আকর্ষী কোলয়েডকে তঞ্চিত করা যায়। এটি (i) তড়িৎবিশ্লেষ্য পদার্থ যোগ করে এবং (ii) একটি উপযুক্ত দ্রাবক নিরুদক পদার্থ যোগ করে সম্পন্ন করা যায়। যখন অ্যালকোহল ও অ্যাসিটোনের মতো দ্রাবককে দ্রাবক-আকর্ষী সল যোগ করা হয়, তখন বিস্তৃত দশার নিরুদন (dehydration) ঘটে। এই অবস্থায় সামান্য পরিমাণ উপযুক্ত তড়িৎবিশ্লেষ্য যোগ করলে বিস্তৃত দশার তঞ্চন ঘটতে পারে।

*কোলয়েডের সংরক্ষণ*

দ্রাবক-বিকর্ষী কোলয়েড অপেক্ষা দ্রাবক-আকর্ষী কোলয়েড অধিক সুস্থিত। এর কারণ হল দ্রাবক-আকর্ষী কোলয়েডগুলো ব্যাপকভাবে দ্রাবক সংযোজিত (solvated) অবস্থায় থাকে অর্থাৎ কোলয়েড কণাগুলো যে তরল মাধ্যমে বিস্তৃত থাকে সেই তরলের একটি আস্তরণ দ্বারা চতুর্দিক থেকে আবৃত থাকে।

দ্রাবণ বিকর্ষী কোলয়েডের সংরক্ষণের ক্ষেত্রে দ্রাবক আকর্ষী কোলয়েডের একটি বিশিষ্ট বৈশিষ্ট্য রয়েছে। যখন একটি দ্রাবক-আকর্ষী কোলয়েডকে দ্রাবক-বিকর্ষী কোলয়েডে মেশানো হয় তখন দ্রাবক আকর্ষী কোলয়েডের কণাগুলো দ্রাবক-বিকর্ষী সলের কণাগুলোর চারপাশে একটি আবরণ তৈরী করে এবং এইভাবে দ্রাবক বিকর্ষী কোলয়েড কণাগুলোকে তড়িৎবিশ্লেষ্যের সংস্পর্শ থেকে রক্ষা করে। এই উদ্দেশ্যে ব্যবহৃত দ্রাবক-আকর্ষী কোলয়েডকে সংরক্ষক (protective) কোলয়েড বলে।

## 5.5 ইমালসন

এগুলো হল তরল-তরল কোলয়ডীয় তন্ত্র অর্থাৎ একটি তরল পদার্থের মধ্যে অ-মিশ্রনীয় অপর একটি তরল পদার্থ ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র বিন্দু আকারে বিস্তৃত থাকে। যদি দুটি অমিশ্রণীয় বা আংশিক মিশ্রণীয় দুটি তরলের মিশ্রণকে ঝাঁকানো হয়, তখন একটি তরল অপর তরলের মধ্যে অপরিষ্কারভাবে বিস্তার লাভ করে যাকে ইমালসন বলে। সাধারনত দুটি তরল পদার্থের মধ্যে একটি তরল পদার্থ জল হয়। ইমালসন দুই প্রকারের হয়–

*চিত্র 5.14 ঃ ইমালসনের প্রকারভেদ*

(i) জলে-তেল জাতীয় (O/W) এবং

(ii) তেলে-জল জাতীয় (W/O)।

প্রথম সিস্টেমে (তন্ত্রে) জল বিস্তার মাধ্যম হিসাবে কাজ করে। এই ধরনের ইমালসনের উদাহরণ হল দুধ এবং ভেনিশিং ক্রিম। দুধের ক্ষেত্রে তরল চর্বি, জলের বিস্তার মাধ্যমে বিস্তৃত থাকে। দ্বিতীয় তন্ত্রে, তেল বিস্তার মাধ্যম হিসাবে কাজ করে। এই ধরনের তন্ত্রের সুপরিচিত উদাহরণ হল মাখন (butter) এবং ক্রিম (cream)।

জলে তেলের ইমালসন অস্থায়ী প্রকতির হয় এবং অনেক সময় স্থির অবস্থায় রেখে দিলে দুটি পৃথক স্তরে আলাদা হয়ে যায়। ইমালসনকে সুস্থিত করার জন্য একটি তৃতীয় উপাদান যোগ করা হয়, যাকে ইমালসন কারক (emulsifying agent) বলে। ইমালসন কারকটি মাধ্যম এবং প্রলম্বিত কণাগুলোর মধ্যে একটি আন্তঃপৃষ্ঠীয় স্তর গঠন করে। তেল/জল (O/W) জাতীয় ইমালসনের ক্ষেত্রে মুখ্য ইমালসন-কারকগুলো হল প্রোটিন, আঠা (gums), প্রাকৃতিক এবং কৃত্রিম সাবান ইত্যাদি। আর জল/তেল (W/O) জাতীয় ইমালসনের ক্ষেত্রে মুখ্য ইসালসন কারকগুলো হল ফ্যাটি অ্যাসিডের ভারী ধাতুর লবণ, দীর্ঘশৃঙ্খলযুক্ত অ্যালকোহল, ভূসা-কালি ইত্যাদি।

ইমালসনকে যেকোনো পরিমাণ বিস্তার মাধ্যম যোগ করে লঘু করা যায়। অপরদিকে বিস্তৃত দশা যোগ করলে এটি একটি পৃথক স্তর গঠন করে। ইমালসনের ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র বিন্দুগুলো প্রায়ই ঋণাত্মক আধানগ্রস্থ থাকে এবং তড়িৎবিশ্লেষ্য যোগ করে অধঃক্ষিপ্ত করা যায়। এগুলো ব্রাউনীয় গতি এবং টিণ্ডাল প্রভাব প্রদর্শণ করে। ইমালসনকে গরম করে, ঠাণ্ডা করে বা সেন্ট্রিফিউজ করে এর উপাদান তরলগুলোকে পৃথক করা যায়।

## 5.6 আমাদের চারপাশের কোলয়েডসমূহ

আমরা প্রাত্যহিক জীবনে যে সমস্ত বস্তুর সংস্পর্শে আসি এদের বেশিরভাগই হল কোলয়েড। আমরা যে খাদ্য গ্রহণ করি, যে পোশাক পরিধান করি, কাঠের আসবাবপত্র যেগুলো আমরা ব্যবহার করি, গৃহ যার মধ্যে আমরা বাস করি, পত্রিকা যা আমরা পড়ি — বেশীরভাগ জিনিষই কোলয়েড দ্বারা গঠিত থাকে।

কোলয়েডের কিছু মজাদার এবং উল্লেখযোগ্য উদাহরণ নীচে দেওয়া হলো ঃ

(i) *আকাশের নীল বর্ণ ঃ* বাতাসের প্রলম্বিত জলযুক্ত ধূলিকণা নীল আলো বিচ্ছুরিত করে যেগুলো আমাদের চোখে পৌঁছায় এবং আকাশ নীল বর্ণের মনে হয়।

(ii) কুয়াশা (*Fog*), ধূম (*mist*) এবং বৃষ্টি (*rain*) ঃ যখন ধূলিকণা যুক্ত বিশাল পরিমাণ বায়ু এর শিশিরাঙ্কের (dewpoint) নীচে শীতল হয়, তখন বায়ুর জলীয়বাষ্প এই কণাগুলোর পৃষ্ঠতলে ঘণীভূত হয়ে সূক্ষ্ম জলবিন্দু গঠন করে। এই জলবিন্দুগুলো কোলয়ডীয় প্রকৃতির হওয়াতে বায়ুতে কুয়াশা বা ধূম (*mist*) হিসাবে ভেসে বেড়ায়। মেঘ হল একপ্রকার এরোসল, যেটি বায়ুতে প্রলম্বিত ছোট ছোট জল কণা নিয়ে গঠিত। ওপরে বায়ুমণ্ডলে ঘণীভবনের ফলে, জলের কোলয়ডীয় বিন্দুগুলো আকারে বড়ো হতে থাকে যতক্ষণ না পর্যন্ত এরা বৃষ্টিরূপে নীচে নেমে আসে। অনেক সময় বিপরীত ধর্মী আধানে আহিত দুটি মেঘের মিলনেও বৃষ্টিপাত হয়।

এরোপ্লেন থেকে তড়িৎ-আহিত বালি ছিটিয়ে বা মেঘে উপস্থিত আধানের বিপরীতধর্মী আধান বিশিষ্ট্য সল স্প্রে করে কৃত্রিম বৃষ্টিপাত ঘটানো সম্ভব।

(iii) *খাদ্য-সামগ্রী ঃ* দুধ, মাখন, হালুয়া, আইসক্রীম, ফলেররস ইত্যাদি সবগুলোই কোনো না কোনো প্রকারের কোলয়েড।

(iv) *রক্ত ঃ* রক্ত অ্যালবুমিনয়েড জাতীয় পদার্থের একপ্রকার কোলয়ডীয় দ্রবণ। ফিট্‌কিরি এবং ফেরিক ক্লোরাইড দ্রবণের রক্ত স্রাবরোধী কার্যটি মূলত রক্ত তঞ্চনের মাধ্যমে রক্তের জমাট বাধার কারণে ঘটে। যেটি পরবর্তী পর্যায়ে রক্তক্ষরণে বাধা দেয়।

(v) *মাটি ঃ* উর্বর মাটি কোলয়ডীয় প্রকৃতির হয় যার মধ্যে হিউমাস (humus) সংরক্ষক কোলয়েড রূপে কাজ করে। কোলয়ডীয় প্রকৃতির জন্য, মাটি জলীয়বাষ্প এবং পরিপোষক জাতীয় পদার্থ শোষন করে।

(vi) *ব-দ্বীপ গঠন ঃ* নদীর জল কাঁদামাটির একটি কোলয়ডীয় দ্রবণ। সমুদ্র জলে বিভিন্ন ধরনের তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য থাকে। যখন নদীর জল সমুদ্রের জলের সঙ্গে মিশ্রিত হয়, সমুদ্রতলে উপস্থিত তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যগুলো কাঁদামাটির কোলয়ডীয় দ্রবণকে তঞ্চিত করে, যেগুলি জমা হতে হতে ব-দ্বীপ সৃষ্টি করে।

*কোলয়েডের প্রয়োগ*

শিল্প কারখানাতে কোলয়েড ব্যাপকভাবে ব্যবহৃত হয়। নীচে এর কিছু উদাহরণ দেওয়া হল ঃ

(i) *ধোঁয়ার বৈদ্যুতিক অধঃক্ষেপন ঃ* ধোঁয়া হল বায়ুতে কার্বন, আর্সেনিক যৌগ, ধূলি ইত্যাদির কঠিন কণার একটি কোলয়ডীয় দ্রবণ। চিমনি থেকে বেরিয়ে যাওয়ার পূর্বে ধোয়াকে একটি প্রকোষ্ঠের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত করা হয় যেখানে ধোঁয়া কণাগুলির আধানের বিপরীত আধানে আহিত পাত থাকে। ধোঁয়ার কণাগুলো এই পাতগুলোর সংস্পর্শে এসে আধান মুক্ত হয়ে অধঃক্ষিপ্ত হয়। এইভাবে কণাগুলো প্রকোষ্ঠের মেঝেতে থিতিয়ে পড়ে। এই অধঃক্ষেপককে কটরেল (Cottrell) অধঃক্ষেপক বলে (চিত্র 5.15)।

*চিত্র 5.15 ঃ কটরেল ধোঁয়া অধঃক্ষেপক*

(ii) *পানীয় জলের বিশুদ্ধিকরণ ঃ* প্রাকৃতিক উৎস থেকে প্রাপ্ত জলে অনেকসময় অশুদ্ধি প্রলম্বিত থাকে। এই ধরনের জলে ফটকিরি যোগ করা হয় যাতে প্রলম্বিত অশুদ্ধিগুলি তঞ্চিত হয় এবং জলকে পানের যোগ্য করা যায়।

(iii) *ঔষধ ঃ* অধিকাংশ ঔষধই কোলয়ডীয় প্রকৃতির হয়। উদাহরণস্বরূপ, চোখের লোশন রূপে ব্যবহৃত আরজিরল (argyrol) এক প্রকারের সিলভার সল। কালাজ্বর আরোগ্যকরণে কোলয়ডীয় অ্যান্টিমনি ব্যবহৃত হয়। কোলয়ডীয় গোল্ড অন্তঃপেশীয় ইনজেকশানে ব্যবহৃত হয়। মিল্ক অব ম্যাগনেশিয়া নামক ইমালসন পেটের রোগের নিরাময়ে ব্যবহার করা হয়। কোলয়ডীয় প্রকৃতির ঔষধ-অধিক কার্যকরী হয় কারণ এদের পৃষ্ঠক্ষেত্রফল বেশী এবং এই কারণে এরা সহজে শোষিত হয়।

(iv) *ট্যানিং ঃ* পশুর চামড়া কোলয়েড প্রকৃতির হয়। চামড়ার মধ্যে ধনাত্মক আধান বিশিষ্ট কণা থাকে। যখন এই চামড়াকে ঋণাত্মক আধান বিশিষ্ট কোলয়ডীয় কণা পূর্ণ কষে (tannin) ভেজানো হয় তখন পারস্পরিক তঞ্চন প্রক্রিয়া সংঘটিত হয়। এর ফলে চামড়া শক্ত হয়। এই প্রক্রিয়াকে ট্যানিং বলে। কষের পরিবর্তে ক্রোমিয়মের লবণও ব্যবহার করা হয়।

(v) *সাবান এবং ডিটারজেন্ট পরিষ্কারক ক্রিয়া ঃ* এই বিষয়টি 5.4.3 নং অনুচ্ছেদে আগেই আলোচিত হয়েছে।

(vi) *ফোটোগ্রাফিক প্লেট এবং ফিল্ম ঃ* কাঁচের প্লেট বা সেলুলয়েড ফিল্মের ওপর আলোক সক্রিয় সিলভার ব্রোমাইড জিলেটিনের ইমালসনের প্রলেপ দিয়ে ফটোগ্রাফিক প্লেট এবং ফিল্ম তৈরী করা হয়।

(vii) *রাবার শিল্প ঃ* রাবার গাছের কষ হচ্ছে ঋণাত্মক আধানে আহিত রাবার কণার একটি কোলয়ডীয় দ্রবণ। রাবার গাছের কষের তঞ্চন ঘটিয়ে রাবার পাওয়া যায়।

(viii) *শিল্পজাত দ্রব্য ঃ* রং, কালি, কৃত্রিম প্লাস্টিক, রাবার, গ্রাফাইট লুব্রিকেন্ট, সিমেন্ট ইত্যাদি সবগুলোই কোলয়ডীয় দ্রবণ।

## বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলি

**5.7** হার্ডি-শূলজে নিয়মটিতে তুমি কি পরিবর্তন প্রস্তাব করবে?

**5.8** পরিমাণগত পরিমাপের পূর্বে অধঃক্ষেপকে জল দ্বারা ধৌত করা প্রয়োজনীয় কেন?

## সারাংশ

অধিশোষন হল এমন একটি ঘটনা যাতে কোনো কঠিনের পৃষ্ঠতলে অপর কোনো অণুগুলো আকর্ষিত হয়ে সংযুক্ত থাকে এবং যার ফলস্বরূপ কঠিনের পৃষ্ঠতলে অণুর গাঢ়ত্ব স্থূল (bulk) দশা থেকে বেশী হয়। যে পদার্থটি অধিশোষিত হয় তাকে অধিশোষিত পদার্থ এবং যে পদার্থের পৃষ্ঠতলে অধিশোষন ঘটে তাকে অধিশোষক বলে। ভৌত অধিশোষনে পদার্থের অণুগুলো অধিশোষক পৃষ্ঠতলে দুর্বল ভেনডার ওয়াল বলের মাধ্যমে সংযুক্ত থাকে এবং রাসায়নিক অধিশোষনে অধিশোষিত পদার্থ অধিশোষকের পৃষ্ঠতলে শক্তিশালী রাসায়নিক বন্ধন দ্বারা আবদ্ধ থাকে। প্রায় সকল কঠিন পদার্থই গ্যাস অধিশোষন করে। কঠিন পদার্থে কোন গ্যাস কি পরিমাণ অধিশোষিত হবে যেটি নির্ভর করে গ্যাসের প্রকৃতি, কঠিণ পদার্থের প্রকৃতি, কঠিন পদার্থের পৃষ্ঠতলের ক্ষেত্রফল, গ্যাসের চাপ এবং উষ্ণতার উপর স্থির উষ্ণতার অধিশোষনের পরিমাণ ($x$/m) এবং গ্যাসের চাপের মধ্যে সম্পর্ককে অধিশোষন সমতাপীয় বলে।

অনুঘটক হচ্ছে এমন পদার্থ যেটি রাসায়নিক বিক্রিয়ার গতিবেগ বৃদ্ধি করে কিন্তু বিক্রিয়া শেষে নিজের ভর ও রাসায়নিক সংযুতি অপরিবর্তিত রাখে। অনুঘটক ব্যবহার করে বেগবৃদ্ধি করার এই ঘটনাকে অনুঘটক বলে। সমসত্ত্ব অনুঘটনে অনুঘটক ও বিক্রিয়ক একই ভৌত দশায় উপস্থিত থাকে এবং অসমসত্ত্ব অনুঘটনে অনুঘটক ও বিক্রিয়ক ভিন্ন ভৌত দশায় উপস্থিত থাকে।

কোলয়ডীয় দ্রবণ হল প্রকৃত দ্রবণ এবং প্রলম্বণের মধ্যবর্তী অবস্থা। কোলয়ডীয় কণার আকৃতি 1 থেকে 1000 nm সীমার মধ্যে থাকে। একটি কোলয়ডীয় তন্ত্র দুটি দশা নিয়ে গঠিত–বিস্তৃত দশা এবং বিস্তার মাধ্যম। কোলয়ডীয় তন্ত্রকে (i) বিস্তৃত দশা এবং বিস্তার মাধ্যমের ভৌত অবস্থা (ii) বিস্তৃত দশা এবং বিস্তার মাধ্যমের মধ্যে মিথোষ্ক্রিয়ার প্রকৃতি (iii) বিস্তৃত দশার কণাগুলোর প্রকৃতি ইত্যাদি অনুসারে তিনভাগে ভাগ করা হয়। কোলয়ডীয় তন্ত্র আলোকীয়, যান্ত্রিক এবং বৈদুতিক ধর্ম প্রদর্শণ করে যা খুবই মজাদার। উপযুক্ত তড়িৎবিশ্লেষ্য যোগ করে কোনো সলে উপস্থিত কোলয়ডীয় কণাগুলোকে অদ্রাব্য অধঃক্ষেপে রূপান্তরিত করার প্রক্রিয়াকে তঞ্চন বলে। ইমালসন হল এমন কোলয়ডীয় তন্ত্র যেখানে বিস্তৃত দশা এবং বিস্তার মাধ্যম উভয়ই তরল। এটি (i) জলে তেল জাতীয় এবং (ii) তেলে জল জাতীয় হতে পারে ইমালসন গঠন করার প্রক্রিয়াকে ইমালসিফেকেশন বলে। ইমালসনকে সুস্থায়ী করার জন্য ইসালসন কারক বা ইমালসিফায়ার যোগ করা হয়। সাবান এবং ডিটারজেন্ট হচ্ছে সব থেকে বেশী ব্যবহৃত ইমালসন কারক। শিল্পে এবং প্রাত্যহিক জীবনে কোলয়েডের বিভিন্ন ধরনের প্রয়োগ রয়েছে।

# অনুশীলনী

**5.1** অধিশোষন (adsorption) এবং শোষন (absorption) এই দুটি পদকে আক্ষরিক দিক থেকে পার্থক্য করো এবং প্রত্যেকটির একটি করে উদাহরণ দাও।

**5.2** ভৌত অধিশোষন (physisorption) এবং রাসায়নিক অধিশোষনের (chemisorption) মধ্যে কী পার্থক্য বর্তমান?

**5.3** সূক্ষ্মভাবে বিভাজিত পদার্থ অধিশোষনে অধিক কার্যকরী হয় কেন ব্যাখ্যা করো।

**5.4** কোনো কঠিন পদার্থে গ্যাসের অধিশোষনকে প্রভাবিত করে এমন বিষয়গুলো কি কি?

**5.5** অধিশোষন সমতাপীয় লেখ বলতে কি বুঝ? ফ্রয়েন্ডলিশের অধিশোষন সমতাপীয় ব্যাখ্যা করো।

**5.6** অধিশোষনের সক্রিয়করণ বলতে তুমি কী বুঝ? এটি কীভাবে সম্পন্ন করা হয়?

**5.7** অসমসত্ত্ব অনুঘটনের ক্ষেত্রে অধিশোষনের ভূমিকা কী?

**5.8** অধিশোষন সর্বদা তাপ উৎপাদক হয় কেন?

**5.9** বিস্তৃত দশা এবং বিস্তার মাধ্যমের ভৌত অবস্থার ওপর নির্ভর করে কোলয়ডীয় দ্রবণকে কীভাবে শ্রেণিবিন্যাস করা হয়?

**5.10** কঠিনে গ্যাসের অধিশোষনের উপর চাপ এবং উষ্ণতার প্রভাব আলোচনা করো।

**5.11** দ্রাবক-আকর্ষী এবং দ্রাবক-বিকর্ষী সল বলতে কি বুঝ? প্রত্যেকটির একটি করে উদাহরণ দাও। জলবিকর্ষী সল সহজে তঞ্চিত হয় কেন?

**5.12** বহু অণুসম্বন্ধিত এবং বৃহদাণবিক কোলয়ডের মধ্যে কী পার্থক্য বর্তমান? প্রত্যেকটির একটি করে উদাহরণ দাও। সংযোজিত কোলয়েড এই দুই প্রকার কোলয়েড থেকে ভিন্ন কেন?

**5.13** এনজাইম কী? এনজাইম অনুঘটকের ক্রিয়াকৌশল সংক্ষেপে লেখো।

**5.14** কোলয়েডকে—

(i) উপাদানের ভৌত অবস্থা

(ii) বিস্তৃত দশার প্রকৃতি এবং

(iii) বিস্তৃত দশা এবং বিস্তার মাধ্যমের মধ্যে মিথোষ্ক্রিয়া ইত্যাদির ওপর নির্ভর করে কীভাবে শ্রেণিভুক্ত করা হয়?

**5.15** নিম্নলিখিত ঘটনাগুলোর ক্ষেত্রে কী পরিলক্ষিত হয় ব্যাখ্যা করো।

(i) যখন কোলয়ডীয় সলের মধ্য দিয়ে আলোর কিরণ অতিক্রম করে।

(ii) NaCl তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যটি জলযোজিত ফেরিক অক্সাইড সলে যোগ করা হয়।

(iii) কোন কোলয়ডীয় সলের মধ্যে দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ পাঠানো হয়।

**5.16** ইসালসন কী? এর ভিন্ন ভিন্ন প্রকারগুলো কী কী? প্রত্যেক প্রকারের একটি করে উদাহরণ দাও।

**5.17** ইসালসন কারক কীভাবে ইমালসনকে স্থায়ীত্ব প্রদান করে? দুটি ইমালসন কারকের উদাহরণ দাও।

**5.18** ইমালসন এবং মাইসেলি গঠনের জন্যই সাবান কার্যকরী—ব্যাখ্যা করো।

**5.19** অসমসত্ত্ব অনুঘটনের চারটি উদাহরণ দাও।

**5.20** অনুঘটকের সক্রিয়তা ও সুনির্দিষ্টতা বলতে কী বুঝ?

**5.21** জিওলাইটের সাহায্যে অনুঘটনের কিছু বৈশিষ্ট্য ব্যাখ্যা কর।

**5.22** আকৃতিগত-বরণাত্মক অনুঘটন বলতে কী বুঝ?

**5.23** নিম্নলিখিত পদগুলো ব্যাখ্যা করো ঃ

(i) তড়িৎ সঞ্চলন (ii) তঞ্চন (iii) ঝিল্লীবিশ্লেষণ (iv) টিণ্ডাল প্রভাব

**5.24** ইমালসনের চারটি ব্যবহার লিখো।

**5.25** মাইসেলি কী? মাইসেলি সমন্বিত একটি তন্ত্রের উদাহরণ দাও।

**5.26** উপযুক্ত উদাহরণসহ নিম্নলিখিত পদগুলো ব্যাখ্যা করো।

(i) অ্যালকোসল (ii) এরোসল (iii) হাইড্রোসল

**5.27** "কোলয়েড কোনো বিশেষ শ্রেণির পদার্থ নয় পদার্থের একটি অবস্থা মাত্র"—উক্তিটি ব্যাখ্যা করো।

অধ্যায়

6

# মৌলের পৃথকীকরণের সাধারণ নীতি ও পদ্ধতি সমূহ

## উদ্দেশ্য

এই অধ্যায়টি অধ্যয়নের পর তোমরা জানতে সমর্থ হবে ঃ

- ধাতু বিদ্যার বিভিন্ন পদ্ধতিগুলোর ক্ষেত্রে প্রচলিত ভারতীয় পদ্ধতিগুলোর অবদান;
- খনিজ, আকরিক, গাঢ়ীকরণ, উপযোগীতা, ভস্মীকরণ, তাপজারণ, বিশুদ্ধিকরণ ইত্যাদি বিষয়গুলোর ধারণা;
- নিস্কাশন পদ্ধতিতে ব্যবহৃত জারণ ও বিজারণের নীতি;
- Al, Cu, Zn এবং Fe নিস্কাশনের নীতির ক্ষেত্রে গিবস্ মুক্ত শক্তি এবং এনট্রপির মত তাপগতিবিদ্যা সংক্রান্ত ধারণার অবদান;
- কেন $Cu_2O$ এর মত নির্দিষ্ট কিছু অক্সাইডের বিজারণ $Fe_2O_3$ থেকে সহজতর;
- একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় CO হল উপযুক্ত বিজারক পদার্থ, যদিও অন্যান্য কিছু ক্ষেত্রে কোক হল উত্তম বিজারক পদার্থ, তার ব্যাখ্যা;
- কেন বিজারণ প্রক্রিয়ায় নির্দিষ্ট বিজারক পদার্থ ব্যবহৃত হয় তা ব্যাখ্যা করতে;

*"ধাতব অক্সাইডের বিজারণে, ধাতু নিস্কাশনের সময় কেন কিছু নির্দিষ্ট বিজারক মৌল এবং একটি সর্বনিম্ন নির্দিষ্ট উষ্ণতা বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে সহায়ক হয় তা তাপগতিবিদ্যায় পাওয়া যায়।"*

অনাদিকাল ধরেই সভ্যতার ইতিহাস নানাভাবে ধাতু সমূহের প্রয়োগের সাথে ওতপ্রোতভাবে জড়িয়ে আছে। মানব সভ্যতার বিভিন্ন সময়কালকে ধাতুর নামে নামকরণ করা হয়েছে। ধাতু নিস্কাশনের বিভিন্ন ধাপগুলোর দক্ষতার ফলে অনেক ধাতু পাওয়া গেছে এবং মানব সমাজের বিভিন্ন ক্ষেত্রে নানাবিদ পরিবর্তন এনেছে। এটি অস্ত্র, যন্ত্রপাতি, গহনা, বাসনপত্র ইত্যাদির মতো বিভিন্ন জিনিসপত্র দিয়েছে এবং আমাদের সংস্কৃতিক মননকে সমৃদ্ধ করেছে। গোল্ড, কপার, সিলভার, লেড, টিন, আয়রন এবং মার্কারীকে মাঝে মাঝে "**প্রাচীন সাতটি ধাতু**" নামেরও অভিহিত করা হয়। শিল্প বিপ্লবের পর আধুনিক ধাতুবিদ্যার প্রভূত উন্নতি ঘটলেও এটি বিশেষ আকর্ষনীয় যে ধাতুবিদ্যার অন্তর্গত অনেক আধুনিক ধারণার শিখড় প্রাচীন রীতিগুলোর উপর নির্ভরশীল, যেগুলো শিল্প বিপ্লবের থেকেও প্রাচীন, 7000 বছরেরও বেশী সময় ধরে ভারতবর্ষ ধাতুবিদ্যার দক্ষতার ঐতিহ্য বহন করে আসছে।

ভারতীয় ধাতুবিদ্যায় ইতিহাসের দুটো গুরুত্বপূর্ণ উৎস হলো প্রত্নতাত্ত্বিক খনন এবং পুঁথিগত প্রামান্য তথ্য সমূহ। ভারতীয় উপমহাদেশে ধাতুর উপস্থিতির প্রথম প্রমাণটি প্রায় 6000 (BCE) খ্রীষ্টপূর্বাব্দে বালুচিস্থানের মেহেরগড়ে ক্ষুদ্র কপার গুটি থেকে পাওয়া গিয়েছিল। এটি যদিও আদিম প্রকৃতির কপার বলে মনে করা হতো, তা সত্ত্বেও এটি আকরিক থেকে নিস্কাশন করা হয়নি। রাজস্থানের খেত্রির প্রাচীন খনি থেকে প্রাপ্ত কপার আকরিকের বর্ণালীবীক্ষণ দ্বারা অধ্যয়ন এবং হরিয়ানার মিথিলা এবং রাজস্থান, গুজরাট, মধ্যপ্রদেশ ও মহারাষ্ট্রে অন্তর্গত আটটি ভিন্ন অঞ্চল থেকে প্রাপ্ত হরপ্পা সভ্যতার যেসব জিনিষপত্র পাওয়া গিয়েছিল তাদের ধাতব নমুনার

বর্ণালীবীক্ষণ (স্পেক্টোমেট্রিক) অধ্যয়ন এটাই প্রমাণ করে যে ভারতীয় উপমহাদেশে কপার সংক্রান্ত ধাতুবিদ্যা বহুবছর পুরনো চালকোলিথিক সভ্যতা থেকেই চলে আসছিল। ভারতীয় চালকোলিথিক কপার দ্রব্যগুলো সামগ্রিকভাবে ছিল একটি দেশীয় সম্ভাবনা। বিভিন্ন দ্রব্যাদি বানানোর জন্য আকরিক থেকে যে সকল ধাতু নিস্কাশন করা হতো সেগুলো আরাবল্লী পর্বতের চালকোপাইরাইট আকরিক থেকে সংগ্রহ করা হতো। কপার পাত্র এবং প্রস্তুরলিপি পাঠ থেকে সংগৃহীত প্রত্নতাত্ত্বিক তথ্যগুলো বিগত শতাব্দীগুলো ধরে ভারতীয় প্রত্নতাত্ত্বিক জরিপ বিভাগ সংকলিত করে আসছে এবং পুস্তক আকারে প্রকাশ করছে। রাজন্য তথ্যগুলো কপারের পাতে খোঁদাই করে লেখা হতো (তাম্রপত্র)। প্রাচীনতম তাম্রপত্রটি ছিল একটি মৌর্যযুগের তথ্য এবং এতে দুর্ভিক্ষ থেকে পরিত্রাণের উপায়সমূহ খোদাই করা ছিল। ভারতের ইতিহাসে সম্রাট অশোকের আমলের পূর্বে যে গুটিকয়েক ব্রাহ্মীলিপি পাওয়া গিয়েছিল, এটি ছিল তাদের মধ্যে একটি।

হরপ্পাযুগের অধিবাসীরা গোল্ড এবং সিলভারের পাশাপাশি এই দুটোর সংকর ধাতু 'ইলেকট্রন'ও ব্যবহার করতো। কানের দুল, চুড়ি বা বালা, জপমালা এবং আংটির মতো বিভিন্ন ধরনের গয়নার চিত্র সিরামিক বা ব্রোঞ্জের পাত্রে পাওয়া গিয়েছিল। প্রাচীন কালের গোল্ড এবং সিলভারের গয়নাগুলো সিন্দু উপত্যকা এলাকায় যেমন মহেঞ্জোদারোতে (3000 খ্রীঃ পূর্বাব্দে) পাওয়া গিয়েছিল। এগুলো নতুন দিল্লীর জাতীয় যাদুঘরে প্রদর্শণের জন্য রাখা আছে। কর্ণাটকের 'মাস্কি' অঞ্চলটিতে পৃথিবীর গভীরতম এবং প্রাচীন গোল্ডের খনিটি রয়েছে বলে জগৎজুড়ে ভারতের সুখ্যাতি রয়েছে। কার্বন-ডেটিং থেকে জানা গেছে যে খ্রীষ্টপূর্বাব্দে প্রথম সহস্রাব্দের মধ্যভাগেই এদের অস্তিত্ব ছিল।

পাললিক স্তরে স্তরীভূত গোল্ডের সঞ্চয় ভান্ডারের অস্তিত্বের কথা ঋগ্বেদের স্তবগানগুলো থেকে পরোক্ষভাবে জানা গেছে। প্রাচীনকালে সিন্ধু নদ ছিল গোল্ডের একটি গুরুত্বপূর্ণ উৎস। চিত্তাকর্ষণকারী ঘটনাটি হলো এই যে বর্তমানকালের প্রাপ্ত তথ্য থেকেও সিন্ধু নদে পাললিক স্তরীভূত গোল্ডের অস্তিত্ব জানা যায়। প্রাপ্ত তথ্য থেকে জানা গেছে যে মানসরোবর এবং তনজলিয়ং অঞ্চলে আজও বিশাল গোল্ডের খনির অস্তিত্ব রয়েছে। পাললিক স্তরে স্তরীভূত গোল্ডের ভান্ডার থেকে গোল্ড ধূলি বা কনার পুনরুদ্ধারের পদ্ধতি পালি ভাষার পুস্তক 'অঙ্গোত্তর নিকায়া'তে লেখা আছে। বৈদিক পুস্তকগুলোতে গোল্ড পরিশোধনের যথেষ্ট প্রামাণ্য তথ্য পাওয়া স্বত্তেও খ্রীষ্টপূর্বাব্দের তৃতীয় বা চতুর্থ শতাব্দীর মৌযযুগের কৌটিল্যের 'অর্থশাস্ত্র'তেই গোল্ড, সিলভার, লেড, কপার, টিন এবং আয়রন ধাতুর আকরিক সহ একটি বৃহৎ অংশের খনিজ নিয়ে রাসায়নিক চর্চার কথা বলা আছে। কৌটিল্য বিভিন্ন ধরনের গোল্ডের অস্তিত্ব ব্যাখ্যা করেছিলেন যাকে 'রসবিদ্যা'ও বলা হয়। যেগুলো ছিল বিভিন্ন ধরনের প্রকৃতিজাত গোল্ডের দ্রবণ। মহাকবি কালিদাসও এরূপ দ্রবণের অস্তিত্বের কথা বলেছিলেন। এটাই বিস্ময়ের যে মানুষ এ ধরনের দ্রবণকে কীভাবে চিনতে পেরেছিলেন।

প্রকৃতিতে প্রাপ্ত মুক্ত গোল্ডের বিভিন্ন বর্ণ, এর প্রকৃতি এবং ইহাতে উপস্থিত অশুদ্ধির পরিমাণের উপর নির্ভর করে। ইহা সম্ভবত যে, গোল্ডের পরিশোধনের উন্নতির জন্য মুখ্য চালিকাশক্তি হল প্রকৃতিতে প্রাপ্ত মুক্ত গোল্ডের ভিন্ন ভিন্ন বর্ণ।

গঙ্গা উপত্যকার মধ্যভাগ এবং বিন্ধ্যপর্বতের সাম্প্রতিক খননকার্য থেকে দেখা গেছে যে ওখানকার আয়রনগুলো খুবই প্রাচীন এবং সম্ভবত 1800 খ্রীষ্টপূর্বাব্দে তৈরী হয়েছিল। উত্তরপ্রদেশ রাজ্য প্রত্নতাত্ত্বিক বিভাগ দ্বারা পরিচালিত সাম্প্রতিক খননকার্যগুলোর থেকে আয়রন দ্বারা নির্মিত চুল্লী, হস্তনির্মিত বস্তু, চুল্লীর টায়ার (tuyers) এবং ধাতুমল পাওয়া গেছে। রেডিও কার্বন ডেটিং থেকে জানা গেছে যে এসব কিছুই খ্রীষ্টপূর্বাব্দ 1800 থেকে 1000 বছরের পুরোনো। এইসব খননকার্যের ফলাফল গুলো এটাই নির্দেশ করে যে আয়রন বিগলনের জ্ঞান এবং হস্তনির্মিত আয়রন সামগ্রী তৈরীর পদ্ধতি পূর্ব বিন্ধ্যপর্বতের অধিবাসীদের বেশভালো ভাবেই জানা ছিল এবং গাঙ্গোয় কেন্দ্রীয় সমতলের অধিবাসীরা অন্তত দ্বিতীয় মিলেনিয়াম খ্রীষ্টপূর্বাব্দ থেকেই এগুলো ব্যবহার করতো। প্রাপ্ত আয়রন নির্মিত দ্রব্যসমূহের পরিমাণ এবং আয়রনের প্রকৃতি বা প্রযুক্তিগত অগ্রগতীর লেভেল এটাই নির্দেশ করে যে আয়রন নিয়ে কাজকর্ম আরো বহু বছর আগে থেকে শুরু হয়েছিল। প্রামাণ্য তথ্যগুলো এটাই নির্দেশ করে যে দেশের অন্যান্য অঞ্চলগুলোতেও আয়রনের ব্যবহার বহুবছর আগে থেকেই চলে আসছিল। এবং এটাও প্রমাণ করে

যে ভারতবর্ষ ছিল এমন একটা দেশ যেখানে আয়রন সংক্রান্ত কাজকর্মগুলোর উন্নতি সাধনে স্বাধীনভাবে কাজ করা হতো।

আয়রন ধাতুর বিগলন এবং আয়রনের ব্যবহার মূলত দক্ষিণ ভারতের মেগালিথিক সংস্কৃতিতে প্রতিষ্ঠিত ছিল। রট আয়রনকে কারখানাজাত বা কামারজাত করার প্রক্রিয়াটি প্রথম মিলিয়ন CE তে প্রায় দেশের শীর্ষে পৌঁছে ছিল। ভারতবর্ষে মুচি (crucible) পদ্ধতিতে ইস্পাত প্রস্তুতির তথ্য গ্রীকদের প্রদত্ত তথ্যগুলো থেকে পাওয়া যায়। এই পদ্ধতিতে আয়রন, চারকোল এবং কাঁচ একটি মুচিতে একসাথে মেশানো হত এবং ততক্ষণ পর্যন্ত উত্তপ্ত করা হতো যতক্ষণ পর্যন্ত না মিশ্রণটি গলে যেত এবং কার্বন শোষিত হতো। উন্নত এবং গুণগত ইস্পাত প্রস্তুতিকরণের ক্ষেত্রে ভারতবর্ষ মুখ্য উদ্ভাভবনশীল দেশগুলোর অন্যতম দেশ ছিল। ভারতে প্রস্তুত ইস্পাতগুলোকে বলা হতো 'প্রাচ্যদেশগুলোর আশ্চর্য্য উপাদান'। ক্যুইনস্টাস কার্টিয়াস নামক একজন রোমান ঐতিহাসিক -এর প্রদত্ত তথ্য থেকে এটা জানা গেছে যে অধুনা পাকিস্তানের তক্ষশীলার রাজা পুরু (326 খ্রীষ্টপূর্বাব্দে) মহান বীর আলেকজ্যান্ডারকে প্রায় আড়াই টন ওজনের একটি উপহার দিয়েছিলেন। সেটি ছিল সূচী ইস্পাত (Wootz steel) দ্বারা তৈরী। সুচী ইস্পাত মূলত এমন একধরনের আয়রন যার মধ্যে উচ্চানুপাতে কার্বন (1.0 – 1.9%) উপস্থিত থাকে। উক্কু (*ukku*) শব্দের ইংরেজী সংস্করণ হল Wootz (মুচি) যা কর্ণাটক এবং অন্দ্রপ্রদেশে ইস্পাতের পরিবর্তে ব্যবহার করা হতো। লিখিত তথ্যগুলো অনুসারে ভারতীয় উপমহাদেশের দক্ষিণ অংশ থেকে ভারতীয় সূচি ইস্পাত ইউরোপ, চীন এবং আরব রাষ্ট্রগুলোতে রপ্তানি করা হতো, এমনটা জানা গেছে। এই ইস্পাত পরবর্তী কালে মধ্যপ্রাচ্যেও প্রসিদ্ধ লাভ করে এবং ঐ অঞ্চলে এটি দামাসাস ইস্পাত নামে পরিচিত ছিল। আয়রনের সাথে নোবেল ধাতুসহ বিভিন্ন ধরনের ধাতুকে মিশিয়ে ধাতুসংকর তৈরীর মাধ্যমে মাইকেল ফ্যারাডে এই সূচি ইস্পাত বা দামাসাস ইস্পাতের নকল তৈরীর প্রচেস্টা করেছিলেন, কিন্তু তিনি ব্যর্থ হয়েছিলেন।

আয়রন আকরিককে কঠিন অবস্থায় চারকালো দ্বারা বিজারিত করলে সছিদ্র আয়রন খণ্ড (ব্লক) তৈরী হয়। একারণেই বিজারিত আয়রন খণ্ডগুলোকে স্পঞ্জ আয়রন খণ্ড (ব্লক) বলা হয়। কামারশালায় তপ্ত হাপরের সাহায্যে এই খণ্ডের স্বছিদ্রতাকে দূর করার মাধ্যমে যে কোন ধরনের প্রয়োজনীয় সামগ্রী বানানো সম্ভব হয়। এভাবে প্রাপ্ত আয়রনের নাম দেওয়া হয় রট আয়রন। প্রাচীন ভারতে প্রস্তুত রট আয়রনের একটি চিত্তাকর্ষক উদাহরণ হল বিখ্যাত আয়রন পিলার। এটি খ্রীষ্টপূর্বাব্দের পঞ্চম শতাব্দিতে স্থাপিত হয়েছিল এবং এটির বর্তমান অবস্থান হলো দিল্লী। এর গায়ে যে সংস্কৃত লিপিগুলো খোদাই করা আছে তার থেকে বোঝা যায় যে গুপ্তযুগে এটিকে অন্য কোন জায়গা থেকে এখানে আনা হয়েছিল। আয়রন ছাড়া এই আয়রন পিলার অন্য যে সব ধাতু উপস্থিত আছে তাদের সংযুক্তি (ভর শতাংশ) হলো 0.15% C, 0.05% Si, 0.05% Mn, 0.25% P, 0.005% Ni, 0.03% Cu এবং 0.02% N । এই মিনারটির সবচেয়ে তাৎপর্যপূর্ণ দিকটি হলো এই মিনারটি প্রায় 1,600 বছর ধরে বায়ুমন্ডলে উন্মোক্ত থাকা সত্ত্বেও এতে কোন ধরনের অপক্ষয় হয়নি।

আয়রন ধাতুমলে উপস্থিত চারকোলের রেডিও কার্বন ডেটিং এর ফলাফল থেকে এটাই প্রতিয়মান হয় যে মেঘালয়ের খাসি পর্বতমালায় ধাতু বিগলন প্রক্রিয়াটি ধারাবাহিকভাবে সংঘটিত হতো। 353 খ্রীষ্ট পূর্বাব্দে–থেকে 128 খ্রীষ্টাব্দ পর্যন্ত প্রাপ্ত ধাতুমলের স্তরগুলো এটাই প্রমাণ করে যে উত্তরপূর্ব ভারতের সমগ্র অঞ্চলের মধ্যে খাসি পর্বতমালাই হল প্রাচীনতম অঞ্চল যেখানে আয়রনের বিগলন প্রক্রিয়া সংঘটিত করা হতো। বিগত দিনের খনন কার্যের ফলে প্রাপ্ত আকরিক এবং আয়রন উৎপাদনের অবশেষগুলোর প্রতিচ্ছবি এখনো খাসি পর্বতমালার প্রাকৃতিক ভূ-চিত্রতে প্রতিয়মান। ব্রিটিশ পরিবেশবিদ যারা উনিশ শতকের প্রথম দিকে মেঘালয় পরিভ্রমণ করেছিলেন তাদের লেখায় খাসি পর্বতমালার উপরের অংশটিতে আয়রণ কারখানার উপস্থিতির কথা বর্ণনা করা হয়েছে।

ষষ্ঠ বা পঞ্চম খ্রীষ্টপূর্বাব্দে রাজস্থানের জায়ার (Zawar) খনি থেকে জিঙ্ক উৎপাদনের প্রত্নতাত্ত্বিক প্রমাণ পাওয়া গেছে। জিঙ্কের পাতন প্রক্রিয়া সংঘটিত করার বিষয়টিতে ভারতবর্ষ ছিল বিশ্বের প্রথম পূর্নদক্ষতাসম্পন্ন দেশ। স্ফুটনাংক কম হওয়ার কারণে জিঙ্কের আকরিকের বিগলন প্রক্রিয়া সংঘটিত করার সময় জিঙ্ক বাষ্পীভূত হবার প্রবণতা প্রদর্শণ করে। উন্নতমানের নিম্নমুখী পাতন কৌশলের

সাহায্যেই বিশুদ্ধ জিঙ্ক প্রস্তুত করা সম্ভব যেখানে জিঙ্কের বাষ্প নিম্নের পাত্রটিতে ঘনীভূত হয়। মার্কারীর ক্ষেত্রেও একই কৌশল অবলম্বন করা হতো। ধাতুবিদ্যার ভারতীয় বিশারদরা এই পদ্ধতিটির প্রয়োগে পূর্ণ দক্ষতা অর্জন করেছিল। চৌদ্দশ শতাব্দীর সংস্কৃতশাস্ত্রে এই বিষয়টি বর্ণনা করা হয়েছে।

ভারতীয় পারদ সম্পর্কে সম্যক ধারণা ছিল। চিকিৎসার কাজে ভারতীয়রা পারদ ব্যবহার করতো। ব্রিটিশ উপনিবেশিক রাজত্বে খননকার্য এবং ধাতুবিদ্যার উন্নতিসাধনে গুরুত্ব দেওয়া হয়নি। ঊনবিংশ শতাব্দিতে এসে হঠাৎ করে রাজস্থানের সমৃদ্ধ ঘনিগুলোকে পরিত্যক্ত ঘোষণা করা হয় এবং এগুলো প্রায় বিলুপ্ত অবস্থায় চলে এসেছিল। 1947 খ্রীষ্টাব্দে ভারতবর্ষ যখন স্বাধীনতা লাভ করে, তখন বিজ্ঞান সম্পর্কিত ইউরোপীয় সাহিত্যগুলোর প্রচলন ধীরে ধীরে ভারতবর্ষে নিজের স্থান করে নেয়। স্বাধীনতা পরবর্তী সময়ে ভারত সরকার জাতি গঠনের প্রক্রিয়াটির সূচনা করেন এবং বিজ্ঞান ও প্রযুক্তির নানা ধরনের প্রতিষ্ঠান গড়তে শুরু করে। পরবর্তী অনুচ্ছেদগুলোতে মৌল নিস্কাশনের আধুনিক পদ্ধতিগুলো সম্বন্ধে আমরা জানতে পারবো।

## 6.1 ধাতুর প্রাচুর্যতা

কার্বন, সালফার, গোল্ড এবং নোবেল গ্যাস সমূহের মত কিছু মৌল মুক্ত অবস্থায় অবস্থান করে। যেখানে অন্যান্য মৌল পৃথিবী পৃষ্ঠে যৌগরূপে থাকে। প্রাচুর্যতা অনুযায়ী মৌলগুলোর পরিমাণ পরিবর্তিত হয়। ধাতুগুলোর মধ্যে অ্যালুমিনিয়াম সবচেয়ে বেশী পরিমাণে পাওয়া যায়। এটা সত্য যে, এটি পৃথিবী পৃষ্ঠে তৃতীয় প্রাচুর্য্য পূর্ণ মৌল (ওজন হিসেবে প্রায় 8.3%)। এটি মাইকা এবং ক্লে সহ বিভিন্ন আগ্নেয় শিলার মুখ্য উপাদান। বিভিন্ন মূল্যবান পাথরে $Al_2O_3$ অশুদ্ধি রূপে থাকে। উদাহরণস্বরূপ মূল্যবান পাথর রুবি এবং স্যাফায়ারে Cr এবং Co অশুদ্ধি হিসাবে থাকে। পৃথিবী পৃষ্ঠে দ্বিতীয় সহজ প্রাপ্য মৌলটি হল আয়রন। এটি বিভিন্ন ধরনের যৌগ গঠন করে এবং বিভিন্ন ক্ষেত্রে এই যৌগগুলোর ব্যবহারের জন্য আয়রন একটি গুরুত্বপূর্ণ মৌল হিসেবে বিবেচিত হয়। শারীর বৃত্তীয় প্রক্রিয়াতেও এর অপরিহার্য অবদান রয়েছে।

একটি নির্দিষ্ট ধাতু নিস্কাশনে প্রথমে আমরা লক্ষ্য করি, প্রকৃতিতে ভূ-পৃষ্ঠে এবং খনিতে প্রাপ্ত রাসায়নিক পদার্থ তথা খনিজের পরিমাণের উপর। অসংখ্য খনিজের মধ্যে ধাতু থাকতে পারে কিন্তু তাদের খুব কম সংখ্যক খনিজই হল ধাতুর উৎস। এই খনিজ গুলিকে বলা হয় আকরিক।

সারণি 6.1 এ অ্যালুমিনিয়াম, আয়রন, কপার এবং জিঙ্কের প্রধান আকরিক সমূহ দেওয়া হল।

**সারণি 6.1 ঃ কতকগুলো গুরুত্বপূর্ণ ধাতুর মূখ্য আকরিক।**

| ধাতু | আকরিক | উপাদান |
|---|---|---|
| অ্যালুমিনিয়াম | বক্সাইট | $AlO_x(OH)_{3-2x}$ [যেখানে $0 < x < 1$] |
| | কেওলিনাইট | $[Al_2(OH)_4 Si_2O_5]$ |
| আয়রন | হিমাটাইট | $Fe_2O_3$ |
| | ম্যাগনেটাইট | $Fe_3O_4$ |
| | সিডারাইট | $FeCO_3$ |
| | আয়রন পাইরাইট্ | $FeS_2$ |
| কপার | কপার পাইরাইটিস্ | $CuFeS_2$ |
| | ম্যালাকাইট | $CuCO_3.Cu(OH)_2$ |
| | কিউপ্রাইট | $Cu_2O$ |
| | কপার গ্লাস | $Cu_2S$ |
| জিংক | জিংক ব্লেড বা স্পেলরাইট | $ZnS$ |
| | ক্যালামাইন | $ZnCO_3$ |
| | জিংকাইট | $ZnO$ |

একটি নির্দিষ্ট মৌল বিভিন্ন ধরনের যৌগরূপে অবস্থান করে। যৌগ থেকে একটি নির্দিষ্ট মৌল নিস্কাশনের প্রক্রিয়াটি রাসায়নিকভাবে স্বতঃস্ফূর্ত হবে এবং বাণিজ্যিকভাবে উপযোগী হবে।

ধাতু নিস্কাশনের ক্ষেত্রে অ্যালুমিনিয়ামের জন্য বক্সাইটকে বিবেচনা করা হয়। আয়রনের জন্য সাধারণত অক্সাইড আকরিক যা সহজলভ্য এবং কোনো দূষণকারী গ্যাস উৎপন্ন করে না ($SO_2$ এর মত যা আয়রন পাইবাইটিস থেকে তৈরী হয়) এদের নেওয়া হয়। কপার এবং জিঙ্কের নিস্কাশনের ক্ষেত্রে সারণি 6.1 এ বর্ণিত আকরিকগুলোর মধ্যে এদের সহজলভ্যতা এবং অন্যান্য প্রাসঙ্গিক শর্তের উপর নির্ভর করে নির্বাচন করা যেতে পারে।

বিজ্ঞানভিত্তিক এবং প্রযুক্তিগতভাবে আকরিক থেকে ধাতু নিস্কাশনের সামগ্রিক প্রক্রিয়াকে ধাতুবিদ্যা বলে। রসায়নের বিভিন্ন নীতি প্রয়োগ করে কোন মৌলকে এর যৌগ থেকে নিস্কাশন এবং পৃথকীকরণ করা হয়। ধাতুর সকল নিস্কাশন পদ্ধতিগুলোর মধ্যে এখনো কিছু ধাতুর নিস্কাশন পদ্ধতির নীতি একই হয়।

কাঙ্খিত পদার্থটি একটি আকরিকের মধ্যে খুব অল্প পরিমাণে থাকে। ভূপৃষ্ঠের অনেক ধরনের পদার্থ এবং বস্তু এর সঙ্গে যুক্ত থাকে, যা হল অশুদ্ধি (gangue)। আকরিক থেকে ধাতু নিষ্কাশন এবং পৃথকীকরণে নীচের মূখ্য ধাপগুলো ব্যবহৃত হয় ঃ

- আকরিকের গাঢ়ীকরণ,
- গাঢ়ীকৃত আকরিক থেকে ধাতু নিষ্কাশন এবং
- ধাতুর বিশুদ্ধিকরণ।

নীচের অনুচ্ছেদগুলোতে আকরিকের গাঢ়ীকরণের কার্যকরী ধাপগুলোকে আমরা প্রথমে বর্ণনা করবো। এরপর ধাতুবিদ্যার কিছু সাধারণ পদ্ধতির নীতি বর্ণনা করা হবে। গাঢ়ীকৃত আকরিকের বিজারণে ক্ষেত্রে তাপগতিবিদ্যার এবং তড়িৎরাসায়নিক পদ্ধতির নীতিসমূহ প্রযোজ্য।

## 6.2 আকরিকের গাঢ়ীকরণ

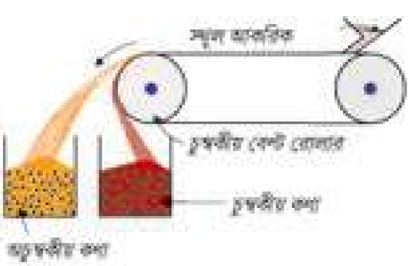
আকরিক থেকে অবাঞ্চিত বস্তুসমূহ (যেমন বালি, কাদা ইত্যাদি) সরানোর প্রক্রিয়াকে গাঢ়ীকরণ বলে। গাঢ়ীকরণের পূর্বে আকরিককে বাছাই করে উপযুক্ত বা নির্দিষ্ট আকারে চূর্ণ করা হয়। আকরিকের গাঢ়ীকরণ বিভিন্ন ধাপে সম্পন্ন হয় এবং যৌগে উপস্থিত মৌলের ভৌতধর্ম এবং অশুদ্ধির প্রকৃতির উপর নির্ভর করে গাঢ়ীকরণের বিভিন্ন ধাপ নির্বাচন করা হয়। ধাতুর প্রকারভেদ, সহজলভ্য সুযোগ সুবিধা এবং পরিবেশগত কারণগুলোকেও বিবেচনায় রাখতে হবে। আকরিকের গাঢ়ীকরণের কিছু গুরুত্বপূর্ণ পদ্ধতি নীচে বর্ণনা করা হলো।

### 6.2.1 জল দ্বারা ধৌতকরণ

আকরিকে উপস্থিত বিভিন্ন পদার্থ এবং অশুদ্ধি (gangue) কণার মধ্যাকর্ষণের পার্থক্যের উপর নির্ভর করে এই পদ্ধতিটি প্রয়োগ করা হয়। এটি বিশেষ ধরনের মাধ্যাকর্ষণজনিত পৃথকীকরণ। এই পদ্ধতিতে চূর্ণীকৃত আকরিকের মধ্যে উপর থেকে নিচের দিকে জলের ধারা দেওয়া হয়। হালকা অশুদ্ধিগুলি ধৌত হয়ে বেরিয়ে যায় এবং ভারী আকরিক চূর্ণ থেকে যায়।

### 6.2.2 চুম্বকীয় পৃথকীকরণ

আকরিকের উপাদানগুলোর চৌম্বক ধর্মের পার্থক্যকে ব্যবহার করে এই নীতি প্রয়োগ করা হয়। এই পদ্ধতি ব্যবহৃত হবে তখনই, যখন আকরিক বা অশুদ্ধি চৌম্বকক্ষেত্র দ্বারা আকর্ষিত হবে। উদাহরণস্বরূপ আয়রন আকরিক চুম্বকের দিকে আকৃষ্ট হয়, অচুম্বকীয় অশুদ্ধি পদার্থ চুম্বকীয় পদ্ধতি ব্যবহার করে পৃথক করা যায়। পাউডার আকরিক কনভেয়ার (পরিবাহক) বেল্ট এর উপর ঢালা হয় যা চুম্বকীয় রোলারের উপর ঘোরে (চিত্র 6.1)। চুম্বকীয় পদার্থ বেল্টে আকৃষ্ট হয়ে থাকে এবং এর কাছাকাছি পড়ে।



*চিত্র 6.1 ঃ চুম্বকীয় পৃথকীকরণ (রূপরেখা)*

## 6.2.3 ফেনা ভাসন পদ্ধতি

এই পদ্ধতিটি সালফাইড আকরিক থেকে খনিজমল অপসারণ করতে ব্যবহৃত হয়। এই পদ্ধতিতে চুর্ণীকৃত আকারিককে জলের সঙ্গো মিশিয়ে আকরিকের প্রলম্বল তৈরী করা হয়। এর সঙ্গো সংগ্রাহক এবং ফেনা স্থায়িত্বকারী পদার্থ যোগ করা হয়। সংগ্রাহক (উদাহরণস্বরূপ, পাইনতেল, ফ্যাটি অ্যাসিড, জ্যানথেট ইত্যাদি) ফেনার স্থায়িত্বকারী এবং খনিজ কনা সমূহের অনাদ্রতা বৃদ্ধি কারী (উদাহরণস্বরূপ ক্রেসল, অ্যানিলিন) পদার্থ ফেনাকে স্থায়িত্বতা প্রদান করে।

*চিত্র 6.2 ঃ ফেনাভাসন পদ্ধতি*

খনিজ কণাগুলি তেল দ্বারা দ্রাবকায়িত হয় যেখানে খনিজ মল বা অশুদ্ধি গুলি জল দ্বারা দ্রাবকায়িত হয়। একটি ঘূর্ণায়মান পাখা মিশ্রণটিকে আলোড়িত করে। এর ফলস্বরূপ ফেনা তৈরী হয় যা খনিজ কণাগুলোকে বহন করে। ফেণা হালকা হওয়ায় আকরিককে সঙ্গো নিয়ে উপরের দিকে উঠে যায়। এরপর আকরিক কণাগুলোকে শুকিয়ে পুনঃরুদ্ধার করা হয়।

কখনো তেল ও জলের অনুপাত নিয়ন্ত্রণ করে বা 'ডিপ্রিসেন্ট' ব্যবহার করে দুটি সালফাইড আকরিককে পৃথক করা সম্ভব। উদাহরণস্বরূপ ZnS এবং PbS যুক্ত আকরিকরে ক্ষেত্রে, NaCN ডিপ্রেসেন্ট হিসেবে ব্যবহৃত হয়। এটি ZnS কে বেছে ফেণায় আসতে বাঁধা দেয় কিন্তু PbS কে ফেণায় আসতে সাহায্য করে।

### The Innovative Washerwoman

যদি কেউ বিজ্ঞান মনস্ক হয় এবং পর্যবেক্ষণের প্রতি মনোযোগী হয় তাহলে সে বিস্ময়কর কার্যসম্পাদন করতে পারে। একজন ধোঁপানীরও উদ্ভাবনী মন থাকে! খনি শ্রমিকদের সামগ্রী ধোয়ার সময়, তিনি লক্ষ্য করেন যে, বালি এবং অনুরূপ ময়লা ওয়াসটাবের নীচে পড়ে, কি অবিশ্বাস্য যে, কপারযুক্ত যৌগ যা খনি থেকে কাপড়ে আসে, সেগুলো সোপসাডে ধরা পড়ে এবং উপরে উঠে আসে। তার একজন খদ্দের, শ্রীমতি ক্যারী এভারসন, একজন রসায়নবিদ ছিলেন। ধোঁপানী তার অভিজ্ঞতা শ্রীমতি এভারসনকে বলেন। পরবর্তীকালে এই ধারণা পাথুরে এবং পার্থিব পদার্থ থেকে বৃহত্তর পাল্লায় কপার যৌগকে পৃথক করতে ব্যবহৃত হয়। এভাবে উদ্ভাবনী শক্তি চলে আসে। ঐ সময় কপার নিষ্কাশনে এই সমস্ত আকরিক ব্যবহৃত হত যাদের মধ্যে অনেক বেশী পরিমাণ ধাতু রয়েছে। ফেনা ভাসন পদ্ধতির আবিষ্কার নিম্নমানের কপার আকরিক থেকে কপার খননকেও খনন লাভ জনক করেছে। এর ফলে বিশ্বে কপার উৎপাদন বৃদ্ধি পায় এবং ধাতু সস্তা হয়।

## 6.2.4 লিচিং

যদি আকরিক বিশেষ কিছু উপযুক্ত দ্রাবকে দ্রবীভূত হয় তবে লিচিং পদ্ধতি প্রায়ই ব্যবহৃত হয়। নীচের উদাহরণ গুলো এই পদ্ধতিটি ব্যাখ্যা করে।

*(a) বক্সাইট থেকে অ্যালুমিনার লিচিং*

বক্সাইট হল অ্যালুমিনিয়ামের মুখ্য আকরিক। এতে অশুদ্ধি হিসাবে $SiO_2$, আয়রন অক্সাইড এবং টাইটেনিয়াস অক্সাইড ($TiO_2$) থাকে। চূর্নীকৃত আকরিককে গাঢ় NaOH সহ 473–523 K এবং 35–36 বার (bar) চাপে উত্তপ্ত করে গাঢ়ীকরণ করা হয়। এই পদ্ধতিকে (digestion) লিচিং বলে।

এই পদ্ধতিতে $Al_2O_3$ সোডিয়াম অ্যালুমিনেট রূপে নিষ্কাশিত হয়। অশুদ্ধি, $SiO_2$ ও সোডিয়াম সিলিকেট গঠন করে দ্রবীভূত হয়। অন্যান্য অশুদ্ধিগুলি পড়ে থাকে।

$$Al_2O_3(s) + 2NaOH(aq) + 3H_2O(l) \rightarrow 2Na[Al(OH)_4](aq) \qquad (6.1)$$

দ্রবণে উপস্থিত সোডিয়াম অ্যালুমিনেটকে $CO_2$ গ্যাস পাঠিয়ে প্রশমিত করা হয় এবং আর্দ্র $Al_2O_3$ অধঃক্ষিপ্ত হয়। এই ধাপে কিছু পরিমাণ সদ্য প্রস্তুত জলীয় $Al_2O_3$ দ্রবণে যোগ করা হয়। একে সিডিং (seeding) বলা হয়। এটি অধঃক্ষেপনকে প্রভাবিত করে।

$$2Na[Al(OH)_4](aq) + CO_2(g) \rightarrow Al_2O_3.xH_2O(s) + 2NaHCO_3\ (aq) \qquad (6.2)$$

দ্রবণে সোডিয়াম সিলিকেট থেকে যায় এবং আর্দ্র অ্যালুমিনা পরিস্রুত হয় এবং এটিকে উত্তপ্ত করে বিশুদ্ধ $Al_2O_3$ কে ফিরে পাওয়া যায়।

$$Al_2O_3.xH_2O(s) \xrightarrow{1470\ K} Al_2O_3(s) + xH_2O(g) \qquad (6.3)$$

*(b) অন্যান্য উদাহরণ*

সিলভার এবং গোল্ড এর ধাতু বিদ্যায় ধাতুটিকে বায়ুর $O_2$ এর উপস্থিতিতে NaCN বা KCN এর লঘু দ্রবণ দ্বারা লিচিং করা হয়। পরবর্তী পর্যায়ে প্রতিস্থাপন বিক্রিয়ার দ্বারা ধাতু পাওয়া যায়।

$$4M(s) + 8CN^-(aq) + 2H_2O(aq) + O_2(g) \rightarrow 4[M(CN)_2]^-(aq) + 4OH^-(aq) \ (M = Ag \text{ or } Au) \qquad (6.4)$$

$$2[M(CN)_2]^-(aq) + Zn(s) \rightarrow [Zn(CN)_4]^{2-}(aq) + 2M(s) \qquad (6.5)$$

**বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলী**

6.1 সারণি 6.1 এ উল্লেখিত আকরিকগুলোর মধ্যে কোনটিকে চৌম্বকীয় পদ্ধতিতে গাঢ়ীকৃত করা হয়?

6.2 অ্যালুমিনিয়াম নিষ্কাশনে লিচিং এর তাৎপর্য কি?

## 6.3 গাঢ়ীকৃত আকরিক থেকে ধাতু নিষ্কাশন

গাঢ়ীকৃত আকরিক থেকে ধাতু নিষ্কাশন করতে, আকরিকটিকে অবশ্যই এমন যৌগে রূপান্তরিত করতে হবে যাতে খুব সহজেই বিজারণ দ্বারা ধাতু পাওয়া যায়। অক্সাইড সহজে বিজারিত হয় বলে সালফাইড আকরিককে বিজারণের পূর্বে অক্সাইডে রূপান্তরিত করা হয়। এইভাবে গাঢ়ীকৃত অকরিক থেকে ধাতুগুলোর পৃথকীকরণ দুটি প্রধান ধাপে সংগঠিত হয়।

(a) অক্সাইডে রূপান্তর এবং

(b) অক্সাইডের বিজারণে ধাতু উৎপাদন।

*(a) অক্সাইডে রূপান্তর*

(i) *ভস্মীকরণ (Calcination) :* তাপের উপস্থিতিতে ভস্মীকরণ করা হয়। ফলে উদ্বায়ী পদার্থগুলো মুক্ত হয় এবং ধাতব অক্সাইড পড়ে থাকে।

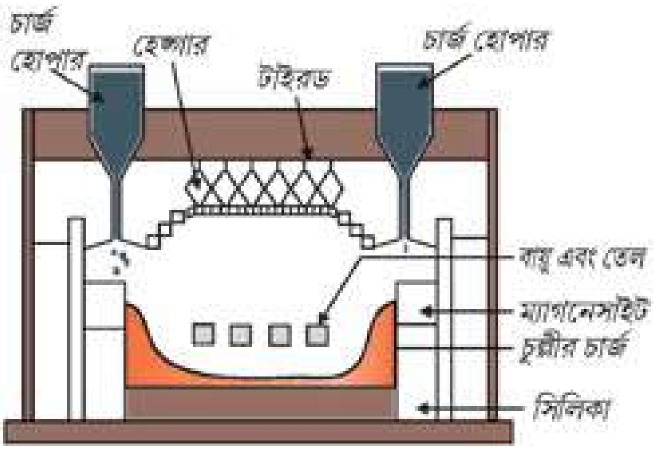
$$Fe_2O_3.xH_2O(s) \xrightarrow{\Delta} Fe_2O_3\ (s) + xH_2O(g) \qquad (6.6)$$

$$ZnCO_3\ (s) \xrightarrow{\Delta} ZnO(s) + CO_2(g) \qquad (6.7)$$

$$CaCO_3.MgCO_3(s) \xrightarrow{\Delta} CaO(s) + MgO(s) + 2CO_2(g) \qquad (6.8)$$

(ii) তাপজারণ (*Roasting*): তাপজারণে, আকরিকটিকে ধাতুর গলনাঙ্কের কম উষ্ণতায় বায়ুর নিরবিছিন্ন সরবরাহে উত্তপ্ত করা হয়। সালফাইড আকরিকের কিছু বিক্রিয়া যা তাপজারণে অংশগ্রহণ করে ঃ

$$2ZnS + 3O_2 \rightarrow 2ZnO + 2SO_2 \quad (6.9)$$
$$2PbS + 3O_2 \rightarrow 2PbO + 2SO_2 \quad (6.10)$$
$$2Cu_2S + 3O_2 \rightarrow 2Cu_2O + 2SO_2 \quad (6.11)$$



*চিত্র 6.3 ঃ আধুনিক পরাবর্তচুল্লীর প্রস্থচ্ছেদ*

কপারের সালফাইড আকরিকগুলোকে পরাবর্ত চুল্লীতে (**reverberatory furnace**) (চিত্র 6.3) উত্তপ্ত করা হয়। যদি আকরিকে আয়রন থাকে তাহলে তাপ দেওয়ার পূর্বে এটিকে সিলিকার সঙ্গো মিশানো হয়। আয়রন অক্সাইডটি আয়রন সিলিকেট ধাতুমল গঠন করে এবং কপার, কপার ম্যাট রূপে উৎপাদিত হয়, এর মধ্যে $Cu_2S$ এবং FeS থাকে।

$$\underset{\text{(ধাতুমল)}}{FeO + SiO_2 \rightarrow FeSiO_3} \quad (6.12)$$

উৎপন্ন $SO_2$ , $H_2SO_4$ প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত হয়।

*(b) অক্সাইডের বিজারনে ধাতু প্রস্তুতি*

তাপের প্রভাবে বিজারক দ্রব্য (যেমন C অথবা CO এমনকি ধাতু ও হতে পারে) দ্বারা ধাতব অক্সাইডকে বিজারিত করে ধাতু উৎপন্ন করা হয়। বিজারক পদার্থ (যেমন কার্বন) ধাতব অক্সাইডের অক্সিজেনের সঙ্গো যুক্ত হয়।

$$M_xO_y + yC \rightarrow xM + y\ CO \quad (6.13)$$

কিছু ধাতব অক্সাইড সহজেই বিজারিত হয় আবার কিছু ক্ষেত্রে বিজারণ প্রক্রিয়া (বিজারণ বলতে ধাতব আয়ন দ্বারা ইলেকট্রন গ্রহণ বোঝায়) সহজে হয় না। কিছু ক্ষেত্রে তাপ প্রয়োগ প্রয়োজন হয়।

## 6.4 ধাতুবিদ্যার তাপগতীয় নীতি

তাপগতিবিদ্যার কিছু প্রাথমিক ধারণা ধাতুবিদ্যার রূপান্তরের তত্ত্ব বুঝতে সাহায্য করেছে। গিবস্ এর শক্তি হল সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ পরিভাষা। তাপীয় বিজারণে প্রয়োজনীয় উষ্ণতার পরিবর্তন এবং প্রদত্ত ধাতব অক্সাইডের জন্য ($M_xO_y$) কোন মৌল বিজারক পদার্থ হিসাবে অধিক উপযুক্ত তা মুক্ত শক্তির সমীকরণ দ্বারা ব্যাখ্যা করা যায়। একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় তাপীয় বিজারণ স্বতঃস্ফূর্ত হবে যদি গিবস্ মুক্ত শক্তির পরিবর্তন ঋণাত্মক হয়। একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় গিবস্ শক্তির পরিবর্তন নীচের সমীকরণ দ্বারা ব্যাখ্যা করা যায়।

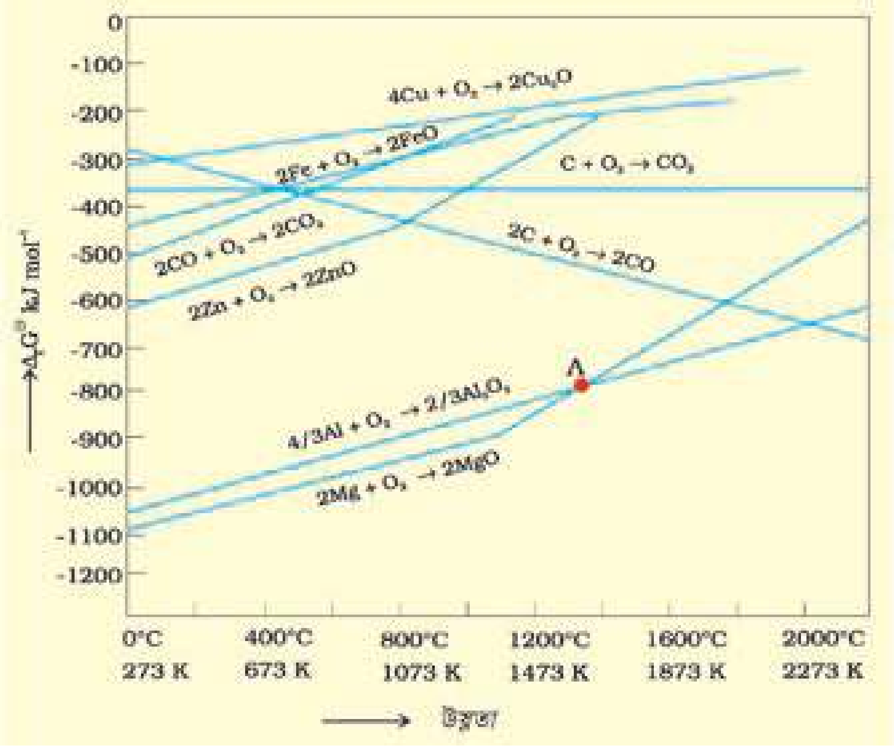
$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (6.14)$$

একটি নির্দিষ্ট প্রক্রিয়ার জন্য $\Delta H$ এনথ্যালপির পরিবর্তন এবং $\Delta S$ এনট্রপির পরিবর্তনকে নির্দেশ করে। যখন সমীকরণ 6.14 এর মান ঋনাত্মক হবে কেবলমাত্র তখনই বিক্রিয়াটি সামনের দিকে অগ্রসর হয়। নিম্নলিখিত অবস্থায় $\Delta G$ ঋনাত্মক হতে পারে ঃ

1. উষ্ণতা ($T$) বৃদ্ধিতে যদি $\Delta S$ ধনাত্মক হয় তবে $T\Delta S$ এরূপ বৃদ্ধি পায় যাতে $\Delta H < T\Delta S$ হয়। এই অবস্থায় উষ্ণতা বৃদ্ধিতে $\Delta G$ ঋনাত্মক হয়।
2. দুটি বিক্রিয়ার সংযোজন অর্থাৎ বিজারণ এবং জারণে যদি সামগ্রিক বিক্রিয়ার $\Delta G$ ঋণাত্মক হয় তবে চূড়ান্ত বিক্রিয়াটি সম্ভব হবে। গিবস্ শক্তি ($\Delta_rG^\ominus$) বনাম Tএর 6.4 লেখ চিত্র থেকে

* *ধাতুবিদ্যায় বিগালক যোগ করা হয়। যা খনিজমলের সঙ্গো যুক্ত হয়ে ধাতুমল তৈরী করে। আকরিক থেকে খনিজ মলের তুলনায় ধাতুমলের অপসারণ অধিক সহজতর। এইভাবে খনিজমলের অপসারণ সহজতর হয়।*

অক্সাইড উৎপাদনের সংযোজন বিক্রিয়া সহজেই বোধগম্য হয়। নিম্নলিখিত লেখচিত্রগুলো একগ্রাম মোল অক্সিজেন ব্যয়িত হলে মুক্ত শক্তির যে পরিবর্তন ঘটে সেগুলোকে নির্দেশ করে। এইচ.জে.টি (H.J.T) ইলিংহ্যাম প্রথম মুক্তশক্তির পরিবর্তন লেখচিত্রের সাহায্যে প্রকাশ করেন। অক্সাইডের বিজারণে ব্যবহৃত উপযুক্ত বিজারক পদার্থ নির্বাচন করা যায়। একে ইলিংহ্যাম চিত্র বলে। এইরূপ চিত্র আকরিকের তাপীয় বিজারণ এর সম্ভাব্যতা অনুমান করতে সাহায্য করে।




*চিত্র 6.4: কিছু অক্সাইড গঠনে প্রতি মৌল অক্সিজেন ব্যয় এর ক্ষেত্রে গিবস্ এর শক্তি ($\Delta_r G^\ominus$) বনাম T এর লেখচিত্র (ইলিংহ্যাম চিত্র)।*

আমরা জানি যে, বিজারণে ধাতুর অক্সাইড বিয়োজিত হয় এবং বিজারক পদার্থ অক্সিজেনকে অপসারিত করে। এক্ষেত্রে বিজারক পদার্থের ভূমিকা হলো $\Delta_r G^\ominus$ কে ঋণাত্মক করা এবং বিজারক পদার্থের জারণ এবং ধাতব অক্সাইডের বিজারণ এই দুটি বিক্রিয়ার $\Delta_r G^\ominus$ -এর সমষ্টিকে যথেষ্ঠ পরিমাণে ঋণাত্মক করা।

$$M_xO(s) \rightarrow xM \text{ (কঠিন বা তরল)} + \frac{1}{2}O_2(g) \quad [\Delta_r G^\ominus_{(M_xO, M)}] \qquad (6.15)$$

যদি কার্বন দ্বারা বিজারণ করা হয়, সেখানে বিজারক পদার্থের (অর্থাৎ C) জারণ হবে।

$$C(s) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow CO(g) \qquad [\Delta_r G^\ominus_{(C,CO)}] \qquad (6.16)$$

সেখানে, কার্বন থেকে $CO_2$ এর সম্পূর্ণ জারণও হতে পারে।

$$\frac{1}{2}C(s) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow \frac{1}{2}CO_2(g) \qquad [\tfrac{1}{2}\Delta_r G^\ominus_{(C,CO_2)}] \qquad (6.17)$$

বিক্রিয়া 6.15 এবং 6.16 সংযুক্ত করলে, আমরা পাই,

$$M_xO(s) + C(s) \rightarrow xM(s \text{ or } l) + CO(g) \quad (6.18)$$

বিক্রিয়া 6.15 এবং 6.17 সংযুক্ত করলে, আমরা পাই,

$$M_xO(s) + \frac{1}{2}C(s) \rightarrow xM(s \text{ or } l) + \frac{1}{2}CO_2(g) \quad (6.19)$$

অনুরূপে, যদি কার্বন মনোক্সাইড বিজারক পদার্থ হয়, তখন নীচের প্রদত্ত 6.15 এবং 6.20 বিক্রিয়াগুলোর সংযুক্তিকরণ প্রয়োজন।

$$CO(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow CO_2(g) \qquad [\Delta_r G^\ominus_{(CO,CO_2)}] \quad (6.20)$$

সামগ্রিক বিক্রিয়াটি হবে নিম্নরূপ ঃ

$$M_xO(s) + CO(g) \rightarrow xM(s \text{ or } l) + CO_2(g) \quad (6.21)$$

### ইলিংহ্যাম চিত্র

(a) $\Delta_f G^\ominus$ বনাম $T$ সম্পর্কিত ইলিংহ্যাম লেখচিত্রটি হল ধাতুর অক্সাইড এবং বিজারক দ্রব্যের উৎপাদন অর্থাৎ নিচের বিক্রিয়াটির জন্য–

$$2xM(s) + O_2(g) \rightarrow 2M_xO(s)$$

যেহেতু এই বিক্রিয়ায় গ্যাস, অক্সাইড উৎপাদনে ব্যয়িত হয় সেইহেতু অক্সাইড উৎপাদনের সময় আণবিক বিশৃঙ্খলতা হ্রাস পায়, তার জন্য $\Delta S$ এর মান ঋণাত্মক হয়, ফলস্বরূপ 6.14 সমীকরণে $T\Delta S$ এর মান ধনাত্মক হয়। সঙ্গত কারণেই (Subsequently) পরবর্তী পর্যায়ে $T$ বৃদ্ধি সত্ত্বেও $\Delta_f G^\ominus$ এর পরিবর্তন উপরের দিকে হয়। ফলস্বরূপ $M_xO(s)$ গঠনের বেশীর ভাগ বিক্রিয়ায় বক্ররেখার ধনাত্মক নতি দেখা যায়।

(b) কিছু অবস্থার পরিবর্তন যথা ($s \rightarrow l$ অথবা $l \rightarrow g$) ছাড়া প্রত্যেকটি লেখ একটি সরলরেখা এবং নতি উপরের দিকে হয়। যে উষ্ণতায় এই পরিবর্তন সংঘটিত হয় তা ধনাত্মক দিকে নতির বৃদ্ধি নির্দেশ করে। (উদাহরণস্বরূপ Zn, ZnO লেখচিত্রে (plot) বক্রতা, গলনের অপ্রত্যাশিত পরিবর্তনকে নির্দেশ করে (চিত্র 6.4)।

(c) যখন উষ্ণতা বৃদ্ধি করা হয় তখন লেখচিত্রটি একটি বিন্দুতে পৌছায় যেখানে এটি $\Delta_r G^\ominus=0$ রখাকে ছেদ করে। এই উষ্ণতার নীচে অক্সাইড গঠনের $\Delta_r G^\ominus$ ঋণাত্মক, সেজন্য $M_xO$ স্থায়ী। এই বিন্দুর উপরে অক্সাইড গঠনের মুক্ত শক্তি ধনাত্মক হয়। অক্সাইড $M_xO$ নিজে থেকেই বিয়োজিত হয়ে যায়।

(d) সালফাইড এবং হ্যালাইডের জন্যও অনুরূপ লেখচিত্র গঠন করা যায়। এগুলো থেকে পরিস্কার যে কেন $M_xS$ এর বিজারণ সহজ নয়।

#### ইলিংহ্যাম চিত্রের সীমাবদ্ধতা

1. একটি বিক্রিয়া সম্ভব কি সম্ভব নয় তা লেখচিত্র থেকে সহজে জানা যায় অর্থাৎ বিজারক দ্রব্য দ্বারা একটি বিজারণের প্রবণতা নির্দেশ করে। এর কারণ হল এটি তাপগতিবিদ্যার ধারণার উপর রচিত। এটি বিজারণ প্রক্রিয়ার গতিতত্ত্ব ব্যাখ্যা করতে পারে না। কিভাবে একটি বিজারণ দ্রুত অগ্রসর হবে এই ধরনের প্রশ্নের উত্তর দিতে পারে না। তবে কঠিন অবস্থায় এবং আকরিকের গলিত অবস্থায় কেন বিক্রিয়াগুলো মন্থর হয় তা ব্যাখ্যা করতে পারে। এটি উল্লেখযোগ্য যে, যে কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে উষ্ণতার পরিবর্তন সত্ত্বেও $\Delta H$ (এনথ্যালপির পরিবর্তন) এবং $\Delta S$ (এনট্রপির পরিবর্তন) এর মান প্রায় ধ্রুবক থাকে। সেজন্য সমীকরণ (6.14) এ একমাত্র প্রধান চলরাশি হলো উষ্ণতা ($T$)। তবে $\Delta S$ এর মান যৌগের ভৌত অবস্থার উপর নির্ভর করে। যেহেতু এনট্রপি সিস্টেমের বিশৃঙ্খলতার উপর নির্ভর করে, সেহেতু যদি কোন যৌগ গলে কঠিন থেকে তরল ($s \rightarrow l$) বা বাষ্পীভূত হয়ে তরল থেকে গ্যাসে ($l \rightarrow g$) রূপান্তরিত হয় তখন বিশৃঙ্খলতা বৃদ্ধি পায় অর্থাৎ $\Delta S$ -বৃদ্ধি পায়।

2. $\Delta_r G^\ominus$ এর বিস্তারিত ব্যাখ্যা $K$ ($\Delta G^\ominus = -RT \ln K$) এর উপর নির্ভর করে। এভাবে এটি অনুমান করা যায় যে বিক্রিয়ক এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থ সাম্যাবস্থায় আছে।

$$M_xO + A_{red} \rightleftharpoons xM + A_{red}O$$

এটি সর্বদা সত্য নয় কারণ বিক্রিয়ক এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থ কঠিন ও হতে পারে। বাণিজ্যিক পদ্ধতিতে বিক্রিয়ক এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থ অল্প সময়ের জন্য সংস্পর্শে থাকে।

6.18 এবং 6.21 বিক্রিয়াগুলি ধাতব অক্সাইড $M_xO$ এর প্রকৃত বিজারণ বর্ণনা করে, যা আমরা সম্পূর্ণ করতে চাই। এই বিক্রিয়াগুলোর $\Delta_r G^\ominus$ এর মান অনুরূপ অক্সাইডগুলি $\Delta_f G^\ominus$ এর মান থেকে পাওয়া যায়।

আমরা দেখি যে তাপ বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে (অর্থাৎ উষ্ণতা ($T$) বৃদ্ধি) $\Delta_r G^\ominus$ এর মান ঋনাত্বক হয়। সেজন্য এমন উষ্ণতা নির্বাচন করা হয় যাতে দুটি সংযুক্ত রেডক্স প্রক্রিয়ার $\Delta_r G^\ominus$ এর সমষ্টি ঋণাত্বক হয়। $\Delta_r G^\ominus$ বনাম $T$ সম্পর্কিত লেখচিত্রে (ইলিংহ্যাম লেখচিত্র, চিত্র 6.4) দুটি লেখ এর ছেদ বিন্দু দ্বারা এটি নির্দেশিত হয়। অর্থাৎ $M_xO$ এর গঠনের লেখ এবং বিজারক পদার্থের অক্সাইড গঠন লেখ। এই বিন্দুর পরে $\Delta_r G^\ominus$ এর মান বেশি ঋণাত্বক হয়, যাতে $M_xO$ এর বিজারণের সম্মিলিত পদ্ধতিটি সম্ভব হয়। নীচের রেখাতে উপস্থিত মৌলটির অক্সাইড গঠন এবং উপরের রেখাতে অবস্থিত মৌলটির অক্সাইডের বিজারণ, মৌলটি ঘটাতে পারবে কিনা সেটা নির্ভর করবে ঐ বিন্দুর পর দুটি বিক্রিয়ার $\Delta_r G^\ominus$ এর মানের পার্থক্যের উপর। যদি পার্থক্য বেশি হয়, তবে বিজারণ সহজতর হয়।

***নমুনা প্রশ্ন 6.1*** একটি শর্ত উল্লেখ করো যেখানে ম্যাগনেসিয়াম অ্যালুমিনাকে বিজারিত করতে পারে।

***সমাধান*** সমীকরণ দুটি হলো ঃ

(a) $\frac{4}{3}Al + O_2 \rightarrow \frac{2}{3}Al_2O_3$ (b) $2Mg + O_2 \rightarrow 2MgO$

$Al_2O_3$ এবং MgO এর লেখচিত্রের (চিত্র 6.4 এ "A" দ্বারা চিহ্নিত) ছেদ বিন্দুতে প্রদত্ত বিক্রিয়ার জন্য $\Delta_r G^\ominus$ এর মান শূন্য হয়।

$$\frac{2}{3}Al_2O_3 + 2Mg \rightarrow 2MgO + \frac{4}{3}Al$$

ঐ বিন্দুর নীচে ম্যাগনেসিয়াম, অ্যালুমিনাকে বিজারিত করতে পারে।

***নমুনা প্রশ্ন 6.2*** যদিও তাপগতীয় নীতিতে সম্ভব, তথাপি অ্যালুমিনিয়ামের ধাতুবিদ্যায় অ্যালুমিনার বিজারণে ম্যাগনেসিয়াম ধাতু ব্যবহার করা হয়না কেন?

***সমাধান*** $Al_2O_3$ এবং MgO এর লেখ ছেদ বিন্দুর নীচের উষ্ণতায় ম্যাগনেসিয়াম অ্যালুমিনাকে বিজারিত করতে পারে। কিন্তু পদ্ধতিটি লাভজনক নয়।

***নমুনা প্রশ্ন 6.3*** বিজারণের উষ্ণতায় যদি ধাতুটি তরল অবস্থায় থাকে তবে ধাতব অক্সাইডের বিজারণ সহজতর হয় কেন?

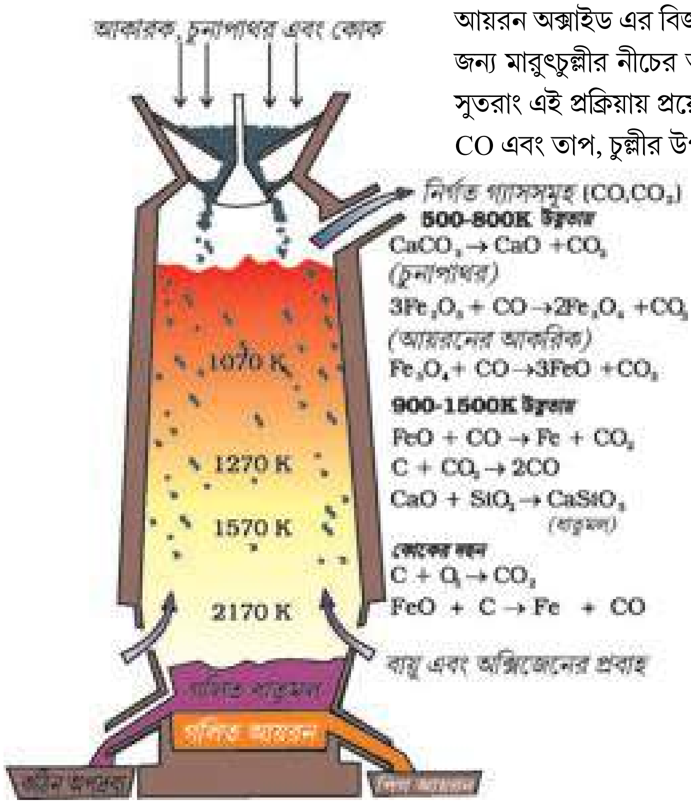
***সমাধান*** ধাতু কঠিন অবস্থায় চেয়ে যদি তরল অবস্থায় থাকে তবে এনট্রপি বেশী হয়। বিজারণ প্রক্রিয়ায় এনট্রপি পরিবর্তনের মান বেশী ধনাত্বক হয় যখন ধাতুটি তরল অবস্থা প্রাপ্ত হয় এবং ধাতব অক্সাইডটি কঠিন অবস্থায় বিজারিত হয়। এভাবে $\Delta_r G^\ominus$ এর মান ঋনাত্বক দিকে বেশী হয় এবং বিজারণ সহজতর হয়।

### 6.4.1 প্রয়োগ

*(a) আয়রনের অক্সাইড থেকে আয়রনের নিষ্কাশন*

গাঢ়ীকরণের পর আয়রনের অক্সাইড আকরিকের মিশ্রণ ($Fe_2O_3$, $Fe_3O_4$) থেকে জল অপসারণ করতে, কার্বনেটকে বিয়োজিত করতে এবং সালফাইডকে জরিত করতে ভস্মীকরণ/তাপজারণ করা হয়। প্রক্রিয়াগুলো করার পর এগুলোকে চুনাপাথর এবং কোকের সঙ্গে মিশিয়ে মারুৎচুল্লীর উপরের দিকে প্রবেশ করানো হয়। যেখানে অক্সাইড ধাতুতে বিজারিত হয়। মারুৎচুল্লীর মধ্যে (চিত্র 6.5)

আয়রন অক্সাইড এর বিজারণ বিভিন্ন উষ্ণতার সীমায় সংগঠিত হয়। উষ্ণতা 2200K বজায় রাখার জন্য মারুৎচুল্লীর নীচের অংশে কোক জ্বালিয়ে চুল্লীর নীচের দিকে গরম বায়ু প্রবাহিত করা হয়। সুতরাং এই প্রক্রিয়ায় প্রয়োজনীয় তাপের বেশির ভাগ অংশই কোকের দহন থেকে সরবরাহ হয়। CO এবং তাপ, চুল্লীর উপরের দিকে বের হয়ে যায়। উপরে দিকে উষ্ণতা কম এবং উপরের দিক থেকে আগত আয়রন অক্সাইড ($Fe_2O_3$ এবং $Fe_3O_4$) এ বিজারিত হয়। এই বিক্রিয়াগুলোকে নীচের মত সংক্ষেপে প্রকাশ করা হল ঃ




*চিত্র 6.5 ঃ মরুৎচুল্লী*

500 – 800 K (মারুৎচুল্লীতে নিম্ন উষ্ণতার) উষ্ণতায়,

$Fe_2O_3$ প্রথমে $Fe_3O_4$ তে এবং পরে FeO তে বিজারিত হয়।

$$3\ Fe_2O_3 + CO \rightarrow 2\ Fe_3O_4 + CO_2 \quad (6.22)$$

$$Fe_3O_4 + 4\ CO \rightarrow 3Fe + 4\ CO_2 \quad (6.23)$$

$$Fe_2O_3 + CO \rightarrow 2FeO + CO_2 \quad (6.24)$$

চুনাপাথর ও CaO এ বিয়োজিত হয় যা আকরিকের সিলিকেট অশুদ্ধিকে ধাতুমল রূপে অপসারিত করে। ধাতুমল গলিত অবস্থায় থাকে এবং আয়রন থেকে পৃথক হয়।

900 – 1500 K (মারুৎচুল্লীতে উচ্চ উষ্ণতার) উষ্ণতায় ঃ

$$C + CO_2 \rightarrow\ 2\ CO \quad (6.25)$$

$$FeO + CO \rightarrow\ Fe + CO_2 \quad (6.26)$$

কোক কিভাবে অক্সাইডকে বিজারিত করে এবং চুল্লীটিকে কেন নির্বাচিত করা হয়েছে তা বুঝতে তাপগতিবিদ্যা সাহায্যে করে। এই প্রক্রিয়াতে যুক্ত বিজারণ ধাপগুলোর মধ্যে 6.27 বিক্রিয়াটি, একটি মুখ্য বিজারণ ধাপ যা নীচে দেওয়া হয়েছে।

$$FeO(s) + C(s) \rightarrow Fe(s/l) + CO\ (g) \quad (6.27)$$

দুটি সরল বিক্রিয়ার সংযুক্তিকরণে এই বিক্রিয়াটি পাওয়া যায়। একটির মধ্যে FeO এর বিজারণ সংঘটিত হয় এবং অপরটিতে ‘C’, CO-এ জারিত হয়।

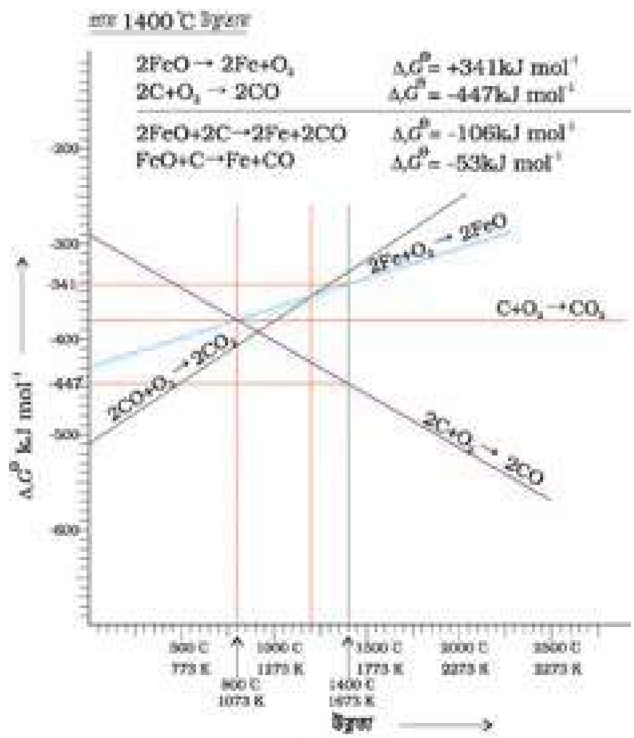
$$FeO(s) \rightarrow Fe(s) + \frac{1}{2}O_2(g) \qquad [\Delta_r G^{\ominus}_{(FeO,Fe)}] \quad (6.28)$$

$$C(s) + \frac{1}{2}O_2\ (g) \rightarrow CO\ (g) \qquad [\Delta_r G^{\ominus}_{(C,CO)}] \quad (6.29)$$

উভয় বিক্রিয়া সম্পাদনের মাধ্যমে সমীকরণ (6.27) থেকে বিক্রিয়াজাত পদার্থ উৎপাদন করার ক্ষেত্রে মোট মুক্ত শক্তির পরিবর্তন হলো ঃ

$$\Delta_r G^{\ominus}_{(C,\ CO)} + \Delta_r G^{\ominus}_{(FeO,\ Fe)} = \Delta_r G^{\ominus} \quad (6.30)$$

স্বাভাবিকভাবে, সামগ্রিক বিক্রিয়াটি সংগঠিত হবে যখন সমীকরণ 6.30 এর ডানদিক ঋণাত্মক হবে। $\Delta_r G^{\ominus}$ বনাম $T$ এর লেখটি Fe→ FeO এর পরিবর্তন চিত্র 6.6 এর উপরের দিকে যায় যেখানে C→ CO (C,CO) এর পরিবর্তন নিম্নমুখী। লেখগুলি 1073K এর উপরে পরস্পরকে ছেদ করে। 1073K (আনুমানিক) উষ্ণতার উপরে, C, CO রেখাটি Fe, FeO রেখাটির $[\Delta_r G^{\ominus}_{(C,CO)}] < [\Delta_r G^{\ominus}_{(FeO,Fe)}]$ নীচে অবস্থান করে। সেজন্য 1073 K এর উপরে 900–1500 K উষ্ণতার মধ্যে কোক FeO কে বিজারিত করে এবং নিজে CO -এ জারিত হয়। চলো চিত্র 6.6 (আনুমানিক $\Delta_r G^{\ominus}$ এর মানগুলো দেওয়া হয়েছে) থেকে এটি বোঝার চেষ্টা করি। প্রায় 1673K (1400°C) উষ্ণতায় নীচের বিক্রিয়াগুলোর $\Delta_r G^0$ মান:




*চিত্র 6.6 ঃ আয়রন এবং কার্বন (ইলিংহ্যাম চিত্রের) এর অক্সাইড গঠনের গিবইস মুক্ত শক্তি এবং T এর লেখচিত্র।*

$2Fe \rightarrow 2Fe+O_2$ বিক্রিয়ার জন্য $\Delta_r G^{\ominus}$ -এর মান +341 $kJmol^{-1}$ কারণ Fe→ FeO একটি বিপরীত মুখী পরিবর্তন এবং

$2C+O_2 \rightarrow 2CO$ বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে $\Delta_r G^{\ominus}$ এর মান- 447 $kJmol^{-1}$। সামগ্রিক বিক্রিয়া 6.27 থেকে আমরা $\Delta_r G^{\ominus}$ এর মান গণনা করতে পারি এবং এর মান হবে -53 $kJmol^{-1}$। সুতরাং বিক্রিয়া 6.27 সম্ভব হবে। অপেক্ষাকৃত কম উষ্ণতায় একইভাবে CO, $CO_2$ রেখার সহিত তাদের লেখ এর ছেদবিন্দুগুলো নীচের সরলরেখার অবস্থানের উপর নির্ভর করে CO দ্বারা $Fe_3O_4$ এবং $Fe_2O_3$ এর বিজারণ ক্রিয়া ব্যাখ্যা করা যায়।

মারুৎচুল্লী থেকে উৎপন্ন আয়রনে 4% কার্বন এবং অল্প পরিমাণে নানা ধরনের অশুদ্ধি (যেমন S, P, Si, Mn) উপস্থিত থাকে। এটি পিগ্ আয়রন নামে পরিচিত। একে নানা আকৃতিতে পরিণত করা যায়। কাস্ট আয়রন পিগ্ আয়রন থেকে পৃথক এবং পিগ্ আয়রনের সঙ্গে স্ক্রেপ আয়রন এবং কোক ব্যবহার করে উত্তপ্ত বায়ুর দ্বারা গলিয়ে এটি তৈরী করা যায়। এতে খুব কম কার্বন (প্রায় 3% ) থাকে এবং খুব শক্ত এবং ভঙ্গুর হয়।

*পুনঃ বিজারণ*

বাণিজ্যিক আয়রনের বিশুদ্ধতম রূপটি হল রট্ আয়রন বা নমনীয় আয়রন এবং হেমাটাইটের আস্তরন যুক্ত পরাবর্ত চুল্লীতে অশুদ্ধিগুলিকে জারিত করে কাস্ট আয়রন থেকে একে প্রস্তুত করা হয়। হেমাটাইট কার্বনকে জারিত করে কার্বন মনোক্সাইড তৈরী করে।

$$Fe_2O_3 + 3\ C \rightarrow 2\ Fe + 3\ CO \quad (6.31)$$

চুনাপাথরকে বিগালক রূপে যোগ করা হয় এবং সালফার, সিলিকন ও ফসফরাস জারিত হয়ে ধাতুমলের মধ্যে চলে যায়। রোলারের মধ্য দিয়ে পাঠিয়ে ধাতুকে ধাতুমল থেকে মুক্ত করা হয়।

*(b) কিউপ্রাস অক্সাইড [ কপার (I) অক্সাইড ] থেকে কপার নিষ্কাশন*

অক্সাইড গঠনে $\Delta_r G^{\ominus}$ বনাম T সম্পর্কিত (চিত্র 6.4) লেখচিত্রে $Cu_2O$ এর রেখাটি সবচেয়ে উপরে। সেজন্য তাপ দ্বারা কোক ব্যবহার করে কপার অক্সাইড আকরকিকে সহজেই কপারে বিজারিত করা যায়। বিশেষত 500 – 600K উষ্ণতার পরে (C, CO) এবং (C, $CO_2$) এর রেখাগুলি, লেখচিত্রের অনেক নীচে থাকে। তবে বেশীর ভাগ আকরিকই হল সালফাইড এবং তাদের মধ্যে কিছু কিছু ক্ষেত্রে আয়রনও থাকে। তাপজারণ/বিগলন প্রক্রিয়ার দ্বারা সালফাইড আকরিককে অক্সাইডে পরিণত করা যায়:

$$2Cu_2S + 3O_2 \rightarrow 2Cu_2O + 2SO_2 \quad (6.32)$$

কোক ব্যবহার করে অক্সাইডকে ধাতব কপারে বিজারিত করা যায়।

$$Cu_2O + C \rightarrow 2\ Cu + CO \quad (6.33)$$

সঠিক পদ্ধতিতে আকরিককে সিলিকার সঙ্গে মেশানোর পর পরাবর্ত চুল্লীতে উত্তপ্ত করা হয়। চুল্লীতে আয়রন অক্সাইড আয়রন সিলিকেটের ধাতুমল তৈরি করে। কপার, কপার ম্যাট রূপে তৈরি হয়। এতে $Cu_2S$ এবং FeS থাকে।

$$FeO + SiO_2 \rightarrow \underset{\text{(ধাতুমল)}}{FeSiO_3} \quad (6.34)$$

সিলিকাযুক্ত চুল্লীতে কপার ম্যাটকে আহিত করা হয়। কিছু সিলিকাও যুক্ত করা হয় এবং উত্তপ্ত বায়ু চুল্লীর ভেতর প্রবাহিত করে অবশিষ্ট FeS, FeO এবং $Cu_2S/Cu_2O$ কে ধাতব কপারে রূপান্তরিত

করা হয়। নিম্নলিখিত বিক্রিয়াগুলো সম্পন্ন হয় ঃ

$$2FeS + 3O_2 \rightarrow 2FeO + 2SO_2 \qquad (6.35)$$

$$FeO + SiO_2 \rightarrow FeSiO_3 \qquad (6.36)$$

$$2Cu_2S + 3O_2 \rightarrow 2Cu_2O + 2SO_2 \qquad (6.37)$$

$$2Cu_2O + Cu_2S \rightarrow 6Cu + SO_2 \qquad (6.38)$$

প্রাপ্ত কঠিনাকৃতি কপারকে ক্ষত বিক্ষত চেহারায় পাওয়া যায় এবং সেজন্য একে **ব্লিস্টার কপার** বলে।

*(c) জিঙ্ক অক্সাইড থেকে জিঙ্ক নিষ্কাশন ঃ*

কোক কার্বন ব্যবহার করে জিঙ্ক অক্সাইডের বিজারন করা হয়। এক্ষেত্রে তাপমাত্রা কপারের তুলনায় বেশী রাখা হয়। তাপ দেওয়ার জন্য, অক্সাইডকে কোক ও কাঁদা মাটির সাহায্যে ইটাকৃতি করা হয়।

$$ZnO + C \xrightarrow{coke, 1673K} Zn + CO \qquad (6.39)$$

ধাতুটিকে পাতিত করা হয় এবং দ্রুত শীতল করে সংগ্রহ করা হয়।

### বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলি

**6.3** $Cr_2O_3 + 2Al \rightarrow Al_2O_3 + 2Cr$ $(\Delta_r G^0 = -421kJ)$

তাপগতিবিদ্যা অনুযায়ী গিব্স শক্তির আপাতমান থেকে এই বিক্রিয়াটি সম্ভব কি? এটি কেন ঘরের উষ্ণতায় সংঘটিত হয় না?

**6.4** এটা কি সত্য যে কিছু কিছু শর্তে Mg, $Al_2O_3$ কে বিজারিত করতে পারে এবং Al, MgO কে বিজারিত করতে পারে? এই শর্তগুলি কী?

## 6.5 ধাতুবিদ্যার তড়িৎ রাসায়নিক নীতি সমূহ

আমরা দেখতে পাই কিভাবে পাইরোমেটালারজির ক্ষেত্রে তাপগতীয় বিদ্যার নীতিগুলো প্রয়োগ করা হয়। দ্রবণে বা গলিত অবস্থায় ধাতব আয়রনের বিজারণের ক্ষেত্রে অনুরূপ নীতি কার্যকরী। এখানে তড়িৎ বিশ্লেষণ দ্বারা বা কিছু বিজারক দ্রব্য যোগ করে এদের বিজারণ করা হয়।

গলিত ধাতব লবণের বিজারণের ক্ষেত্রে তড়িৎ বিশ্লেষণ করা হয়। এই পদ্ধতি তড়িৎ রাসায়নিক নীতির উপর নির্ভর করে, যা নীচের সমীকরণের সাহায্যে বোঝা যায় ঃ

$$\Delta G^0 = -nE^0F \qquad (6.40)$$

এখানে n হল ইলেকট্রনগুলোর সংখ্যা এবং $E^0$ হল রেডক্স প্রক্রিয়ার দ্বারা সিস্টেমে তৈরি হওয়া তড়িৎ বিভব। অধিক সক্রিয় ধাতুসমূহের তড়িৎ বিভবের মান বেশী ঋণাত্বক হয়। তাই তাদের বিজারণ খুব সহজে হয়না। যদি দুটি $E^0$ মানের পার্থক্য ধনাত্বক $E^0$ হয় তাহলে 6.40 সমীকরণে $\Delta G^0$ অবশ্যই ঋণাত্বক হবে, তখন কম সক্রিয় ধাতুটি দ্রবণ থেকে বেড়িয়ে আসবে এবং অধিক সক্রিয় ধাতু দ্রবণে চলে যাবে। উদাহরণস্বরূপ–

$$Cu^{2+}(aq) + Fe(s) \rightarrow Cu(s) + Fe^{2+}(aq) \qquad (6.41)$$

সাধারণ তড়িৎবিশ্লেষণে $M^{n+}$ আয়নগুলো ঋণাত্বক তড়িৎদ্বারে (ক্যাথাডে) তড়িৎমুক্ত হয় এবং সেখানে জমা হয়। উৎপন্ন ধাতুর সক্রিয়তা বিবেচনা করে সাবধানতা অবলম্বন করা হয় এবং উপযুক্ত ধাতব তড়িৎদ্বার ব্যবহার করা হয়। কখনো গলিত পদার্থকে বেশী পরিবাহী করতে বিগালক যোগ করা হয়।

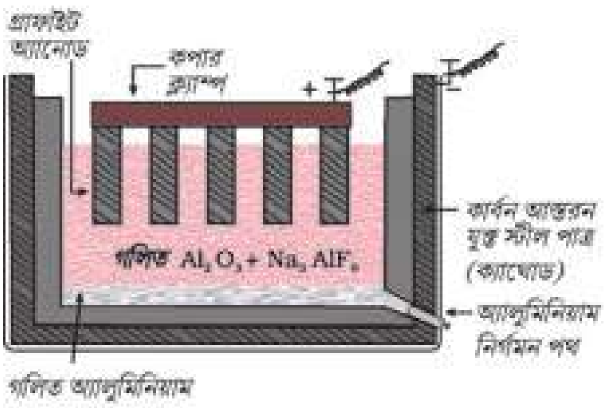
*অ্যালুমিনিয়াম*

অ্যালুমিনিয়াম ধাতুবিদ্যায় বিশুদ্ধ $Al_2O_3$ কে $Na_3AlF_6$ এবং $CaF_2$ এর সঙ্গে মেশানো হয় যা মিশ্রণের গলনাঙ্ক কমায় এবং পরিবাহীতা বৃদ্ধি করে। গলিত পদার্থটিকে তড়িৎ বিশ্লেষিত করা হয়। কার্বন আস্তরণযুক্ত স্টীলের পাত্র ক্যাথোড হিসাবে কাজ করে এবং গ্রাফাইট অ্যানোড ব্যবহৃত হয়। সামগ্রিক বিক্রিয়াটি এভাবে লেখা যায় ঃ

$$2Al_2O_3 + 3C \rightarrow 4Al + 3CO_2 \quad (6.42)$$

বহুল ব্যবহৃত তড়িৎ বিশ্লেষণের এই পদ্ধতিটি হল হেরোঁ পদ্ধতি নামে পরিচিত।

কার্বন তড়িৎদ্বার ব্যবহার করে গলিত পদার্থের তড়িৎ বিশ্লেষণ তড়িৎ বিশ্লেষ্য কোষে সম্পন্ন করা হয়। অ্যানোডে নির্গত অক্সিজেন কার্বন অ্যানোডের সঙ্গে বিক্রিয়া করে CO এবং $CO_2$ উৎপন্ন করে। এইভাবে প্রায় 0.5 kg কার্বন অ্যানোডের দহনে 1 kg অ্যালুমিনিয়াম তৈরি হয়। তড়িৎ বিশ্লেষ্য বিক্রিয়াগুলো হল ঃ




*চিত্র 6.7 ঃ অ্যালুমিনিয়ামের নিস্কাশনের তড়িৎবিশ্লেষণ কোষ*

ক্যাথোড ঃ $Al^{3+}$ (গলিত) $+ 3e^- \rightarrow Al(l)$ (6.43)

অ্যানোড ঃ $C(s) + O^{2-}$ (গলিত) $\rightarrow CO(g) + 2e^-$ (6.44)

$C(s) + 2O^{2-}$ (গলিত) $\rightarrow CO_2(g) + 4e^-$ (6.45)

*নিম্নমানের আকরিক এবং বর্জিত অংশ থেকে কপার সংগ্রহ ঃ*

নিম্নমানের আকরিক থেকে হাইড্রোমেটালার্জি করে কপার নিষ্কাশন করা হয়। একে অ্যাসিড বা ব্যাকটেরিয়া ব্যবহার করে লিচিং করা হয়। $Cu^{2+}$ যুক্ত দ্রবণকে বর্জিতাংশ আয়রন (scrap iron) বা $H_2$ এর সঙ্গে বিক্রিয়া করানো হয়।

$$Cu^{2+}(aq) + H_2(g) \rightarrow Cu(s) + 2H^+(aq) \quad (6.46)$$

***নমুনা প্রশ্ন 6.3***

এক জায়গায় নিম্নমানের কপার আকরিক অধিক পরিমাণে আছে এবং জিঙ্ক ও আয়রনের বর্জিতাংশও সহজলভ্য। কপার আকরিকের লিচিং এর জন্য দুটির বর্জিতাংশ (scraps) এর মধ্যে কোনটি অধিক উপযোগী এবং কেন?

***সমাধান***

তড়িৎরাসায়নিক শ্রেণীতে জিঙ্ক আয়রনের উপরে অবস্থিত (জিঙ্ক অধিক সক্রিয় ধাতু)। জিঙ্ক বর্জিতাংশ ব্যবহারে বিজারণ অধিক দ্রুত হয়। কিন্তু জিঙ্ক আয়রন থেকে দামী ধাতু বলে আয়রনের বর্জিতাংশ ব্যবহার গ্রহণযোগ্য এবং সুবিধাজনক।

## 6.6 জারণ -বিজারণ

বিজারণ ছাড়াও কিছু অধাতুর নিষ্কাশন মূলত জারণ প্রক্রিয়ার উপর নির্ভর করে। জারণ প্রক্রিয়ার উপর নির্ভর করে নিষ্কাশনের একটি সাধারণ উদাহরণ হল ব্রাইন (সমুদ্রের জলে ক্লোরিন সাধারণ লবণ রূপে বর্তমান) থেকে ক্লোরিন নিষ্কাশন।

$$2Cl^-(aq) + 2H_2O(l) \rightarrow 2OH^-(aq) + H_2(g) + Cl_2(g) \quad (6.47)$$

এই বিক্রিয়ার জন্য $\Delta G^\ominus$ এর মান + 422 kJ. $\Delta G^\ominus = -nE^\ominus F$ সমীকরণ ব্যবহার করে $E^0$ এর মান নির্ণয় করলে, আমরা পাই $E^0 = -2.2$ V প্রকৃত অর্থে 2.2 V থেকে বেশী তড়িৎচালক বল পাওয়ার জন্য বাহ্যিক তড়িৎচালক বলের প্রয়োজন হয়। কিন্তু তড়িৎবিশ্লেষণে বাঁধা সৃষ্টিকারী কিছু বিক্রিয়ার জন্য (অধ্যায়-3, অনুচ্ছেদ 3.5.1) অতিরিক্ত বিভবের প্রয়োজন হয়। এইভাবে তড়িৎ বিশ্লেষণ দ্বারা $Cl_2$ পাওয়ার সময় $H_2$ এবং জলীয় NaOH কে উপজাত দ্রব্য রূপে পাওয়া যায়। গলিত NaCl এর তড়িৎ বিশ্লেষণও করা যেতে পারে। তবে এক্ষেত্রে NaO এর পরিবর্তে Na ধাতু উৎপাদিত হয়।

পূর্বে আলোচনা করা হয়েছে যে গোল্ড এবং রূপার নিষ্কাশনে ধাতুকে $CN^-$ সহযোগে লিচিং করা হয়। এটিও একটি জারন প্রক্রিয়া ( $Ag \rightarrow Ag^+$ অথবা $Au \rightarrow Au^+$) ধাতুকে পরবর্তী সময়ে প্রতিস্থাপন পদ্ধতিতে পুনরুদ্ধার করা হয়।

$$4Au(s) + 8CN^-(aq) + 2H_2O(aq) + O_2(g) \rightarrow 4[Au(CN)_2]^-(aq) + 4OH^-(aq) \quad (6.48)$$

$$2[Au(CN)_2]^-(aq) + Zn(s) \rightarrow 2Au(s) + [Zn(CN)_4]^{2-}(aq) \quad (6.49)$$

এই বিক্রিয়ায় জিঙ্ক বিজারক হিসাবে কাজ করে।

## 6.7 বিশুদ্ধিকরণ

যে কোনো পদ্ধতিতে নিষ্কাশিত একটি ধাতুর সহিত সাধারণত কিছু অশুদ্ধি যুক্ত থাকে। অধিক বিশুদ্ধ ধাতু পাওয়ার জন্য, ধাতু এবং অবিশুদ্ধির ধর্মের পাথর্ক্যের উপর নির্ভর করে কিছু কৌশল অবলম্বন করা হয়। তাদের কয়েকটি নীচে লিপিবদ্ধ করা হলো ঃ

(a) পাতন

(b) তরলীকরণ

(c) তড়িৎবিশ্লেষণ

(d) জোন পরিশোধন

(e) বাষ্পীয় দশায় পরিশোধন

(f) ক্রোমোটোগ্রাফি পদ্ধতি

এই গুলি এখানে বিস্তারিত ভাবে আলোচনা করা হল ঃ

*(a) পাতন (Distillation)*

জিঙ্ক এবং মারকারীর মত কম স্ফুটনাঙ্ক বিশিষ্ট ধাতুগুলির জন্য এই পদ্ধতি খুব উপযোগী। অবিশুদ্ধ ধাতু বাষ্পীভূত হয়ে বিশুদ্ধ ধাতু পাতিত রূপে পাওয়া যায়।

*(b) তরলীকরণ (Liquation)*

এই পদ্ধতিতে টিনের মত কম গলনাঙ্ক বিশিষ্ট ধাতুকে নততলের মত তলের উপর দিয়ে প্রবাহিত করা হয়। এই পদ্ধতিতে উচ্চ গলনাঙ্ক বিশিষ্ট অশুদ্ধি থেকে একে পৃথক করা হয়।

*(c) তড়িৎশোধন (Electrolytic refining)*

এই পদ্ধতিতে অবিশুদ্ধ ধাতুকে অ্যানোডরূপে ব্যবহার করা হয়। একই ধাতুর বিশুদ্ধ টুকরো ক্যাথোড রূপে ব্যবহৃত হয়। ক্যাথোড এবং অ্যানোডে ব্যবহৃত একই ধাতুর জলে দ্রাব্য লবণের দ্রবণ তড়িৎবিশ্লেষ্য পাত্রে রাখা হয়। অধিক ক্ষারীর ধাতু দ্রবণে থেকে যায় এবং কম ক্ষারীয় পদার্থ অ্যানোড কাদা রূপে অ্যানোডের নীচে জমা হয়। এই পদ্ধতিকে তড়িৎ বিভবের ধারণা, বেশী বিভব এবং গিব্স শক্তির সাহায্যে ব্যাখ্যা করা যায়, যা তোমরা পূর্বের অনুচ্ছেদে দেখেছো।

অ্যানোড : $M \rightarrow M^{n+} + ne^-$

ক্যাথোড : $M^{n+} + ne^- \rightarrow M$ (6.50)

কপারকে তড়িৎ বিশ্লেষণ পদ্ধতি ব্যবহার করে বিশুদ্ধ করা হয়। অ্যানোডগুলো হল অবিশুদ্ধ কপার এবং বিশুদ্ধ কপারের টুকরো ক্যাথোড হিসাবে নেওয়া হয়। অ্যাসিডযুক্ত কপার সালফেট দ্রবণ তড়িৎ বিশ্লেষ্য হিসাবে ব্যবহৃত হয় এবং ফলস্বরূপ অ্যানোড থেকে বিশুদ্ধ কপার ক্যাথোডে জমা হয়।

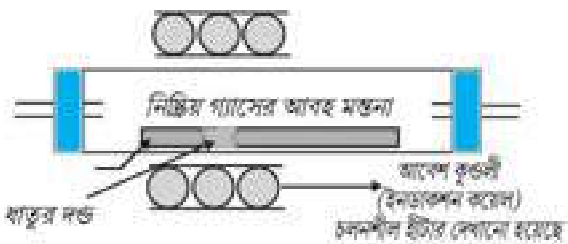
অ্যানোড : $Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2\ e^-$

ক্যাথোড: $Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$ (6.51)

ব্লিস্টার কপার থেকে অশুদ্ধিগুলো অ্যানোড কাঁদা হিসেবে জমা হয় যাতে অ্যান্টিমনি, সেলেনিয়াম, টেলুরিয়াম, সিলভার, গোল্ড এবং প্লাটিনাম উপস্থিত থাকে। এই মৌলগুলোর পুনরুদ্ধার বিশুদ্ধকরণের খরচ কমিয়ে দেয়। জিঙ্ককেও এই পদ্ধতিতে বিশুদ্ধ করা হয়।

*(d) জোন পরিশোধন (Zone refining)*

এই পদ্ধতির ভিত্তি হল অশুদ্ধিগুলো ধাতুর কঠিন অবস্থা থেকে গলিত অবস্থায় বেশী দ্রাব্য। অবিশুদ্ধ ধাতব দন্ডের চারদিকে একটি চলমান হীটার এর একটি শেষ প্রান্তে আটকানো আছে। (চিত্র 6.8) গলিত অংশ হীটারের সন্মুখগামীর অংশের সঙ্গো গতিশীল থাকে। যেহেতু হীটার সম্মুখগামী থাকে সেহেতু বিশুদ্ধ ধাতব কেলাস পেছনে পড়ে থাকে এবং অশুদ্ধিগুলো হীটারের গতির ফলে সৃষ্ট নুতন গলিত জোন এলাকায় সরে যায়। এই পদ্ধতি বারবার পুনরাবৃত্ত করা হয় এবং হীটারটিকে একই দিকে বারবার সরানো হয়। অশুদ্ধিগুলোর ঘনত্ব এক প্রান্তে বাড়ে। এই প্রান্তটি কেঁটে ফেলা হয়। এই পদ্ধতিটি অর্ধ পরিবাহী উৎপাদনে এবং অন্যান্য অতি বিশুদ্ধ ধাতু যেমন জার্মেনিয়াম, সিলিকন, বোরন, গ্যালিয়াম এবং ইন্ডিয়াম তৈরীতে ব্যবহৃত হয়।




*চিত্র 6.8 ঃ জোন পরিশোধন পদ্ধতি*

*(e) বাষ্পীয় দশায় পরিশোধন (Vapour phase refining)*

এই পদ্ধতিতে ধাতুটিকে এর উদ্বায়ী যৌগে রূপান্তরিত করে সংগৃহীত করা হয় এবং বিয়োজিত হয়ে বিশুদ্ধ ধাতু উৎপন্ন করে। সেজন্য দুটি শর্ত (requirements) হলো—

(i) ধাতু যাতে সহজলভ্য বিকারকের সঙ্গো উদ্বায়ী যৌগ গঠন করে।

(ii) উদ্বায়ী যৌগটি যাতে সহজে বিয়োজিত হয় এবং এর পুনরুদ্ধার যাতে সহজ হয়।

নীচের উদাহরণগুলো এই কৌশল প্রক্রিয়ার ব্যাখা করে।

*নিকেল পরিশোধনে মন্ড পদ্ধতি ঃ* এই পদ্ধতিতে নিকেলকে কার্বন মনোক্সাইডের প্রবাহে উত্তপ্ত করা হয় যাতে নিকেল টেট্রা কার্বোনিল নামে উদ্বায়ী জটিল যৌগ তৈরী হয়। বিশুদ্ধ ধাতু পেতে এই জটিল যৌগটিকে উচ্চতাপমাত্রায় বিয়োজিত করা হয়।

$$Ni + 4CO \xrightarrow{330-350\,K} Ni(CO)_4 \quad (6.52)$$

$$Ni(CO)_4 \xrightarrow{450-470\,K} Ni + 4CO \quad (6.53)$$

*জারকোনিয়াম অথবা টাইটেনিয়াম এর পরিশোধনে ভ্যান্ আর্কেল পদ্ধতি ঃ* Zr এবং Ti এর মত কিছু ধাতুতে অশুদ্ধি হিসেবে উপস্থিত সমস্ত অক্সিজেন এবং নাইট্রোজেন দূর করতে এই পদ্ধতি ব্যবহৃত হয়। অশোধিত ধাতুকে আয়োডিনের সঙ্গো একটি বায়ু শূন্য পাত্রে উত্তপ্ত করা হয়। ধাতব আয়োডাইড বেশী সমযোজী এবং উদ্বায়ী।

$$Zr + 2I_2 \rightarrow ZrI_4 \quad (6.54)$$

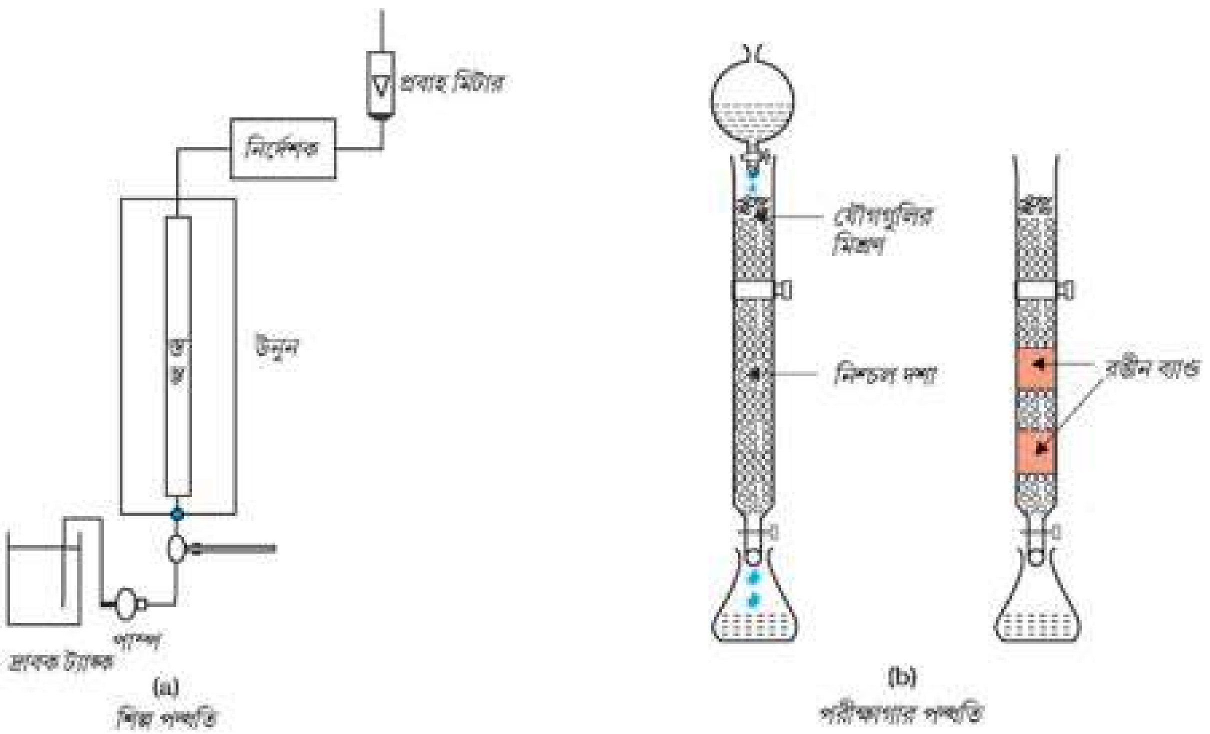
ধাতব আয়োডাইডকে টাংস্টেল ফিলামেন্ট এর উপর রেখে বিয়োজিত করা হয়। বৈদ্যুতিক ভাবে প্রায় 1800K এ উত্তপ্ত করা হয়। বিশুদ্ধ ধাতু ফিলামেন্টের উপর জমা হয়।

$$ZrI_4 \rightarrow Zr + 2I_2 \quad (6.55)$$

*(f) ক্রোমোটোগ্রাফি পদ্ধতি (Chromatographic methods)*

এই পদ্ধতিটি একটি মিশ্রণের বিভিন্ন উপাদানের অধিশোষক দ্বারা ভিন্ন ভিন্ন মাত্রায় অধিশোষিত হওয়ার নীতির উপর নির্ভর করে প্রতিষ্ঠিত। মিশ্রণটিকে নিশ্চল দশায় রাখা হয়, মিশ্রণটি কঠিন অথবা তরল হতে পারে। একটি বিশুদ্ধ দ্রাবক, দ্রাবকের মিশ্রণ অথবা গ্যাসকে নিশ্চল দশার উপর দিয়ে চালনা করা

হয়। মিশ্রণের বিভিন্ন উপাদান ধীরে ধীরে পৃথক হতে থাকে যখন চলমান দশাটি গতিশীল হয় (দ্বাদশ অধ্যায় দেখ, শ্রেণি XI)। কয়েক প্রকারের ক্রোমাটোগ্রাফি পদ্ধতি আছে, যেমন- গ্যাস ক্রোমাটোগ্রাফি, পেপার ক্রোমোটোগ্রাফি ইত্যাদি। চিত্র 6.9 এ স্তম্ভ ক্রোমাটোগ্রাফির পদ্ধতির চিত্র বর্ণনা করা হয়েছে। যে মৌলকে বিশুদ্ধ করতে হবে তার সহিত অশুদ্ধিগুলোর রাসায়নিক ধর্মাবলীর পার্থক্য খুবই কম এবং মৌলটির সঙ্গে অশুদ্ধি খুব কম পরিমাণে উপস্থিত থাকে, সেইক্ষেত্রে মৌলের বিশুদ্ধিকরণে স্তম্ভ ক্রোমাটোগ্রাফি খুবই উপযোগী।




*চিত্র 6.9 ঃ স্তম্ভ ক্রোমোটোগ্রাফিকর রেখাচিত্র*

## 6.8 অ্যালুমিনিয়াম, কপার, জিঙ্ক এবং আয়রনের ব্যবহার

অ্যালুমিনিয়ামের পাত খাদ্য দ্রব্যের মোড়ক হিসাবে ব্যবহৃত হয়। ধাতুর সূক্ষ্ম গুড়ো রং এবং বার্নিশ হিসাবে ব্যবহৃত হয়। অ্যালুমিনিয়াম অত্যন্ত সক্রিয় হওয়ায় ক্রোমিয়াম এবং ম্যাঙ্গানিজকে তাদের অক্সাইড থেকে নিষ্কাশন করতে ব্যবহৃত হয়। অ্যালুমিনিয়ামের তারে বৈদ্যুতিক পরিবাহী হিসাবে ব্যবহৃত হয়। অ্যালুমিনিয়াম যুক্ত সংকর ধাতু, খুব হালকা হওয়ায় ব্যবহারের জন্য খুবই উপযোগী।

* *অন্যভাবে দেখলে ক্রোমাটোগ্রাফি সাধারণভাবে নিশ্চল দশা এবং চলমান দশার সঙ্গে যুক্ত। নমুনা বা নিষ্কাশন নমুনা চলমান দশায় দ্রবীভূত থাকে। চলমান দশাটি গ্যাস, একটি তরল অথবা একটি অতিপ্রাকৃত তরল (supercritical fluid) হতে পারে। নিশ্চল দশাটি, $Al_2O_3$ স্তম্ভের সঙ্গে নিশ্চল এবং অদ্রবণীয়। চলমান দশাটি নিশ্চল দশার মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হতে পারে। চলমান দশা এবং নিশ্চল দশা এরূপভাবে নির্বাচন করতে হবে যাতে নমুনা উপাদানের দ্রাব্যতা দুটি দশায় ভিন্ন হয়। গতিশীল দশায় বেশী দ্রাব্য কিন্তু নিশ্চয় দশায় স্বল্প দ্রাব্য এমন উপাদানের ক্ষেত্রে নিশ্চল দশার মধ্য দিয়ে মোটামুটি দ্রাব্য উপাদন অতিক্রান্ত হতে বেশী সময় নেয়। এইভাবে নিশ্চল দশার মধ্য দিয়ে অতিক্রম করার সময় নমুনার উপাদান সমূহ একে অপরের থেকে পৃথক হয়। দুটি দশা এবং যে প্রক্রিয়াতে নমুনাটি ক্রোমাটোগ্রাফির জন্য প্রবেশ করানো হয় তার উপর নির্ভর করে ক্রোমাটোগ্রাফি পদ্ধতিটির নামকরণ করা হয়েছে। একাদশ শ্রেণির দ্বাদশ অধ্যায় (12.8.5) এ এই পদ্ধতিগুলির বিস্তারিত বিবরণ আলোচনা করা হয়েছে।*

বৈদ্যুতিক শিল্পে তার (wires) তৈরিতে এবং জল গরম করার তারের কুন্ডলী তৈরি করতে কপার ব্যবহৃত হয়। ধাতুর থেকে অধিকতর শক্তিশালী কিছু ধাতুসংকর যেমন ব্রাস (জিঙ্কের সহিত), ব্রোঞ্জ (টিনের সহিত) এবং মুদ্রা সংকর ধাতু (নিকেলের সহিত) তৈরিতেও এটি ব্যবহৃত হয়।

আয়রনের গ্যালভানাইজেশনে জিঙ্ক ব্যবহৃত হয়। ব্যাটারীতে অধিক পরিমাণে এটি ব্যবহৃত হয়। অনেক সংকরধাতুর উপাদান হল জিঙ্ক যেমন ব্রাস (Cu 60%, Zn 40%) এবং জার্মান সিলভার (Cu 25-30%, Zn 25-30%, Ni 40–50%)। রঞ্জক পদার্থ, রং ইত্যাদি পদার্থ উৎপাদনে জিঙ্কের ধূলি বিজারক পদার্থরূপে কাজ করে।

আয়রণের একটি গুরুত্বপূর্ণ রূপ হল কাস্ট আয়রণ, যা ঢালাই উনান (casting stoves), নর্মদার পাইপ (gutter pipes), রেলওয়েতে ঘুমানোর বিছানার গঠন (railway sleepers) এবং খেলনা তৈরি করতে ব্যবহৃত হয়। রট্ আয়রণ এবং স্টীল উৎপাদন এটি ব্যবহৃত হয়। রট আয়রণ নোঙ্গার (anchors) তৈরিতে, তার, বল্টু (bolts), শিকল (chains) এবং কৃষিজ সামগ্রী তৈরি করতে ব্যবহৃত হয়। স্টীলের ব্যবহার অনেক ক্ষেত্রেই লক্ষ্য করা যায়। অন্য ধাতু স্টীলের সহিত যোগ করে সংকর স্টীল পাওয়া যায়। নিকেল স্টীল ক্যাবল, অটোমোবাইল, এরোপ্লেনের যন্ত্রাংশ, পেন্ডুলাম, মাপনি ফিতা তৈরিতে ব্যবহৃত হয়। ক্রোমস্টীল যন্ত্রপাতি কাটার জন্য এবং নিষ্পেশন মেশিনে (crushing machines) ব্যবহৃত হয়। স্টেইনলেস স্টীল (কলঙ্কহীন ইস্পাত) সাইকেল, অটোমোবাইল, বাসনপত্র ও কলম ইত্যাদি তৈরিতে ব্যবহৃত হয়।

## সারাংশ

শিল্প বিপ্লবের পর আধুনিক ধাতুবিদ্যার প্রভূত উন্নতি ঘটলেও ধাতুবিদ্যার অন্তর্গত অনেক আধুনিক ধারণার শিকড় প্রাচীন রীতিগুলোর উপর নির্ভরশীল, যেগুলো শিল্প বিপ্লবের থেকেও প্রাচীন। 7000 বছরেরও বেশী সময় ধরে ভারতবর্ষ ধাতুবিদ্যার দক্ষতার ঐতিহ্য বহন করে আসছে। ধাতুবিদ্যায় ভারতীয় প্রাচীন ধাতুবিদ্‌গণের বিশাল অবদান রয়েছে, ফলে পৃথিবীতে ধাতুবিদ্যার ইতিহাসে তাঁরা বিশেষ স্থান অর্জন করেছে। জিঙ্ক এবং বেশী কার্বন বিশিস্ট স্টীল এর ক্ষেত্রে প্রাচীন ভারতবর্ষ আধুনিক ধাতুবিদ্যার অগ্রগতিতে উল্লেখযোগ্য অবদান রেখেছিল, যাহা ধাতুবিদ্যার অধ্যয়নকে উদ্বুদ্ধ করে শিল্পে বিপ্লব আনে।

বিভিন্ন ক্ষেত্রে ধাতুর প্রয়োজন হয়। এর জন্য এই ধাতুগুলো যেসকল খনিজে বর্তমান থাকে এবং যে সব খনিজ থেকে বাণিজ্যিকভাবে অপেক্ষাকৃত কম খরচে ধাতু নিষ্কাশন করা যায় সেগুলো থেকে এদের নিষ্কাশন করা হয়। এই খনিজগুলোকে আকরিক বলে। নানা ধরনের অশুদ্ধি ধাতুর আকরিকের সহিত যুক্ত থাকে। এই অশুদ্ধিগুলোকে একটি নির্দিস্ট সীমা পর্যন্ত গাঢ়ীকরণ পদ্ধতিতে দূর করা হয়। এরপর ধাতু পাওয়ার জন্য গাঢ়ীকৃত আকরিকের রাসায়নিক বিক্রিয়া ঘটানো হয়। সাধারণত ধাতব যৌগগুলো (যেমন- অক্সাইড, সালফাইড) ধাতুতে বিজারিত হয়। বিজারক হিসেবে কার্বন, CO অথবা কিছু ধাতু ব্যবহৃত হয়। তাপ গতিবিদ্যা এবং তড়িৎ রাসায়নিক ধারণা এই বিজারণ পদ্ধতিগুলোতে বিবেচনা করা হয়। ধাতব অক্সাইড বিজারক দ্রব্যের সঙ্গো বিক্রিয়া করে ধাতুতে বিজারিত হয় এবং বিজারক দ্রব্য জারিত হয়। এই দুটি বিক্রিয়ার মোট গিব্‌স শক্তির পরিবর্তন ঋণাত্মক হয় এবং তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে আরও ঋণাত্মক হয়। কঠিন থেকে তরল বা গ্যাসে ভৌত পরিবর্তনের সময় সমগ্র সিস্টেমের গিব্‌স শক্তি হ্রাস পায়। বিভিন্ন তাপমাত্রায় জারণ/বিজারণের ধারণাটি $\Delta G^\ominus$ বনাম T এর (ইলিংহ্যাম চিত্রে) লেখচিত্রে বর্ণনা করা হয়েছে। দুটি রেডক্সজোড়ার তড়িৎবিভব ধনাত্বক হলে গিব্‌স শক্তির পরিবর্তন ঋণাত্বক হয়, তড়িৎবিভবের এই ধারণাটি ধাতুর (যেমন Al, Ag, Au) পৃথকীকরণের কাজে লাগানো হয়। সাধারণ পদ্ধতিতে প্রাপ্ত ধাতুতে তখনও কিছু পরিমাণে অশুদ্ধি থাকে। বিশুদ্ধ ধাতু পাওয়ার জন্য বিশুদ্ধিকরণ প্রয়োজন। ধাতুর ধর্মের ভিন্নতা এবং অশুদ্ধির উপর বিশুদ্ধিকরণ পদ্ধতি নির্ভর করে। NaOH এর সহিত লিচিং দ্বারা বক্সাইট আকরিক থেকে অ্যালুমিনিয়াম নিষ্কাশন করা হয়। এইভাবে উৎপন্ন সোডিয়াম অ্যালুমিনেটকে পৃথক করা হয় এবং তারপর প্রশমিত করে হাইড্রোটেড অক্সাইড ফিরে পাওয়া যায়। যার সঙ্গো বিগালক ক্রায়োলাইট যোগ করে তড়িৎবিশ্লেষণ করা হয়। মারুৎচুল্লীতে আয়রনের

অক্সাইড আকরিককে বিজারিত করে আয়রন ধাতু নিষ্কাশিত করা হয়। পরাবর্ত চুল্লীতে উত্তাপ প্রয়োগে এবং বিগালন প্রক্রিয়ার দ্বারা কপার ধাতুকে নিষ্কাশিত করা হয়। কোক্ ব্যবহার করে জিঙ্ক অক্সাইড থেকে জিঙ্ক ধাতু নিষ্কাশন করা হয়। ধাতুর বিশুদ্ধিকরণে কতগুলো পদ্ধতি প্রচলিত আছে। সাধারণত বিভিন্ন ক্ষেত্রে ধাতুর ব্যাপক ব্যবহার রয়েছে এবং বিভিন্ন শিল্পের উন্নতির জন্য ধাতুর তাৎপর্য অপরিসীম।

| ধাতু | উপস্থিতি | নিষ্কাশনের সাধারণ পদ্ধতি | মন্তব্য /লক্ষ্য |
|---|---|---|---|
| অ্যালুমিনিয়াম | 1. বক্সাইট, $Al_2O_3 . x\, H_2O$<br>2. ক্রায়োলাইট, $Na_3AlF_6$ | গলিত $Na_3AlF_6$ এ দ্রবীভূত $Al_2O_3$ এর তড়িৎ বিশ্লেষণ | নিষ্কাশনের জন্য তড়িতের একটি ভাল উৎস প্রয়োজন |
| আয়রন | 1. হেমাটাইট, $Fe_2O_3$<br>2. ম্যাগনেটাইট, $Fe_3O_4$ | মারুৎ চুল্লীতে CO এবং কোক দ্বারা অক্সাইডের বিজারণ | তাপমাত্রা প্রায় 2170 K এর প্রয়োজন |
| কপার | 1. কপার পাইরাইটিস্ $CuFeS_2$<br>2. কপার গ্লান্স, $Cu_2S$<br>3. ম্যালাকাইট, $CuCO_3.Cu(OH)_2$<br>4. কিউপ্রাইট, $Cu_2O$ | সালফাইড এর আংশিক তাপজারণ এবং বিজারণ | বিশেষভাবে নির্মিত পরিবর্তকে (converter) এর স্বতঃ বিজারণ করা হয়। খুব সহজেই বিজারণ ঘটে। নিম্নমানের আকরিকের জন্য হাইড্রোমেটালার্জিতে লিচিং এর সময় সালফিউরিক অ্যাসিড ব্যবহৃত হয়। |
| জিঙ্ক | 1. জিঙ্ক ব্লেন্ড অথবা সাফালেরাইট, ZnS<br>2. ক্যালামাইন, $ZnCO_3$<br>3. জিঙ্কাইট, ZnO | তাপজারণ করে, কোক দ্বারা বিজারণ করা হয়। | ধাতুকে আংশিক পাতন দ্বারা বিশুদ্ধ করা যেতে পারে। |

# অনুশীলনী

6.1 কপারকে হাইড্রোমেটালার্জি (hydrometallurgy) দ্বারা নিষ্কাশন করা যায় কিন্তু জিঙ্ককে করা যায় না– ব্যাখা কর।

6.2 তৈলভাসন পদ্ধতিতে ডিপ্রেস্যান্ট (depressant) এর ভূমিকা কি?

6.3 বিজারণ পদ্ধতির সাহায্যে অক্সাইড আকরিক অপেক্ষা পাইরাইটিস্ আকরিক থেকে কপার নিস্কাশন কষ্টসাধ্য কেন?

6.4 ব্যাখা কর: (i) জোন বিশুদ্ধকরণ (ii) কলম বা স্তম্ভ ক্রোমাটোগ্রাফি

6.5 673 K তাপমাত্রায় C এবং CO এর মধ্যে কোনটি উত্তম বিজারক?

6.6 কপারের তড়িৎ বিশোধন পদ্ধতিতে অ্যানোড ম্যাডে উপস্থিত সাধারণ মৌলগুলোর নাম কর। এরা এভাবে উপস্থিত থাকে কেন?

6.7 আয়রন নিষ্কাশনে মারুৎ চুল্লীর বিভিন্ন অংশে সংগঠিত বিক্রিয়াগুলো লিখ।

6.8 জিঙ্ক ব্লেন্ড থেকে জিঙ্ক নিষ্কাশনে সংগঠিত রাসায়নিক বিক্রিয়াগুলো লিখ।

6.9 কপারের ধাতু বিদ্যায় সিলিকার ভূমিকা লিখ।

6.10 ক্রোমাটোগ্রাফি শব্দটি দ্বারা কি বুঝ?

6.11 ক্রোমাটোগ্রাফিতে কোন বিশেষশর্ত অনুসরণ করে নিশ্চল দশা নির্বাচন করা হয়?

6.12 নিকেল বিশুদ্ধকরণের পদ্ধতি বর্ণনা কর।

6.13 সিলিকা মিশ্রিত বক্সাইড আকরিকের সিলিকা থেকে অ্যালুমিনা কিভাবে পৃথক করবে? যদি সমীকরণ থাকে তাহলে উল্লেখ কর।

6.14 উদাহরণ সহ ঃ ভস্মীকরণ (calcination) এবং তাপজারণ (roasting) এর মধ্যে পার্থক্য নির্ণয় কর?

6.15 কাস্ট আয়রন পিগ আয়রন থেকে কিভাবে ভিন্ন হয়?

6.16 খনিজ ও আকরিকের মধ্যে পার্থক্য লিখ।

6.17 কপার ম্যাটকে কেন সিলিকার আস্তরণ যুক্ত চুল্লীতে রাখা হয়?

6.18 অ্যালুমিনিয়াম ধাতু নিষ্কাশনে ক্রায়োলাইট এর ভূমিকা কী?

6.19 নিম্নমানের কপার আকরিকের ক্ষেত্রে লিচিং কিভাবে করা হয়?

6.20 CO ব্যবহার করে বিজারণ প্রক্রিয়ার দ্বারা জিঙ্ক অক্সাইড থেকে জিঙ্ক নিষ্কাশন করা হয় না কেন?

6.21 $Cr_2O_3$ এর গঠনের $\Delta_fG^\ominus$ এর মান – 540 $kJmol^{-1}$ এবং $Al_2O_3$ এর ক্ষেত্রে – 827 kJmol হলে, Al দ্বারা $Cr_2O_3$ বিজারণ সম্ভব কি?

6.22 ZnO এর জন্য C এবং CO, এর মধ্যে কোনটি উত্তম বিজারক?

6.23 একটি বিশেষ ক্ষেত্রে বিজারক নির্বাচন (thermodynamic factor.) একটি তাপগতীয় বিষয়। এই বিবৃতিটি তুমি কতটুকু সমর্থন কর? তোমার উত্তরের সমর্থনে দুটি উদাহরণ দাও।

6.24 একটি পদ্ধতির নাম কর যা থেকে উপজাত পদার্থ হিসাবে ক্লোরিন পাওয়া যায়। যদি NaCl এর জলীয় দ্রবণে তড়িৎ বিশ্লেষণ করা হয় তবে কি ঘটে?

6.25 অ্যালুমিনিয়ামের তড়িৎ ধাতুবিদ্যায় গ্রাফাইট রডের ভূমিকা লিখ।

6.26 নীচের পদ্ধতিগুলোতে ধাতু বিশোধনের নীতি রূপরেখা গুলো লিখ।

(i) জোন বিশোধন

(ii) তড়িৎ বিশোধন

(iii) বাষ্পীয় দশা বিশোধন

6.27 Al কি শর্তে MgO কে বিজারিত করতে পারে বলে তুমি মনে কর?
(ইঙ্গিত ঃ- বিষয় ভিত্তিক প্রশ্ন 6.4 দেখ।)

## কিছু বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নের উত্তরমালা

6.1 আকরিক যার মধ্যে একটি উপাদান হয় অশুদ্ধি হিসাবে অথবা প্রকৃত আকরিক হিসাবে) চুম্বকীয়, তাদের গাঢ়ীকরণ সম্ভব উদাহরণস্বরূপ লৌহযুক্ত আকরিক (হেমাটাইট, ম্যাগনেটাইট এবং আয়রন পাইরাইটিস)

6.2 বক্সাইট আকরিক থেকে $SiO_2$, $Fe_2O_3$ ইত্যাদি অশুদ্ধিগুলো দূর করতে লিচিং গুরুত্বপূর্ণ সাহায্যকারীর ভূমিকা নেয়।

6.3 কিছু বিক্রিয়া তাপাগতীয় ভাবে সম্ভব হলেও তাদের ক্ষেত্রে কিছু পরিমাণ সক্রিয়করণ শক্তির প্রয়োজনীয়। সুতরাং তাপ প্রয়োগ প্রয়োজন হয়।

6.4 হ্যাঁ, 1350°C এর নীচে Mg ধাতু $Al_2O_3$ কে বিজারিত করতে পারে এবং 1350°C এর উপরে Al ধাতু MgO কে বিজারিত করতে পারে। এটি $\Delta G^\ominus$ বনাম T এর লেখ (চিত্র 6.4) থেকে সিদ্ধান্ত করা যায়।

অধ্যায়

# 7

# *p*-ব্লক মৌলসমূহ

## উদ্দেশ্য

এই অধ্যায়টি অধ্যয়নের পর তোমরা জানতে সক্ষম হবে

- 15,16,17 এবং 18 শ্রেণির মৌলসমূহের রাসায়নিক ধর্মের সাধারণ প্রবণতা;
- ডাইনাইট্রোজেন, ফসফরাস এবং তাদের কিছু গুরুত্বপূর্ণ যৌগের প্রস্তুতির পদ্ধতি, ধর্মাবলি এবং ব্যবহার;
- ডাইঅক্সিজেন এবং ওজোনের প্রস্তুতি, ধর্মাবলি এবং ব্যবহার, তাছাড়া কিছু সরল অক্সাইডের রসায়ন;
- সালফারের বিভিন্ন রূপভেদ সম্পর্কে, এটির গুরুত্বপূর্ণ যৌগের রাসায়নিক ধারণা এবং এর অক্সোঅ্যাসিডগুলোর গঠন সম্পর্কে;
- ক্লোরিন এবং হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড প্রস্তুতির পদ্ধতি, ধর্মাবলি এবং ব্যবহার;
- আন্তঃহ্যালোজেন যৌগের রসায়ন এবং হ্যালোজেনের অক্সিঅ্যাসিডগুলোর গঠন;
- নিষ্ক্রিয় গ্যাসগুলোর ব্যবহার পরিগণনা করতে;
- আমাদের প্রাত্যহিক জীবনে এই মৌলগুলোর এবং তাদের যৌগগুলোর গুরুত্বপূর্ণ দিক্‌গুলো অনুধাবন করতে।

*রসায়নশাস্ত্রে p—ব্লক মৌলসমূহের বৈচিত্রপূর্ণ দিক্‌টি হল এরা s, d ও f ব্লক মৌল সমূহের সাথে এমনকি নিজেদের মধ্যেও বিশেষ বৈশিষ্ট্যসুচক বিক্রিয়া সংঘটিত করে।*

একাদশ শ্রেণিতে তোমরা পড়েছ যে পর্যায় সারণির 13 নং শ্রেণি থেকে 18 নং শ্রেণি পর্যন্ত *p*-ব্লক মৌলসমূহ অবস্থান করে। তাদের যোজ্যতা কক্ষের ইলেকট্রন বিন্যাস হল $ns^2np^{1-6}$ (ব্যতিক্রম He, যার বিন্যাস হল $1s^2$)। অন্যান্য মৌলের মত *p*-ব্লক মৌলের ধর্মসমূহ, পরমাণুর আকার, আয়নায়ন এনথ্যালপি, ইলেকট্রন আসক্তি এবং তড়িৎঋণাত্মকতা দ্বারা প্রভাবিত হয়। ২য় পর্যায়ের মৌল সমূহে *d*-কক্ষকের অনুপস্থিতি এবং ভারী মৌলসমূহে *'d'* বা *d* ও *f* উভয় কক্ষকের উপস্থিতির (৩য় পর্যায় থেকে শুরু করে) জন্য মৌলসমূহের ধর্মাবলির উপর তাৎপর্যপূর্ণ প্রভাব পরিলক্ষিত হয়। এছাড়াও এই মৌলগুলোর মধ্যে ধাতু, ধাতুকল্প এবং অধাতু এই তিন ধরনের মৌলের উপস্থিতি রসায়নে বৈচিত্র এনেছে।

একাদশ শ্রেণিতে পর্যায় সারণির 13 নং এবং 14 নং শ্রেণির *p*-ব্লক মৌলসমূহ সম্পর্কে জেনেছ, এবার এই অধ্যায়ে পরবর্তী শ্রেণিরগুলোর মৌলগুলো সম্পর্কে জানবে।

## 7.1 15 শ্রেণির মৌল সমূহ

নাইট্রোজেন, ফসফরাস, আর্সেনিক, অ্যান্টিমনি, বিসমাথ্ এবং মস্কোভিয়াম 15 নং শ্রেণির অন্তর্ভুক্ত। শ্রেণি বরাবর নিচের দিকে অগ্রসর হলে অধাতব ধর্ম ধাতুকল্প হয়ে ক্রমশ ধাতব ধর্মের দিকে পরিবর্তিত হতে থাকে। নাইট্রোজেন এবং ফসফরাস হল অধাতু, আর্সেনিক এবং অ্যান্টিমনি হল ধাতুকল্প, বিস্‌মাথ ও মস্কোভিয়াম হল আদর্শ ধাতু।

### 7.1.1 প্রাচুর্যতা

বায়ুমণ্ডলে আয়তনগতভাবে 78% নাইট্রোজেন অণু থাকে। ভূত্বকে $NaNO_3$ (চিলিসল্টপিটার) এবং $KNO_3$ এর (ইন্ডিয়ান সল্টপিটার) মধ্যে একে পাওয়া যায়। উদ্ভিদ এবং প্রাণীর দেহে প্রোটিন রূপে একে পাওয়া যায়। ফসফেট শিলার মুখ্য উপাদান (ফ্লোর অ্যাপাটাইট $Ca_9(PO_4)_6 \cdot CaX_2$) এবং অন্যান্য

এপাটাইটের $Ca_9(PO_4)_6$. $CaX_2$ (X = F, Cl অথবা OH) খনিজে ফসফরাস পাওয়া যায়। উদ্ভিদ এবং প্রাণীর অপরিহার্য উপাদান হল ফসফরাস। হাড় এবং জীবিত কোষে ও এটি উপস্থিত থাকে। দুধ এবং ডিমে ফসফরাস ফসফোপ্রোটিন রূপে উপস্থিত থাকে। আর্সেনিক, অ্যান্টিমনি এবং বিস্‌মাথকে মূলত সালফাইড খনিজে পাওয়া যায়। মস্কোভিয়াম হল সংশ্লেষিত তেজষ্ক্রিয় মৌল। এর চিহ্ন Mc পরমাণু ক্রমাঙ্ক 115, পারমাণবিক ভর 289 এবং ইলেকট্রন বিন্যাস হল [Rn] $5f^{14}6d^{10}7s^27p^3$। Mc এর অর্ধায়ু খুব কম এবং একে খুব কম পরিমাণে পাওয়া যায় বলে এর রসায়ন এখনো পর্যন্ত সেভাবে প্রতিষ্ঠা পায়নি।

মস্কোভিয়াম ব্যতিত এই শ্রেণির অন্যান্য মৌলগুলোর ইলেকট্রন বিন্যাস সহ গুরুত্বপূর্ণ পারমাণবিক এবং ভৌত ধর্মাবলি 7.1 সারণিতে দেওয়া হল।

**সারণি 7.1 : 15 নং শ্রেণির মৌল সমূহের পারমাণবিক এবং ভৌত ধর্মাবলি**

| ধর্ম | | N | P | As | Sb | Bi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| পরমাণু ক্রমাঙ্ক | | 7 | 15 | 33 | 51 | 83 |
| পারমাণবিক ভর/g $mol^{-1}$ | | 14.01 | 30.97 | 74.92 | 121.75 | 208.98 |
| ইলেকট্রন বিন্যাস | | $[He]2s^22p^3$ | $[Ne]3s^23p^3$ | $[Ar]3d^{10}4s^24p^3$ | $[Kr]4d^{10}5s^25p^3$ | $[Xe]4f^{14}5d^{10}6s^26p^3$ |
| আয়নাইজেশন এনথ্যালপি | I | 1402 | 1012 | 947 | 834 | 703 |
| ($\Delta_i H$/(kJ $mol^{-1}$) | II | 2856 | 1903 | 1798 | 1595 | 1610 |
| | III | 4577 | 2910 | 2736 | 2443 | 2466 |
| তড়িৎঋণাত্বকতা/pm[a] | | 3.0 | 2.1 | 2.0 | 1.9 | 1.9 |
| সমযোজী ব্যাসার্ধ/pm | | 70 | 110 | 121 | 141 | 148 |
| আয়নীয় ব্যাসার্ধ/pm | | 171[b] | 212[b] | 222[b] | 76[c] | 103[c] |
| গলনাঙ্ক/K | | 63* | 317[d] | 1089[e] | 904 | 544 |
| স্ফুটনাঙ্ক/K | | 77.2* | 554[d] | 888[f] | 1860 | 1837 |
| ঘনত্ব/[g $cm^{-3}$(298 K)] | | 0.879[g] | 1.823 | 5.778[h] | 6.697 | 9.808 |

*[a] $E^{III}$ এক বন্ধন (E = মৌল); [b] $E^{3-}$; [c] $E^{3+}$; [d] সাদা ফসফরাস; [e] 38.6 বায়ুমন্ডলীয় চাপে ধূসর α– রূপ; [f] উর্ধ্বপাতন তাপমাত্রা; [g] 63 K তাপমাত্রা; [h] ধূসর α– রূপ; * আনবিক $N_2$.*

এই গ্রুপের মৌলসমূহের পারমাণবিক ভৌত এবং রাসায়নিক ধর্মাবলির কিছু প্রবণতা নিচে বর্ণনা করা হল।

### 7.1.2 ইলেকট্রন বিন্যাস

এই মৌলগুলোর যোজন কক্ষের ইলেকট্রন বিন্যাস হল $ns^2np^3$। এই মৌলগুলোর *s*-কক্ষক পূর্ণ কক্ষক এবং *p* -কক্ষকগুলো অর্ধপূর্ণকক্ষক হওয়ায় ইলেকট্রন বিন্যাসটি অতিরিক্ত স্থায়িত্বতা লাভ করে।

### 7.1.3 পারমাণবিক এবং আয়নিয় ব্যাসার্ধ

শ্রেণি বরাবর নিচের দিকে অগ্রসর হলে সমযোজী এবং আয়নিয় ব্যাসার্ধ (একটি নির্দিষ্ট অবস্থায়) বৃদ্ধি পায়। 'N' থেকে 'P' পর্যন্ত সমযোজী ব্যাসার্ধ উল্লেখযোগ্য পরিমাণে বৃদ্ধি পায়, তবে 'As' থেকে 'Bi' পর্যন্ত সমযোজী ব্যাসার্ধ খুব কম পরিমাণে বৃদ্ধি পায়। ভারী মৌলগুলোর ক্ষেত্রে *d* এবং *f* কক্ষকগুলো সম্পূর্ণ ভর্ত্তি থাকার জন্যই এই ঘটনাটি ঘটে।

### 7.1.4 আয়নায়ন এনথ্যালপি

শ্রেণি বরাবর নিচের দিকে অগ্রসর হলে' পরমাণুর আকার ক্রমান্বয়ে বৃদ্ধি পায় বলে আয়নায়ন এনথ্যালপির মান হ্রাস পেতে থাকে বা হ্রাস পায়। 15 নং শ্রেণির মৌলগুলো *p* কক্ষকগুলো অর্ধপূর্ণ সুস্থিত ইলেকট্রন বিন্যাসের জন্য এবং আকার ছোট হওয়ায় আয়নায়ন এনথ্যালপির মান একই পর্যায়ের 14 নং শ্রেণির মৌলগুলো থেকে অনেক বেশী হয়। আয়নায়ন এনথ্যালপির ধারাবাহিক প্রত্যাশিত ক্রমটি হল $\Delta_i H_1 < \Delta_i H_2 < \Delta_i H_3$ (সারণি 7.1 দেখ)।

**7.1.5 তড়িৎঋণাত্মকতা**

শ্রেণি বরাবর উপর থেকে নিচের দিকে অগ্রসর হলে পরমাণুর আকার বৃদ্ধির সাথে সাথে তড়িৎ ঋণাত্মকতার মান ক্রমান্বয়ে হ্রাস পায়। তবে ভারী মৌলগুলোর মধ্যে তড়িৎঋণাত্মকতার মানের পার্থক্য উল্লেখযোগ্য নয়।

**7.1.6 ভৌত ধর্মাবলি**

এই শ্রেণির মৌলগুলো বহু পরমাণুক হয়। ডাই নাইট্রোজেন হল দ্বিপরমাণুক গ্যাস যেখানে অন্যরা (মৌলগুলো) কঠিন। শ্রেণি বরাবর নিচের দিকে অগ্রসর হলে ধাতব ধর্ম বৃদ্ধি পায়। নাইট্রোজেন এবং ফসফরাস হল অধাতু। আর্সেনিক এবং অ্যান্টিমনি হল ধাতুকল্প এবং বিস্‌মাথ হল ধাতু। এর কারণ হল আয়নায়ন এনথ্যালপির মান ক্রমশ হ্রাস পায় এবং পরমাণুর আকার ক্রমান্বয়ে বৃদ্ধি পায়। শ্রেণির উপর থেকে নিচের দিকে অগ্রসর হলে স্ফুটনাঙ্ক সাধারণত বৃদ্ধি পায় কিন্তু গলনাঙ্ক আর্সেনিক পর্যন্ত বৃদ্ধি পায় এবং তারপরে বিস্‌মাথ পর্যন্ত কমতে থাকে। নাইট্রোজেন বাদে সব মৌলই বহুরূপতা ধর্ম দেখায়।

**7.1.7 রাসায়নিক ধর্মাবলি**

*জারণ অবস্থা এবং রাসায়নিক সক্রিয়তার প্রবণতা*

এই মৌলগুলোর সাধারণ জারণ অবস্থাগুলো হল –3, +3 এবং +5। শ্রেণির নিচের দিকে অগ্রসর হলে –3 জারণ অবস্থা দেখানোর প্রবণতা হ্রাস পায় কারণ পরমাণুর আকার এবং ধাতব ধর্ম উভয়ই বৃদ্ধি পায়। বস্তুত এই গ্রুপের শেষ সদস্য বিস্‌মাথ –3 জারন অবস্থার কোনো যৌগ তৈরি করে না। +5 জারণ অবস্থার স্থায়িত্বতা শ্রেণি বরাবর নিচের দিকে অগ্রসর হলে হ্রাস পায়। কেবলমাত্র $BiF_5$ যৌগেই Bi (V) জারণ অবস্থাটি দেখায় বা জারণ অবস্থায় থাকে। শ্রেণির নিচের দিকে অগ্রসর হলে +5 জারণ অবস্থাটির স্থায়িত্বতা হ্রাস পায় এবং +3 জারণ অবস্থাটির স্থায়িত্বতা বৃদ্ধি পায় নিষ্ক্রিয় যুগল প্রভাবের জন্য। নাইট্রোজেন অক্সিজেনের সঙ্গে বিক্রিয়া করে যৌগ গঠন করলে নাইট্রোজেন +5 জারণ অবস্থা ছাড়াও + 1, + 2, + 4 জারণ অবস্থা দেখায়। নাইট্রোজেনে *d*- কক্ষক না থাকার জন্য এটি অন্যান্য মৌলের ইলেকট্রনকে বন্ধন তৈরির জন্য স্থান করে দিতে পারে না বলে হ্যালোজেনের সঙ্গে +5 জারণ অবস্থার যৌগ তৈরি করতে পারে না ফসফরাস কিছু অক্সোঅ্যাসিডে + 1 এবং + 4 জারণ অবস্থা দেখায়।

নাইট্রোজেনের +1 থেকে +4 জারণ অবস্থাগুলো আম্লিক মাধ্যমে অসমঞ্জস্যে বিক্রিয়ার প্রবণতা দেখায়। উদাহরণস্বরূপ,

$$3HNO_2 \rightarrow HNO_3 + H_2O + 2NO$$

অনুরূপে ফসফরাসের মধ্যবর্তী জারণ অবস্থাগুলো অম্ল এবং ক্ষার উভয় মাধ্যমেই অসমঞ্জস্য বিক্রিয়া করে +5 এবং –3 জারণ অবস্থায় পৌঁছায়। তবে অসমঞ্জস্যে বিক্রিয়ার স্বাপেক্ষে আর্সেনিক, অ্যান্টিমনি ও বিসমাথের +3 জারণ অবস্থাটির স্থায়িত্ব উল্লেখযোগ্যভাবে বৃদ্ধি পায়।

নাইট্রোজেন সর্বোচ্চ সমযোজ্যতা 4 এর মধ্যে সীমাবদ্ধ থাকে কারণ এর চারটি (একটি $s$ -কক্ষক এবং তিনটি $p$ কক্ষক) কক্ষক বন্ধন তৈরিতে অংশগ্রণ করতে পারে। ভারী মৌলসমূহ যোজন কক্ষের খালি $d$ কক্ষকগুলোকে বন্ধনের জন্য ব্যবহার করতে পারে, সেজন্য সমযোজ্যতা বৃদ্ধি করতে পারে, যেমন- $PF_6^-$।

*নাইট্রোজেনের ব্যতিক্রমী ধর্মাবলি*

নাইট্রোজেনের আকার ছোট, তড়িৎঋণাত্মকতার মান বেশি, আয়নায়ন এন্‌থ্যালপির মান উচ্চ এবং $d$ কক্ষকের অনুপস্থিতির জন্য এটি এই শ্রেণির অন্যান্য সদস্যদের থেকে ভিন্ন হয়। নাইট্রোজেন অপর একটি নাইট্রোজেনের সাথে এবং বেশি তড়িৎঋণাত্মকতা সম্পন্ন ও ছোট আকার বিশিষ্ট অন্যান্য পরমাণুর (উদাহরণ C, O) সাথে $p\pi$-$p\pi$ একাধিক বন্ধন গঠন করতে পারে। এই শ্রেণির তুলনামূলক ভারি মৌলগুলোর পারমাণবিক কক্ষকের আকার বড় এবং পরিব্যাপ্ত হওয়ায় $p\pi$-$p\pi$ বন্ধন গঠিত হয় না এবং কার্যকরী অভিলেপন হয় না। এইভাবে দুটি নাইট্রোজেন পরমাণুর মধ্যে ত্রিবন্ধন (একটি সিগমা ($\sigma$) এবং দুটি পাই ($\pi$)) গঠনের মাধ্যমে নাইট্রোজেন দ্বিপরমাণুক অনুরূপে থাকে। পাশাপাশি এর বন্ধন

শক্তি (941.4 kJ $mol^{-1}$) খুব বেশি হয়। বিপরীত দিক দিয়ে ফসফরাস, আর্সেনিক এবং অ্যান্টিমনি নিজেদের মধ্যে P–P, As–As এবং Sb–Sb একবন্ধন গঠন করে, যেখানে বিস্‌মাথ মৌলিক অবস্থায় ধাতব বন্ধন গঠন করে। তবে N–N বন্ধন দৈর্ঘ্য ছোট হওয়ায় নাইট্রোজেন পরমাণু দুয়ের মধ্যে উপস্থিত অব্যবহৃত ইলেকট্রনগুলোর মধ্যে আন্ত:ইলেকট্রনীয় বিকর্ষন বল অনেক বেশী হয়, ফলে N–N এক বন্ধনটি P–P এক বন্ধন থেকে দুর্বল হয়। এর ফলে নাইট্রোজেনের ক্যাটিনেশন ধর্ম খুবই কম। নাইট্রোজেনের যোজন কক্ষে *d* কক্ষকের অনুপস্থিতি নাইট্রোজেনের রসায়নেও প্রভাব বিস্তার করে। চার সমযোজ্যতার সীমাবদ্ধতা ছাড়াও নাইট্রোজেন $d\pi - p\pi$ বন্ধন গঠন করতে পারে না যেখানে ভারী মৌল সমূহ করতে পারে যেমন $R_3P = O$ অথবা $R_3P = CH_2$ (R = অ্যালকিল মূলক)। জটিল যৌগে $P(C_2H_5)_3$ এবং $As(C_6H_5)_3$ যখন লিগ্যান্ড হিসেবে কাজ করে তখন ফসফরাস এবং আর্সেনিক সন্ধিগত ধাতুর সাথে $d\pi - d\pi$ বন্ধনও গঠন করে।

(i) *হাইড্রোজেনের সাথে বিক্রিয়া ঃ* 15নং শ্রেণির সব মৌল $EH_3$ ধরনের হাইড্রাইড গঠন করে যেখানে E হল N, P, As, Sb অথবা Bi সারণি 7.2 তে এই হাইড্রাইডগুলোর কিছু ধর্মাবলি দেখানো হয়েছে। হাইড্রাইডগুলো তাদের ধর্মাবলির নিয়মিত ক্রম প্রদর্শন করে। বন্ধন বিয়োজন শক্তির মান থেকে দেখা যায় হাইড্রাইডগুলোর স্থায়িত্বতা $NH_3$ থেকে $BiH_3$ পর্যন্ত হ্রাস পায়। তাই এই হাইড্রাইডগুলোর বিজারণ ধর্ম বৃদ্ধি পায়। অ্যামোনিয়া হল দুর্বল বিজারক দ্রব্য যেখানে হাইড্রাইডগুলোর মধ্যে $BiH_3$ হল শক্তিশালী বিজারক দ্রব্য। ক্ষার ধর্মের অধ:ক্রম হল $NH_3 > PH_3 > AsH_3 > SbH_3 > BiH_3$। নাইট্রোজেনের ছোট আকার এবং উচ্চ তড়িৎঋণাত্মকতার জন্য $NH_3$ কঠিন অবস্থার পাশাপশি তরল অবস্থাতেও হাইড্রোজেন বন্ধন গঠন করতে পারে। একারণেই এর স্ফুটনাঙ্ক এবং গলনাঙ্ক বেশী হয়।

**সারণি 7.2 : 15 নং শ্রেণির মৌলসমূহের হাইড্রাইডগুলোর ধর্মাবলি**

| ধর্ম | $NH_3$ | $PH_3$ | $AsH_3$ | $SbH_3$ | $BiH_3$ |
|---|---|---|---|---|---|
| গলনাঙ্ক/K | 195.2 | 139.5 | 156.7 | 185 | – |
| স্ফুটনাঙ্ক/K | 238.5 | 185.5 | 210.6 | 254.6 | 290 |
| (E–H) দৈর্ঘ্য/pm | 101.7 | 141.9 | 151.9 | 170.7 | – |
| HEH কোণ (°) | 107.8 | 93.6 | 91.8 | 91.3 | – |
| $\Delta_f H^\ominus$/kJ $mol^{-1}$ | –46.1 | 13.4 | 66.4 | 145.1 | 278 |
| $\Delta_{বিয়োজন} H^\ominus$(E–H)/kJ $mol^{-1}$ | 389 | 322 | 297 | 255 | – |

(ii) অক্সিজেনের সাথে বিক্রিয়া ঃ এই সব মৌলগুলো দুই ধরনের অক্সাইড গঠন করে যথা $E_2O_3$ এবং $E_2O_5$। উচ্চ জারণস্তরের মৌলের অক্সাইড নিম্ন জারণস্তরের অক্সাইড থেকে বেশী আম্লিক। তাদের আম্লিক চরিত্র শ্রেণির নিচের দিকে অগ্রসর হলে হ্রাস পায়। নাইট্রোজেন এবং ফসফরাস এর $E_2O_3$ ধরনের অক্সাইডগুলো বিশুদ্ধ আম্লিক, যেখানে আর্সেনিক এবং অ্যান্টিমনির অক্সাইড উভধর্মী এবং বিস্‌মাথের অক্সাইড ক্ষারীয় হয়।

(iii) হ্যালোজেনের সাথে বিক্রিয়া ঃ এই মৌলগুলো দুই ধরনের হ্যালাইড গঠন করে যথা $EX_3$ এবং $EX_5$। নাইট্রোজেনের যোজন কক্ষে *d* কক্ষকের অনুপস্থিতির জন্য এটি পেন্টাহ্যালাইড গঠন করতে পারে না। ট্রাইহ্যালাইডের তুলনায় পেন্টাহ্যালাইডগুলো অধিক সমযোজী। এর কারণ হল পেন্টাহ্যালাইডে মৌলগুলো +5 জারণস্তরে থাকে যেখানে ট্রাই হ্যালাইডে +3 জারণস্তর বর্তমান।

মৌলের +5 জারণ অবস্থাটির ধ্রুবায়ন ক্ষমতা +3 জারণ অবস্থা থেকে বেশী হয় তাই পেন্টা হ্যালাইডে বন্ধনের সমযোজী চরিত্র বেশী হয়। নাইট্রোজেনের ট্রাই হ্যালাইড ব্যতীত অন্যান্য মৌলের ট্রাইহ্যালাইডগুলো সুস্থিত। নাইট্রোজেনের ট্রাইহ্যালাইডগুলোর মধ্যে কেবলমাত্র $NF_3$ সুস্থিত যৌগ বলে জানা আছে। ট্রাই হ্যালাইডগুলোর মধ্যে $BiF_3$ ছাড়া অন্যান্যরা মুখ্যত সমযোজী চরিত্রের হয়।

(iv) ধাতুর সাথে বিক্রিয়া ঃ এই শ্রেণির সমস্ত মৌলগুলো ধাতুর সাথে বিক্রিয়া করে দ্বিযৌগ তৈরি করে এবং –3 জারণ অবস্থায় থাকে, যেমন $Ca_3N_2$ (ক্যালসিয়াম নাইট্রাইড), $Ca_3P_2$ (ক্যালসিয়াম ফসফাইড), $Na_3As$ (সোডিয়াম আর্সেনাইড), $Zn_3Sb_2$ (জিঙ্ক অ্যান্টিমেনোইড) এবং $Mg_3Bi_2$ (ম্যাগনেশিয়াম বিসমুথাইড)।

**নমুনা প্রশ্ন 7.1**

নাইট্রোজেন +5 জারণ সংখ্যা প্রদর্শন করলেও পেন্টাহ্যালাইড গঠন করে না। কারণ দর্শাও।

**সমাধান**

নাইট্রোজেনের যোজন কক্ষ n = 2 তে, শুধুমাত্র *s* এবং *p* কক্ষক উপস্থিত থাকে। 4 (চার)-এর বেশী সমযোজ্যতা সম্প্রসারণের জন্য প্রয়োজনীয় *d* -কক্ষক, এর মধ্যে উপস্থিত থাকে না। একারণেই এটি পেন্টাহ্যালাইড গঠন করতে পারে না।

**নমুনা প্রশ্ন 7.2**

$PH_3$ এর স্ফুটনাঙ্ক $NH_3$ এর তুলনায় কম কেন?

**সমাধান**

$NH_3$ এর মত $PH_3$ এর অণুগুলো তরল অবস্থায় হাইড্রোজেন বন্ধনের দ্বারা সংগুনিত অবস্থায় থাকে না। একারণেই $PH_3$এর স্ফুটনাঙ্ক $NH_3$ চেয়ে কম।

**বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলি**

7.1 P, As, Sb এবং Bi এর পেন্টাহ্যালাইডগুলোর সমযোজী চরিত্র ট্রাই হ্যালাইড থেকে বেশী কেন?

7.2 15 নং শ্রেণির মৌল সমূহের হাইড্রাইডগুলোর মধ্যে $BiH_3$ সর্বাধিক শক্তিশালী বিজারক দ্রব্য কেন?

## 7.2 ডাইনাইট্রোজেন

*প্রস্তুতি*

বায়ুর আংশিক পাতন এবং তরলীকরণ দ্বারা বাণিজ্যিকভাবে ডাইনাইট্রোজেন তৈরি করা হয়। তরল নাইট্রোজেনের স্ফুটনাঙ্ক (স্ফুটনাঙ্ক 77.2 K) তরল অক্সিজেনের স্ফুটনাঙ্কের (স্ফুটনাঙ্ক 90 K) চেয়ে কম হওয়ায় নাইট্রোজেন আগে পাতিত হয়।

রসায়নগারে অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইডের জলীয় দ্রবণের সাথে সোডিয়াম নাইট্রেটের বিক্রিয়ার দ্বারা ডাই নাইট্রোজেন তৈরি করা হয়।

$$NH_4Cl(\text{আর্দ্র}) + NaNO_2(\text{আর্দ্র}) \rightarrow N_2(g) + 2H_2O(l) + NaCl\ (\text{আর্দ্র})$$

কিছু পরিমাণে NO এবং $HNO_3$ ও এই বিক্রিয়ায় তৈরি হয়। সালফিউরিক অ্যাসিড দ্বারা অম্লীকৃত পটাসিয়াম ডাইক্রোমেটের মধ্য দিয়ে পাঠিয়ে এই অশুদ্ধিগুলো দূর করা যায়। অ্যামোনিয়াম ডাইক্রোমেটের তাপীয় বিয়োজনেও নাইট্রোজেন পাওয়া যায়।

$$(NH_4)_2Cr_2O_7 \xrightarrow{\text{তাপ}} N_2 + 4H_2O + Cr_2O_3$$

সোডিয়াম বা বেরিয়াম অ্যাজাইডের তাপীয় বিয়োজনে বিশুদ্ধ নাইট্রোজেন পাওয়া যায়।

$$Ba(N_3)_2 \rightarrow Ba + 3N_2$$

*ধর্মাবলি*

ডাই নাইট্রোজেন হল বর্ণহীন, গন্ধহীন, স্বাদহীন অবিষাক্ত গ্যাস। নাইট্রোজেন পরমাণুর দুটি সুস্থিত সমস্থানিক (isotopes) আছে: $^{14}N$ এবং $^{15}N$। জলে এর দ্রাব্যতা (273 K এবং 1 বার চাপে এক লিটার জলে ) খুবই কম এবং হিমাঙ্ক ও স্ফুটনাঙ্ক কম (সারণি 7.1 এ উল্লেখ করা আছে)

$N \equiv N$ এর বন্ধন এনথ্যালপি উচ্চ হওয়ার জন্য ঘরের তাপমাত্রায় ডাইনাইট্রোজেন অপেক্ষাকৃত নিষ্ক্রিয় হয়। তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে সাথে রাসায়নিক সক্রিয়তা দ্রুত বাড়তে থাকে। উচ্চতর উষ্ণতায় এটি কিছু ধাতুর সাথে সরাসরি যুক্ত হয়ে মুখ্যত আয়নীয় নাইট্রাইড এবং অধাতুর সাথে সমযোজী নাইট্রাইড গঠন করে। কিছু উপযুক্ত বিক্রিয়া হল

$$6Li + N_2 \xrightarrow{\text{তাপ}} 2Li_3N$$

$$3Mg + N_2 \xrightarrow{\text{তাপ}} Mg_3N_2$$

হেবার পদ্ধতিতে অনুঘটকের উপস্থিতিতে 773 K উষ্ণতায় এটি হাইড্রোজেনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে অ্যামোনিয়া তৈরি করে :

$$N_2(g) + 3H_2(g) \xrightleftharpoons{773\ k} 2NH_3(g); \qquad \Delta_f H^\ominus = -46.1\ kJmol^{-1}$$

অতি উচ্চ উষ্ণতায় (প্রায় 2000 K) ডাই নাইট্রোজেন, ডাই অক্সিজেনের সাথে যুক্ত হয়ে নাইট্রিক অক্সাইড, NO গঠন করে।

$$N_2 + O_2(g) \xrightleftharpoons{\text{তাপ}} 2NO(g)$$

ব্যবহারিক : অ্যামোনিয়া প্রস্তুত করতে এবং শিল্পে নাইট্রোজেন যুক্ত যৌগ (যেমন ক্যালসিয়াম সায়ানামাড) তৈরি করতে নাইট্রোজেন ব্যবহৃত হয়। নিষ্ক্রিয় পরিবেশে কোনও কিছু তৈরি করতে (যেমন- লোহা এবং ইস্পাত শিল্পে, সক্রিয় রাসায়নিক যৌগের জন্য নিষ্ক্রিয় দ্রাবক) এটি ব্যবহৃত হয়। ক্রাইয়োশল্য চিকিৎসায়, খাদ্য দ্রব্য এবং জৈবিক উপাদান সংরক্ষণের জন্য রেফ্রিজারেটরে তরল নাইট্রোজেন ব্যবহার করা হয়।

*নমুনা প্রশ্ন 7.3* সোডিয়াম অ্যাজাইডের তাপীয় বিয়োজনের বিক্রিয়াটি লিখ।

*সমাধান* সোডিয়াম অ্যাজাইড তাপীয় বিয়োজনে ডাই নাইট্রোজেন গ্যাস দেয়।

$$2NaN_3 \rightarrow 2Na + 3N_2$$

**বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলি**

7.3 ঘরের তাপমাত্রায় $N_2$ কম সক্রিয় কেন?

## 7.3 অ্যামোনিয়া

*প্রস্তুতি*

বায়ুতে স্বল্প পরিমাণে অ্যামোনিয়া বর্তমান এবং মাটিতে নাইট্রোজেন গঠিত জৈব যৌগের (উদাহরণ-ইউরিয়া) বিয়োজনে এটি তৈরি হয়।

$$NH_2CONH_2 + 2H_2O \rightarrow (NH_4)_2CO_3 \rightleftharpoons 2NH_3 + H_2O + CO_2$$

অ্যামোনিয়া লবণ থেকে স্বল্প পরিসরে অ্যামোনিয়া পাওয়া যায়। কস্টিকসোডা বা ক্যালসিয়াম হাইড্রোক্সাইডের সাথে বিক্রিয়ায় অ্যামোনিয়াম লবণ বিয়োজিত হয়ে স্বল্প পরিসরে অ্যামোনিয়া উৎপন্ন করে।

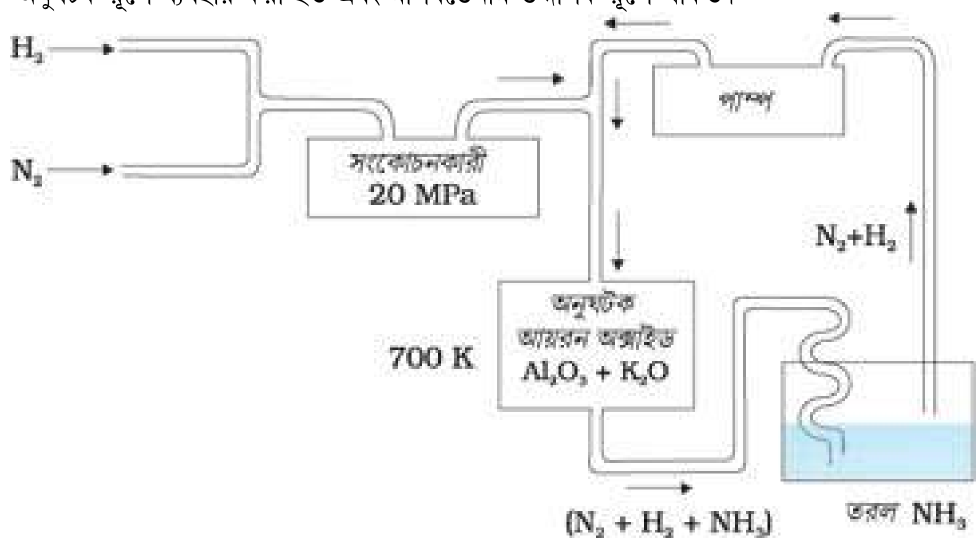
$$2NH_4Cl + Ca(OH)_2 \rightarrow 2NH_3 + 2H_2O + CaCl_2$$

$$(NH_4)_2SO_4 + 2NaOH \rightarrow 2NH_3 + 2H_2O + Na_2SO_4$$

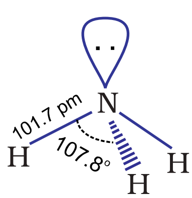
হেবার পদ্ধতিতে বড় পরিসরে অ্যামোনিয়া তৈরি করা হয়।

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g); \qquad \Delta_f H^\ominus = -46.1 \text{ kJ mol}^{-1}$$

লা সাতেলিয়ারের নীতি অনুযায়ী উচ্চ চাপ অ্যামোনিয়া উৎপাদনের ক্ষেত্রে সহায়ক। অ্যামোনিয়া উৎপাদনের সর্বোত্তম শর্ত হল $200 \times 10^5$ Pa (প্রায় 200 বায়ুমন্ডলীয়) চাপ, 700 K উষ্ণতা এবং আয়রন অক্সাইড অনুঘটকের সঙ্গে স্বল্প পরিমাণে $K_2O$ এবং $Al_2O_3$ এর উপস্থিতি সাম্যবস্থায় পৌঁছাতে সাহায্য করে। 7.1 চিত্রে অ্যামোনিয়া উৎপাদনের একটি রেখাচিত্র দেওয়া হল। আগে আয়রনকে অনুঘটক রূপে ব্যবহার করা হত এবং মলিবডেনাম উদ্দীপক রূপে থাকত।




*চিত্র 7.1*
অ্যামোনিয়া উৎপাদনের রেখা চিত্র




*ধর্মাবলি ঃ*

অ্যামোনিয়া হল ঝাঁঝালো গন্ধযুক্ত বর্ণহীন গ্যাস। এর হিমাঙ্ক এবং স্ফুটনাঙ্ক হল যথাক্রমে 198.4 এবং 239.7 K কঠিন এবং তরল অবস্থায় অ্যামোনিয়া জলের মত হাইড্রোজেন বন্ধনের দ্বারা সংযোজিত অবস্থায় থাকে, যার ফলস্বরূপ প্রত্যাশিত আণবিক ভরের তুলনায় এর গলনাঙ্ক এবং স্ফুটনাঙ্ক বেশী হয়। অ্যামোনিয়া অণুটি হল ত্রিকোণীয় পিরামিডাকৃতির যেখানে নাইট্রোজেন চূড়ায় থাকে। এর গঠনাকৃতিতে তিনটি বন্ধন যুগল এবং একটি নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগলের উপস্থিতি লক্ষ্য করা গেছে।

অ্যামোনিয়া গ্যাস জলে খুব বেশী মাত্রায় দ্রাব্য। জলীয় দ্রবণে $OH^-$ আয়ন তৈরি হয় বলে এটি দুর্বল ক্ষারীয় হয়।

$$NH_3(g) + H_2O(l) \rightleftharpoons NH_4^+(aq) + OH^-(aq)$$

অ্যাসিডের সাথে এটি অ্যামোনিয়াম লবণ তৈরি করে উদাহরণস্বরূপ $NH_4Cl$, $(NH_4)_2SO_4$, ইত্যাদি। দুর্বল ক্ষার হওয়ায় বেশীরভাগ ধাতুর লবণের দ্রবণ থেকে হাইড্রোক্সাইড (কিছু ধাতুর হাইড্রোটেড অক্সাইড) রূপে অধ:ক্ষিপ্ত হয়। যেমন

$$ZnSO_4(aq) + 2NH_4OH(aq) \rightarrow Zn(OH)_2(s) + (NH_4)_2SO_4(aq)$$
(সাদা অধ:ক্ষেপ)

$$FeCl_3(aq) + NH_4OH(aq) \rightarrow Fe_2O_3.xH_2O(s) + NH_4Cl(aq)$$
(সাদা অধ:ক্ষেপ)

অ্যামোনিয়া অণুর নাইট্রোজেন পরমাণুতে নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল উপস্থিতি থাকার জন্য এটি লুইস ক্ষার রূপে আচরণ করে। অ্যামোনিয়া নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল দান করে ধাতব আয়নের সঙ্গে বন্ধন তৈরি করে এমন ধরনের জটিল যৌগ তৈরি করে যার দ্বারা ধাতব আয়নকে শনাক্ত করা যায়। যেমন– $Cu^{2+}$, $Ag^{+}$

$$Cu^{2+}(aq) + 4\,NH_3(aq) \rightleftharpoons [Cu(NH_3)_4]^{2+}(aq)$$
(নীল) (গাঢ় নীল)

$$Ag^{+}(aq) + Cl^{-}(aq) \rightarrow AgCl(s)$$
(বর্ণহীন) (সাদা অধ:ক্ষেপ )

$$AgCl(s) + 2NH_3(aq) \rightarrow [Ag(NH_3)_2]Cl(aq)$$
(সাদা অধ:ক্ষেপ) (বর্ণহীন)

ব্যবহার ঃ বিভিন্ন নাইট্রোজেন ঘটিত সার যেমন অ্যামোনিয়াম নাইট্রেট, ইউরিয়া, অ্যামোনিয়াম ফসফেট এবং অ্যামোনিয়াম সালফেট এবং কিছু নাইট্রোজেন গঠিত অজৈব যৌগ যেমন গুরুত্বপূর্ণ যৌগ নাইট্রিক অ্যাসিড উৎপাদনে অ্যামোনিয়া ব্যবহৃত হয়। রেফ্রিজারেটরে তরল অ্যামোনিয়া ব্যবহৃত হয়।

*নমুনা প্রশ্ন 7.4* অ্যামোনিয়া লুইস ক্ষার রূপে আচরণ করে কেন?

*সমাধান* অ্যামোনিয়ার নাইট্রোজেন পরমাণুতে একজোড়া নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল উপস্থিত থাকায় এটি সহজেই একজোড়া ইলেকট্রন দান করতে পারে। তাই এটি লুইস ক্ষাররূপে আচরণ করে।

### বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলি

7.4 বেশি মাত্রায় অ্যামোনিয়া উৎপাদনের জন্য প্রয়োজনীয় শর্তগুলো উল্লেখ কর।

7.5 $Cu^{2+}$ আয়নের দ্রবণের সাথে অ্যামোনিয়া কিভাবে বিক্রিয়া করে?

## 7.4 নাইট্রোজেনের অক্সাইডসমূহ

নাইট্রোজেন বিভিন্ন জারণ মাত্রার বেশ কিছু সংখ্যক অক্সাইড তৈরি করে। সারণি 7.3 এতে এই অক্সাইডগুলোর সংকেত, প্রস্তুতি এবং ভৌতধর্ম উল্লেখ করা হয়েছে।

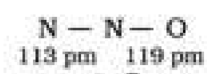
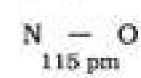
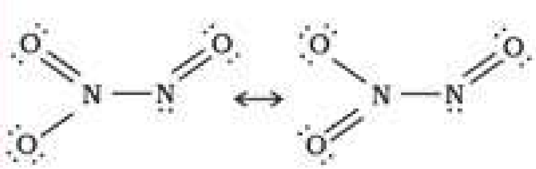
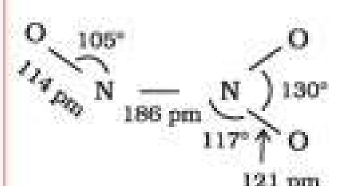
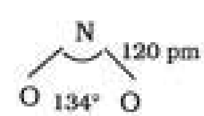
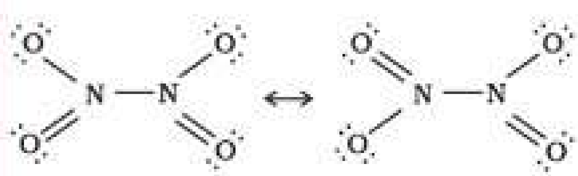
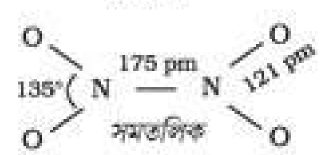
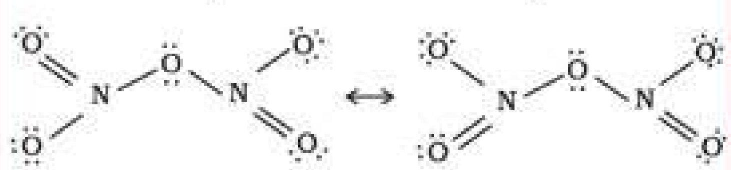
সারণি 7.3: নাইট্রোজেনের অক্সাইডসমূহ

| নাম | সংকেত | নাইট্রোজেনের জারন স্তর | প্রস্তুতির সাধারন পদ্ধতি | ভৌতধর্ম এবং রাসায়নিক প্রকৃতি |
|---|---|---|---|---|
| ডাইনাইট্রোজেন অক্সাইড [নাইট্রোজেন (I) অক্সাইড] | $N_2O$ | + 1 | $NH_4NO_3 \xrightarrow{\text{তাপ}} N_2O + 2H_2O$ | বর্ণহীন গ্যাস, প্রশম |
| নাইট্রোজেন মনো অক্সাইড [নাইট্রোজেন (II) অক্সাইড] | NO | + 2 | $2NaNO_2 + 2FeSO_4 + 3H_2SO_4 \rightarrow Fe_2(SO_4)_3 + 2NaHSO_4 + 2H_2O + 2NO$ | বর্ণহীন গ্যাস, প্রশম |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| নাইট্রোজেন ট্রাই অক্সাইড [নাইট্রোজেন (III) অক্সাইড] | $N_2O_3$ | + 3 | $2NO + N_2O_4 \xrightarrow{250\,K} 2N_2O_3$ | নীল বর্ণের কঠিন, আম্লিক |
| নাইট্রোজেন ডাই অক্সাইড [নাইট্রোজেন (IV) অক্সাইড] | $NO_2$ | + 4 | $2Pb(NO_3)_2 \xrightarrow{673\,K} 4NO_2 + 2PbO + O_2$ | বাদামী বর্ণের গ্যাস, আম্লিক |
| ডাইনাইট্রোজেন টেট্রা অক্সাইড [নাইট্রোজেন (IV) অক্সাইড] | $N_2O_4$ | + 4 | $2NO_2 \underset{\text{তাপ}}{\overset{\text{ঠান্ডা}}{\rightleftharpoons}} N_2O_4$ | বর্ণহীন কঠিন, তরল আম্লিক |
| ডাইনাইট্রোজেন পেন্টোঅক্সাইড [নাইট্রোজেন (V) অক্সাইড] | $N_2O_5$ | +5 | $4HNO_3 + P_4O_{10} \rightarrow 4HPO_3 + 2N_2O_5$ | বর্ণহীন কঠিন, আম্লিক |

সারণি 7.4 এ অক্সাইডগুলোর লুইস ডটের প্রধান সংস্পন্দন (resonance) গঠন এবং বন্ধন স্থিতিমাণসমূহ উল্লেখ করা হল।

সারণি 7.4: নাইট্রোজেনের অক্সাইডগুলোর গঠন

| সংকেত | সংস্পন্দন গঠন | বন্ধন স্থিতিমানসমূহ |
|---|---|---|
| $N_2O$ | |  সরলরৈখিক |
| NO | |  |
| $N_2O_3$ |  |  সামতলিক |
| $NO_2$ | |  কৌণিক |
| $N_2O_4$ |  |  |
| $N_2O_5$ |  | সামতলিক |

NO$_2$ ডাইমার গঠন করে কেন?

*নমুনা প্রশ্ন 7.5*

*সমাধান*

$NO_2$ এর মধ্যে একটি অযুগ্ম যোজক ইলেকট্রন থাকে। এটি একটি আদর্শ অযুগ্ম অনুরূপে আচরণ করে। ডাইমার গঠনের ফলে এটি যুগ্ম ইলেকট্রন বিশিষ্ট সুস্থিত $N_2O_4$ এ রূপান্তরিত হয়।

**বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলি**

7.6 $N_2O_5$ -এ নাইট্রোজেনের সমযোজ্যতা কত?

## 7.5 নাইট্রিক অ্যাসিড

নাইট্রোজেন অক্সোঅ্যাসিড গঠন করে, যেমন $H_2N_2O_2$ (হাইপোনাইট্রাস অ্যাসিড), $HNO_2$ (নাইট্রাস অ্যাসিড) এবং $HNO_3$ (নাইট্রিক অ্যাসিড)। এই গুলোর মধ্যে $HNO_3$ হল একটি গুরুত্বপূর্ণ যৌগ।

### *প্রস্তুতি*

রসায়নাগারে কাঁচের বকযন্ত্রে $KNO_3$ বা $NaNO_3$ এবং গাঢ় $H_2SO_4$ নিয়ে উত্তপ্ত করে নাইট্রিক অ্যাসিড তৈরি করা হয়।

$$NaNO_3 + H_2SO_4 \rightarrow NaHSO_4 + HNO_3$$

অস্‌ওয়াল্ড (Ostwald's) পদ্ধতির দ্বারা এটি প্রচুর পরিমাণে তৈরি করা হয়। এই পদ্ধতিতে অনুঘটকের উপস্থিতিতে বায়ুমন্ডলীয় অক্সিজেন দ্বারা অ্যামোনিয়ার জারণ ঘটানো হয়।

$$4NH_3(g) + \underset{(\text{বায়ু থেকে})}{5O_2(g)} \xrightarrow[500\,K,\ 9\ \text{বার}]{Pt/Rh\ \text{গজ অনুঘটক}} 4NO(g) + 6H_2O(g)$$

এইভাবে উৎপন্ন নাইট্রিক অক্সাইড অক্সিজেনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে $NO_2$ উৎপন্ন করে।

$$2NO(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$$

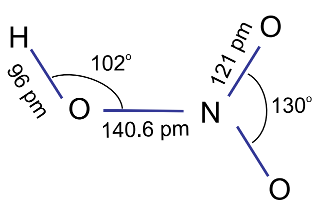
উৎপন্ন নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইড জলে দ্রবীভূত হয়ে নাইট্রিক অ্যাসিড তৈরি হয়।

$$3NO_2(g) + H_2O(l) \rightarrow 2HNO_3(aq) + NO(g)$$

এইভাবে NO কে পুনঃবুদ্ধার করা হয় এবং আর্দ্র $HNO_3$ কে পাতন প্রক্রিয়ার দ্বারা ~ 68% (ভর) পর্যন্ত গাঢ় করা হয়। গাঢ় $H_2SO_4$ এর সাথে নিরোদনের দ্বারা 98% পর্যন্ত গাঢ় করা যায়।

### *ধর্মাবলি*

এটি একটি বর্ণহীণ তরল (হিমাঙ্ক 231.4 K এবং স্ফুটনাঙ্ক 355.6 K)। রসায়নাগারে ব্যবহারের উপযোগী নাইট্রিক অ্যাসিডের ভর হিসেবে ~ 68% $HNO_3$ থাকে এবং এর আপেক্ষিক গুরুত্ব হল 1.504।




গ্যাসীয় দশায় $HNO_3$ অণু সামতলিক হয়, যার গঠণ চিত্রে দেখানো হয়েছে।

জলীয় দ্রবণে নাইট্রিক অ্যাসিড তীব্র অ্যাসিডের ন্যায় আচরন করে এবং হাইড্রোনিয়াম ও নাইট্রেট আয়নে উৎপন্ন করে।

$$HNO_3(aq) + H_2O(l) \rightarrow H_3O^+(aq) + NO_3^-(aq)$$

গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিড একটি শক্তিশালী জারক দ্রব্য এবং বর ধাতু গোল্ড এবং প্লাটিনাম বাদে প্রায়

সব ধাতুই নাইট্রিক অ্যাসিডের সঙ্গো বিক্রিয়া করে। জারণের ফলে কোন্ কোন্ পদার্থ উৎপন্ন হবে তা অ্যাসিডের গাঢ়ত্ব, উষ্ণতা এবং যে দ্রব্যটি জারিত হচ্ছে তার প্রকৃতির উপর নির্ভর করে।

$$3Cu + 8\ HNO_3(\text{লঘু}) \rightarrow 3Cu(NO_3)_2 + 2NO + 4H_2O$$

$$Cu + 4HNO_3(\text{গাঢ়}) \rightarrow Cu(NO_3)_2 + 2NO_2 + 2H_2O$$

জিঙ্ক লঘু নাইট্রিক অ্যাসিডের সাথে বিক্রিয়া করে $N_2O$ দেয় এবং গাঢ় অ্যাসিডের সাথে $NO_2$ উৎপন্ন করে।

$$4Zn + 10HNO_3(\text{লঘু}) \rightarrow 4\ Zn\ (NO_3)_2 + 5H_2O + N_2O$$

$$Zn + 4HNO_3(\text{গাঢ়}) \rightarrow Zn\ (NO_3)_2 + 2H_2O + 2NO_2$$

কিন্তু ধাতু (যেমন Cr, Al) গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিডে দ্রবীভূত হয় না কারণ ধাতুর পৃষ্ঠ তলের উপর নিষ্ক্রিয় অক্সাইডের আস্তরণ তৈরি হয়।

গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিড অধাতু এবং তাদের যৌগকেও জারিত করে। আয়োডিন আয়োডিক অ্যাসিডে, কার্বন কার্বন ডাইঅক্সাইডে, সালফার সালফিউরিক অ্যাসিডে এবং ফসফরাস, ফসফরিক অ্যাসিডে জারিত হয়।

$$I_2 + 10HNO_3 \rightarrow 2HIO_3 + 10NO_2 + 4H_2O$$

$$C + 4HNO_3 \rightarrow CO_2 + 2H_2O + 4NO_2$$

$$S_8 + 48HNO_3 \rightarrow 8H_2SO_4 + 48NO_2 + 16H_2O$$

$$P_4 + 20HNO_3 \rightarrow 4H_3PO_4 + 20NO_2 + 4H_2O$$

*বাদামী বলয় পরীক্ষা :* সুপরিচিত নাইট্রেটের বাদামী বলয় পরীক্ষাটিতে $Fe^{2+}$ নাইট্রেটকে নাইট্রিক অক্সাইডে বিজারিত করে, যা $Fe^{2+}$ এর সাথে বাদামী বর্ণের জটিল যৌগ তৈরি করে। এই পরীক্ষাটি সাধারণত নাইট্রেট আয়নের জলীয় দ্রবণে সদ্য প্রস্তুত লঘু ফেরাস সালফেট দ্রবন যোগ করে সংঘটিত করা হয় এবং তারপর সতর্কতার সাথে পরীক্ষানলের গা বেয়ে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড যোগ করা হয়। দ্রবণ এবং সালফিউরিক অ্যাসিডের সংযোগ স্থলে বাদামী বর্ণের বলয় তৈরি হয় যা দ্রবণে নাইট্রেট আয়নের উপস্থিতি সনাক্ত করে।

$$NO_3^- + 3Fe^{2+} + 4H^+ \rightarrow NO + 3Fe^{3+} + 2H_2O$$

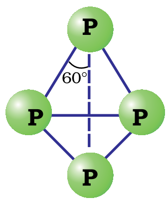
$$[Fe\ (H_2O)_6]^{2+} + NO \rightarrow \underset{(\text{বাদামী})}{[Fe\ (H_2O)_5\ (NO)]^{2+}} + H_2O$$

**ব্যবহার ঃ** নাইট্রিক অ্যাসিড মুখ্যত অ্যামোনিয়াম নাইট্রেট সার উৎপাদনে এবং অন্যান্য নাইট্রেট যেগুলো বিস্ফোরক ও পাইরোটেক্‌নিকের (আতস বাজী তৈরি করার ক্রিয়া কৌশল) কাজে ব্যবহৃত হয়। নাইট্রোগ্লিসারিন, ট্রাইনাইট্রো টলুইন এবং অন্যান্য জৈব নাইট্রো যৌগ তৈরি করতেও নাইট্রিক অ্যাসিড ব্যবহৃত হয় কলঙ্কহীন ইস্পাতকে পরিষ্কার করতে, ধাতু খোঁদাই করতে এবং রকেটের জ্বালানীর জারক দ্রব্য রূপে এর মুখ্য ব্যবহার রয়েছে।

## 7.6 ফসফরাস রূপভেদ

ফসফরাসের অনেকগুলো রূপভেদ আছে, গুরুত্বপূর্ণ রূপভেদগুলো হল সাদা, লাল এবং কালো সাদা ফসফোরাস হল মোমবাতির ন্যায় সাদা ঈদস্বচ্ছ কঠিন। এটি বিষাক্ত, জলে অদ্রাব্য, কিন্তু কার্বন ডাই সালফাইডে দ্রাব্য এবং অন্ধকারে আভার (ক্যামিলুমিনিসেন্স) সৃষ্টি করে। নিষ্ক্রিয় পরিবেশে ফুটন্ত NaOH দ্রবণে এটি দ্রবীভূত হয়ে $PH_3$ গ্যাস উৎপন্ন করে।

$$P_4 + 3NaOH + 3H_2O \rightarrow PH_3 + \underset{(\text{সোডিয়াম হাইপো ফসফাইট})}{3NaH_2PO_2}$$



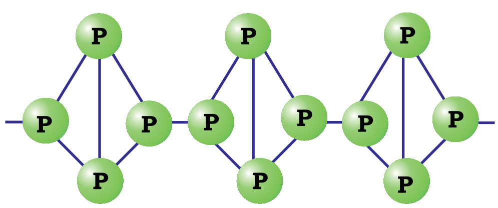

চিত্র 7.2 : সাদা ফসফরাস

সাদা ফসফরাস দুঃস্থিত (কম সুস্থিত) এবং $P_4$ অণুতে বন্ধন কোণ 60° হওয়ায় কৌনিক পীড়ন বেশী হয় বলে সাদা ফসফরাস অন্যান্য কঠিন দশার (রূপভেদ) থেকে অনেক বেশী সক্রিয় হয়। এটি বায়ুতে খুব সহজেই জ্বলে উঠে এবং $P_4O_{10}$ এর ঘন সাদা ধোঁয়া উৎপন্ন করে।

$$P_4 + 5O_2 \rightarrow P_4O_{10}$$

চিত্র 7.2 তে দেখানো হয়েছে $P_4$ অণুটি পৃথক চতু:স্থলকীয় অণু রূপে থাকে।

নিষ্ক্রিয় পরিবেশে রেখে কয়েকদিন ধরে সাদা ফসফরাসকে 573K উষ্ণতায় উত্তপ্ত করলে লাল ফসফরাস পাওয়া যায়। উচ্চ চাপে লাল ফসফরাসকে উত্তপ্ত করলে কালো ফসফরাসের একটি শ্রেণি পাওয়া যায়। লাল ফসফরাস দেখতে ধূসর লাল। এটি গন্ধহীন, বিষাক্ত নয় এবং জলে এমনকি কার্বন ডাই সালফাইডেও অদ্রাব্য। রাসায়নিকভাবে লাল ফসফরাস সাদা ফসফরাস থেকে কম সক্রিয়। এটি অন্ধকারে আভার সৃষ্টি করে না।




চিত্র 7.3 : লাল ফসফরাস

এটি পলিমার রূপে থাকে এবং চিত্র 7.3 এ দেখানো হয়েছে চতু:স্তলকীয় $P_4$ অণুগুলো একে অপরের সাথে যুক্ত থেকে দীর্ঘ শৃঙ্খল রূপে থাকে।

কালো ফসফরাসের দুটি রূপ হল $\alpha$–কালো ফসফরাস এবং $\beta$–কালো ফসফরাস। বদ্ধ পরীক্ষা নলে লাল ফসফরাসকে রেখে উত্তপ্ত করলে 803K উষ্ণতায় $\alpha$–কালো ফসফরাস তৈরি হয়। এটি বায়ুতে ঊর্ধ্বপাতিত হয় এবং মনোক্লিনিক বা রম্বোহেড্রালের মত অস্বচ্ছ কেলাস। এটি বায়ুতে জারিত হয় না। উচ্চ চাপে সাদা ফসফরাস কে উত্তপ্ত করলে 473 K উষ্ণতায় $\beta$–কালো ফসফরাস পাওয়া যায়। এটি বায়ুতে 673 K উষ্ণতা পর্যন্ত জ্বলে না।

## 7.7 ফসফিন

*প্রস্তুতি*

লঘু HCl বা জলের সাথে ক্যালসিয়াম ফসফাইডের বিক্রিয়ার দ্বারা ফসফিন তৈরি করা হয়।

$$Ca_3P_2 + 6H_2O \rightarrow 3Ca(OH)_2 + 2PH_3$$

$$Ca_3P_2 + 6HCl \rightarrow 3CaCl_2 + 2PH_3$$

রসায়নাগারে, $CO_2$ এর নিষ্ক্রিয় পরিবেশে সাদা ফসফরাসকে গাঢ় NaOH এর দ্রবণে রেখে উত্তপ্ত করলে এটি পাওয়া যায়।

$$P_4 + 3NaOH + 3H_2O \rightarrow PH_3 + 3NaH_2PO_2$$

(সোডিয়াম হাইপোফসফাইট)

বিশুদ্ধ ফসফিন দাহ্য নয় কিন্তু $P_2H_4$ বা $P_4$ বাষ্প এর সাথে উপস্থিত থাকায় এটি সহজেই জ্বলে উঠে। অশুদ্ধি গুলি সরিয়ে বিশুদ্ধ ফসফিল পাওয়ার জন্য একে HI এ শোষিত করে ফসফোনিয়াম আয়োডাইড ($PH_4I$) তৈরি করা হয় যা KOH এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে ফসফিন উৎপন্ন করে।

$$PH_4I + KOH \rightarrow KI + H_2O + PH_3$$

*ধর্মাবলি*

এটি পঁচা মাছের গন্ধযুক্ত বর্ণহীন গ্যাস এবং খুবই বিষাক্ত গ্যাস। জারক দ্রব্য যেমন $HNO_3$, $Cl_2$ এবং $Br_2$ বাষ্পের সংস্পর্শে এটি বিস্ফোরণ সহকারে বিক্রিয়া করে।

এটি স্বল্পমাত্রায় জলে দ্রাব্য। আলোর উপস্থিতিতে $PH_3$এর জলীয় দ্রবণ বিয়োজিত হয়ে লাল ফসফরাস এবং $H_2$ উৎপন্ন হয়। কপার সালফেট অথবা মারফিউরিক ক্লোরাইড দ্রবণে ফসফিন শোষিত

হয়ে সংশ্লিষ্ট ধাতুর ফসফাইড উৎপন্ন করে।

$$3CuSO_4 + 2PH_3 \rightarrow Cu_3P_2 + 3H_2SO_4$$

$$3HgCl_2 + 2PH_3 \rightarrow Hg_3P_2 + 6HCl$$

ফসফিন একটি দুর্বল ক্ষার এবং অ্যামোনিয়ার মত অ্যাসিডের সাথে বিক্রিয়া করে ফসফোনিয়াম যৌগ তৈরি করে। উদাহরণস্বরূপ,

$$PH_3 + HBr \rightarrow PH_4Br$$

ব্যবহার ঃ ফসফিনের স্বত:স্ফূর্ত-দহনের কৌশলটি হোম সিগনালে ব্যবহৃত হয়। ক্যালসিয়াম কার্বাইড এবং ক্যালসিয়াম ফসফাইড একটি পাত্রে ঢুকানো থাকে এবং একে সমুদ্রে ছুঁড়ে দিলে যখন গ্যাস নির্গত হয় তখন জ্বলতে থাকে এবং সিগনাল রূপে কাজ করে। এটি ধোঁয়ার পর্দা (smoke screens) রূপেও কাজ করে।

*নমুনা প্রশ্ন 7.6*

ফসফিনের ক্ষারীয় প্রকৃতি কিভাবে প্রমাণ করবে?

*সমাধান*

$PH_3$ অ্যাসিড যেমন HI এর সাথে বিক্রিয়া করে $PH_4I$ উৎপন্ন করে যাহা $PH_3$ এর ক্ষারীয় প্রকৃতি প্রমাণ করে।

$$PH_3 + HI \rightarrow PH_4I$$

$PH_3$এর ফসফরাস পরমাণুতে নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগলের উপস্থিতির জন্য উপরের বিক্রিয়ায় $PH_3$ লুইস ক্ষার রূপে আচরণ করে।

**বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলী**

7.7 (a) $PH_3$ এর চেয়ে $PH_4^+$ এর বন্ধন কোণের মান বেশী হয় কেন?

(b) $PH_3$ অ্যাসিডের সাথে বিক্রিয়া করে কি তৈরি করে?

7.8 কার্বন ডাই অক্সাইডের নিষ্ক্রিয় পরিবেশে গাঢ় NaOH দ্রবণে সাদা ফসফরাস যোগ করলে কি ঘটবে?

## 7.8 ফসফরাসের হ্যালাইড

ফসফরাস দুই ধরনের হ্যালাইড তৈরি করে, $PX_3$ (X = F, Cl, Br, I) এবং $PX_5$ (X = F, Cl, Br).

### 7.8.1 ফসফরাস ট্রাইহ্যালাইড

*প্রস্তুতি*

উত্তপ্ত সাদা ফসফরাসের উপর দিয়ে শুষ্ক ক্লোরিন গ্যাস চালনা করে এটি পাওয়া যায়।

$$P_4 + 6Cl_2 \rightarrow 4PCl_3$$

সাদা ফসফরাসের সাথে থায়োনিল ক্লোরাইডের বিক্রিয়ার দ্বারাও এটি পাওয়া যায়।

$$P_4 + 8SOCl_2 \rightarrow 4PCl_3 + 4SO_2 + 2S_2Cl_2$$

*ধর্মাবলি*

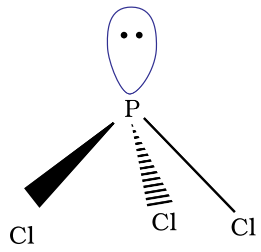
এটি তৈলাক্ত বর্ণহীন তরল এবং আর্দ্র বাতাসের উপস্থিতিতে সহজেই আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়।

$$PCl_3 + 3H_2O \rightarrow H_3PO_3 + 3HCl$$

–OH গ্রুপ যুক্ত জৈব যৌগ যেমন $CH_3COOH$, $C_2H_5OH$ এদের সাথে বিক্রিয়া করে।

$$3CH_3COOH + PCl_3 \rightarrow 3CH_3COCl + H_3PO_3$$

$$3C_2H_5OH + PCl_3 \rightarrow 3C_2H_5Cl + H_3PO_3$$




এটি পিরামিডাকৃতির যেখানে ফসফারস $sp^3$ সংকরায়িত অবস্থায় থাকে।

### 7.8.2 ফসফোরাস পেন্টা ক্লোরাইড

*প্রস্তুতি*

সাদা ফসফরসের সঙ্গো অতিরিক্ত শুষ্ক ক্লোরিনের বিক্রিয়ায় ফসফরাস পেন্টাক্লোরাইড তৈরি হয়।

$$P_4 + 10Cl_2 \rightarrow 4PCl_5$$

ফসফরাসের সঙ্গো $SO_2Cl_2$ এর বিক্রিয়ার ফলে এটি তৈরি হয়।

$$P_4 + 10SO_2Cl_2 \rightarrow 4PCl_5 + 10SO_2$$

*ধর্মাবলি*

$PCl_5$ হলুদাভ সাদা পাউডার এবং আর্দ্র বায়ুতে আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়ে প্রথমে $POCl_3$ এবং শেষে ফসফোরিক অ্যাসিডে রূপান্তরিত হয়।

$$PCl_5 + H_2O \rightarrow POCl_3 + 2HCl$$

$$POCl_3 + 3H_2O \rightarrow H_3PO_4 + 3HCl$$

গরম করা হলে এটি উর্ধ্বপাতিত হয় তবে বেশী মাত্রায় গরম করলে বিয়োজিত হয়।

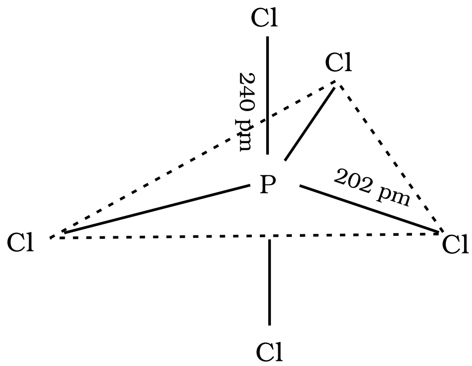
$$PCl_5 \xrightarrow{\text{তাপ}} PCl_3 + Cl_2$$

–OH গ্রুপ যুক্ত জৈব যৌগের সাথে এটি বিক্রিয়া করে ক্লোরো জাতক উৎপন্ন করে।

$$C_2H_5OH + PCl_5 \rightarrow C_2H_5Cl + POCl_3 + HCl$$

$$CH_3COOH + PCl_5 \rightarrow CH_3COCl + POCl_3 + HCl$$

সুষম ধাতব চূর্ণ $PCl_5$ এর সঙ্গো উত্তপ্ত করলে সংশ্লিষ্ট ক্লোরাইড উৎপন্ন হয়।




$$2Ag + PCl_5 \rightarrow 2AgCl + PCl_3$$

$$Sn + 2PCl_5 \rightarrow SnCl_4 + 2PCl_3$$

কিছু জৈব যৌগ যেমন $C_2H_5Cl$, $CH_3COCl$ ইত্যাদির সংশ্লেষণে এটি ব্যবহৃত হয়।

গ্যাসীয় এবং তরল দশায় এর গঠন ত্রিকোণীয় দ্বি-পিরামিডাকৃতির হয়, তিনটি নিরক্ষীয় (equatorial) বন্ধন সমতুল্য যেখানে অক্ষীয় (axial) বন্ধন দুটি নিরক্ষীয় বন্ধনের তুলনায় দৈর্ঘ্যে বড় হয়। এর জন্য অক্ষীয় বন্ধন দুটিতে নিরক্ষীয় বন্ধনের তুলনায় বেশী বিকর্ষণ বল কাজ করে।

*নমুনা প্রশ্ন 7.7* $PCl_3$ আর্দ্র বায়ুতে ধূমায়িত হয় কেন?

*সমাধান* আর্দ্র বায়ুতে $PCl_3$ আর্দ্রবিশ্লেষিত হয়ে HCl উৎপন্ন করে যা ধূমায়িত হয়।

$$PCl_3 + 3H_2O \rightarrow H_3PO_3 + 3HCl$$

*নমুনা প্রশ্ন 7.8* $PCl_5$ অণুতে পাঁচটি বন্ধন কি সমতুল্য? তোমার উত্তরের স্বপক্ষে যুক্তি দাও।

*সমাধান* $PCl_5$ অণুটি হল ত্রিকোণীয় দ্বিপিরামিডাকৃতি যেখানে তিনটি নিরক্ষীয় P-Cl বন্ধনগুলো সমতুল্য এবং অক্ষীয় বন্ধন দুটি ভিন্ন হয় ও নিরক্ষীয় বন্ধনগুলোর তুলনায় দৈর্ঘ্যে বড় হয়।

## বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলি

7.9 $PCl_5$ কে উত্তপ্ত করলে কি ঘটবে?

7.10 $PCl_5$ এর সঙ্গে জলের বিক্রিয়াটির সমতা যুক্ত সমীকরণটি লিখ।

## 7.9 ফসফরাসের অক্সোঅ্যাসিড সমূহ

ফসফরাস অনেকগুলো অক্সোঅ্যাসিড তৈরি করে। সারণি 7.5 তে ফসফরাসের কিছু গুরুত্বপূর্ণ অক্সোঅ্যাসিডের সংকেত, ফসফরাসের প্রস্তুতির পদ্ধতি এবং তাদের গঠনে উপস্থিত কিছু বিশিষ্ট বন্ধনের উপস্থিতি দেওয়া হল।

সারণি 7.5: ফসফরাসের অক্সোঅ্যাসিড সমূহ

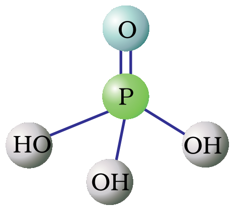
| নাম | সংকেত | ফসফরাসের জারণ স্তর | বৈশিষ্ট্যগত বন্ধন এবং তাদের সংখ্যা | প্রস্তুতি |
|---|---|---|---|---|
| হাইপোফসফরাস (ফসফিনিক) | $H_3PO_2$ | +1 | একটি P – OH<br>দুইটি P – H<br>একটি P = O | সাদা $P_4$ + ক্ষার |
| অর্থোফসফরাস অক্সাইড | $H_3PO_3$ | +3 | দুইটি P – OH<br>একটি P – H<br>একটি P = O | $P_2O_3 + H_2O$ |
| পাইরোফসফরাস | $H_4P_2O_5$ | +3 | দুইটি P – OH<br>দুইটি P – H<br>দুইটি P = O | $PCl_3 + H_3PO_3$ |
| হাইপোফসফরিক | $H_4P_2O_6$ | +4 | চারটি P – OH<br>দুইটি P = O<br>একটি P – P | লাল $P_4$ + ক্ষার |
| অর্থোফসফরিক | $H_3PO_4$ | +5 | তিনটি P – OH<br>একটি P = O | $P_4O_{10}$+$H_2O$ |
| পাইরোফসফরিক | $H_4P_2O_7$ | +5 | চারটি P – OH<br>দুইটি P = O<br>একটি P – O – P | ফসফরিক অ্যাসিডকে তাপ প্রয়োগ করে |
| মেটাফসফরিক * | $(HPO_3)_n$ | +5 | তিনটি P – OH<br>তিনটি P = O<br>তিনটি P – O – P | একটি বদ্ধ নলে ফসফরিক + $Br_2$, এর মিশ্রণ উত্তপ্ত করে। |

* *শুধুমাত্র পলিমারিক রূপে এর অস্তিত্ব আছে। $(HPO_3)_3$ এর বৈশিষ্টগত বন্ধনগুলো সারণিতে উল্লেখ করা হয়েছে।*

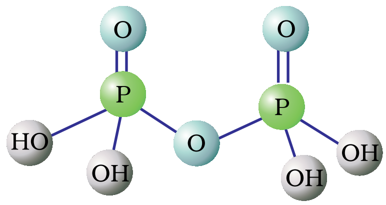
পরমাণু বা $H_2O$ অণুর ত্যাগ বা গ্রহণের উপর ভিত্তি করে অক্সোঅ্যাসিডগুলোর সংযুতি আন্ত:সম্পর্কিত। কিছু গুরুত্বপূর্ণ অক্সোঅ্যাসিডের গঠন সংকেত পরে দেওয়া আছে।

অক্সিঅ্যাসিডে ফসফোরাস অন্যান্য পরমাণুর দ্বারা চতুস্তলকীয় ভাবে আবৃত থাকে। সব অ্যাসিডে ন্যূনতম একটি P=O বন্ধন থাকে এবং একটি P–OH বন্ধন থাকে। যেসব অক্সোঅ্যাসিডে ফসফোরাস নিম্নতর জারণ স্তরে থাকে (+5 এর কম) সেসব ক্ষেত্রে P=O এবং P–OH বন্ধন ছাড়াও হয় P–P বন্ধন (যেমন $H_4P_2O_6$) নতুবা P–H বন্ধন (যেমন $H_3PO_2$) থাকে তবে দুটি একত্রে নয়। ফসফোরাসের +3 জারণস্তর বিশিষ্ঠ অ্যাসিডগুলো অসমঞ্জস্য বিক্রিয়ার দ্বারা উচ্চতর এবং নিম্নতর জারণ স্তরে যেতে পারে। উদাহরণস্বরূপ অর্থোফসফরাস অ্যাসিড (বা ফসফরাস অ্যাসিড) উত্তপ্ত করলে অসমঞ্জস্য বিক্রিয়ার দ্বারা অর্থো ফসফরিক অ্যাসিড (বা ফসফরিক অ্যাসিড) এবং ফসফিন্ তৈরি করে।

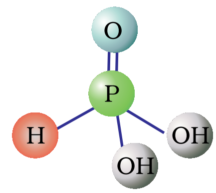
$$4H_3PO_3 \rightarrow 3H_3PO_4 + PH_3$$



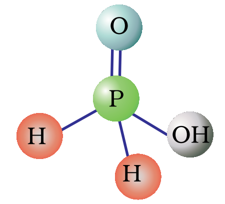
$H_3PO_4$
অর্থোফসফরিক অ্যাসিড



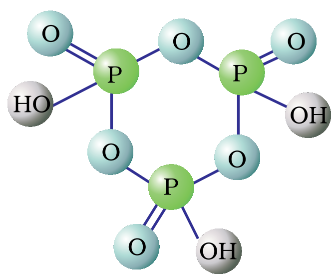
$H_4P_2O_7$
পাইরোফসফরিক অ্যাসিড



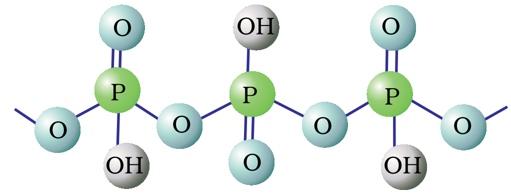
$H_3PO_3$
অর্থোফসফরিক অ্যাসিড



$H_3PO_2$
হাইপোফসফরিক অ্যাসিড



(বদ্ধ আকৃতির ট্রাইমেটা ফসফরিক অ্যাসিড)



পলিমেটাফসফরিক অ্যাসিড

*চিত্র 7.4 : ফসফরাসের গুরুত্বপূর্ণ কিছু অক্সো অ্যাসিডের গঠন সংকেত।*

P–H বন্ধন যুক্ত অ্যাসিডগুলো শক্তিশালী বিজারণ ধর্মী হয়। তাই হাইপোফসফরাস অ্যাসিড একটি উত্তম বিজারক দ্রব্য কারণ তার মধ্যে 2টি P–H বন্ধন আছে এবং অন্যকে বিজারিত করতে পারে, উদাহরণস্বরূপ, $AgNO_3$ কে ধাতব সিলভারে বিজারিত করে।

$$4\ AgNO_3 + 2H_2O + H_3PO_2 \rightarrow 4Ag + 4HNO_3 + H_3PO_4$$

এই P–H বন্ধনগুলো আয়নিত হয়ে $H^+$ তৈরি করে না এবং ক্ষারগ্রাহীতা নির্ণয়ে কোনও ভূমিকা নেই। কেবলমাত্র যে H পরমাণুগুলো অক্সিজেনের সঙ্গে P–OH রূপে যুক্ত তারাই আয়নিত হয় এবং ক্ষারগ্রাহীতার জন্য দায়ী। তাই $H_3PO_3$ এবং $H_3PO_4$ যথাক্রমে দ্বি-ক্ষারীয় এবং ত্রিক্ষারীয় যেহেতু $H_3PO_3$ এর গঠন সংকেতে 2টি P–OH বন্ধন এবং $H_3PO_4$ এ 3টি P–OH বন্ধন আছে।

**নমুনা প্রশ্ন 7.9** গঠন সংকেতের ভিত্তিতে $H_3PO_2$ এর বিজারণ ধর্ম কিভাবে ব্যাখ্যা করবে?

**সমাধান** $H_3PO_2$ যৌগে দুটি H পরমাণু সরাসরি P পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত যার জন্য অ্যাসিডটি বিজারণধর্মী হয়।

**বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলী**

7.11 $H_3PO_4$ এর ক্ষারগ্রহীতা কত?

7.12 $H_3PO_3$ কে উত্তপ্ত করলে কি ঘটবে?

## 7.10 16 নং এর শ্রেণির মৌলসমূহ

পর্যায় সারণির 16 নং শ্রেণির অন্তর্ভুক্ত মৌলগুলো হল অক্সিজেন সালফার, সেলেনিয়াম, টেলুরিয়াম পোলোনিয়াম এবং লিভারমোরিয়াম। ক্ষেত্র বিশেষে একে চালকোজেন শ্রেণিও বলা হয়। এই নামটি গ্রীক্ শব্দ ব্রাস থেকে উদ্ভুত ও সালফার এবং তার সমধর্মাবলম্বীর (congeners) সাথে সংযুক্তি নির্দেশ করে। কপারের খনিজগুলোর বেশীরভাগ হয় অক্সিজেন না হয় সালফারের এবং এই শ্রেণির অন্যান্য সদস্যরা প্রায়ই উপস্থিত থাকে।

### 7.10.1 প্রাচুর্যতা

পৃথিবীর সমস্ত মৌলসমূহের মধ্যে অক্সিজেনের প্রাকৃতিক প্রাচুর্য্যতা সবচেয়ে বেশি। ভূপৃষ্টে ওজনগতভাবে প্রায় 46.6% অক্সিজেন থাকে। শুষ্ক বায়ুতে আয়তনগতভাবে 20.946% অক্সিজেন থাকে।

তবে ভূপৃষ্টে মাত্র 0.03-0.1% সালফার পাওয়া যায়। সালফারের যৌগগুলো মুখ্যত সালফেট রূপে যেমন জিপসাম $CaSO_4.2H_2O$, এপসম লবন $MgSO_4.7H_2O$, ব্যারাইটা $BaSO_4$ এবং সালফাইড রূপে যেমন গ্যালেনা PbS, জিঙ্ক ব্লেন্ড ZnS, কপার পাইরাইটিস $CuFeS_2$ রূপে উপস্থিত থাকে। আগ্নেয়গিরিতে কিছু পরিমাণ সালফার হাইড্রোজেন সালফাইড রূপে থাকে। জৈব পদার্থ যেমন ডিম, প্রোটিন, রসুন, পিয়াজ, সর্ষ, চুল এবং ওল্ (পশম) সালফার থাকে।

সেলেনিয়াম এবং টেলুরিয়ামকে ধাতব সেলেনাইড এবং টেলুরাইড রূপে সালফাইড আকরিকে পাওয়া যায়। প্রকৃতিতে থোরিয়াম এবং ইউরেনিয়ামের খনিজে ক্ষয় প্রাপ্ত পদার্থরূপে পোলেনিয়াম পাওয়া যায়। লিভারমেরিয়াম হল সংশ্লেষিত তেজস্ক্রিয় মৌল। এর চিহ্ন Lv পরমাণু ক্রমাঙ্ক 116, পারমাণবিক ভর একক 292 এবং ইলেকট্রন বিন্যাস হল [Rn] $5f^{14}6d^{10}7s^27p^4$। এটি খুব কম পরিমাণে উৎপন্ন হয় এবং এর অর্ধায়ু খুব কম (মাত্র এক সেকেন্ডের ক্ষুদ্র ভগ্নাংশ) তাই Lv এর ধর্মাবলী খুবই সীমিত পরিমাণে অধ্যয়ন করা গেছে।

সারণি 7.6 এ লিভারমোরিয়াম ব্যতীত গ্রুপ 16 এর অন্যান্য মৌল সমূহের ইলেকট্রন বিন্যাস সহ গুরুত্বপূর্ণ পারমাণবিক এবং ভৌত ধর্মাবলি নীচে উল্লেখ করা হল।

সারণি 7.6: গ্রুপ 16 এর মৌলসমূহের কিছু ভৌত ধর্মাবলি

| ধর্ম | O | S | Se | Te | Po |
|---|---|---|---|---|---|
| পরমাণু ক্রমাঙ্ক | 8 | 16 | 34 | 52 | 84 |
| পারমাণবিক ভর/g $mol^{-1}$ | 16.00 | 32.06 | 78.96 | 127.60 | 210.00 |
| ইলেকট্রন বিন্যাস | [He]$2s^22p^4$ | [Ne]$3s^23p^4$ | [Ar]$3d^{10}4s^24p^4$ | [Kr]$4d^{10}5s^25p^4$ | [Xe]$4f^{14}5d^{10}6s^26p^4$ |
| সমযোজী ব্যাসার্ধ/(pm)[a] | 66 | 104 | 117 | 137 | 146 |
| আয়ননায়ন ব্যাসার্ধ, $E^{2-}$/pm | 140 | 184 | 198 | 221 | 230[b] |
| ইলেকট্রন গ্রহণ এনথ্যালপি, /$\Delta_{eg}H$ kJ $mol^{-1}$ | –141 | –200 | –195 | –190 | –174 |
| আয়নায়ন এন্থ্যালপি ($\Delta_iH_1$) /kJ $mol^{-1}$ | 1314 | 1000 | 941 | 869 | 813 |
| তড়িৎ ঋণাত্বকতা | 3.50 | 2.58 | 2.55 | 2.01 | 1.76 |
| ঘনত্ব /g $cm^{-3}$ (298 K) | 1.32[c] | 2.06[d] | 4.19[e] | 6.25 | – |
| গলনাঙ্ক/K | 55 | 393[f] | 490 | 725 | 520 |
| স্ফুটনাঙ্ক/K | 90 | 718 | 958 | 1260 | 1235 |
| জারন স্তর * | –2,–1,1,2 | –2,2,4,6 | –2,2,4,6 | –2,2,4,6 | 2,4 |

*[a]এক বন্ধন; [b]আণুমানিক মান; [c]স্ফুটনাঙ্ক; [d] রম্বিক সালফার ; [e]ধুসর হেক্সাগোনাল; [f]মনোক্লিনিক রূপ, 673 K.*

* *অক্সিজেন ফ্লোরাইড $OF_2$ এবং $O_2F_2$ যৌগে অক্সিজেন যথাক্রমে +2 এবং +1 জারণ সংখ্যা দেখায়।*

### 7.10.2 ইলেকট্রন বিন্যাস

শ্রেণি 16 এর মৌলসমূহের বহি:স্থকক্ষে ছয়টি ইলেকট্রন থাকে এবং সাধারণ ইলেকট্রন বিন্যাস হল $ns^2np^4$

### 7.10.3 পারমাণবিক এবং আয়নীয় ব্যাসার্ধ

এই শ্রেণির উপর থেকে নিচের দিকে অগ্রসর হলে কক্ষ পথের সংখ্যা বৃদ্ধি পায় বলে পারমাণবিক এবং আয়নীয় ব্যাসার্ধ বৃদ্ধি পায়। তবে অক্সিজেন পরমাণুর আকার অত্যাধিক ছোট।

**7.10.4 আয়নায়ন এনথ্যালপি**

শ্রেণি বরারব নিচের দিকে অগ্রসর হলে আয়নায়ন এনথ্যালপি হ্রাস পায়। আকার বৃদ্ধির জন্য এটা ঘটে। তবে একই পর্যায়ের 15 নং শ্রেণির মৌলগুলোর তুলনায় এই গ্রুপের মৌলগুলোর আয়নায়ন এনথ্যালপির মান তুলনামূলকভাবে কম হয়। এর কারণ হল 15 নং শ্রেণির মৌলগুলোর ইলেকট্রন বিন্যাসে সুস্থিত অর্ধপূর্ণ $p$-কক্ষক উপস্থিত থাকে।

**7.10.5 ইলেকট্রন আসক্তি বা ইলেকট্রন গ্রহণ এনথ্যালপি**

অক্সিজেন পরমাণুর ঘনসন্নিবিষ্ট ইলেকট্রন গঠন বিন্যাসের জন্য ইলেকট্রন গ্রহন এনথ্যালপির মান সালফারের তুলনায় কম ঋণাত্মক হয়। তবে সালফার থেকে পোলোনিয়াম পর্যন্ত ঋণাত্মকতার মান কমতে থাকে।

**7.10.6 তড়িৎ ঋণাত্মকতা**

মৌল সমূহের মধ্যে ফ্লোরিনের পর সর্বোচ্চ তড়িৎ ঋণাত্মকতা সমন্বিত মৌলটি হল অক্সিজেন। শ্রেণি বরাবর পরমাণু ক্রমাঙ্ক বৃদ্ধির সাথে সাথে এই শ্রেণির মৌলসমূহের তড়িৎঋণাত্মকতা হ্রাস পায়। এর থেকে বোঝা যায় অক্সিজেন থেকে পোলোনিয়াম পর্যন্ত ধাতব ধর্মে বৃদ্ধি পায়।

***নমুনা প্রশ্ন 7.10***

একই পর্যায়ের 15 নং শ্রেণির মৌল সমূহের তুলনায় 16নং শ্রেণির মৌলগুলোর প্রথম আয়নায়ন এনথ্যালপির মান তুলনামূলকভাবে কম হয় কেন?

***সমাধান***

15 নং শ্রেণির মৌল সমূহের ইলেকট্রন বিন্যাসে অর্ধপূর্ণ $p$ -কক্ষক উপস্থিত থাকায় মৌলগুলো অধিক সুস্থিত হয় ফলে 16 নং শ্রেণির মৌলগুলোর তুলনায় ইলেকট্রন সরাতে অনেক বেশি পরিমাণ শক্তির দরকার হয়।

**7.10.7 ভৌত ধর্মাবলি**

সারণি 7.6 এ 16 নং শ্রেণির মৌলসমূহের কিছু ভৌত ধর্মাবলি উল্লেখ করা হয়েছে। অক্সিজেন এবং সালফার অধাতু, সেলেনিয়াম এবং টেলুরিয়াম ধাতুকল্প যেখানে পোলোনিয়াম ধাতু। পোলোনিয়াম হল তেজস্ক্রিয় মৌল এবং স্বল্পায়ু (অর্ধজীবন 13.8 দিন)। সব মৌলই বহুরূপতা প্রদর্শন করে। শ্রেণি বরাবর নিচের দিকে পরমাণু ক্রমাঙ্ক বৃদ্ধির সাথে সাথে গলনাঙ্ক এবং স্ফুটনাঙ্ক বৃদ্ধি পায়। অক্সিজেন এবং সালফারের মধ্যে গলনাঙ্ক ও স্ফুটনাঙ্কের বেশী পার্থক্যের কারণ তাদের পারমাণবিকতার দ্বারা ব্যাখ্যা করা যায়। অক্সিজেন দ্বিপরমাণুক ($O_2$) অনুরূপে থাকে যেখানে সালফার অষ্টপরমাণুক ($S_8$) অণু রূপে থাকে।

**7.10.8 রাসায়নিক ধর্মাবলি**

*জারণ স্তর এবং রাসায়নিক সক্রিয়তার প্রবণতা*

গ্রুপ 16 এর মৌলসমূহ অনেক জারণস্তর প্রদর্শন করে (সারনি 7.6 দেখ)-2 জারণস্তরের স্থায়ীত্বতা শ্রেণি বরাবর নিচের দিকে হ্রাস পায়। পোলোনিয়াম খুব কম ক্ষেত্রেই –2 জারণ অবস্থা দেখায়। অক্সিজেনের তড়িৎ ঋণাত্মকতা খুব বেশী হওয়ায় এটি কেবলমাত্র –2 জারণ অবস্থা দেখায়, ব্যাতিক্রম হল $OF_2$ যৌগ, যেখানে অক্সিজেনের জারণ সংখ্যা + 2 । এই গ্রুপের অন্যান্য মৌলগুলো + 2, + 4, + 6 জারণ অবস্থা দেখায়, তবে + 4 এবং + 6 জারণ অবস্থাগুলো বেশী পরিচিত। সালফার, সেলেনিয়াম এবং টেলুরিয়াম অক্সিজেনের সাথে যৌগ গঠনের সময় + 4 জারণ অবস্থা দেখায় যেখানে ফ্লুরিনের সাথে যৌগ গঠন করার সময় + 6 জারণ অবস্থা দেখায়। + 6 জারণ অবস্থাটির স্থায়িত্বতা শ্রেণি বরাবর নিচের দিকে হ্রাস পায় এবং + 4 জারণ অবস্থাটির স্থায়িত্বতা বৃদ্ধি পায় (নিষ্ক্রিয় যুগল প্রভাব)। + 4 এবং + 6 জারণ সংখ্যা বিশিষ্ট বন্ধনগুলো প্রাথমিকভাবে সমযোজী হয়।

*অক্সিজেনের ব্যাতিক্রম আচরণ*

অক্সিজেনের ছোট আকার এবং উচ্চ তড়িৎঋণাত্মকতার জন্য অক্সিজেন দ্বিতীয় পর্যায়ের অন্যান্য $p$-ব্লক মৌলগুলোর মত ব্যাতিক্রম ধর্মী আচরণ করে। একটি আদর্শ উদাহরণ হল অক্সিজেনের ছোট আকার এবং উচ্চ তড়িৎ ঋণাত্মকতার জন্য $H_2O$ অণুগুলো মধ্যে হাইড্রোজেন বন্ধন, লক্ষ্য করা যায়, যাহা $H_2S$ তে অনুপস্থিত থাকে।

অক্সিজেনে *d*-কক্ষকের অনুপস্থিতির জন্য এটি সমযোজ্যতা চার (4) হতে পারে না এবং দুই এর বেশী বস্তুত খুব কমই হয়। এই গ্রুপের অন্যান্য মৌলগুলো যোজন কক্ষ বৃদ্ধি করতে পারে ফলে সমযোজ্যতা চার এর বেশী হওয়া সম্ভব হয়।

(i) *হাইড্রোজেনের সাথে বিক্রিয়া ঃ* গ্রুপ 16 এর সবগুলো মৌল হাইড্রোজেনের সাথে $H_2E$ (E = O, S, Se, Te, Po) ধরনের হাইড্রাইড যৌগ গঠন করে। সারণি 7.7 এর হাইড্রাইডগুলোর কিছু ধর্মাবলি উল্লেখ করা হয়েছে। তাদের আম্লিক চরিত্র $H_2O$ থেকে $H_2Te$ পর্যন্ত বৃদ্ধি পায়। আম্লিক চরিত্র বৃদ্ধির কারণ হল শ্রেণি বরাবর নিচের দিকে অগ্রসর হলে H–E বন্ধন বিয়োজন শক্তির মান হ্রাস পায়। শ্রেণি বরাবর নিচের দিকে অগ্রসর হলে H–E এর বন্ধন বিয়োজন শক্তি হ্রাস পায় বলে হাইড্রাইডগুলোর তাপীয় স্থায়িত্বতা $H_2O$ থেকে $H_2Po$ পর্যন্ত হ্রাস পায়। $H_2O$ ব্যাতীত বাকী হাইড্রাইডগুলো বিজারণধর্মী এবং এই ধর্ম $H_2S$ থেকে $H_2Te$ পর্যন্ত বৃদ্ধি পায়।

**সারণি 7.7: 16 নং শ্রেণির মৌল সমূহের হাইড্রাইডের ধর্মাবলি**

| ধর্ম | $H_2O$ | $H_2S$ | $H_2Se$ | $H_2Te$ |
|---|---|---|---|---|
| গলনাঙ্ক/K | 273 | 188 | 208 | 222 |
| স্ফুটনাঙ্ক/K | 373 | 213 | 232 | 269 |
| H–E এর দৈর্ঘ্য /pm | 96 | 134 | 146 | 169 |
| HEH কোণ (°) | 104 | 92 | 91 | 90 |
| $\Delta_f H$/kJ mol$^{-1}$ | –286 | –20 | 73 | 100 |
| $\Delta_{\text{বিয়োজন}} H$ $(H–E)$/kJ mol$^{-1}$ | 463 | 347 | 276 | 238 |
| বিয়োজন ধ্রুবক[a] | $1.8\times10^{-16}$ | $1.3\times10^{-7}$ | $1.3\times10^{-4}$ | $2.3\times10^{-3}$ |

[a] *জলীয় দ্রবণ, 298 K*

(ii) *অক্সিজেনের সঙ্গে বিক্রিয়া ঃ* এই শ্রেণির সব মৌল অক্সিজেনের সঙ্গে $EO_2$ এবং $EO_3$ ধরনের যৌগ গঠন করে যেখানে E = S, Se, Te অথবা পোলোনিয়াম। ওজোন ($O_3$) এবং সালফারডাই অক্সাইড ($SO_2$) হল গ্যাস যেখানে $SeO_2$ হল কঠিন। ডাই অক্সাইডের বিজারণ ধর্ম $SO_2$ থেকে $TeO_2$ পর্যন্ত হ্রাস পায়; $SO_2$ হল বিজারক দ্রব্য যেখানে $TeO_2$ হল একটি জারক দ্রব্য। $EO_2$ অক্সাইড ব্যাতীত সালফার, সেলেনিয়াম এবং টেলুরিয়াম $EO_3$ ধরনের অক্সাইডও গঠন করে ($SO_3$, $SeO_3$, $TeO_3$)। উভয় ধরনের অক্সাইডই আম্লিক প্রকৃতির।

(iii) *হ্যালোজেনের সঙ্গে বিক্রিয়া ঃ* গ্রুপ 16 এর মৌলগুলো অনেক ধরনের হ্যালাইড গঠন করে যেমন $EX_6$, $EX_4$ এবং $EX_2$ যেখানে E হল এই শ্রেণির মৌল এবং X হল হ্যালোজেন। হ্যালাইডগুলোর স্থায়িত্বতার ক্রম হ্রাসমান ক্রমটি হল $F^- > Cl^- > Br^- > I^-$। হেক্সাহ্যালাইড সমূহের মধ্যে হেক্সাফ্লোরাইড কেবলমাত্র স্থায়ী হ্যালাইড। সব হেক্সাফ্লোরাইডই গ্যাসীয় প্রকৃতির হয়। হেক্সাফ্লোরাইডগুলো অষ্টতলকীয় হয়। সালফার হেক্সাফ্লোরাইড অত্যাধিক সুস্থিত হয়।

টেট্রাফ্লোরাইডগুলোর মধ্যে $SF_4$ গ্যাস, $SF_4$ তরল এবং $TeF_4$ হল কঠিন। এই ফ্লোরাইডগুলো $sp^3d$ সংকরায়িত অবস্থায় থাকে তাই ত্রিকোণীয় দ্বিপিরামিডকৃত গঠনাকৃতির হয় যার নিরক্ষীয় অবস্থানে (equatorial positions) নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল থাকে। এই গঠনটি ঢেঁকির (*see-saw*) মত হয়।

অক্সিজেন ব্যাতীত সব মৌলই ডাইফ্লোরাইড এবং ডাইব্রোমাইড গঠন করে। এই ডাইহ্যালাইডগুলো $sp^3$ সংকরায়ন গঠন করে ফলে চতুঃস্তলকীয় গঠনাকৃতি হয়। অধিক পরিচিত মনোহ্যালাইড

ডাইমাররূপে থাকে। যেমন $S_2F_2$, $S_2Cl_2$, $S_2Br_2$, $Se_2Cl_2$ এবং $Se_2Br_2$ এই ডাইমারিক হ্যালাইডগুলো নিচের বিক্রিয়ার মত অসমঞ্জস্য বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করে।

$$2Se_2Cl_2 \rightarrow SeCl_4 + 3Se$$

**নমুনা প্রশ্ন 7.11**

$H_2Te$ থেকে $H_2S$ অধিকতর দুর্বল অ্যাসিড কেন?

**সমাধান**

যেহেতু শ্রেণি বরাবর নিচের দিকে অগ্রসর হলে (E–H) বন্ধন শক্তির মান হ্রাস পায়, তাই আম্লিক চরিত্র বৃদ্ধি পায়।

**বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলি**

7.13 সালফারের গুরুত্বপূর্ণ উৎসগুলো তালিকাভুক্ত কর।

7.14 16 নং শ্রেণির গ্রুপ 16 মৌলসমূহের হাইড্রাইডগুলোর তাপস্থায়িত্বের ক্রম লিখ।

7.15 $H_2O$ তরল কিন্তু $H_2S$ গ্যাস কেন?

## 7.11 ডাইঅক্সিজেন

*প্রস্তুতি*

রসায়নাগারে ডাইঅক্সিজেন নিম্নলিখিত উপায়ে পাওয়া যায়।

(i) অক্সিজেন যুক্ত লবণ যেমন ক্লোরেট, নাইট্রেট এবং পারম্যাঙ্গানেটকে উত্তপ্ত করে অক্সিজেন পাওয়া যায়।

$$2KClO_3 \xrightarrow[MnO_2]{\text{তাপ}} 2KCl + 3O_2$$

(ii) তড়িৎ রাসায়নিক শ্রেণিতে অবস্থিত নিচের দিকে মৌলগুলোর অক্সাইড এবং অধিক অক্সিজেন যুক্ত কিছু মৌলের অক্সাইডের তাপীয় বিয়োজন দ্বারা অক্সিজেন পাওয়া যায়।

$$2Ag_2O(s) \rightarrow 4Ag(s) + O_2(g); \qquad 2Pb_3O_4(s) \rightarrow 6PbO(s) + O_2(g)$$
$$2HgO(s) \rightarrow 2Hg(l) + O_2(g) \; ; \qquad 2PbO_2(s) \rightarrow 2PbO(s) + O_2(g)$$

(iii) ম্যাঙ্গানিজ ডাইঅক্সাইড এবং সুষম ধাতু চূর্ণ অনুঘটকের উপস্থিতিতে $H_2O_2$ দ্রুত বিয়োজিত হয়ে ডাইঅক্সিজেন এবং জল উৎপন্ন করে।

$$2H_2O_2(aq) \rightarrow 2H_2O(1) + O_2(g)$$

জল অথবা বায়ু থেকে অক্সিজেনকে বেশী পরিমাণে তৈরি করা যায়। জলের তড়িৎ বিশ্লেষণের ফলে ক্যাথোডে হাইড্রোজেন এবং অ্যানোডে অক্সিজেন পাওয়া যায়।

শিল্পক্ষেত্রে, ডাইঅক্সিজেন প্রস্তুতের সময় প্রথমে বায়ু থেকে কার্বন ড্রাইঅক্সাইড এবং জলীয় বাষ্প অপসারণ করে এবং পরে অবশিষ্ট গ্যাসমিশ্রণকে তরলীকৃত এবং আংশিক পাতনের দ্বারা ডাইনাইট্রোজেন এবং ডাইঅক্সিজেন পাওয়া যায়।

*ধর্মাবলি*

ডাইঅক্সিজেন একটি বর্ণহীন এবং গন্ধহীন গ্যাস। 293 K উষ্ণতায় 100 $cm^3$ জলে 3.08 $cm^3$ অক্সিজেন দ্রবীভূত অবস্থায় থাকে যা সামুদ্রিক এবং জলজ প্রাণীর প্রাণীর বেঁচে থাকার জন্য অত্যাবশ্যক। 90 K উষ্ণতায় এটি তরলীকৃত হয় এবং 55 K উষ্ণতায় হিমশীতল হয়। অক্সিজেনের তিনটি স্থায়ী আইসোটোপ আছে : $^{16}O$, $^{17}O$ এবং $^{18}O$ জোড়সংখ্যক ইলেকট্রন থাকা স্বত্ত্বেও আণবিক অক্সিজেনের একটি অনন্য ধর্ম হল এটি প্যারাম্যাগনেটিক (একাদশ শ্রেণির চতুর্থ অধ্যায়ে পড়েছ)।

কিছু ধাতু (যেমন Au, Pt) এবং নিষ্ক্রিয় গ্যাস ব্যাতীত প্রায় সব ধাতু এবং অধাতুর সঙ্গো ডাইঅক্সিজেন সরাসরি বিক্রিয়া করে। অন্যান্য মৌলের সঙ্গো এর সংযোজন বিক্রিয়া প্রায়ই তীব্র তাপ

উৎপাদক হয় যা বিক্রিয়া ঘটাতে সহায়ক। তবে অক্সিজেন—অক্সিজেন দ্বিবন্ধনের বন্ধন বিয়োজন শক্তি ($493.4\ kJ\ mol^{-1}$)-র মান খুবই বেশি হওয়ায় বিক্রিয়া শুরু করতে কিছু বাহ্যিক তাপ শক্তির প্রয়োজন হয়।

ডাই অক্সিজেনের সঙ্গে কিছু ধাতু, অধাতু এবং যৌগের বিক্রিয়া নিচে দেওয়া হল

$$2Ca + O_2 \rightarrow 2CaO$$

$$4Al + 3O_2 \rightarrow 2Al_2O_3$$

$$P_4 + 5O_2 \rightarrow P_4O_{10}$$

$$C + O_2 \rightarrow CO_2$$

$$2ZnS + 3O_2 \rightarrow 2ZnO + 2SO_2$$

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$$

কিছু যৌগ অনুঘটক দ্বারা জারিত হয়। উদাহরণস্বরূপ,

$$2SO_2 + O_2 \xrightarrow{V_2O_5} 2SO_3$$

$$4HCl + O_2 \xrightarrow{CuCl_2} 2Cl_2 + 2H_2O$$

ব্যবহার ঃ সাধারণত শ্বসন ও দহন প্রক্রিয়ার মত গুরুত্বপূর্ণ ব্যবহার ছাড়াও অনেক ধাতু উৎপাদনে, বিশেষত ইস্পাত ও অক্সিঅ্যাসিটিলিন ঝালাইয়ে অক্সিজেন ব্যবহৃত হয়। উচ্চতর উচ্চতায় পর্বতারোহনে এবং হাসপাতালে অক্সিজেন সিলিন্ডারের ব্যাপক ব্যবহার রয়েছে। জ্বালানীর দহন, যেমন রকেট ধাক্কা দিয়ে উপরে তুলতে, তরল অক্সিজেনে হাইড্রাজিনকে দহন করানো হয়।

### বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলি

7.16 নিচের কোন্‌টি অক্সিজেনের সঙ্গে সরাসরি বিক্রিয়া করে না?

Zn, Ti, Pt, Fe

7.17 নিচের বিক্রিয়াগুলো সম্পূর্ণ কর :

(i) $C_2H_4 + O_2 \rightarrow$

(ii) $4Al + 3\ O_2 \rightarrow$

## 7.12 সাধারণ অক্সাইডসমূহ

অন্য মৌলের সাথে অক্সিজেনের দ্বিযৌগ কে অক্সাইড বলা হয়। এরমধ্যেই উল্লেখ করা হয়েছে যে পর্যায় সারণির প্রায় সব মৌলের সঙ্গে অক্সিজেন বিক্রিয়া করে অক্সাইড গঠন করে। অনেক ক্ষেত্রে একটি মৌল একাধিক অক্সাইড গঠন করে। অক্সাইডগুলোর ধর্ম এবং প্রকৃতি ভিন্ন হয়।

অক্সাইডগুলো সরল (যেমন $MgO$, $Al_2O_3$) অথবা মিশ্র অক্সাইড ($Pb_3O_4$, $Fe_3O_4$) হয়। আম্লিক, ক্ষারীয় অথবা উভধর্মী চরিত্রের উপর নির্ভর করে অক্সাইডগুলোর শ্রেণি বিন্যাস করা হয়েছে। অক্সাইড জলের সঙ্গে যুক্ত হয়ে অ্যাসিড তৈরি করলে তাকে আম্লিক অক্সাইড (যেমন $SO_2$, $Cl_2O_7$, $CO_2$, $N_2O_5$) বলে। উদাহরণস্বরূপ,

$$SO_2 + H_2O \rightarrow H_2SO_3$$

সাধারণত অধাতব অক্সাইডরা আম্লিক হয় কিন্তু বেশী ধনাত্মক জারণ সংখ্যার ধাতব অক্সাইড ও আম্লিক হয় (যেমন $Mn_2O_7$, $CrO_3$, $V_2O_5$)। যেসব অক্সাইড জলের সঙ্গে ক্ষার তৈরি করে তারা ক্ষারীয় অক্সাইড (যেমন $Na_2O$, $CaO$, $BaO$) হিসেবে পরিচিত। উদাহরণ, $CaO$ জলের সঙ্গে যুক্ত হয়ে $Ca(OH)_2$ ক্ষার তৈরি করে।

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$$

ধাতব অক্সাইডগুলো সাধারণত ক্ষারীয় হয়।

কিছু ধাতব অক্সাইড দুই ধরনের আচরণ করে। এরা আম্লিক এবং ক্ষারীয় দু-ধরনের ধর্মই প্রদর্শন করে। এই ধরনের অক্সাইডগুলোকে উভধর্মী অক্সাইড বলা হয়। এরা অ্যাসিড এবং ক্ষার উভয়ের সঙ্গে বিক্রিয়া করে। যেমন $Al_2O_3$ অ্যাসিড এবং ক্ষার উভয়ের সঙ্গে বিক্রিয়া করে।

$$Al_2O_3(s) + 6HCl(aq) + 9H_2O(l) \rightarrow 2[Al(H_2O)_6]^{3+}(aq) + 6Cl^-(aq)$$
$$Al_2O_3(s) + 6NaOH(aq) + 3H_2O(l) \rightarrow 2Na_3[Al(OH)_6](aq)$$

কিছু অক্সাইড আছে যারা না আম্লিক প্রকৃতির না ক্ষারীয় প্রকৃতির। এই ধরনের অক্সাইডগুলোকে প্রশম অক্সাইড বলা হয়। প্রশম অক্সাইডের উদাহরণ হল CO, NO এবং $N_2O$.

## 7.13 ওজোন

ওজোন অক্সিজেনের একটি রূপভেদ। এটি এত সক্রিয় যে সমুদ্রপৃষ্টের বায়ুমন্ডলে দীর্ঘকাল অবস্থান করতে পারে না। সূর্যালোকের উপস্থিতিতে 20 কিলোমিটার উচ্চতায় বায়ুমন্ডলের অক্সিজেন থেকে এটি তৈরি হয়। এই ওজোনস্তর সূর্যের অতিবেগুনি রশ্মির ক্ষতিকারক প্রভাব থেকে পৃথিবীকে রক্ষা করে।

*প্রস্তুতি*

নিঃশব্দ তড়িৎক্ষরনের মধ্য দিয়ে শুষ্ক অক্সিজেন গ্যাস ধীরে ধীরে পাঠালে অক্সিজেন ওজোনে (10%) রূপান্তরিত হয়। এই বিক্রিয়ার বিক্রিয়াজাত পদার্থটি হলো ওজোন মিশ্রিত অক্সিজেন।

$$3O_2 \rightarrow 2O_3 \quad \Delta H^\ominus (298\ K) = +142\ kJ\ mol^{-1}$$

অক্সিজেন থেকে ওজোন প্রস্তুতির প্রক্রিয়াটি একটি তাপ শোষক প্রক্রিয়া বলে ওজোনের বিয়োজনকে রোধ করার জন্য নিঃশব্দ তড়িৎক্ষরন করা প্রয়োজন।

10% গাঢ়ত্বের থেকে বেশী গাঢ়ত্বের ওজোন পেতে গেলে ওজোনাইজার ব্যাটারী ব্যবহার করতে হবে এবং তরল অক্সিজেন দ্বারা ঘিরে থাকা কোনো পাত্রে বিশুদ্ধ ওজোনকে (স্ফুটনাঙ্ক 101.1K) ঘনীভূত করা হয়।

*ধর্মাবলী*

বিশুদ্ধ ওজোন হালকা নীল বর্ণের গ্যাস, গাঢ় নীল বর্ণের তরল এবং বেগুনী কালো বর্ণের কঠিন। ওজোন বিশিষ্ট গন্ধযুক্ত হয় এবং কম গাঢ়ত্বের ওজোনের ক্ষতিকারক প্রভাব থাকে না। যদি গাঢ়ত্ব বেড়ে 100 ppm হয়, তবে শ্বাসকার্য অস্বস্তিদায়ক হয়, ফলস্বরূপ মাথাব্যাথা এবং বমি বমি ভাব হয়।

অক্সিজেনের চেয়ে ওজোন তাপগতীয় ভাবে দুঃস্থিত, কারণ এর বিয়োজনে, তাপসহ অক্সিজেন নির্গত হয় ($\Delta H$, ঋণাত্মক হয়) এবং এনট্রপি ($\Delta S$, পজিটিভ হয়) বৃদ্ধি পায়। ওজোনের বিয়োজনের ফলে অক্সিজেন উৎপন্ন হওয়ায় বিক্রিয়াটির কেন্দ্র এই দুইটি প্রভাব একত্রিত হয়ে গিব্স শক্তির ($\Delta G$) মানকে অধিকতর ঋণাত্মক করে তুলে। গাঢ়ত্বের ওজোন খুবই বিস্ফোরকটি এর মধ্যে সত্যিই অবাক হওয়ার কিছু নেই।

এটি খুব সহজেই জায়মান অক্সিজেন তৈরি করে ($O_3 \rightarrow O_2 + O$) তাই এটি শক্তিশালী জারক দ্রব্য রূপে কাজ করে। উদাহরণস্বরূপ, এটি লেড সালফাইডকে লেড সালফেটে এবং আয়োডাইড আয়নকে আয়োডিনে জারিত করে।

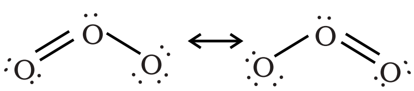
$$PbS(s) + 4O_3(g) \rightarrow PbSO_4(s) + 4O_2(g)$$
$$2I^-(aq) + H_2O(l) + O_3(g) \rightarrow 2OH^-(aq) + I_2(s) + O_2(g)$$

বোরেট বাফারের (pH 9.2) সাথে মিশ্রিত অতিরিক্ত পটাসিয়াম আয়োডাইড দ্রবণের সাথে ওজোন বিক্রিয়া করে আয়োডিন নির্গত করে এবং নির্গত আয়োডিনকে প্রমান মাত্রার সোডিয়াম থায়োসালফেট দ্রবণ দ্বারা টাইট্রেশন করা হয়। এটি হল $O_3$ গ্যাস পরিমাপের গুণগত পদ্ধতি।

পরীক্ষা করে দেখা গেছে যে নাইট্রোজেন অক্সাইড (বিশেষত নাইট্রোজেন মনোক্সাইড) খুব দ্রুত ওজোনের সঙ্গে বিক্রিয়া করে, ফলে সুপারসনিক জেট এরোপ্লেন থেকে যে নাইট্রোজেন অক্সাইড নির্গত হয় তা সম্ভবত বায়ুমন্ডলের উপরের স্তরে অবস্থিত ওজোন স্তরের গাঢ়ত্ব হ্রাস করে।

$$NO(g) + O_3(g) \rightarrow NO_2(g) + O_2(g)$$

ওজোন স্তরের অস্তিত্বের এর জন্য আরও একটি হুমকি হল রেফ্রিজারেটর এবং এরোসল স্প্রের মধ্যে ব্যবহৃত ফ্রিয়ন।



ওজোন অণুতে দুটি অক্সিজেন–অক্সিজেন বন্ধন দৈর্ঘ্য একই (128 pm) হয় এবং অণুটি কৌনিক আকৃতির হয়, যেখানে বন্ধন কোণ প্রায় $117^{o}$ হয়। দুটি মুখ্য রূপের এটি হল একটি রেজোন্যান্স হাইব্রিড।

ব্যবহার ঃ জলকে জীবানুমুক্ত করতে এটি ব্যবহৃত হয়। স্টার্চ, ময়দা, কাঁজল, তেলকে বিরঞ্জন করতেও এটি ব্যবহৃত হয়। পটাসিয়াম পারম্যাঙ্গানেটের উৎপাদনে এটি জারক দ্রব্য রূপে কাজ করে।

### বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলী

**7.18** $O_3$ শক্তিশালী জারক দ্রব্য রূপে কাজ করে কেন?

**7.19** গুণগতভাবে $O_3$ কে কিভাবে পরিমাপ করবে?

## 7.14 সালফারের রূপভেদসমূহ

সালফারের অনেকগুলো রূপভেদের মধ্যে গুরুত্বপূর্ণ রূপভেদ হল হলুদ রম্বিক ($\alpha$–সালফার) এবং মনোক্লিনিক ($\beta$–সালফার)। ঘরের তাপমাত্রায় রম্বিক সালফার হল সবচেয়ে স্থায়ী রূপভেদ 369 K উষ্ণতায় উপরে উত্তপ্ত করলে এটি মনোক্লিনিক সালফারে রূপান্তরিত হয়।

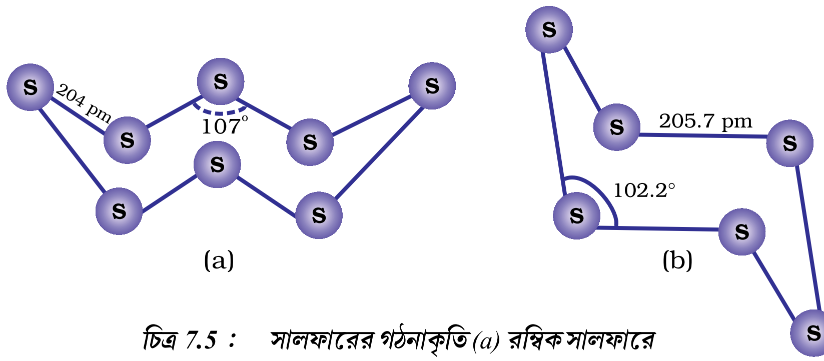
*রম্বিক সালফার ($\alpha$–সালফার)*

এই রূপভেদটি হলুদ বর্ণের, গলনাঙ্ক 385.8 Kএবং আপেক্ষিক গুরুত্ব 2.06। কার্বন ডাই সালফাইডে দ্রবীভূত রোল সালফারের দ্রবণকে বাষ্পীভূত করলে রম্বিক সালফারের কেলাস তৈরি হয়। এটি জলে অদ্রাব্য, কিন্তু বেঞ্জিন, ইথার এবং অ্যালকোহলে কিছু পরিমাণে দ্রাব্য। এটি $CS_2$ খুব সহজেই দ্রবীভূত হয়।

*মনোক্লিনিক সালফার ($\beta$–সালফার)*

এটির গলনাঙ্ক 393 K এবং আপেক্ষিক গুরুত্ব 1.98। এটি $CS_2$ এ দ্রাব্য। একটি ডিসে্ রম্বিক সালফারকে গলিয়ে সালফারের এই রূপটি তৈরি করা হয় এবং কঠিন না হওয়া পর্যন্ত ঠান্ডা করা হয়। কঠিনে দুটি গর্ত করলে অবশিষ্ঠ তরল বেরিয়ে আসে। কঠিনকে সরিয়ে নিয়ে সূচের ন্যায় $\beta$–সালফার তৈরি করা হয়। এটি 369 K উষ্ণতার উপরে সুস্থিত এবং এই উষ্ণতার নিচে $\alpha$–সালফারে রূপান্তরিত হয়। বিপরীত ভাবে 369 K উষ্ণতার নীচে $\alpha$–সালফার সুস্থিত এবং এর উপরের তাপমাত্রায় $\beta$–সালফারে রূপান্তরিত হয়। 369 K উষ্ণতায় উভয়রূপই স্থায়ী এই তাপমাত্রাকে বলা হয় রূপান্তর তাপমাত্রা।

রম্বিক এবং মনোক্লিনিক উভয় সালফারই $S_8$ অনুরূপে থাকে। এই $S_8$ অণুগুলো বিভিন্ন ধরনের কেলাসিত গঠন তৈরি করে। উভয় ক্ষেত্রেই $S_8$ বলয়গুলো কুচকানো (puckered) এবং দেখতে মুকুটের মত। চিত্র 7.5(a) তে আণবিক মাত্রাগুলো দেওয়া হল।




*চিত্র 7.5 : সালফারের গঠনাকৃতি (a) রম্বিক সালফারে $S_8$ বলয় b) $S_6$ রূপ*

গত দুই দশকে আরও কিছু সংশ্লেষিত রূপ পাওয়া গেছে যেখানে একটি বলয়ে 6-20 টি সালফার পরমাণু থাকতে পারে। $S_6$ বলয়টি দেখতে চেয়ারের ন্যায় এবং চিত্র 7.5 (b) তে আণবিক মাত্রাগুলো দেখানো হয়েছে। উচ্চ তাপমাত্রায় (~1000 K), $S_2$ এর অস্তিত্ব সবচেয়ে বেশী এবং $O_2$ এর মত প্যারাম্যাগনেটিক (যা চুম্বক দ্বারা আকর্ষিত) হয়।

**নমুনা প্রশ্ন 7.12**

সালফারের কোন্ রূপটি প্যারাম্যাগনেটিক হয়?

**সমাধান**

বাষ্পীয় দশায় সালফার আংশিক ভাবে $S_2$ রূপে বিরাজ করে যেখানে $O_2$ এর মত $\pi^*$ অ্যান্টিবন্ডিং কক্ষকে দুটি অযুগ্ম ইলেকট্রন থাকে এবং প্যারাম্যাগনেটিক ধর্ম প্রদর্শন করে।

## 7.15 সালফার ডাইঅক্সাইড

*প্রস্তুতি*

সালফারকে বায়ুতে বা অক্সিজেনে পোড়ানো হলে সালফার ডাইঅক্সাইড তৈরি হয়, তার মধ্যে অল্প পরিমাণে ((6-8%)) সালফার ট্রাইঅক্সাইড মিশ্রিত অবস্থায় থাকে।

$$S(s) + O_2(g) \rightarrow SO_2\ (g)$$

রসায়নাগারে সালফাইট আয়নের সঙ্গো লঘু সালফিউরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় এটি তৈরি করা হয়।

$$SO_3^{2-}(aq) + 2H^+\ (aq) \rightarrow H_2O(l) + SO_2\ (g)$$

শিল্পক্ষেত্রে সালফাইড আকরিকের তাপজারণে উপজাত পদার্থ হিসেবে, একে প্রস্তুত করা হয়।

$$4FeS_2\ (s) + 11O_2\ (g) \rightarrow 2Fe_2O_3\ (s) + 8SO_2\ (g)$$

প্রাপ্ত গ্যাসকে শুষ্ক করে উচ্চ চাপে তরলীকৃত করা হয় এবং স্টীলের সিলিন্ডারে রাখা হয়।

*ধর্মাবলি*

সালফার ডাইঅক্সাইড ঝাঁঝালো গন্ধযুক্ত একটি বর্ণহীন গ্যাস এবং জলে অধিক মাত্রায় দ্রাব্য। দুই অ্যাটমস্পীয়ার চাপে ঘরের উষ্ণতায় এটি তরলীকৃত হয় এবং এর স্ফুটনাঙ্ক 263 K।

সালফার ডাই অক্সাইডকে জলের মধ্যে চালনা করলে সালফিউরাস অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।

$$SO_2\ (g) + H_2O\ (l) \rightleftharpoons H_2SO_3\ (aq)$$

এটি সোডিয়াম হাইড্রোক্সাইড দ্রবণের সঙ্গো খুব দ্রুত বিক্রিয়া করে সোডিয়াম সালফাইট উৎপন্ন করে যা পরে অতিরিক্ত সালফার ডাইঅক্সাইডের সঙ্গো বিক্রিয়া করে সোডিয়াম হাইড্রোজেন সালফাইট উৎপন্ন করে।

$$2NaOH + SO_2 \rightarrow Na_2SO_3 + H_2O$$

$$Na_2SO_3 + H_2O + SO_2 \rightarrow 2NaHSO_3$$

জল এবং ক্ষারের সঙ্গো সালফার ডাইঅক্সাইডের বিক্রিয়ার আচরণ কার্বন ডাই অক্সাইডের মত।

চারকোল (অনুঘটক) এর উপস্থিতিতে সালফার ডাইঅক্সাইড ক্লোরিনের সঙ্গে বিক্রিয়া করে সালফিউরাইল ক্লোরাইড, $SO_2Cl_2$ উৎপন্ন করে। ভ্যানাডিয়াম (V) অক্সাইড অনুঘটকের উপস্থিতিতে এটি অক্সিজেন দ্বারা সালফার ট্রাইঅক্সাইডে জারিত হয়।

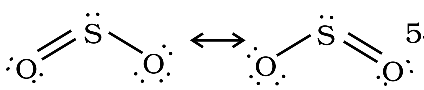
$$SO_2(g) + Cl_2(g) \rightarrow SO_2Cl_2(l)$$

$$2SO_2(g) + O_2(g) \xrightarrow{V_2O_5} 2SO_3(g)$$

আর্দ্র অবস্থায় সালফার ডাইঅক্সাইড বিজারক দ্রব্য রূপে আচরণ করে। উদাহরণস্বরূপ, এটি আয়রন (III) আয়নকে আয়রন (II) আয়নে রূপান্তরিত করে এবং আম্লিক পটাসিয়াম পারম্যাঙ্গানেট (VII) দ্রবণকে বর্ণহীন করে, পরের বিক্রিয়াটি গ্যাসটির সনাক্তকরণ পরীক্ষা।

$$2Fe^{3+} + SO_2 + 2H_2O \rightarrow 2Fe^{2+} + SO_4^{2-} + 4H^+$$

$$5SO_2 + 2MnO_4^- + 2H_2O \rightarrow 5SO_4^{2-} + 4H^+ + 2Mn^{2+}$$



$SO_2$ অণুটি কৌনিক আকৃতির দুটি ক্যানোনিকেল রূপের একটি রেজোল্যান্স হাইব্রিড।

ব্যবহার ঃ সালফার ডাইঅক্সাইড ব্যবহৃত হয় (i) পেট্রোলিয়াম এবং শর্করার (সুগার) বিশুদ্ধকরনে (ii)পশম এবং সিল্কের বিরঞ্জনে (iii) সংরক্ষণে, এন্টি ক্লোর রূপে এবং বীজানুনাশক রূপে। সালফিউরিক অ্যাসিড, সোডিয়াম হাইড্রোজেন সালফাইট এবং ক্যালসিয়াম হাইড্রোজেন সালফাইটের (শিল্প ক্ষেত্রে ব্যবহৃত রাসায়নিক পদার্থ) উৎপাদনে সালফার ডাইঅক্সাইড ব্যবহৃত হয়। অসংখ্য জৈব এবং অজৈব রাসায়নিক পদার্থের দ্রাবক রূপে তরল $SO_2$ ব্যবহৃত হয়।

### বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলী

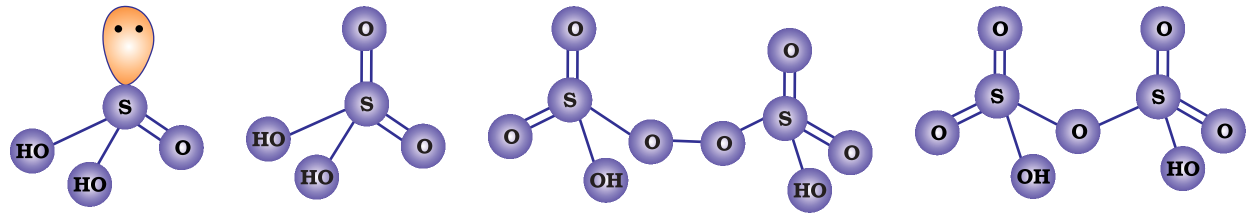
**7.20** আর্দ্র Fe(III) লবণের দ্রবণে সালফার ডাইঅক্সাইড চালনা করলে কি ঘটবে?

**7.21** $SO_2$ অণুতে দুটি S–O বন্ধনের প্রকৃতির উপর আলোচনা কর। এই অণুতে দুটি S–O বন্ধন কি সমান?

**7.22** $SO_2$ এর উপস্থিতি কিভাবে সনাক্ত করবে?

## 7.16 সালফারের অক্সোঅ্যাসিড সমূহ

সালফার অনেক ধরনের অক্সোঅ্যাসিড তৈরি করে যেমন $H_2SO_3$, $H_2S_2O_3$, $H_2S_2O_4$, $H_2S_2O_5$, $H_2S_xO_6$ (x = 2 থেকে 5), $H_2SO_4$, $H_2S_2O_7$, $H_2SO_5$, $H_2S_2O_8$ এগুলোর মধ্যে কিছু অ্যাসিড দুঃস্থিত এবং পৃথক করা যায় না। তারা আর্দ্র দ্রবণে অথবা তাদের লবণ রূপে থাকে। চিত্র 7.6 এ কিছু গুরুত্বপূর্ণ অক্সোঅ্যাসিড এর গঠন দেখানো হয়েছে।



সালফিউরাস অ্যাসিড ($H_2SO_3$) সালফিউরিক অ্যাসিড ($H_2SO_4$) পারঅক্সোডাই সালফিউরিক অ্যাসিড ($H_2S_2O_8$) পাইরোসালফিউরিক অ্যাসিড (ওলিয়াম) ($H_2S_2O_7$)

*চিত্র 7.6 : সালফারের কিছু গুরুত্বপূর্ণ অ্যাসিডের গঠন।*

## 7.17 সালফিউরিক অ্যাসিড উৎপাদন

পৃথিবী জুড়ে সালফিউরিক অ্যাসিড হল শিল্পক্ষেত্রে ব্যবহৃত হয় এমন একটি গুরুত্বপূর্ণ রাসায়নিক উপাদান।

স্পর্শ পদ্ধতিতে তিনটি ধাপের সাহায্যে সালফিউরিক অ্যাসিড উৎপাদন করা হয়।

(i) বায়ুতে সালফার বা সালফাইড আকরিককে পুড়িয়ে $SO_2$ তৈরি করা হয়।

(ii) $V_2O_5$ অনুঘটকের উপস্থিতিতে অক্সিজেনের সঙ্গে $SO_2$ এর বিক্রিয়ায় $SO_3$ এ রূপান্তর এবং

(iii) $H_2SO_4$ এ $SO_3$ এর শোষন এবং ওলিয়াম $(H_2S_2O_7)$ উৎপাদন।

চিত্র 7.7 এ সালফিউরিক অ্যাসিড উৎপাদনের একটি রেখা চিত্র দেখানো হয়েছে। উৎপাদিত $SO_2$ থেকে ধূলিকণা এবং অন্যান্য অশুদ্ধি যেমন আর্সেনিকের যৌগসমূহ সরিয়ে বিশুদ্ধ করা হয়।

$V_2O_5$ অনুঘটকের উপস্থিতিতে $O_2$ এর সঙ্গে $SO_2$ এর অনুঘটকীয় জারন বিক্রিয়ায় $SO_3$ এর উৎপাদন, $H_2SO_4$ উৎপাদনের মুখ্য ধাপ।

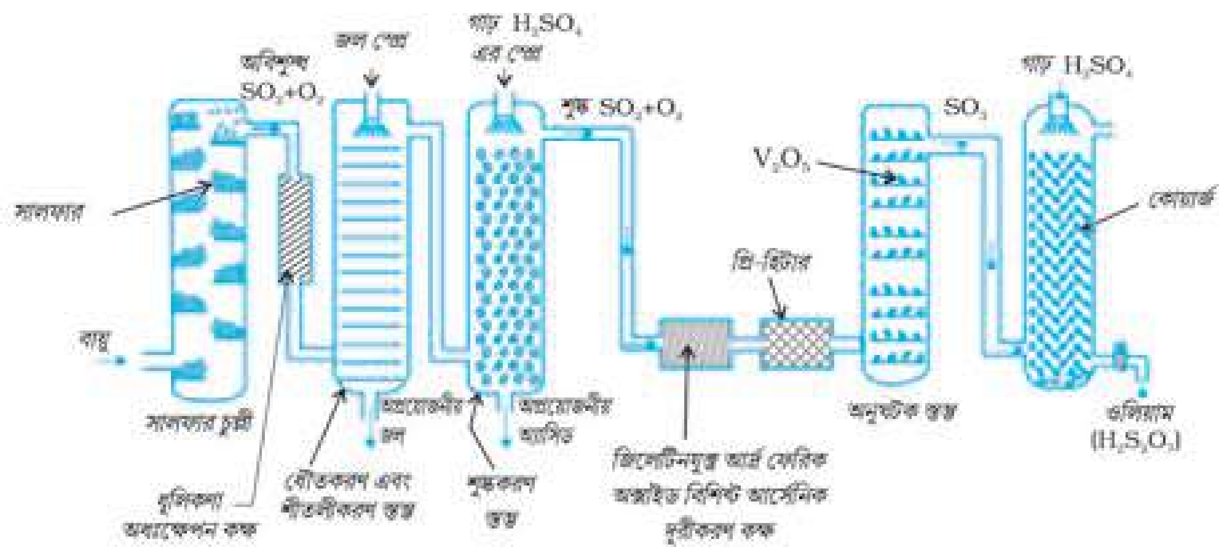
$$2SO_2(g) + O_2(g) \xrightarrow{V_2O_5} 2SO_3(g) \quad \Delta_r H^0 = -196.6\,\text{kJmol}^{-1}$$

বিক্রিয়াটি তাপ উৎপাদক, উভমুখী এবং সম্মুখমুখী বিক্রিয়ায় আয়তন হ্রাস পায়। তাই কম তাপমাত্রা এবং বেশী চাপ হল বেশী উৎপাদনের অনুকূল পরিবেশ। তা স্বত্ত্বেও কম তাপমাত্রা প্রয়োগ করা হয় না কারণ তখন বিক্রিয়ার হার খুব কম হয়।

$H_2SO_4$ প্রস্তুতিতে প্ল্যান্টের উষ্ণতা 720 K রাখা হয় এবং চাপ 2 বার রাখা হয়। অনুঘটকীয় স্তম্ভ থেকে প্রাপ্ত $SO_3$ গ্যাসকে গাঢ় $H_2SO_4$ এ শোষিত করে ওলিয়াম উৎপাদন করা হয়। ওলিয়ামকে জল দ্বারা লঘু করে কাঙ্খিত গাঢ়ত্বের $H_2SO_4$ পাওয়া যায়। শিল্পে দুটি ধাপকে একসঙ্গে সংঘটিত করা হয় যাতে প্রক্রিয়াটি একটানা চলতে থাকে এবং উৎপাদন খরচ কম করা যায়।

$$SO_3 + H_2SO_4 \rightarrow \underset{\text{(ওলিয়াম)}}{H_2S_2O_7}$$

স্পর্শ পদ্ধতিতে প্রাপ্ত সালফিউরিক অ্যাসিড 96-98% বিশুদ্ধ।




*চিত্র 7.7: সালফিউরিক অ্যাসিড উৎপাদনের রেখা চিত্র*

*ধর্মাবলি*

298 K উষ্ণতায় সালফিউরিক অ্যাসিড বর্ণহীন, ঘন, 1.84 আপেক্ষিক গাঢ়ত্ব বিশিষ্ঠ তৈলাক্ত তরল। 283 K উষ্ণতায় অ্যাসিডটি হিমায়িত হয় এবং স্ফুটনাঙ্ক 611 K। এটি অধিক তাপ নির্গমন সহ জলে দ্রবীভূত হয়। তাই গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড থেকে সালফিউরিক অ্যাসিড দ্রবণ তৈরি করার সময় খুব সতর্কতা অবলম্বন করতে হবে। গাঢ় $H_2So_4$ কে ধীরে ধীরে জলে যোগ করতে হবে এবং ক্রমাগত নাড়তে হবে।

সালফিউরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়া সমূহ নিম্নলিখিত চরিত্রের ফলস্বরূপ ঘটে থাকে। (a) কম উদ্‌বায়ীতা (b) তীব্র আম্লিক চরিত্র (c) জলের প্রতি তীব্র আসক্তি (d) জারক দ্রব্য রূপে কাজ করার ক্ষমতা। জলীয় দ্রবণে সালফিউরিক অ্যাসিড দুইটি ধাপে আয়নিত হয়।

$$H_2SO_4(aq) + H_2O(l) \rightarrow H_3O^+(aq) + HSO_4^-(aq);\ K_{a_1} = \text{খুব বেশী } (K_{a_1} > 10)$$

$$HSO_4^-(aq) + H_2O(l) \rightarrow H_3O^+(aq) + SO_4^{2-}(aq)\ ;\ K_{a_2} = 1.2 \times 10^{-2}$$

$K_{a_1}$ ($K_{a_1} > 10$) এর উচ্চমান থেকে বুঝা যায় $H_2SO_4$ অধিক মাত্রায় $H^+$ এবং $HSO_4^-$ আয়নে বিয়োজিত হয়। বিয়োজন ধ্রুবকের ($K_a$) মান যত বেশী হবে একটি অ্যাসিড তত বেশী আম্লিক হবে।

এই অ্যাসিডটি দুই ধরনের লবণ গঠন করে, শমিত লবণ (যেমন সোডিয়াম সালফেট, কপার সালফেট) এবং অম্ল লবণ (যেমন সোডিয়াম হাইড্রোজেন সালফেট)।

সালফিউরিক অ্যাসিডের কম উদ্বায়ী ধর্মকে কাজে লাগিয়ে অধিক উদ্বায়ী অ্যাসিডকে তাদের লবণ থেকে তৈরি করা যায়।

$$2\ MX + H_2SO_4 \rightarrow 2\ HX + M_2SO_4\ (X = F, Cl, NO_3)$$

(M = ধাতু)

গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড শক্তিশালী নিরোদক দ্রব্য। অনেক আর্দ্র গ্যাসকে সালফিউরিক অ্যাসিডের মধ্য দিয়ে পাঠিয়ে শুষ্ক করা হয়। সালফিউরিক অ্যাসিড জৈব যোগ থেকে জল সরিয়ে নেয়। প্রমাণস্বরূপ কার্বোহাইড্রেটের চারিং (charring)।

$$C_{12}H_{22}O_{11} \xrightarrow{H_2SO_4} 12C + 11H_2O$$

তপ্ত গাঢ় $H_2SO_4$ শক্তিশালী জারক দ্রব্য। তবে জারক দ্রব্যের বিচারে এটি ফসফোরিক অ্যাসিড এবং নাইট্রিক অ্যাসিড এর মধ্যবর্তী। ধাতু এবং অধাতু উভয়েই গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড দ্বারা জারিত হয় এবং নিজে $SO_2$ এ বিজারিত হয়।

$$Cu + 2\ H_2SO_4\ (\text{গাঢ়}) \rightarrow CuSO_4 + SO_2 + 2H_2O$$

$$S + 2H_2SO_4\ (\text{গাঢ়}) \rightarrow 3SO_2 + 2H_2O$$

$$C + 2H_2SO_4\ (\text{গাঢ়}) \rightarrow CO_2 + 2\ SO_2 + 2\ H_2O$$

ব্যবহার ঃ সালফিউরিক অ্যাসিড হল একটি গুরুত্বপূর্ণ রাসায়নিক উপাদান। সালফিউরিক অ্যাসিডের উৎপাদন এবং ব্যয়ের পরিমাণের উপর নির্ভর করে একটি দেশের শিল্পের অগ্রগতি বিচার করা যায়। শত শত ভিন্ন ধরনের যৌগ উৎপাদনে এবং অনেক শিল্পে প্রক্রিয়াকরনে এটি প্রয়োজনীয় রাসায়নিক উপাদান। সার (যেমন-অ্যামোনিয়াম সালফেট, সুপার ফসফেট) উৎপাদনে সালফিউরিক অ্যাসিড খুব বেশী পরিমাণে ব্যবহৃত হয়। অন্যান্য ব্যবহারগুলির মধ্যে (a) পেট্রোলিয়াম পরিশোধনে (b) রঞ্জকে, রং রঞ্জকের উপাদান উৎপাদনে (c) সাবান শিল্পে (d) ধাতু বিদ্যায় (যেমন- তড়িৎ লেপন, গ্যালভানাইজেশন এবং এনামেলিং করার পূর্বে ধাতু পরিষ্কার করার জন্য) (e) ব্যাটারীতে (f) নাইট্রোসেলুলোজ উৎপাদনে এবং (g) রাসায়নগার বিকারক হিসেবে ব্যবহৃত হয়।

*নমুনা প্রশ্ন 7.13*

**কি ঘটে যখন**

(i) ক্যালসিয়াম ফ্লোরাইডের সাথে গাঢ় $H_2SO_4$ যোগ করা হয়।

(ii) $SO_3$ কে জলের মধ্যে চালনা করা হল।

*সমাধান*

(i) এটি হাইড্রোজেন ফ্লুরাইড তৈরি করে

$$CaF_2 + H_2SO_4 \rightarrow CaSO_4 + 2HF$$

(ii) এটি $SO_3$ কে দ্রবীভূত করে $H_2SO_4$ দেয়।

$$SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$$

**বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলি**

7.23 তিনটি ক্ষেত্রের উল্লেখ কর যেখানে $H_2SO_4$ গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা রয়েছে।

7.24 স্পর্শ পদ্ধতিতে বেশী পরিমাণে $H_2SO_4$ উৎপাদনের শর্তগুলো লিখ।

7.25 জলের উপস্থিতিতে $H_2SO_4$ এর ক্ষেত্রে $K_{a_2} \ll K_{a_1}$ হয় কেন?

## 7.18 গ্রুপ 17 এর মৌলসমূহ

ফ্লুরিন, ক্লোরিন, ব্রোমিন, আয়োডিন, এস্টাটিন্ এবং টেনেসিন্ হল গ্রুপ 17 এর সদস্য। এদের সম্মিলিতভাবে হ্যালোজেন বলা হয় (গ্রীক্ হ্যালো (*halo*) শব্দের অর্থ হল লবণ এবং জেনস্ (*genes*) শব্দের অর্থ হল উৎপাদন (*born*) অর্থাৎ লবণ উৎপাদনকারী)। হ্যালোজেনগুলো হল খুব সক্রিয় অধাতব মৌল। 1 নং এবং 2 নং শ্রেণির (গ্রুপ মত গ্রুপ 17 নং শ্রেণির মৌল সমূহও নিজেদের মধ্যে অনেক সাদৃশ্য দেখায়। পর্যায় সারণির অন্যান্য শ্রেণির মৌলসমূহের মধ্যে এই ধরনের সাদৃশ্য দেখা যায় না। তাদের মধ্যে ভৌত এবং রাসায়নিক ধর্মের নিয়মিত পরিবর্তন লক্ষ্য করা যায়। এস্টাটিন এবং টেনেসিন্ তেজস্ক্রিয় মৌল।

### 7.18.1 প্রাচুর্যতা

ফ্লুরিন এবং ক্লোরিনকে বেশী পরিমাণেই পাওয়া যায় যেখানে ব্রোমিন এবং আয়োডিন এর পরিমাণ খুবই কম। ফ্লুরিন মূলত অদ্রাব্য ফ্লোরাইড (ফ্লোয়োস্পার $CaF_2$, ক্রায়োলাইট) $Na_3AlF_6$ এবং ফ্লোর অ্যাপাটাইট $[3Ca_3(PO_4)_2.CaF_2)]$ রূপে এবং অল্প পরিমাণে মাটিতে, নদীর জলজ উদ্ভিদে এবং প্রাণীর হাঁড়ে এবং দাঁতে উপস্থিত থাকে। সমুদ্রের জলে সোডিয়াম, পটাসিয়াম, ম্যাগনেসিয়াম এবং ক্যালসিয়ামের ক্লোরাইড, ব্রোমাইড এবং আয়োডাইড লবন থাকে তবে মুখ্যত সোডিয়াম ক্লোরাইড (ভর হিসেবে 2.5%) দ্রবণ থাকে। শুকিয়ে যাওয়া সমুদ্রের অবশেষে এই সকল যৌগ উপস্থিত থাকে যেমন সোডিয়াম ক্লোরাইড এবং কার্নালাইট, $KCl.MgCl_2.6H_2O$. বেশকিছু সামুদ্রিক জীবের জীবন প্রক্রিয়ায় আয়োডিনের অস্তিত্ব লক্ষ্য করা গেছে; বিভিন্ন রকমের সামুদ্রিক আগাছায় উদাহারণস্বরূপ 0.5% পর্যন্ত আয়োডিন উপস্থিত থাকে এবং চিলিসল্ট পিটারে 0.2% পর্যন্ত সোডিয়াম আয়োডেট উপস্থিত থাকে।

টেনেসিন বাদে 17 নং শ্রেণির মৌল সমূহের ইলেকট্রন বিন্যাসসহ কিছু গুরুত্বপূর্ণ পারমাণবিক এবং ভৌত ধর্মাবলী (সারণি 7.8, পৃষ্ঠা 198) উল্লেখ করা হয়েছে। টেনেসিন হল সংশ্লেষিত তেজস্ক্রিয় মৌল। এর চিহ্ন Ts, পরমাণু ইলেকট্রন ক্রমাঙ্ক 117, পারমানবিক ভর 294 এবং ইলেকট্রন বিন্যাস হল [Rn] $5f^{14}6d^{10}7s^27p^5$। খুবই কম পরিমাণে মৌলটিকে তৈরি করা সম্ভব হয়েছে। এর অর্ধায়ু মাত্র কয়েক মিলি সেকেন্ড। তাই এর রসায়ন সেভাবে প্রতিষ্ঠিত হয়নি।

সারণি 7.8: হ্যালোজেনের পারমাণবিক এবং ভৌত ধর্মাবলি

| ধর্ম | F | Cl | Br | I | At[a] |
|---|---|---|---|---|---|
| পরমাণু ক্রমাঙ্ক | 9 | 17 | 35 | 53 | 85 |
| পারমাণবিক ভর/g $mol^{-1}$ | 19.00 | 35.45 | 79.90 | 126.90 | 210 |
| ইলেকট্রন বিন্যাস | [He]$2s^22p^5$ | [Ne]$3s^23p^5$ | [Ar]$3d^{10}4s^24p^5$ | [Kr]$4d^{10}5s^25p^5$ | [Xe]$4f^{14}5d^{10}6s^26p^5$ |
| সমযোজী ব্যাসার্ধ/pm | 64 | 99 | 114 | 133 | – |
| আয়নীয় ব্যাসার্ধ $X^-$/pm | 133 | 184 | 196 | 220 | – |
| আয়নায়ন এনথ্যালপি/kJ $mol^{-1}$ | 1680 | 1256 | 1142 | 1008 | – |
| ইলেকট্রন গ্রহণ এনথ্যালপি/kJ $mol^{-1}$ | –333 | –349 | –325 | –296 | – |
| তড়িৎ ঋণাত্মকতা | 4 | 3.2 | 3.0 | 2.7 | 2.2 |
| $\Delta_{জলযোজিত}H(X^-)$/kJ $mol^{-1}$ | 515 | 381 | 347 | 305 | – |
| | $F_2$ | $C_{12}$ | $Br_2$ | $I_2$ | – |
| গলনাঙ্ক/K | 54.4 | 172.0 | 265.8 | 386.6 | – |
| স্ফুটনাঙ্ক/K | 84.9 | 239.0 | 332.5 | 458.2 | – |
| ঘনত্ব/g $cm^{-3}$ | 1.5 (85)[c] | 1.66 (203)[c] | 3.19(273)[c] | 4.94(293)[d] | – |
| দূরত্ব X – X/pm | 143 | 199 | 228 | 266 | – |
| বন্ধন বিয়োজন শক্তি /(kJ $mol^{-1}$) | 158.8 | 242.6 | 192.8 | 151.1 | – |
| $E^{\ominus}/V^{e}$ | 2.87 | 1.36 | 1.09 | 0.54 | – |

*[a] তেজস্ক্রিয়; [b] পাউলিং স্কেল; [c] প্রথম বন্ধনীর মধ্যে তরলের জন্য কেলভিন তাপমাত্রায়; [d] কঠিন ; [e] অর্ধকোষ বিক্রিয়া $X_2(g) + 2e^- \rightarrow 2X^-(aq)$.*

কিছু পারমাণবিক, ভৌত এবং রাসায়নিক ধর্মাবলীর প্রবণতা নিচে আলোচনা করা হল।

**7.18.2 ইলেকট্রন বিন্যাস**

এই সমস্ত মৌলের সকলেরই সর্ববহিঃস্থ কক্ষে সাতটি ইলেকট্রন ($ns^2np^5$) থাকে, যার মধ্যে পরবর্তী নোবেল গ্যাস থেকে ঠিক একটি ইলেকট্রনের ঘাটতি থাকে।

**7.18.3 পারমাণবিক এবং আয়নীয় ব্যাসার্ধ**

উচ্চ কার্যকরী নিউক্লিয় আধানের জন্য হ্যালোজেন মৌলগুলোর পারমাণবিক আকার একই পর্যায়ের সমস্ত মৌলগুলোর থেকে ছোট হয়। দ্বিতীয় পর্যায়ের অন্যান্য মৌল থেকে ফ্লুরিন পরমাণুর আকার খুবই ছোট হয়। ফ্লুরিন থেকে আয়োডিন পর্যন্ত মুখ্য কোয়ান্টাম সংখ্যার মান বৃদ্ধি পায় বলে, পারমাণবিক এবং আয়নিয় ব্যাসার্ধ বৃদ্ধি পায়।

**7.18.4 আয়নায়ন এনথ্যালপি**

এদের ইলেকট্রন বর্জন করার প্রবণতা খুবই কম। তাই এদের আয়নায়ন এনথ্যালপির মান খুব বেশী হয়। শ্রেণি বরাবর পারমাণবিক আকার বৃদ্ধি পায় বলে আয়নায়ন এনথ্যালপির মান হ্রাস পায়।

**7.18.5 ইলেকট্রন গ্রহণ এনথ্যালপি**

একই পর্যায়ের মৌলগুলোর চেয়ে হ্যালোজেন মৌলগুলোর ইলেকট্রন আসক্তির মান অধিক ঋণাত্মক হয় সুস্থিত নিষ্ক্রিয় গ্যাসের বিন্যাস থেকে একটি মাত্র ইলেকট্রন কম থাকায় এই ঘটনাটি ঘটে। শ্রেণি বরাবর নিচের দিকে অগ্রসর হলে ইলেকট্রন গ্রহণ এনথ্যালপির মান কম ঋণাত্মক হয়। তবে ফ্লুরিনের ধনাত্মক ইলেকট্রন গ্রহণ এনথ্যালপির মান ক্লোরিন থেকে কম হয়। ফ্লুরিন পরমাণুর আকার ক্ষুদ্র হওয়ায় এই ঘটনাটি ঘটে। ফলস্বরূপ ফ্লুরিনের অপেক্ষাকৃত ছোট আকারের $2p$ কক্ষকগুলোতে আন্ত:ইলেকট্রনিক বিকর্ষন বল তীব্র হয়। ফলে প্রবেশকারী ইলেকট্রনটি বেশী আকর্ষণ বল অনুভব করে না।

**7.18.6 তড়িৎ ঋণাত্মকতা** এদের তড়িৎ ঋণাত্মকতার মান খুব বেশী হয়। শ্রেণি বরাবর নিচের দিকে তড়িৎ ঋণাত্মকতার মান হ্রাস পায়। পর্যায় সারণির মধ্যে ফ্লুরিন হল সর্বাধিক তড়িৎঋণাত্মক মৌল।

*নমুনা প্রশ্ন 7.14*

পর্যায় সারণির একই পর্যায়ের মৌলগুলো থেকে হ্যালোজেনগুলো ইলেকট্রন গ্রহণ এনথ্যালপি অধিক ঋণাত্মক হয়। কেন?

*সমাধান*

একই পর্যায়ের অন্যান্য মৌলগুলোর তুলনায় হ্যালোজেন আকার খুবই ছোট, ফলে কার্যকরী নিউক্লিয় আধান খুব বেশী হয়। এর ফলে এরা খুব সহজেই একটি ইলেকট্রন গ্রহন করে নিষ্ক্রিয় গ্যাসের ইলেকট্রন বিন্যাস লাভ করে।

**7.18.7 ভৌত ধর্মাবলী** হ্যালোজেন মৌলগুলোর ভৌত ধর্মের মধ্যে ধারাবাহিক পরিবর্তন লক্ষ্য করা যায়। ফ্লুরিন এবং ক্লোরিন হল গ্যাস ব্রোমিন তরল এবং আয়োডিন কঠিন। পরমাণু ক্রমাঙ্ক বৃদ্ধির সাথে সাথে এদের গলনাঙ্ক এবং স্ফুটনাঙ্ক দ্রুত বৃদ্ধি পায়। সমস্ত হ্যালোজেনেরই বর্ণ রঙিন। এর কারণ হল দৃশ্যায়মান অঞ্চল থেকে বিকিরিত শক্তি শোষন করে সর্ববহি:স্থ কক্ষের ইলেকট্রনগুলোর উত্তেজিত স্তরে উন্নীত হয়। বিভিন্ন হ্যালোজেন বিভিন্ন বিকিরিত শক্তি শোষণ করে ভিন্ন ভিন্ন রং দেখায়। উদাহরণস্বরূপ, $F_2$ হলুদবর্ণের, $Cl_2$ সবুজাভ হলুদবর্ণের, $Br_2$ লাল এবং $I_2$ বেগুনী বর্ণের হয়। ফ্লুরিন এবং ক্লোরিন জলের সঙ্গে বিক্রিয়া করে, ব্রোমিন এবং আয়োডিন জলে স্বল্প মাত্রায় দ্রাব্য কিন্তু বিভিন্ন জৈব দ্রাবক যেমন ক্লোরোফর্ম কার্বন টেট্রাক্লোরাইড, কার্বন ডাই সালফাইড এবং হাইড্রোকার্বনে দ্রবীভূত হয়ে রঙিন দ্রবণ উৎপন্ন করে।

$F_2$ এর বন্ধন শক্তি $Cl_2$ থেকে কম যেখানে ক্লোরিন থেকে শুরু করে X-X বন্ধন শক্তির প্রত্যাশিত ক্রমটি হল $Cl - Cl > Br - Br > I - I$ এই ব্যাতিক্রমী আচরণটি সারণি 7.8 থেকে লক্ষ্য করা যায়। এর কারণ হল $Cl_2$ এর তুলনায় $F_2$ অণুতে নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন জোড়গুলো নিকটবর্তী হওয়ায় ইলেকট্রন বিকর্ষণ বল খুব বেশী হয়।

*নমুনা প্রশ্ন 7.15*

ফ্লুরিনের ইলেকট্রন গ্রহণ এনথ্যালপি ক্লোরিনের চেয়ে কম ঋণাত্মক, তা স্বত্ত্বেও ফ্লুরিন ক্লোরিনের চেয়ে শক্তিশালী জারক দ্রব্য। কেন?

*সমাধান*

এর কারণ

(i) F-F এর বন্ধন শক্তি কম (সারণি 7.8)

(ii) $F^-$ আয়নের হাইডেশন শক্তি বেশী হয় (সারণি 7.8)

**7.18.8 রাসায়নিক ধর্মাবলী**

*জারণস্তর এবং রাসায়নিক সক্রিয়তার প্রবণতা*

সব হ্যালোজেনেই –1 জারণ অবস্থা দেখায়। তবে ক্লোরিন, ব্রোমিন এবং আয়োডিন + 1, + 3, + 5 এবং + 7 জারণ অবস্থা দেখাতে পারে— নিচে এর ব্যাখ্যা দেওয়া হল।

| | ns | np | | | nd | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| হ্যালোজেন পরমাণুর ভূমিস্তর (ফ্লুরিন ব্যতীত) | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑ | | | | | | একটি অযুগ্ম ইলেকট্রনের জন্য –1 বা +1 জারণ অবস্থা |
| ১ম উত্তেজিত অবস্থা | ↑↓ | ↑↓ | ↑ | ↑ | ↑ | | | | | +3 জারণ অবস্থা 3 টি অযুগ্ম ইলেকট্রনের জন্য। |
| ২য় উত্তেজিত অবস্থা | ↑↓ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | | | | +5 জারণ অবস্থা 5টি অযুগ্ম ইলেকট্রনের জন্য। |
| ৩য় উত্তেজিত অবস্থা | ↑↑↓ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | | | +7 জারণ অবস্থা 7টি অযুগ্ম ইলেকট্রনের জন্য। |

ক্লোরিন, ব্রোমিন এবং আয়োডিনের উচ্চতর জারণ অবস্থাগুলো তখনই সম্ভব যখন হ্যালোজেনগুলো ক্ষুদ্র এবং বেশী তড়িৎঋণাত্মক মৌল ফ্লুরিন এবং অক্সিজেন পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত থাকে যেমন আন্ত:হ্যালোজেন যৌগে, অক্সাইড এবং অক্সো অ্যাসিডে। অক্সাইড এবং অক্সো অ্যাসিডে ক্লোরিন এবং ব্রোমিন +4 এবং +6 জারণ অবস্থা প্রদর্শন করে। ফ্লুরিন পরমাণুর যোজনকক্ষে কোন $d$ কক্ষক না থাকায় এটি অষ্টক সম্প্রসারিত করতে পারে না। সর্বাধিক বেশী তড়িৎ ঋণাত্মক মৌল হওয়ায় এটি কেবলমাত্র $-1$ জারণ অবস্থায় থাকতে পারে।

হ্যালোজেন মৌলগুলো খুবই সক্রিয়। এরা ধাতু এবং অধাতুর সঙ্গে বিক্রিয়া করে হ্যালাইড গঠন করে। হ্যালোজেন মৌলগুলোর সক্রিয়তা শ্রেণি বরাবর নিচের দিকে হ্রাস পায়।

হ্যালোজেন মৌলগুলো শক্তিশালী জারণ ধর্ম দেখায় কারণ এরা খুব সহজেই একটি ইলেকট্রন গ্রহণ করতে পারে। ফ্লুরিন হল শক্তিশালী জারক দ্রব্য এবং এটি অন্যান্য হ্যালাইড আয়নকে তাদের দ্রবণ থেকে, এমনকি কঠিন দশা থেকেও জারিত করে। সাধারণত একটি হ্যালোজেন অণু তার থেকে বেশী পরমাণু ক্রমাঙ্ক বিশিষ্ঠ হ্যালাইড আয়নকে জারিত করতে পারে।

$$F_2 + 2X^- \rightarrow 2F^- + X_2 \; (X = Cl, Br \text{ or } I)$$
$$Cl_2 + 2X^- \rightarrow 2Cl^- + X_2 \; (X = Br \text{ or } I)$$
$$Br_2 + 2I^- \rightarrow 2Br^- + I_2$$

শ্রেণি বরাবর নিচের দিকে অগ্রসর হলে জলীয় দ্রবণে হ্যালোজেন মৌলগুলোর জারণ ধর্মের প্রবণতা হ্রাস পায়। এটি প্রমাণ তড়িৎদ্বার বিভব (সারণি 7.8 ) থেকে জানা যায়। প্রমাণ তড়িৎদ্বার বিভব নিম্নলিখিত বিষয় (parameters) গুলোর উপর নির্ভর করে।

$$\frac{1}{2}X_2(g) \xrightarrow{1/2\,\Delta_{diss}H^V} X(g) \xrightarrow{\Delta_{eg}H^V} X^-(g) \xrightarrow{\Delta_{hyd}H^V} X^-(aq)$$

হ্যালোজেন মৌলগুলোর জারণ ধর্মের আপেক্ষিক ক্রম জলের সঙ্গে বিক্রিয়ার দ্বারাও ব্যাখ্যা করা যায়। ফ্লুরিন জলকে অক্সিজেনে জারিত করে যেখানে ক্লোরিন এবং ব্রোমিন জলের সঙ্গে বিক্রিয়া করে হাইড্রোহ্যালিক এবং হাইপোহ্যালাস অ্যাসিড উৎপন্ন করে। জলের সঙ্গে আয়োডিনের বিক্রিয়া স্বতস্ফূর্ত নয় বস্তুত: আম্লিক মাধ্যমে $I^-$ অক্সিজেন দ্বারা জারিত হয়, যেখানে ফ্লুরিনের সঙ্গে ঠিক উল্টো বিক্রিয়াটি হয়।

$$2F_2(g) + 2H_2O(l) \rightarrow 4H^+(aq) + 4F^-(aq) + O_2(g)$$
$$X_2(g) + H_2O(l) \rightarrow HX(aq) + HOX(aq)$$
(যেখানে $X = Cl$ বা $Br$)
$$4I^-(aq) + 4H^+(aq) + O_2(g) \rightarrow 2I_2(s) + 2H_2O(l)$$

*ফ্লুরিনের ব্যতিক্রমী আচরণ*

পর্যায় সারণির দ্বিতীয় পর্যায়ের অন্যান্য *p*-ব্লক মৌলসমূহের মত ফ্লুরিনও অনেক ব্যতিক্রমী ধর্ম দেখায়। উদাহরণস্বরূপ অন্যান্য হ্যালোজেনের তুলনায় ফ্লুরিনের আয়নায়ন এনথ্যালপি তড়িৎঋণাত্মকতা এবং তড়িৎদ্বার বিভবের মান উচ্চ হয়। তাছাড়া আয়নীয় এবং সমযোজী ব্যাসার্ধ, গলনাঙ্ক এবং স্ফুটনাঙ্ক, বন্ধন বিয়োজন শক্তি এবং ইলেকট্রন গ্রহণ এনথ্যালপির মান প্রত্যাশিত মানের চেয়ে কম হয়। ছোট আকার, সবচেয়ে বেশী তড়িৎঋণাত্মক মৌল হওয়ায় F-F বন্ধন বিয়োজন শক্তি কম হওয়ায় এবং যোজন কক্ষে $d$ কক্ষকের অনুপস্থিতির জন্যই ফ্লুরিন ব্যতিক্রমী আচরণ করে।

ফ্লুরিনের বেশীর ভাগ বিক্রিয়াই তাপ উৎপাদক (কারণ ছোট আকার এবং অন্যান্য মৌলের সঙ্গে শক্তিশালী বন্ধন গঠন করে)। এটি একটিমাত্র অক্সোঅ্যাসিড তৈরি করে যেখানে অন্যান্য হ্যালোজেন অনেকগুলি অক্সো অ্যাসিড তৈরি করে। শক্তিশালী হাইড্রোজেন বন্ধন গঠন করতে পারে বলে হাইড্রোজেন ফ্লুরাইড তরল হয় (স্ফুটনাঙ্ক 293 K)। ফ্লুরিনের ছোট আকার এবং উচ্চ তড়িৎঋণাত্মকতার জন্য HF

অণুসমূহের মধ্যে হাইড্রোজেন বন্ধন গঠিত হয়। অন্যান্য হ্যালোজেনগুলোর আকার বড় এবং তড়িৎঋণাত্মকতার মান কম হওয়ায় হ্যালোজেন হ্যালাইডগুলো গ্যাসীয় হয়।

(i) *হাইড্রোজেনের সঙ্গো রাসায়নিক বিক্রিয়া:* এরা সকলেই হাইড্রোজেনের সঙ্গো বিক্রিয়া করে হাইড্রোজেন হ্যালাইড গঠন করে কিন্তু হাইড্রোজেনের প্রতি আসক্তি ফ্লুরিন থেকে আয়োডিন পর্যন্ত হ্রাস পায়। হাইড্রোজেন হ্যালাইড জলে দ্রবীভূত হয়ে হাইড্রোহ্যালিক অ্যাসিড তৈরি করে। সারণি 7.9 হাইড্রোজেন হ্যালাইডের কিছু ধর্মাবলী উল্লেখ করা হল। এই অ্যাসিডগুলোর আম্লিক চরিত্রের ক্রমটি হল $HF < HCl < HBr < HI$ । H–X এর বন্ধন বিয়োজন এনথ্যালপির ক্রমটি $H–F > H–Cl > H–Br > H–I$ হওয়ায় হ্যালাইডগুলোর স্থায়িত্বতা শ্রেণি বরাবর নিচের দিকে হ্রাস পায়।

**সারণি 7.9: হাইড্রোজেন হ্যালাইডের ধর্মাবলী**

| ধর্ম | HF | HCl | HBr | HI |
|---|---|---|---|---|
| গলনাঙ্ক/K | 190 | 159 | 185 | 222 |
| স্ফুটনাঙ্ক/K | 293 | 189 | 206 | 238 |
| বন্ধন দৈর্ঘ্য (H – X)/pm | 91.7 | 127.4 | 141.4 | 160.9 |
| $\Delta_{\text{বিয়োজন}} H^{\ominus}$/kJ mol$^{-1}$ | 574 | 432 | 363 | 295 |
| $pK_a$ | 3.2 | –7.0 | –9.5 | –10.0 |

(ii) *অক্সিজেনের সঙ্গো বিক্রিয়া ঃ* হ্যালোজেন অক্সিজেনের সঙ্গো বিক্রিয়া করে বহুসংখ্যক অক্সাইড গঠন করে তবে এদের বেশীর ভাগ অক্সাইডই দুঃস্থিত। ফ্লুরিন দুটি অক্সাইড গঠন করে, $OF_2$ এবং $O_2F_2$ তবে, 298 K উষ্ণতায় কেবলমাত্র $OF_2$ এর তাপীয় স্থায়িত্ব আছে। এই অক্সাইডগুলো হল অক্সিজেন ফ্লুরাইড কারন ফ্লুরিনের তড়িৎ ঋণাত্মকতা অক্সিজেন থেকে বেশী। এরা উভয়ই তীব্র ফ্লোরিনেটিং (সহজে ফ্লোরিন দিতে পারে) দ্রব্য। $O_2F_2$, প্লুটোনিয়ামকে $PuF_6$ এ জারিত করে এবং নিউক্লিয়ার জ্বালানী থেকে প্লুটোনিয়ামকে $PuF_6$ রূপে দূরীভূত করতে এই বিক্রিয়াটি ব্যবহৃত হয়।

ক্লোরিন, ব্রোমিন এবং আয়োডিন অক্সাইড গঠন করে যেখানে হ্যালোজেনগুলোর জারণস্তরের বিস্তার +1 থেকে +7 পর্যন্ত হয়। হ্যালোজেন দ্বারা গঠিত অক্সাইডগুলোর স্থায়িত্বতার সাধারণ অধ:ক্রম $I > Cl > Br$, যুগ্মভাবে গতি বিদ্যা ও তাপগতিবিদ্যার উপর নির্ভর করে। আয়োডিনের ধ্রুবায়িত হওয়ার প্রবণতা অনেক বেশী বলে আয়োডিনের বেশী সুস্থিত অক্সাইডটিতে আয়োডিন ও অক্সিজেনের মধ্যে বন্ধন গঠিত হয়। ক্লোরিনে *d*–কক্ষকের উপস্থিতির জন্য ক্লোরিন ও অক্সিজেনের মধ্যে একাধিক বন্ধন গঠিত হয়। এই বিষয়গুলো স্থায়িত্বতাকে বৃদ্ধি করে। ব্রোমিনে উক্ত বৈশিষ্ট্যগুলোর ঘাটতি থাকায় ব্রোমিনের অক্সাইডগুলো খুবই কম সুস্থিত। হ্যালোজেনের নিম্নতর অক্সাইডগুলো থেকে উচ্চতর অক্সাইডগুলো বেশী সুস্থিত।

ক্লোরিনের অক্সাইড, $Cl_2O$, $ClO_2$, $Cl_2O_6$ এবং $Cl_2O_7$ শক্তিশালী জারণ দ্রব্য এবং বিস্ফোরণ ঘটায়। বস্ত্র শিল্পে এবং পেপার পাল্পের বিরঞ্জনে এবং জল পরিশোধনে $ClO_2$ ব্যবহৃত হয়।

ব্রোমিনের অক্সাইড, $Br_2O$, $BrO_2$, $BrO_3$ হ্যালোজেন অক্সাইডগুলোর মধ্যে কম সুস্থিত এবং নিম্ন তাপমাত্রায় এদের অস্তিত্ব আছে।

আয়োডিনের অক্সাইড, $I_2O_4$ , $I_2O_5$ এবং $I_2O_7$ অদ্রবণীয় কঠিন এবং তাপে বিয়োজিত হয়। $I_2O_5$একটি ভাল জারক দ্রব্য এবং কার্বনমনোক্সাইড পরিমাপনে ব্যবহৃত হয়।

(iii) *ধাতুর সঙ্গো বিক্রিয়া ঃ* হ্যালোজেন ধাতুর সঙ্গো বিক্রিয়া করে ধাতব হ্যালাইড গঠন করে। উদাহরণস্বরূপ ব্রোমিন, ম্যাগনেসিয়ামের সঙ্গো বিক্রিয়া করে ম্যাগনেসিয়াম ব্রোমাইড তৈরি করে।

$$Mg(s) + Br_2(l) \rightarrow MgBr_2(s)$$

হ্যালোইডগুলোর আয়নীয় চরিত্রের অধ:ক্রম হল MF > MCl > MBr > MI যেখানে M হল একযোজী ধাতু। একের অধিক জারণস্তর সম্পন্ন ধাতুর ক্ষেত্রে বেশী জারণস্তর বিশিষ্ট হ্যালাইডটির সমযোজী চরিত্র কম জারণস্তর বিশিষ্ট হ্যালাইড থেকে বেশী। উদাহরণস্বরূপ $SnCl_4$, $PbCl_4$, $SbCl_5$ এবং $UF_6$। এই হ্যালাইডগুলো $nCl_2$, $PbCl_2$, $SbCl_3$ এবং $UF_4$ থেকে অধিক সমযোজী চরিত্রের হয়।

(iv) *হ্যালোজেনের সঙ্গে হ্যালোজেনের রাসায়নিক বিক্রিয়া ঃ* হ্যালোজেন নিজেদের মধ্যে বিক্রিয়া করে $XX'$, $XX_3'$, $XX_5'$ এবং $XX_7'$ ধরনের অনেক যৌগ গঠন করে, যেখানে X হল বড় আকারের হ্যালোজেন এবং $X'$ হল ছোট আকারের হ্যালোজেন, এই যৌগগুলোকে আন্ত:হ্যালোজেন যৌগ বলা হয়।

**নমুনা প্রশ্ন 7.16** ফ্লুরিন কেবলমাত্র–1 জারণ অবস্থা দেখায় যেখানে অন্যান্য হ্যালোজেন + 1, + 3, + 5 এবং +7 জারণ অবস্থা দেখায়। ব্যাখ্যা কর।

**সমাধান** ফ্লুরিন সবচেয়ে বেশী তড়িৎঋণাত্মক মৌল, তাই ধনাত্মক জারণ অবস্থায় থাকতে পারে না। অন্যান্য হ্যালোজেনগুলোর *d*-কক্ষক আছে, তাই তারা অষ্টক সম্প্রসারণ করতে পারে এবং + 1, + 3, + 5 এবং + 7 জারণ অবস্থায় থাকতে পারে।

### বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলী

7.26 বন্ধন বিয়োজন শক্তি, ইলেকট্রন গ্রহণ এনথ্যালপি এবং হাইড্রেশন শক্তির ভিত্তিতে $F_2$ এবং $Cl_2$ এর জারন ক্ষমতা তুলনা কর।

7.27 ফ্লুরিনের ব্যাতিক্রমী আচরণের দুটি উদাহরণ দেখাও।

7.28 কয়েকটি হ্যালোজেনের মুখ্য উৎস হল সমুদ্র। আলোচনা কর।

## 7.19 ক্লোরিন

1774 খ্রিস্টাব্দে স্কীলি (Scheele) $MnO_2$ এর সঙ্গে HCl এর বিক্রিয়ায় ক্লোরিন আবিষ্কার করেছিলেন। ডেভি (Davy) 1810 খ্রিস্টাব্দে এটির মৌলিক প্রকৃতি প্রতিষ্ঠিত করেছিলেন এবং এর বর্ণের উপর ভিত্তি করে নাম দিয়েছিলেন ক্লোরিন (গ্রীক, ক্লোরোস্ = সবুজাভ হলুদ)

*প্রস্তুতি*

নিচের যে কোনও একটি পদ্ধতির দ্বারা এটি তৈরি করা যায় :

(i) ম্যাঙ্গানিজ ডাই অক্সাইডের সঙ্গে গাঢ় হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড মিশিয়ে উত্তপ্ত করে।

$$MnO_2 + 4HCl \rightarrow MnCl_2 + Cl_2 + 2H_2O$$

তবে, HCl এর পরিবর্তে গাঢ় $H_2SO_4$ এবং সাধারণ লবণের মিশ্রণ ব্যবহার করা যায়।

$$4NaCl + MnO_2 + 4H_2SO_4 \rightarrow MnCl_2 + 4NaHSO_4 + 2H_2O + Cl_2$$

(ii) পটাসিয়াম পারম্যাঙ্গানেটের সঙ্গে HCl এর বিক্রিয়ায়।

$$2KMnO_4 + 16HCl \rightarrow 2KCl + 2MnCl_2 + 8H_2O + 5Cl_2$$

*ক্লোরিনের উৎপাদন*

(i) ডেকন পদ্ধতি ঃ 723 K উষ্ণতায় $CuCl_2$ অনুঘটকের উপস্থিতিতে বায়ুমন্ডলীয় অক্সিজেন দ্বারা হাইড্রোজেন ক্লোরাইডকে জারিত করে-

$$4HCl + O_2 \xrightarrow{CuCl_2} 2Cl_2 + 2H_2O$$

(ii) তড়িৎ বিশ্লেষণ প্রক্রিয়ার দ্বারা ব্রাইন (NaCl-এর গাঢ় দ্রবণ) দ্রবণের তড়িৎ বিশ্লেষণ দ্বারা ক্লোরিন পাওয়া যায়। অ্যানোডে ক্লোরিন মুক্ত হয়। বহু সংখ্যক রাসায়নিক শিল্পকারখানায় উপজাত দ্রব্য হিসেবেও একে পাওয়া যায়।

*ধর্মাবলি*

এটি সবুজাভ হলুদ বর্ণের ঝাঁঝালো গন্ধযুক্ত শ্বাসরোধকারী গ্যাস। এটি বায়ুর তুলনায় প্রায় 2-5 গুণভারী। একে খুব সহজেই সবুজাভ হলুদ বর্ণের তরলে রূপান্তরিত করা যায়, যার স্ফুটনাঙ্ক 239 K। এটি জলে দ্রাব্য।

ক্লোরিন অনেক ধাতু এবং অধাতুর সঙ্গে বিক্রিয়া করে ক্লোরাইড যৌগ গঠন করে।

$2Al + 3Cl_2 \rightarrow 2AlCl_3$ ; $\quad P_4 + 6Cl_2 \rightarrow 4PCl_3$

$2Na + Cl_2 \rightarrow 2NaCl$; $\quad S_8 + 4Cl_2 \rightarrow 4S_2Cl_2$

$2Fe + 3Cl_2 \rightarrow 2FeCl_3$;

হাইড্রোজেনের প্রতি এর প্রবল আসক্তি আছে। হাইড্রোজেন যুক্ত যৌগের সঙ্গে এটি বিক্রিয়া করে HCl গঠন করে।

$$H_2 + Cl_2 \rightarrow 2HCl$$
$$H_2S + Cl_2 \rightarrow 2HCl + S$$
$$C_{10}H_{16} + 8Cl_2 \rightarrow 16HCl + 10C$$

ক্লোরিন ঠান্ডা এবং লঘু ক্ষারের সঙ্গে ক্লোরাইড এবং হাইপোক্লোরাইট এর মিশ্রণ উৎপন্ন করে, কিন্তু তপ্ত এবং গাঢ় ক্ষারের সঙ্গে এটি ক্লোরাইড এবং ক্লোরেট উৎপন্ন করে।

$$2NaOH + Cl_2 \rightarrow NaCl + NaOCl + H_2O$$
(ঠান্ডা এবং লঘু)

$$6\ NaOH + 3Cl_2 \rightarrow 5NaCl + NaClO_3 + 3H_2O$$
(তপ্ত এবং গাঢ়)

শুষ্ক কলিচুনের সঙ্গে এটি ব্লিচিং পাউডার তৈরি করে।

$$2Ca(OH)_2 + 2Cl_2 \rightarrow Ca(OCl)_2 + CaCl_2 + 2H_2O$$

ব্লিচিং পাউডারের উপাদানগুলি হল $Ca(OCl)_2.CaCl_2.Ca(OH)_2.2H_2O$.

ক্লোরিন সম্পৃক্ত হাইড্রোকার্বনের সঙ্গে বিক্রিয়া করে, প্রতিস্থাপিত যৌগ উৎপন্ন করে এবং অসম্পৃক্ত হাইড্রোকার্বনের সঙ্গে যুত যৌগ তৈরি করে। উদাহরণস্বরূপ,

$$CH_4 + Cl_2 \xrightarrow{UV} CH_3Cl + HCl$$
মিথেন মিথাইল ক্লোরাইড

$$C_2H_4 + Cl_2 \xrightarrow{[illegible]} C_2H_4Cl_2$$
ইথেন 1,2-ডাই ক্লোরো ইথেন

ক্লোরিন জলের সঙ্গে বিক্রিয়া করে HCl এবং HOCl উৎপন্ন করে বলে ক্লোরিন জলকে রেখে দিলে এর হলুদ বর্ণ চলে যায়। এইভাবে উৎপন্ন হাইপোক্লোরাস অ্যাসিড (HOCl) জায়মান অক্সিজেন দেয় যা ক্লোরিনের জারন ধর্ম ও বিরঞ্জন ধর্মের জন্য দায়ী।

ক্লোরিন, ফেরাসকে ফেরিকে এবং সালফাইটকে সালফেটে জারিত করে। ক্লোরিন, সালফার ডাই অক্সাইডকে সালফার ট্রাই অক্সাইডে এবং আয়োডিনকে আয়োডেটে জারিত করে। জলের উপস্থিতিতে জারিত যৌগগুলো যথাক্রমে সালফিউরিক অ্যাসিড এবং আয়োডিক অ্যাসিড তৈরি করে।

$$2FeSO_4 + H_2SO_4 + Cl_2 \rightarrow Fe_2(SO_4)_3 + 2HCl$$
$$Na_2SO_3 + Cl_2 + H_2O \rightarrow Na_2SO_4 + 2HCl$$
$$SO_2 + 2H_2O + Cl_2 \rightarrow H_2SO_4 + 2HCl$$
$$I_2 + 6H_2O + 5Cl_2 \rightarrow 2HIO_3 + 10HCl$$

ক্লোরিন শক্তিশালী বিরঞ্জক দ্রব্য; জারনের জন্যই এই বিরঞ্জন ক্রিয়া সংঘটিত হয়।

জলীয় বাষ্পের উপস্থিতিতে এটি জৈব রঙকে বিরঞ্জিত করে। ক্লোরিন দ্বারা বিরঞ্জন স্থায়ী হয়।

$$Cl_2 + H_2O \rightarrow 2HCl + O$$

রঙিন পদার্থ + O $\rightarrow$ বর্ণহীন পদার্থ

ব্যবহার ঃ এটি ব্যবহৃত হয় (i) কাষ্ঠমন্ড (woodpulp) (কাগজ এবং রেয়ন উৎপাদনের জন্য প্রয়োজনীয়) বিরঞ্জন করতে, সূতিবস্ত্র এবং বস্ত্র শিল্পে বিরঞ্জণ পদার্থ হিসেবে (ii) গোল্ড এবং প্লাটিনাম নিস্কাশনে (iii) রঞ্জক, ড্রাগ এবং জৈব যৌগ যেমন $CCl_4$, $CHCl_3$, DDT উৎপাদনে এবং হিমায়ক রূপে (iv) পানীয় জল জীবাণুমুক্ত করতে (v) বিষাক্ত গ্যাস যেমন ফসজিন ($COCl_2$), টিয়ার গ্যাস ($CCl_3NO_2$), মাস্টার্ড গ্যাস প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত হয়।

*নমুনা প্রশ্ন 7.17*

$Cl_2$ এর সঙ্গে তপ্ত এবং গাঢ় NaOH এর বিক্রিয়ার শমিত সমীকরণটি লিখ। এই বিক্রিয়াটি কি একটি অসমঞ্জস্য বিক্রিয়া? বিচার কর।

*সমাধান*

$3Cl_2 + 6NaOH \rightarrow 5NaCl + NaClO_3 + 3H_2O$

হ্যাঁ, ক্লোরিন শূন্য জারণ অবস্থা থেকে –1 এবং +5 জারণ অবস্থায় পরিবর্তিত হয়।

**বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলি**

7.29 ক্লোরিনের বিরঞ্জন ক্রিয়ার কারণ লিখ।

7.30 দুটি বিষাক্ত গ্যাসের নাম লিখ যেগুলো ক্লোরিন গ্যাস থেকে তৈরি করা হয়।

## 7.20 হাইড্রোজেন ক্লোরাইড

1648 খ্রিস্টাব্দে গ্লবার (Glauber) গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের সঙ্গে সাধারণ লবণকে উত্তপ্ত করে এই অ্যাসিডটি তৈরি করেন। 1810 খ্রিস্টাব্দে ডেভি (Davy) দেখান যে এটি হাইড্রোজেন এবং ক্লোরিনের যৌগ।

*প্রস্তুতি*

পরীক্ষাগারে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের সঙ্গে সোডিয়াম ক্লোরাইড উত্তপ্ত করে এটি তৈরি করা যায়।

$$NaCl + H_2SO_4 \xrightarrow{420\,K} NaHSO_4 + HCl$$

$$NaHSO_4 + NaCl \xrightarrow{823\,K} Na_2SO_4 + HCl$$

গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের মধ্য দিয়ে পাঠিয়ে HCl গ্যাসকে শুষ্ক করা যায়।

*ধর্মাবলি*

এটি ঝাঁঝালো গন্ধযুক্ত বর্ণহীন গ্যাস। একে সহজেই বর্ণহীন তরলে (স্ফুটনাঙ্ক 189 K) তরলীকৃত করা যায় এবং ঠাণ্ডায় জমে গিয়ে সাদা কঠিন কেলাসে (হিমাঙ্ক 159 K) পরিনত হয়। এটি জলে অধিক মাত্রায় দ্রাব্য এবং নিম্নরূপে আয়নিত হয় :

$$HCl(g) + H_2O(l) \rightarrow H_3O^+(aq) + Cl^-(aq) \quad K_a = 10^7$$

এর জলীয় দ্রবণকে হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড বলা হয়। বিয়োজন ধ্রুবকের ($K_a$) উচ্চমান নির্দেশ করে যে এটি জলীয় দ্রবণে একটি শক্তিশালী অ্যাসিড। এটি $NH_3$ এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে এবং সাদা ধোঁয়া উৎপন্ন করে।

$$NH_3 + HCl \rightarrow NH_4Cl$$

তিনভাগ গাঢ় HCl এবং এক ভাগ গাঢ় $HNO_3$ একত্রে মিশানো হলে অম্লরাজ (**aqua regia**) তৈরি হয় যা বর ধাতুগুলোকে যেমন গোল্ড এবং প্লাটিনাম দ্রবীভূত করতে ব্যবহৃত হয়

$$Au + 4H^+ + NO_3^- + 4Cl^- \rightarrow AuCl_4^- + NO + 2H_2O$$

$$3Pt + 16H^+ + 4NO_3^- + 18Cl^- \rightarrow 3PtCl_6^{2-} + 4NO + 8H_2O$$

হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড দুর্বল অ্যাসিডের লবণকে বিয়োজিত করে, যেমন কার্বোনেট, হাইড্রোজেন কার্বোনেট এবং সালফাইট লবণ ইত্যাদি।

$$Na_2CO_3 + 2HCl \rightarrow 2NaCl + H_2O + CO_2$$
$$NaHCO_3 + HCl \rightarrow NaCl + H_2O + CO_2$$
$$Na_2SO_3 + 2HCl \rightarrow 2NaCl + H_2O + SO_2$$

ব্যবহার ঃ এটি ব্যবহৃত হয় (i) ক্লোরিন, অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড এবং গ্লুকোজ (কর্ণ স্টার্চ থেকে) উৎপাদনে (ii) হাড় থেকে গ্লু-নিষ্কাশনে এবং বোন ব্লেকের বিশুদ্ধিকরণে (iii) ঔষধি শিল্পে এবং রসায়নাগারে বিকারক হিসেবে।

*নমুনা প্রশ্ন 7.18*

সুক্ষ্ম আয়রন চূর্নের সঙ্গো HCl বিক্রিয়া করলে ফেরাস ক্লোরাইড তৈরি হয়, ফেরিক ক্লোরাইড নয় কেন?

*সমাধান*

আয়রনের সঙ্গো এর বিক্রিয়ায় $H_2$ তৈরি হয়।

$$Fe + 2HCl \rightarrow FeCl_2 + H_2$$

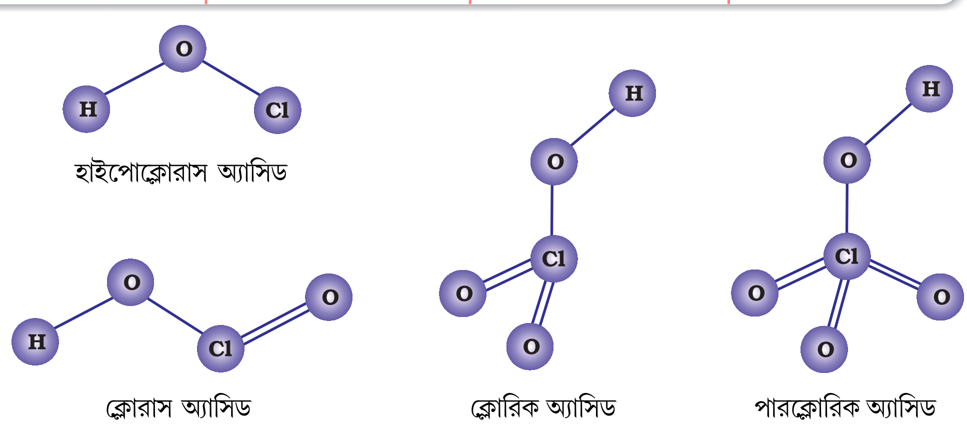
হাইড্রোজেন গ্যাসের নির্গমন ফেরিক ক্লোরাইডের উৎপাদনকে বাধা দেয়।

## 7.21 হ্যালোজেনের অক্সোঅ্যাসিড সমূহ

ফ্লুরিনের ছোট আকার এবং উচ্চ তড়িৎঋণাত্মকতা মানের জন্য ফ্লুরিন কেবলমাত্র একটি অক্সোঅ্যাসিড তৈরি করতে পারে, এটি হল HOF যা ফ্লুরিক (I) অ্যাসিড বা হাইপোফ্লুরাস অ্যাসিড নামে পরিচিত। অন্যান্য হ্যালোজেনগুলো কিছু সংখ্যক অক্সোঅ্যাসিড তৈরি করে। তাদের বেশিরভাগকেই বিশুদ্ধ অবস্থায় পৃথক করা যায় না। তারা জলীয় মাধ্যমে অথবা তাদের লবণ রূপে সুস্থিত। সারণি 7.10 তে হ্যালোজেনের কিছু অক্সোঅ্যাসিড উল্লেখ করা হল এবং চিত্র 7.8 এ তাদের গঠন দেওয়া হল।

সারণি 7.10: হ্যালোজেনের অক্সো অ্যাসিড সমূহ

| হ্যালিক (I) অ্যাসিড (হাইপোহ্যালাস অ্যাসিড) | HOF (হাইপোফ্লুরাস অ্যাসিড) | HOCl (হাইপোক্লুরাস অ্যাসিড) | HOBr (হাইপোব্রোমাস অ্যাসিড) | HOI (হাইপোআয়োডাস অ্যাসিড) |
|---|---|---|---|---|
| হ্যালিক (III) অ্যাসিড (হ্যালাস অ্যাসিড) | – – | HOClO (ক্লোরাস অ্যাসিড) | – – | – – |
| হ্যালিক (V) অ্যাসিড (হ্যালিক অ্যাসিড) | – – | $HOClO_2$ (ক্লোরিক অ্যাসিড) | $HOBrO_2$ (ব্রোমিক অ্যাসিড) | $HOIO_2$ (আয়োডিক অ্যাসিড) |
| হ্যালিক (VII) অ্যাসিড (পারহ্যালিক অ্যাসিড) | – – | $HOClO_3$ (পারক্লোরিক অ্যাসিড) | $HOBrO_3$ (পারব্রোমিক অ্যাসিড) | $HOIO_3$ (পারআয়োডিক অ্যাসিড) |




*চিত্র 7.8 ক্লোরিনের অক্সো অ্যাসিডের গঠন*

## 7.22 আন্ত: হ্যালোজেন যৌগসমূহ

দুটি ভিন্ন হ্যালোজেন নিজেদের মধ্যে বিক্রিয়া করে আন্ত: হ্যালোজেন যৌগ গঠন করে। তাদের সাধারণ সংযুতি হল $XX'$ , $XX_3'$, $XX_5'$ এবং $XX_7'$ যেখানে X হল বড় আকারের হ্যালোজেন এবং X′ হল ছোট আকারের হ্যালোজেন এবং X হল X′ এর চেয়ে বেশী তড়িৎ ধনাত্মক। X এবং X′ এর ব্যাসার্ধের অনুপাত বৃদ্ধির সঙ্গে প্রতি একক অণুতে পরমাণুর সংখ্যা বৃদ্ধি পেতে থাকে। I এবং F এর ব্যাসার্ধের অনুপাত সর্বোচ্চ হওয়ায় আয়োডিন (VII) ফ্লুরাইডে পরমাণুর সংখ্যা সর্বোচ্চ হয়। এই কারণে এর সংকেত হয় $IF_7$ (যেখানে পরমাণুর সংখ্যা সর্বোচ্চ)।

*প্রস্তুতি*

হ্যালোজেনগুলোর প্রত্যক্ষ সংযোগে অথবা নিম্নতর আন্ত:হ্যালোজেন যৌগের সঙ্গে হ্যালোজেনের বিক্রিয়ায় আন্ত: হ্যালোজেন তৈরি করা যায়। বিশেষ কিছু শর্তের উপর নির্ভর করে যৌগ গঠিত হয়। উদাহরণস্বরূপ,

$$\underset{\text{(সম আয়তন)}}{Cl_2 + F_2} \xrightarrow{437K} 2ClF;$$

$$I_2 + \underset{\text{(অতিরিক্ত পরিমাণে)}}{3Cl_2} \rightarrow 2ICl_3$$

$$Cl_2 + \underset{\text{(অতিরিক্ত পরিমাণে)}}{3F_2} \xrightarrow{573K} 2ClF_3;$$

$$\underset{\text{(জলের উপস্থিতিতে লঘু করা হল)}}{Br_2 + 3F_2} \rightarrow 2BrF_3$$

$$\underset{\text{(সমমোলার)}}{I_2 + Cl_2} \rightarrow 2ICl;$$

$$Br_2 + \underset{\text{(অতিরিক্ত পরিমাণে)}}{5F_2} \rightarrow 2BrF_5$$

*ধর্মাবলি*

সারণি 7.11. আন্ত: হ্যালোজেন যৌগের কিছু ধর্মাবলী উল্লেখ করা হয়েছে।

সারণি 7.11: আন্ত: হ্যালোজেন যৌগের কিছু ধর্মাবলী

| সংকেত | ভৌত | অবস্থা এবং ধর্ম | গঠন |
|---|---|---|---|
| $XX'_1$ | ClF | বর্ণহীণ গ্যাস | – |
| | BrF | হালকা বাদামী গ্যাস | – |
| | IF[a] | স্পেকট্রোস্কোপে সনাক্ত | – |
| | BrCl[b] | গ্যাস | |
| | ICl | রুবি লাল রঙয়ের কঠিন (α–রূপ) | – |
| | | বাদামী লাল রঙয়ের কঠিন (β–রূপ) | – |
| | IBr | কালো কঠিন | – |
| $XX'_3$ | $ClF_3$ | বর্ণহীন গ্যাস | বাঁকা T-আকৃতির |
| | $BrF_3$ | হলুদ সবুজ তরল | বাঁকা T-আকৃতির |
| | $IF_3$ | হলুদ পাউডার | বাঁকা T-আকৃতির (?) |
| | $ICl_3$[c] | কমলা কঠিন | বাঁকা T-আকৃতির (?) |
| $XX'_5$ | $IF_5$ | বর্ণহীন গ্যাস কিন্তু 77 K উষ্ণতার নিচে কঠিন | বর্গাকার পিরামিডীয় |
| | $BrF_5$ | বর্ণহীন তরল | বর্গাকার পিরামিডীয় |
| | $ClF_5$ | বর্ণহীন তরল | বর্গাকার পিরামিডীয় |
| $XX'_7$ | $IF_7$ | বর্ণহীন গ্যাস | পেন্টাগোনাল দ্বিপিরামিডীয় |

[a]*খুবই দুঃস্থিত,* [b]*ঘরের তাপমাত্রায় বিশুদ্ধ কঠিন,* [c]*ক্লোরিন সেতু বন্ধন গঠন করে এবং ডাইমার রূপে ($I_2Cl_6$) থাকে।*

এরা সবাই সমযোজী অণু এবং তীরশ্চুম্বকীয় (ডায়াম্যাগনেটিক) প্রকৃতির হয়। 298 K উষ্ণতায় ClF ব্যাতীত (যা একটি গ্যাস) অন্যান্যরা উদ্বায়ী কঠিন বা তরল। তাদের ভৌত ধর্মাবলি উপাদান হ্যালোজেনগুলোর মাঝামাঝি প্রকৃতির হয়। শুধুমাত্র গলনাঙ্ক এবং স্ফুটনাঙ্ক প্রত্যাশিত মানের চেয়ে বেশী হয়।

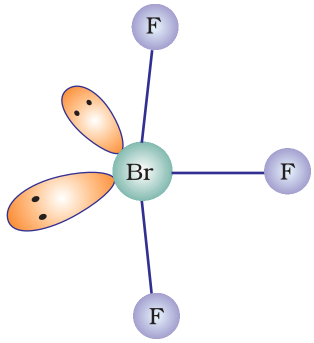
এদের রাসায়নিক বিক্রিয়াগুলো উপাদান হ্যালোজেন মৌলগুলোর সঙ্গে তুলনা করা যায়। সাধারণত আন্ত:হ্যালোজেন যৌগগুলো ফ্লুরিন ছাড়া অন্যান্য হ্যালোজেন এর চেয়ে অধিক সক্রিয় হয়। এর কারণ F–F বন্ধন ব্যতীত আন্ত:হ্যালোজেনের X–X′ বন্ধনটি হ্যালোজেনের X–X বন্ধন থেকে দুর্বল হয়। এই যৌগগুলো আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়ে হ্যালাইড আয়ন দেয় যা ছোট আকারের হ্যালোজেন থেকে উৎপন্ন হয় এবং একটি হাইপোহ্যালাইট (যখন XX′) হ্যালাইট (যখন $XX'_3$), হ্যালেট (যখন $XX'_5$) এবং পার হ্যালেট (যখন $XX'_7$) অ্যানায়ন দেয় যা বড় আকারের হ্যালোজেন থেকে তৈরি হয়।

$$XX' + H_2O \rightarrow HX' + HOX$$

যৌগগুলোর আণবিক গঠন খুবই আকর্ষনীয় যা VSEPR তত্ত্ব দ্বারা ব্যাখ্যা করা যায় (নমুনা প্রশ্ন 7.19) $XX'_3$ ধরনের যৌগগুলো বাঁকা 'T' আকৃতির $XX'_5$ ধরনের যৌগগুলো বর্গাকার পিরামিডাকৃতির এবং $XX'_7$ দ্বিপিরামিডাকৃতির (সারণি 7.11)।

***নমুনা প্রশ্ন 7.19*** VSEPR তত্ত্বের ভিত্তিতে $BrF_3$ এর আণবিক আকৃতি ব্যাখ্যা কর।

***সমাধান*** Br এর যোজন কক্ষে সাতটি ইলেকট্রন থাকে। এই ইলেকট্রনগুলোর মধ্যে তিনটি ইলেকট্রন তিনটি ফ্লুরিন পরমাণুর সঙ্গে বন্ধন ইলেকট্রন যুগল গঠন করে এবং চারটি ইলেকট্রন অবশিষ্ঠ থাকে। ফলে এক্ষেত্রে তিনটি বন্ধন যুগল এবং দুটি নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল থাকে। VSEPR তত্ত্ব অনুসারে, এইগুলো ত্রিকোণীয় দ্বি-পিরামিডের কোণায় বসবে। দুটি নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল নিরক্ষীয় অঞ্চলে বসবে যাতে নিঃসঙ্গ যুগল-নিঃসঙ্গ যুগলের মধ্যে এবং নিঃসঙ্গ-বন্ধন যুগলের মধ্যে বিকর্ষণ বল সর্বনিম্ন হয়। এছাড়াও নিরক্ষীয় অবস্থানের ফ্লুরিন পরমাণুগুলো ইকোটোরিয়েল অবস্থানের ফ্লুরিন পরমাণুটির দিকে কিছুটা বেঁকে থাকবে যাতে করে নি:সঙ্গজোর–নিঃসঙ্গজোর বিকর্ষনের মাত্রা সর্বনিম্ন হবে। আকৃতিটি হবে কিছুটা বাঁকা 'T' আকৃতির।




**ব্যবহার ঃ** এই যৌগগুলো জলহীন দ্রাবক রূপে ব্যবহৃত হয়। আন্ত:হ্যালোজেন যৌগগুলো খুবই উপযোগী ফ্লুরিনেটিং দ্রব্য। $UF_6$ এর মধ্যে $^{235}U$ এর গাঢ়ত্ব বৃদ্ধির জন্য $ClF_3$ এবং $BrF_3$ ব্যবহৃত হয়।

$$U(s) + 3ClF_3(l) \rightarrow UF_6(g) + 3ClF(g)$$

**বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলি**

7.31 $I_2$ থেকে ICl অধিক সক্রিয় কেন?

## 7.23 গ্রুপ 18 এর মৌলসমূহ

গ্রুপ 18 এর মৌলসমূহ হল হিলিয়াম, নিয়ন, আর্গন, ক্রিপটন, জেনন্, রেডন এবং ওগেনেসন। এদের প্রত্যেকেই গ্যাস এবং রাসায়নিক ভাবে সুস্থিত। এরা খুবই কম সংখ্যক যৌগ গঠন করে এই কারণে এদের নোবেল গ্যাস বলা হয়।

### 7.23.1 প্রাচুর্যতা

রেডন এবং ওগেনেসন বাদে এই গ্যাসগুলোর প্রত্যেককেই বায়ুমন্ডলে পাওয়া যায়। বায়ুমন্ডলের শুষ্ক বায়ুতে এই গ্যাসগুলোর শতকরা পরিমাণ আয়তন হিসেবে প্রায় ~ 1%, যার মুখ্য উপাদান হল আর্গন। হিলিয়াম এবং কিছু কিছু ক্ষেত্রে নিয়নকেও তেজস্ক্রিয় পদার্থের খনিতে খনিজ যেমন-পিচ্‌ব্লেন্ড, মোনাজাইট, ক্লিভেআইট এর মধ্যে পাওয়া যায়। হিলিয়ামের মুখ্য বাণিজ্যিক উৎস হল প্রাকৃতিক গ্যাস। এই গ্রুপের বিরলতম মৌল হল জেনন এবং রেডন। $^{226}Ra$ এর তেজস্ক্রিয় বিভাজন রেডন পাওয়া যায়।

$$^{226}_{88}Ra \rightarrow \ ^{222}_{86}Rn + ^{4}_{2}He$$

$^{249}_{98}Cf$ পরমাণু এবং $^{48}_{20}Ca$ আয়নের সংঘর্ষের ফলে সংশ্লেষিত পদার্থ রূপে ওগেনেসন পাওয়া যায়।

$$^{249}_{98}Cf + \ ^{48}_{20}Ca \longrightarrow \ ^{294}_{118}Og + 3n$$

**নমুনা প্রশ্ন 7.20** গ্রুপ 18 এর মৌলগুলোকে নোবেল গ্যাস বলা হয় কেন?

**সমাধান** গ্রুপ 18 এর মৌল সমূহের যোজন কক্ষে উপস্থিত কক্ষকগুলো সম্পূর্ণ ভর্তি এবং এজন্য কিছু কিছু মৌলের সাথে কেবলমাত্র নির্দিষ্ট শর্তে বিক্রিয়া করে। তাই এরা নোবেল গ্যাস নামে পরিচিত।

ওগেনেসন এর চিহ্ন Og পরমাণু ক্রমাঙ্ক 118, পারমাণবিক ভর 294 এবং ইলেকট্রন বিন্যাস হল [Rn] $5f^{14}6d^{10}7s^{2}7p^{6}$ । অল্প পরিমাণে ওগেনেসন তৈরি করা সম্ভব হয়েছে। এর অর্ধায়ু হল 0.7 মিলিসেকেন্ড। তাই তার রসায়ন সম্পর্কে মূলত ভবিষ্যৎ বাণীই করা হয়েছে।

সারণি 7.12 এ ওগেনেসন বাদে অন্যান্য গ্রুপ-18 মৌলসমূহের পারমাণবিক এবং ভৌত ধর্ম ইলেকট্রন বিন্যাস সহ উল্লেখ করা হয়েছে। এই গ্রুপের বেশ কিছু পারমাণবিক, ভৌত এবং রাসায়নিক ধর্মের প্রবণতা এখানে আলোচনা করা হয়।

**সারণি 7.12: গ্রুপ 18 এর মৌল সমূহের পারমাণবিক এবং ভৌত ধর্মাবলি।**

| ধর্ম | He | Ne | Ar | Kr | Xe | Rn* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| পরমাণু ক্রমাঙ্ক | 2 | 10 | 18 | 36 | 54 | 86 |
| পারমাণবিক ভর/ g mol$^{-1}$ | 4.00 | 20.18 | 39.95 | 83.80 | 131.30 | 222.00 |
| ইলেকট্রন বিন্যাস | $1s^2$ | [He]$2s^22p^6$ | [Ne] $3s^23p^6$ | [Ar]$3d^{10}4s^24p^6$ | [Kr]$4d^{10}5s^25p^6$ | [Xe]$4f^{14}5d^{10}6s^26p^6$ |
| পারমাণবিক ব্যাসার্ধ/pm | 120 | 160 | 190 | 200 | 220 | – |
| আয়নায়ন এনথ্যালপি /kJmol$^{-1}$ | 2372 | 2080 | 1520 | 1351 | 1170 | 1037 |
| ইলেকট্রন গ্রহণ এনথ্যালপি /kJmol$^{-1}$ | 48 | 116 | 96 | 96 | 77 | 68 |
| ঘনত্ব (STP-তে)/gcm$^{-3}$ | $1.8\times10^{-4}$ | $9.0\times10^{-4}$ | $1.8\times10^{-3}$ | $3.7\times10^{-3}$ | $5.9\times10^{-3}$ | $9.7\times10^{-3}$ |
| গলনাঙ্ক/K | – | 24.6 | 83.8 | 115.9 | 161.3 | 202 |
| স্ফুটনাঙ্ক/K | 4.2 | 27.1 | 87.2 | 119.7 | 165.0 | 211 |
| বায়ুমন্ডলে পরিমাণ (% পরিমাণে আয়তনে) | $5.24\times10^{-4}$ | – | $1.82\times10^{-3}$ | 0.934 | $1.14\times10^{-4}$ | $8.7\times10^{-6}$ |

* তেজস্ক্রিয়

**7.23.2 ইলেকট্রন বিন্যাস** হিলিয়াম যার ইলেকট্রন বিন্যাস $1s^2$ (সারণি 7.12) সেটি বাদে সমস্ত নোবেল গ্যাসের সাধারণ ইলেকট্রন বিন্যাস হল $ns^2np^6$। রাসায়নিক নিষ্ক্রিয়তা ধর্মটি সহ নোবেল গ্যাসের অন্যান্য অনেক ধর্মের জন্য তাদের বন্ধ কক্ষকযুক্ত ইলেকট্রন বিন্যাসটি দায়ী।

**7.23.3 আয়নায়ন এনথ্যালপি** সুস্থিত ইলেকট্রন বিন্যাসের জন্য এই গ্যাসগুলোর আয়নায়ন এনথ্যালপি অনেক বেশী হয়। তবে শ্রেণি বরাবর নিচের দিকে পারমাণবিক আকার বৃদ্ধির সাথে সাথে আয়নায়ন এনথ্যালপির মান হ্রাস পায়।

**7.23.4 পারমাণবিক ব্যাসার্ধ** শ্রেণি বরাবর নিচের দিকে অগ্রসর হলে পরমাণু ক্রমাঙ্ক বৃদ্ধির সাথে সাথে পারমাণবিক ব্যাসার্ধ বৃদ্ধি পায়।

**7.23.5 ইলেকট্রন গ্রহণ এনথ্যালপি** সুস্থিত ইলেকট্রন বিন্যাসের জন্য নিষ্ক্রিয় গ্যাস সমূহের ইলেকট্রন গ্রহণ করার প্রবণতা থাকে না। ফলে ইলেকট্রন গ্রহণ এনথ্যালপির মান অনেক বেশী ধনাত্মক হয়।

*ভৌত ধর্মাবলি*

সব নিষ্ক্রিয় গ্যাসই এক পরমাণুক হয়। এরা বর্ণহীন, গন্ধহীন এবং স্বাদহীন হয়। তারা জলে স্বল্প মাত্রায় দ্রাব্য। তাদের গলনাঙ্ক এবং স্ফুটনাঙ্ক খুবই কম কারন মৌলগুলির মধ্যে আন্ত: পারমাণবিক মিথ্ক্রিয়াটি (interaction) হল দুর্বল ডিসপারশান বল বা লন্ডন বল। জ্ঞাত পদার্থ সমূহের মধ্যে হিলিয়ামের স্ফুটনাঙ্ক (4.2 K) সবচেয়ে কম। রসায়নাগারে ব্যবহৃত প্রচলিত যন্ত্রপাতি উপাদান স্কেল রাবার, কাঁচ এবং প্লাস্টিককে এটি সহজেই ভেদ করতে পারে, এটি হল হিলিয়ামের একটি অস্বাভাবিক ধর্ম।

***নমুনা প্রশ্ন 7.21***

নোবেল গ্যাসগুলোর স্ফুটনাঙ্ক খুব নয়। কেন?

***সমাধান***

নোবেল গ্যাসগুলো পরমাণু হওয়ায় দুর্বল লন্ডন বল এক ব্যতীত অন্য কোনো আন্ত:পারমাণবিক বল ক্রিয়া করে না। ফলে অতি নিম্ন তাপমাত্রায় এরা তরল রুপে থাকে। তাই এদের স্ফুটনাঙ্ক কম হয়।

*রাসায়নিক ধর্মসমূহ*

সাধারণত নোবেল গ্যাসগুলো রাসায়নিক ভাবে খুবই কম সক্রিয়। তাদের রাসায়নিক নিষ্ক্রিয়তার কারণগুলো নিম্নরূপ :

(i) হিলিয়াম ($1s^2$) ছাড়া নোবেল গ্যাসগুলোর যোজন কক্ষক সম্পূর্ণ ভর্তি $ns^2np^6$ ইলেকট্রন বিন্যাস বিশিষ্ঠ হয়।

(ii) তাদের আয়নায়ন এনথ্যালপি খুবই উচ্চ হয় এবং ইলেকট্রন গ্রহণ এনথ্যালপি অধিক ধনাত্মক হয়।

আবিষ্কারের পর থেকেই নোবেল গ্যাসগুলোর রাসায়নিক বিক্রিয়া মাঝে মধ্যেই অনুসন্ধান করা হয়েছে, কিন্তু তাদেরকে জোর করে যৌগ গঠন করানোর সব চেষ্টাই কয়েক বছর পর্যন্ত ব্যর্থ হয়েছে।

1962 খ্রিস্টাব্দের মার্চে ব্রিটিশ কলম্বিয়া বিশ্ববিদ্যালয়ের অধ্যাপক নেইল বাটলেট (Neil Bartlett) প্রথম নোবেল গ্যাসের বিক্রিয়া লক্ষ্য করেন এবং প্রথমে লাল বর্ণের একটি যৌগ তৈরি যারা সংকেত $O_2^+PtF_6^-$। তখন তিনি উপলব্ধি করেন আণবিক অক্সিজেনের আয়নায়ন এনথ্যালপির (1175 kJmol$^{-1}$) এর মান জেননের (1170 kJ mol$^{-1}$) প্রায় সমান। তিনি জেননের সঙ্গে একই ধরনের যৌগ তৈরি করতে চেস্টা করেন এবং সাফল্যের সঙ্গে $PtF_6$ এবং Xe মিশিয়ে লাল বর্ণের $Xe^+PtF_6^-$ অপর একটি যৌগ তৈরি করেন। এই আবিষ্কারের পর, অধিক তড়িৎ ঋণাত্মক মৌল মুখ্যত ফ্লুরিন এবং অক্সিজেনের সঙ্গে বেশ কিছু জেননের যৌগ সংশ্লেষিত হয়েছে।

ক্রিপ্টনের যৌগের সংখ্যা খুবই কম। কেবলমাত্র ক্রিপ্টন ডাই ফ্লুরাইড ($KrF_2$) এর বিষয়ে সবিস্তারে জানা গেছে। রেডনের যৌগ সমূহ পৃথক করা যায়নি, কেবলমাত্র $RnF_2$ রেডিওট্রেসার পদ্ধতির দ্বারা

সনাক্ত করা গেছে। Ar, Ne বা He এর প্রকৃত যৌগ এখনো পর্যন্ত অজানা।

*(a) জেনন ফ্লুরিন যৌগ সমূহ*

উপযুক্ত পরীক্ষনীয় শর্তে জেনন ফ্লুরিনের সঙ্গে সরাসরি বিক্রিয়া করে তিনটি বাইনারি ফ্লুরাইড যেমন $XeF_2$, $XeF_4$ এবং $XeF_6$ গঠন করে।

$$Xe\,(g) + F_2\,(g) \xrightarrow{673\,K,\ 1\,bar} XeF_2(s)$$
(অতিরিক্ত পরিমাণ)

$$Xe\,(g) + 2F_2\,(g) \xrightarrow{873\,K,\ 7\,bar} XeF_4(s)$$
(1:5 অনুপাতে)

$$Xe\,(g) + 3F_2\,(g) \xrightarrow{573\,K,\ 60\text{–}70\,bar} XeF_6(s)$$
(1:20 অনুপাতে)

143K উষ্ণতায় $XeF_4$ এবং $O_2F_2$ বিক্রিয়া করেও $XeF_6$ তৈরি করতে পারে।

$$XeF_4 + O_2F_2 \rightarrow XeF_6 + O_2$$

$XeF_2$, $XeF_4$ এবং $XeF_6$ হল বর্ণহীন কেলাসাকার পদার্থ এবং 298 K উষ্ণতায় খুব দ্রুত ঊর্ধ্বপাতিত হয়। তারা শক্তিশালী ফ্লুরিনেটিং দ্রব্য। এগুলি সামান্য পরিমাণ জলের উপস্থিতিতেও দ্রুত আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়। উদাহরণস্বরূপ $XeF_2$ আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়ে Xe, HF এবং $O_2$ তৈরি করে।

$$2XeF_2\,(s) + 2H_2O(l) \rightarrow 2Xe\,(g) + 4\,HF(aq) + O_2(g)$$

এই তিনটি জেনন ফ্লুরাইডের গঠনাকৃতি VSEPR তত্ত্বের দ্বারা নির্ণয় করা যায় এবং চিত্র 7.9 এ এগুলো দেখানো হয়েছে। $XeF_2$ এবং $XeF_4$ এর গঠনাকৃতি যথাক্রমে সরলরৈখিক এবং বর্গাকার সামতলিক। $XeF_6$ যৌগে Xe এর সাতটি ইলেকট্রন জোড় (6টি বন্ধন যুগল এবং একটি নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল) থাকে এবং পরীক্ষালব্দ ফল থেকে জানা যায় এটি গ্যাসীয় দশায় বিকৃত অষ্টকতলীয় গঠনাকৃতি হয়।

জেনন ফ্লুরাইড, ফ্লুরাইড আয়ন গ্রহীতার সঙ্গে ক্যাটায়নিক পদার্থ এবং ফ্লুরাইড আয়ন দাতার সঙ্গে ফ্লুরোঅ্যানায়ন তৈরি করে ।

$$XeF_2 + PF_5 \rightarrow [XeF]^+\,[PF_6]^-; \qquad XeF_4 + SbF_5 \rightarrow [XeF_3]^+\,[SbF_6]^-$$
$$XeF_6 + MF \rightarrow M^+\,[XeF_7]^-\ (M = Na, K, Rb\ or\ Cs)$$

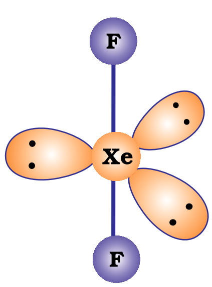
*(b) জেনন—অক্সিজেন যৌগ সমূহ*

$XeF_4$ এবং $XeF_6$ জলের সঙ্গে আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়ে $Xe0_3$ তৈরি করে।

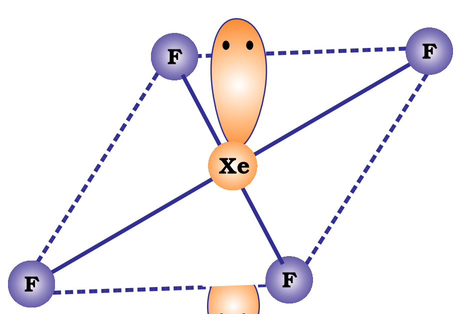
$$6XeF_4 + 12\,H_2O \rightarrow 4Xe + 2Xe0_3 + 24\,HF + 3\,O_2$$
$$XeF_6 + 3\,H_2O \rightarrow XeO_3 + 6\,HF$$

$XeF_6$ আংশিক আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়ে অক্সিফ্লুরাইড $XeOF_4$ এবং $XeO_2F_2$ তৈরি করে।

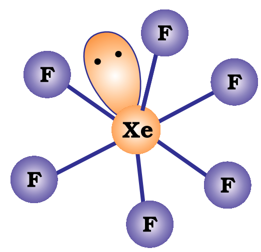
$$XeF_6 + H_2O \rightarrow XeOF_4 + 2\,HF$$
$$XeF_6 + 2\,H_2O \rightarrow XeO_2F_2 + 4HF$$



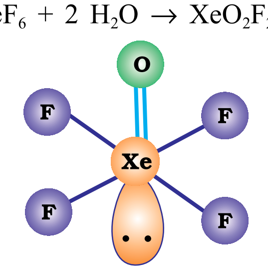
(a) সরলরৈখিক



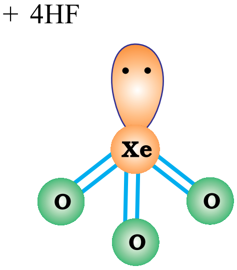
(b) বর্গাকার সমতলিক



(c) বিকৃত অষ্টকতলীয়



(d) বর্গাকার পিরামিডীয় আকৃতি



(e) পিরামিডীয় আকৃতি

*চিত্র 7.9 (a) $XeF_2$ (b) $XeF_4$ (c) $XeF_6$ (d) $XeOF_4$ এবং (e) $XeO_3$ এর গঠনআকৃতি।*

$XeO_3$ হল বর্ণহীন বিস্ফোরক কঠিন পদার্থ এবং আণবিক গঠন পিরামিডীয় আকৃতির (চিত্র 7.9)। $XeOF_4$ বর্ণহীন উদ্বায়ী তরল এবং আণবিকগঠন বর্গাকার পিরামিডীয় আকৃতির (চিত্র 7.9)।

***নমুনা প্রশ্ন 7.22***

$XeF_6$ এর আর্দ্রবিশ্লেষণ বিক্রিয়াটি কি একটি রেডক্স বিক্রিয়া?

***সমাধান***

না, কারণ আর্দ্র বিশ্লেষণে $XeOF_4$ এবং $XeO_2F_2$ জাতকগুলোর জারণ সংখ্যা বিক্রিয়ক পদার্থের জারণ সংখ্যার সমান হয়।

ব্যবহার ঃ হিলিয়াম হল একটি অদাহ্য এবং হালকা গ্যাস আবহাওয়া সংক্রান্ত পর্যবেক্ষনের ক্ষেত্রে ব্যবহৃত বেলুনে ভর্তি করার জন্য হিলিয়াম ব্যবহার করা হয়। এটি গ্যাস শীতলীকৃত নিউক্লিয়ার রিয়েক্টারেও ব্যবহৃত হয়। নিম্ন তাপমাত্রায় বিভিন্ন পরীক্ষা সম্পন্ন করার জন্য তরল হিলিয়ামকে (স্ফুটনাঙ্ক 4.2 K) ক্রয়োজেনিক পদার্থ হিসেবে ব্যবহৃত হয়। রোগ নির্ণয়ে ব্যবহৃত Magnetic Resonance Imaging (MRI) সিস্টেমে এবং আধুনিক NMR স্পেকট্রোমিটারে শক্তিশালী চুম্বক তৈরিতে এবং তা বজায় রাখতে হিলিয়াম ব্যবহৃত হয়। কৃত্রিম শ্বাসক্রিয়া চালানোর জন্য অক্সিজেনের সঙ্গে হিলিয়াম ব্যবহার করা হয় কারণ রক্তে হিলিয়ামের দ্রাব্যতা খুবই কম।

বিজ্ঞাপনে ব্যবহৃত ডিসচার্জ টিউব এবং প্রতিপ্রভ বাতিতে (ল্যাম্পে) নিয়ন ব্যবহৃত হয়। বোটানিকেল বাগানে এবং গ্রিন হাউসেও নিয়ন ব্যবহৃত হয়।

ধাতু বিদ্যায় (ধাতু ও ধাতু সংকরের আর্ক ওয়েল্ডিং এর ক্ষেত্রে) উচ্চ তাপমাত্রায় নিষ্ক্রিয় পরিবেশ তৈরি করতে এবং ইলেকট্রিক বাল্ব পূর্ণ করতে আর্গন ব্যবহৃত হয়। পরীক্ষাগারে বাতাস সংবেদনশীল পদার্থ নিয়ে কাজ করার জন্যও আর্গন ব্যবহৃত হয়।

জেনন ক্রিপ্টন এর তেমন কোনো ব্যবহার নেই। বিশেষ বিশেষ ক্ষেত্রে নক্সা জাতীয় লাইট বাল্বে এদের ব্যবহার করা হয়।

## বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলী

**7.32** ডুবুরীরা তাদের যন্ত্রে হিলিয়াম ব্যবহার করে কেন?

**7.33** নিচের সমীকরণটির সমতা বিধান কর : $XeF_6 + H_2O \rightarrow XeO_2F_2 + HF$

**7.34** রেডনের রসায়ন অধ্যয়ন করা অসুবিধাজনক কেন?

## সারাংশ

পর্যায় সারণির গ্রুপ 13 থেকে 18 পর্যন্ত মৌলগুলো হল ***p***-ব্লক মৌল, যাদের সর্ববহি:স্থ কক্ষের সাধারণ ইলেকট্রন বিন্যাস হল $ns^2np^{1-6}$ ।গ্রুপ 13 এবং 14 এর মৌলগুলোর রসায়ন ইতিমধ্যে একাদশ শ্রেণিতে আলোচনা করা হয়েছে। এই অধ্যায়ে $p$-ব্লকভুক্ত বাকী মৌলগুলোকে নিয়ে আলোচনা করা হয়েছে।

গ্রুপ **15** এ পাঁচটি মৌল রয়েছে। মৌলগুলো হল N, P, As, Sb এবং Bi , যাদের সাধারণ ইলেকট্রন বিন্যাস হল $ns^2np^3$। নাইট্রোজেনের আয়নীয় ব্যাসার্ধ কম হওয়ায় এটি এই গ্রুপের অন্যান্য মৌলগুলো থেকে ভিন্ন ধর্মের হয়, নাইট্রোজেন কেবলমাত্র নিজের সঙ্গো এবং C ও O এর মত তীব্র তড়িৎ ঋণাত্মক পরমাণুর সাথে $p_\pi$–$p_\pi$ বন্ধন গঠন করতে পারে এবং ***d*** কক্ষক অনুপস্থিত থাকায় যৌজন কক্ষ সম্প্রসারণ করতে পারে না। গ্রুপ 15 এর মৌল সমূহের ধর্মাবলীর মধ্যে নিয়মিত প্রবণতা লক্ষ্য করা যায়। এরা অক্সিজেন, হাইড্রোজেন এবং হ্যালোজেনের সঙ্গো বিক্রিয়া করে। এরা দুটি গুরুত্বপূর্ণ জারন স্তর প্রদর্শন করে, এগুলি হল + 3 এবং + 5 কিন্তু ভারী মৌলগুলো নিষ্ক্রিয় যুগল প্রভাবের জন্য +3 জারণ অবস্থায় থাকে।

ডাই নাইট্রোজেনকে পরীক্ষাগারের পাশাপাশি শিল্পের প্রয়োজনেও তৈরি করা যায়। এটি ভিন্ন ভিন্ন জারণস্তরের অক্সাইড গঠন করে, যেমন- $N_2O$, NO, $N_2O_3$, $NO_2$, $N_2O_4$ এবং $N_2O_5$ ।এই অক্সাইডগুলোর রেজোনেটিং গঠন এবং বহু বন্ধন আছে। হেবার পদ্ধতিতে বেশি পরিমাণে অ্যামোনিয়াকে তৈরি করা যায়। রাসায়নিক শিল্পে $HNO_3$ হল একটি গুরুত্বপূর্ণ যৌগ। এটি একটি শক্তিশালী একক্ষারীয় অ্যাসিড এবং তীব্র জারক দ্রব্য। ধাতু এবং অধাতু বিভিন্ন শর্তে নাইট্রিক অ্যাসিড এর সঙ্গো বিক্রিয়া করে NO বা $NO_2$ উৎপাদন করে।

ফসফোরাস $P_4$ মৌল রূপে অবস্থান করে। ফসফোরাসের বিভিন্ন রূপভেদ আছে। এটি $PH_3$ সংকেত বিশিষ্ট হাইড্রাইড গঠন করে, যা খুব বিষাক্ত গ্যাস। এটি $PX_3$ এবং $PX_5$ সংকেত বিশিষ্ট দুই ধরনের হ্যালাইড গঠন করে। শুষ্ক ক্লোরিন গ্যাসের সঙ্গো সাদা ফসফোরাসের বিক্রিয়ায় $PCl_3$ তৈরি হয় যেখানে $SO_2Cl_2$ এর সঙ্গো ফসফোরাস এর বিক্রিয়ায় $PCl_5$ তৈরি হয়। ফসফোরাস একাধিক অক্সো অ্যাসিড তৈরি করে। P–OH গ্রুপের সংখ্যার উপর নির্ভর করে তাদের ক্ষার গ্রাহীতা নির্ধারন করা হয়। যে অক্সো অ্যাসিডে P–H বন্ধন থাকে সেটি উত্তম বিজারক দ্রব্য হয়।

গ্রুপ **16** এর মৌলগুলোর সাধারণ ইলেকট্রন বিন্যাস হল $ns^2np^4$। এরা +6 সর্বোচ্চ জারণ অবস্থা প্রদর্শন করতে পারে। মৌল সমূহের ভৌত ও রাসায়নিক ধর্মের নিয়মিত প্রবণতা লক্ষ্য করা যায়। পরীক্ষাগারে $MnO_2$ এর উপস্থিতিতে $KClO_3$ কে উত্তপ্ত করে ডাই অক্সিজেন প্রস্তুত করা হয়। এটি ধাতুর সাথে একাধিক অক্সাইড গঠন করে। অক্সিজেনের রূপভেদটি হল $O_3$ যা একটি শক্তিশালী জারক দ্রব্য। সালফারের বিভিন্ন রূপভেদ আছে, যার মধ্যে $\alpha$ ও $\beta$ সালফার সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ। সালফার অক্সিজেনের সঙ্গো যুক্ত হয়ে অক্সাইড গঠন করে যেমন $SO_2$ এবং $SO_3$ । সালফারের সঙ্গো অক্সিজেনের সরাসরি বিক্রিয়ায় $SO_2$ তৈরি হয়। $H_2SO_4$ এর উৎপাদনে $SO_2$ ব্যবহৃত হয়। সালফার একাধিক অক্সো অ্যাসিড তৈরি করে। তাদের মধ্যে, $H_2SO_4$ হল একটি গুরুত্বপূর্ণ যৌগ। স্পর্শ পদ্ধতিতে একে তৈরি করা যায়। এটি নিরোদক এবং জারক দ্রব্য রূপে কাজ করে। বেশ কিছু যৌগের উৎপাদনে এটি ব্যবহৃত হয়।

পর্যায় সারণির গ্রুপ **17** এর অন্তর্ভুক্ত মৌলগুলো হল F, Cl, Br, I এবং At। এই মৌলগুলো খুব বেশী সক্রিয় এবং এই কারণে এদেরকে যৌগ রূপে পাওয়া যায়। এই মৌলগুলোর সাধারণ জারণ অবস্থা –1। তবে সর্বোচ্চ জারণ সংখ্যা +7 হতে পারে। এরা ভৌত এবং রাসায়নিক ধর্মের নিয়মিত প্রবণতা দেখায়। এরা অক্সাইড, হাইড্রোজেন হ্যালাইড, আন্ত: হ্যালোজেন যৌগ এবং অক্সো অ্যাসিড গঠন করে। HCl এর সঙ্গো $KMnO_4$ এর বিক্রিয়ায় ক্লোরিন পাওয়া যায়। গাঢ় $H_2SO_4$ এবং NaCl এর মিশ্রণ উত্তপ্ত করে HCl তৈরি করা যায়। হ্যালোজেনগুলো একে অপরের সঙ্গো যুক্ত হয়ে $XX^1_n$ (n = 1, 3, 5, 7) ধরনের আন্ত: হ্যালোজেন যৌগ উৎপন্ন করে। যেখানে $X^1$, তুলনামূলক ভাবে X এর চেয়ে হালকা হয়। হ্যালোজেনের একাধিক অক্সোঅ্যাসিড আছে। এই ধরনের অক্সোঅ্যাসিডগুলোর গঠনগত বিন্যাসে, হ্যালোজেন হল কেন্দ্রীয় পরমাণু, এটি প্রত্যেক ক্ষেত্রে একটি OH বন্ধন এর সাথে X–OH বন্ধন রূপে অবস্থান করে। কিছু কিছু ক্ষেত্রে X = 0 বন্ধনও পাওয়া যায়।

পর্যায় সারণির গ্রুপ **18** এর মৌলগুলো হল নোবেল গ্যাসসমূহ। He যার বিন্যাস $1s^2$ ছাড়া বাকী মৌলগুলোর যোজন কক্ষের সাধারণ ইলেকট্রন বিন্যাস $ns^2\,np^6$ । Rn ছাড়া অন্যান্য গ্যাসগুলোকে বায়ুমন্ডলে পাওয়া যায়। $^{226}Ra$ এর তেজস্ক্রিয় বিকিরণে Rn পাওয়া যায়।

বহি:স্থ কক্ষ পথটি অষ্ঠক পূর্ণ অবস্থায় থাকায় তাদের যৌগ গঠন করার প্রবণতা খুবই কম। কিছু নির্দিষ্ঠ শর্তের ভিত্তিতে জেনন ফ্লুরিন এবং অক্সিজেনের সঙ্গো কিছু যৌগ গঠন করে। বেশ কিছু ব্যবহারিক কার্যে এই গ্যাসগুলো ব্যবহৃত হয়। নিষ্ক্রিয় পরিবেশ তৈরি করতে আর্গন ব্যবহৃত হয়, আবহাওয়া সংক্রান্ত গবেষণার কাজে হিলিয়াম পূর্ণ বেলুন ব্যবহৃত হয়। ডিসচার্জ টিউব এবং ফ্লোরোসেন্ট বাল্বে নিয়ন গ্যাস ব্যবহৃত হয়।

# অনুশীলনী

7.1 ইলেকট্রন বিন্যাস, জারণ অবস্থা, পারমাণবিক আয়তন, আয়নায়ন এন্থ্যালপি এবং তড়িৎঋণাত্মকতার ভিত্তিতে 15 নং শ্রেণির মৌল সমূহের সাধারণ বৈশিষ্ট্য আলোচনা কর।

7.2 নাইট্রোজেনের সক্রিয়তা ফসফোরাস থেকে ভিন্ন কেন?

7.3 15 নং শ্রেণির মৌলসমূহের রাসায়নিক সক্রিয়তার প্রবণতা আলোচনা কর?

7.4 $NH_3$ হাইড্রোজেন বন্ধন তৈরি করতে পারে কিন্তু $PH_3$ পারে না—কেন?

7.5 রসায়নাগারে কিভাবে নাইট্রোজেন তৈরি করা হয়? বিক্রিয়াগুলোর রাসায়নিক সমীকরনগুলো লিখ।

7.6 অ্যামোনিয়ার শিল্পোৎপাদন পদ্ধতিটি লেখ।

7.7 ধাতব কপার কিভাবে $HNO_3$ এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে বিভিন্ন ধরনের জাতক তৈরি করে—দেখাও।

7.8 $NO_2$ এবং $N_2O_5$ রেজোনেটিক (ক্যানোনিকেল) গঠন আঁক।

7.9 HPH, HAsH এবং HSbH এর তুলনায় HNH এর বন্ধন কোন্ বেশী হয়। কেন?
[সংকেত: হাইড্রোজেন এবং এই গ্রুপের অন্যান্য মৌলের সঙ্গে $s$–$p$ বন্ধন এবং $NH_3$ অণুর $sp^3$ সংকরায়ন দ্বারা ব্যাখ্যা করা যায়]

7.10 $R_3P = O$ এর অস্তিত্ব আছে কিন্তু $R_3N = O$ এর অস্তিত্ব নেই—কেন? (R = অ্যালকিলমূলক)?

7.11 $NH_3$ ক্ষারীয় যেখানে $BiH_3$ মৃদু ক্ষারীয়—কেন? ব্যাখ্যা করো।

7.12 নাইট্রোজেন অণু দ্বিপারমাণুক হয় এবং ফসফোরাস $P_4$ রূপে থাকে। কেন?

7.13 সাদা ফসফোরাস ও লাল ফসফোরাসের ধর্মের মুখ্য পার্থক্যগুলো লেখো।

7.14 ফসফোরসের চেয়ে নাইট্রোজেনের ক্যাটিনেশন ধর্ম কম কেন?

7.15 $H_3PO_3$ এর অসমঞ্জস্য বিক্রিয়াটি লিখ।

7.16 $PCl_5$ জারক দ্রব্যের পাশাপাশি বিজারক দ্রব্য রূপেও কাজ করতে পারে—কি? বিচার কর।

7.17 ইলেকট্রন বিন্যাস, জারনস্তর এবং হাইড্রাইড তৈরি করার উপর ভিত্তি করে পর্যায় সারণির একই গ্রুপে O, S, Se, Te এবং Po কে স্থান দেওয়ার পক্ষে তোমার উপযুক্ত মতামত লিখ।

7.18 ডাইঅক্সিজেন একটি গ্যাস কিন্তু সালফার কঠিন কেন?

7.19 $O \rightarrow O^-$ এবং $O \rightarrow O^{2-}$ এর ইলেকট্রন গ্রহণ এনথ্যালপির মান যথাক্রমে –141 এবং 702 kJ $mol^{-1}$ । তাহলে অক্সিজেন কিভাবে $O^-$ এর পরিবর্তে $O^{2-}$ এর অধিক সংখ্যক যৌগ গঠন করে।
( **ইঙ্গিত:** যৌগগুলো ল্যাটিস গঠন শক্তি বিবেচনা কর )।

7.20 কোন এরোসল ওজোন স্তরের হ্রাস ঘটায়?

7.21 স্পর্শ পদ্ধতিতে $H_2SO_4$ এর উৎপাদন পদ্ধতিটি বর্ণনা করো।

7.22 $SO_2$ কিভাবে বায়ু দূষণ ঘটায়?

7.23 হ্যালোজেন মৌলগুলো শক্তিশালী জারক দ্রব্য হয় কেন?

7.24 কেন ফ্লুরিন কেবলমাত্র HOF অক্সিঅ্যাসিডটি তৈরি করতে পারে—ব্যাখ্যা কর।

7.25 নাইট্রোজেন এবং ক্লোরিনের তড়িৎঋণাত্মকতার মান প্রায় একই হওয়া স্বত্বেও নাইট্রোজেন হাইড্রোজেন বন্ধন তৈরি করতে পারে কিন্তু ক্লোরিন পারে না—কেন?

7.26 $ClO_2$ এর দুটি ব্যবহার লিখ।

7.27 হ্যালোজেনগুলো রঙ্গিন হয় কেন?

7.28 জলের সঙ্গে $F_2$ এবং $Cl_2$ এর বিক্রিয়াগুলো লিখ।

7.29 তুমি কিভাবে $Cl_2$ থেকে HCl এবং HCl থেকে $Cl_2$ তৈরি করবে? বিক্রিয়া লিখলেই হবে।

7.30 কোন্ অনুপ্রেরণা থেকে N. Bartlett Xe এবং $PtF_6$ এর মধ্যে বিক্রিয়া করিয়েছিলেন

7.31 নিচের যৌগগুলোতে ফসফোরাসের জারণস্তর উল্লেখ করো।
(i) $H_3PO_3$ (ii) $PCl_3$ (iii) $Ca_3P_2$ (iv) $Na_3PO_4$ (v) $POF_3$?

7.32 নিচের বিক্রিয়াগুলোর সমতাযুক্ত সমীকরণ লেখ :

(i) $MnO_2$ এর উপস্থিতিতে সালফিউরিক অ্যাসিডের সঙ্গে NaCl কে উত্তপ্ত করা হল।

(ii) NaI এর জলীয় দ্রবণে ক্লোরিন গ্যাস চালনা করা হল।

7.33 কিভাবে জেননের ফ্লুরাইড $XeF_2$, $XeF_4$ এবং $XeF_6$ পাওয়া যায়?

7.34 কোন্ প্রশম অণু $ClO^-$ এর সমইলেকট্রনীয়? অণুটি কি লুইস ক্ষার?

7.35 কিভাবে $XeO_3$ এবং $XeOF_4$ তৈরি করবে?

7.36 নিম্নের প্রতিটি ক্ষেত্রে নির্দেশ অনুযায়ী ধর্মের ক্রম উল্লেখ করো।

(i) $F_2$, $Cl_2$, $Br_2$, $I_2$ - বন্ধন বিয়োজন শক্তির উর্ধ্বক্রম।

(ii) HF, HCl, HBr, HI - আম্লিক ধর্মের উর্ধ্বক্রম

(iii) $NH_3$, $PH_3$, $AsH_3$, $SbH_3$, $BiH_3$ –ক্ষার ধর্মের উর্ধ্বক্রম

7.37 নিচের কোন্ যৌগটির অস্তিত্ব নেই?

(i) $XeOF_4$ (ii) $NeF_2$ (iii) $XeF_2$ (iv) $XeF_6$

7.38 নোবেল গ্যাস যুক্ত যৌগের সংকেত এবং গঠন উল্লেখ করো যা নিচের আয়নগুলির সাথে সমইলেকট্রনীয়।

(i) $ICl_4^-$ (ii) $IBr_2^-$ (iii) $BrO_3^-$

7.39 নোবেল গ্যাসগুলোর পারমাণবিক আকার তুলনামূলক বড় হয় কেন?

7.40 নিয়ন এবং আর্গন গ্যাসের ব্যবহার লেখো।

## কিছু সংখ্যক বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নের উত্তরমালা

7.1 কেন্দ্রীয় পরমাণুর জারন সংখ্যা বৃদ্ধির সাথে সাথে ধ্রুবায়ন ক্ষমতা ও বৃদ্ধি পেতে থাকে ফলে কেন্দ্রীয় পরমাণু এবং অন্য পরমাণুর মধ্যে গঠিত বন্ধনের সমযোজী চরিত্র বাড়তে থাকে।

7.2 কারণ গ্রুপ 15 এর হাইড্রাইড সমূহের মধ্যে $BiH_3$ সবচেয়ে কম সুস্থিত।

7.3 কারণ $p_\pi$–$p_\pi$ অভিলেপনের ফলস্বরূপ $N_2$ অণুতে ত্রিবন্ধন গঠিত হয়, $N{\equiv}N$

7.6 $N_2O_5$ এর গঠন সংকেত থেকে দেখা যায় নাইট্রোজেনের সমযোজ্যতা চার হয়।

7.7(a) উভয়েই $sp^3$ সংকরায়িত। $PH_4^+$ আয়নে চারটি কক্ষকই বন্ধনে আবদ্ধ যেখানে $PH_3$ অণুতে P এর উপর একটি নিঃসঙ্গা ইলেকট্রন যুগল থাকে, ফলে $PH_3$ অণুতে নিঃসঙ্গা ইলেকট্রন যুগল বন্ধন ইলেকট্রন যুগলের মধ্যে বিকর্ষণ বলের জন্য বন্ধন কোণের মান 109° 28′ থেকে কম হয়।

7.10 $PCl_5 + H_2O \rightarrow POCl_3 + 2HCl$

7.11 $H_3PO_4$ অণুতে তিনটি P–OH গ্রুপ থাকে তাই এর ক্ষারগ্রাহীতা তিন হয়।

7.15 অক্সিজেনের ছোট আকার এবং উচ্চ তড়িৎ ঋণাত্মকতার জন্য হাইড্রোজেন বন্ধনের দ্বারা জলের অণুগুলো সংগুনিত অবস্থায় থাকে, ফলে জল তরল দশায় থাকে।

7.21 উভয় S–O বন্ধনই সমযোজী এবং ক্যানোনিকেল গঠনের জন্য একই শক্তি সম্পন্ন হয়।

7.25 জলীয় মাধ্যমে $H_2SO_4$ তীব্র অ্যাসিড কারণ এটি দ্রুত আয়নিত হয়ে $H_3O^+$ এবং $HSO_4^-$ উৎপন্ন করে ফলে প্রথম আয়োনাইজেশন খুব উচ্চ হয়। কিন্তু $HSO_4^-$ এর $H_3O^+$ এবং $SO_4^{2-}$ আয়নে আয়নিত হওয়ার হার খুব কম। তারজন্য $K_{a_2} << K_{a_1}$।

7.31 X–X বন্ধনের চেয়ে $X–X^1$ বন্ধনগুলো দুর্বল হওয়ার জন্য আন্ত:হ্যালোজেন যৌগগুলো সাধারণত হ্যালোজেনের চেয়ে বেশী সক্রিয় হয়।

7.34 তেজস্ক্রিয় মৌল রেডনের অর্ধায়ু খুব কম হওয়ায় রসায়নে রেডনের অধ্যয়ন করা খুবই অসুবিধাজনক।

অধ্যায়

# 8

# $d$ - এবং $f$ - ব্লক মৌল

## উদ্দেশ্য

এই অধ্যায়টি অধ্যয়নের পর তোমরা জানতে সক্ষম হবে

- পর্যায় সারণিতে $d$–এবং $f$- ব্লক মৌল সমূহের অবস্থান;
- সন্ধিগত ($d$-ব্লক) এবং আভ্যন্তরীণ সন্ধিগত ($f$-ব্লক) মৌলসমূহের ইলেকট্রন বিন্যাস;
- তড়িৎদ্বার বিভবের মানের ভিত্তিতে ভিন্ন ভিন্ন জারণ অবস্থাগুলোর তুলনামূলক স্থায়ীত্বের ধারণা;
- $K_2Cr_2O_7$ এবং $KMnO_4$ এর মতো কয়েকটি গুরুত্বপূর্ণ যৌগের প্রস্তুতি, ধর্ম, গঠন এবং ব্যবহার;
- $d$–এবং $f$–ব্লক মৌলসমূহের সাধারণ চরিত্র এবং পর্যায় ও গ্রুপ বরাবর এদের ধর্মাবলির প্রবণতা,
- $f$–ব্লক মৌলসমূহের ধর্মাবলির ব্যাখ্যা এবং ইলেকট্রন বিন্যাস, জারণ অবস্থা এবং রাসায়নিক চরিত্রের ভিত্তিতে ল্যান্থানয়েড এবং অ্যাক্টিনয়েড মৌলসমূহের মধ্যে তুলনামূলক আলোচনা করতে।

*আয়রন, কপার, সিলভার এবং গোল্ড -এর মতো সন্ধিগত মৌলগুলো মানবসভ্যতার বিকাশে গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে চলেছে। Th, Pa এবং U -এর মতো আভ্যন্তরীণ সন্ধিগত মৌলগুলো বর্তমানকালে পারমাণবিক শক্তির প্রকৃষ্ট উৎস হিসেবে নিজেদের প্রমাণ করে চলেছে।*

পর্যায় সারণি $d$-ব্লকে 3-12 গ্রুপের মৌলসমূহ অবস্থান করে, যেখানে চারটি দীর্ঘ পর্যায়ের প্রত্যেকটি পর্যায়ের অর্ন্তত $d$ কক্ষকটি ক্রমান্বয়ে ইলেকট্রন দ্বারা পূর্ণ হয়। $f$-ব্লকে এমন সব মৌল অবস্থান করে যাদের $4f$ এবং $5f$ কক্ষকগুলো ক্রমান্বয়ে ইলেকট্রন দ্বারা পূর্ণ হয়। এদের পর্যায় সারণির নিচে আলাদা তালিকায় স্থান দেওয়া হয়েছে। $d$- এবং $f$-ব্লক মৌলসমূহকে যথাক্রমে প্রায়শঃই সন্ধিগত ধাতু এবং আভ্যন্তরীণ সন্ধিগত ধাতু হিসেবে উল্লেখ করা হয়।

সন্ধিগত ধাতুসমূহের মূলত চারটি সারি বর্তমান। এগুলো হল $3d$ সারি (Sc থেকে Zn), $4d$ সারি (Y থেকে Cd) এবং $5d$ সারি (La এবং Hf থেকে Hg) এবং $6d$ সারি যার মধ্যে Ac এবং Rf থেকে Cn ধাতু সমূহ অবস্থান করে। আভ্যন্তরীণ সন্ধিগত মৌলসমূহের দুটো সারি $4f$ (Ce থেকে Lu) এবং $5f$ (Th থেকে Lr) যথাক্রমে ল্যান্থানয়েড এবং অ্যাক্টিনয়েড নামে পরিচিত।

সন্ধিগত ধাতুসমূহের ধর্মাবলি $s$ -ব্লক এবং $p$- ব্লক মৌলসমূহের ধর্মের মধ্যে সমন্বয় রক্ষা করে, এই ঘটনার উপর ভিত্তি করেই সন্ধিগত মৌল নামক এদের প্রচলতি নামটির উৎপত্তি হয়েছিল। কিন্তু বর্তমানে IUPAC-সংস্থার নিয়মানুযায়ী সে সমস্ত ধাতুকেই সন্ধিগত ধাতু বলা হয় যাদের প্রশম অণু বা আয়নের ইলেকট্রন বিন্যাসে অসম্পূর্ণ $d$-কক্ষক উপস্থিত থাকে। গ্রুপ -12 এর তিনটি মৌল জিঙ্ক, ক্যাডমিয়াম এবং মার্কারীর ভূমিস্তর এবং সাধারণ জারণ স্তরের ইলেকট্রন বিন্যাসটি $d^{10}$ পূর্ণ হওয়ায় এদের সন্ধিগত মৌল হিসেবে ধরা হয় না। তবে $3d$, $4d$ এবং $5d$ সন্ধিগত সারির অন্তিম মৌল বলে সন্ধিগত মৌলের রসায়ন সম্পর্কে অধ্যয়ন করার সময় এদের রসায়নও অধ্যয়ন করা হয়।

এদের পরমাণুতে আংশিকপূর্ণ $d$ বা $f$-কক্ষকের উপস্থিতি অন্যান্য শ্রেণির মৌল থেকে এদের স্বতন্ত্র করে তুলেছে। একারণেই সন্ধিগত মৌল এবং এদের

যৌগের রসায়ন পৃথকভাবে অধ্যয়ন করা হয়। তবে সন্ধিগত মৌল নয় এরূপ মৌল সমূহের ক্ষেত্রে যোজ্যতার যে রীতি বা তত্ত্ব প্রচলিত আছে সেটি সন্ধিগত মৌল সমূহের ক্ষেত্রেও প্রযোজ্য।

সিলভার, গোল্ড এবং প্ল্যাটিনামের মতো মূল্যবান ধাতু এবং আয়রন, কপার ও টাইটেনিয়ামের মতো শিল্পক্ষেত্রের গুরুত্বপূর্ণ ধাতুগুলো সন্ধিগত ধাতুর সারিতে অবস্থান করে।

এই অধ্যায়টিতে প্রথমে সন্ধিগত মৌল সমূহের ইলেকট্রন বিন্যাস, প্রাচুর্যতা এবং চারিত্রিক বৈশিষ্ট্যগুলো অধ্যয়নের পাশাপাশি সন্ধিগত ধাতুর প্রথমসারির ($3d$) মৌল সমূহের ধর্মের প্রবণতার সঙ্গে কিছু গুরুত্বপূর্ণ যৌগের প্রস্তুতি এবং ধর্মাবলি বিশেষভাবে অধ্যয়ন করব।

## সন্ধিগত মৌল (*d*-ব্লক)

### 8.1 পর্যায় সারণিতে অবস্থান

*d*–ব্লক মৌলগুলো পর্যায় সারণির দুপাশে অবস্থিত *s*– ও *p*–ব্লকের মধ্যবর্তী বড় অঞ্চলটির মধ্যে অবস্থান করে। পরমাণুর সর্ববহিঃস্থ কক্ষের পূর্ববর্তী শক্তি স্তরের *d*–কক্ষকটি ক্রমান্বয়ে ইলেকট্রন গ্রহণ করার মাধ্যমে সন্ধিগত ধাতুর চারটি সারি $3d$, $4d$, $5d$ এবং $6d$ পাওয়া যায়। সন্ধিগত মৌলের সমস্ত সারিগুলোকে সারণি 8.1-এ দেখানো হয়েছে।

### 8.2 *d*-ব্লক মৌল সমূহের ইলেকট্রন বিন্যাস

এই সমস্ত মৌলের সর্ববহিঃস্থ কক্ষকের সাধারণ ইলেকট্রন বিন্যাসটি হল– $(n\text{-}1)d^{1-10}ns^{1-2}$। ভিতরের *d* কক্ষকটিকে (n–1) দ্বারা বোঝায় যার মধ্যে এক থেকে দশটি ইলেকট্রন থাকতে পারে এবং সর্ববহিঃস্থ n*s* কক্ষকটিতে 1টি বা 2টি ইলেকট্রন থাকতে পারে। তবে (n-1)*d* এবং n*s* কক্ষক দুটোর শক্তি মাত্রার পার্থক্য খুব কম হওয়ায় এই সাধারণ ইলেকট্রন বিন্যাসটির যথেষ্ট ব্যতিক্রম লক্ষ্য করা যায়। তাছাড়া অর্ধপূর্ণ এবং পূর্ণকক্ষক অপেক্ষাকৃত অধিক সুস্থিত। $3d$ সারির অন্তর্গত Cr এবং Cu এর ইলেকট্রন বিন্যাসের ক্ষেত্রে এই শর্তটির প্রতিফলন দেখা যায়। উদাহরণস্বরূপ Cr এর ইলেকট্রন বিন্যাস $3d^4 4s^2$ এর পরিবর্তে $3d^5 4s^1$ হয়, $3d$ এবং $4s$ কক্ষকগুলোর মধ্যে শক্তির পার্থক্য এত কম হয় যে ইলেকট্রন $3d$ -কক্ষকে অণুপ্রবেশের ক্ষেত্রে কম বাধার সম্মুখীন হয়। Cu-এর ক্ষেত্রেও অনুরূপ ঘটনা লক্ষ্য করা যায়। যার ইলেকট্রন বিন্যাস $3d^9 4s^2$ এর পরিবর্তে $3d^{10}4s^1$ হয়। সন্ধিগত মৌলসমূহের সর্ববহিঃস্থ কক্ষকের ভূমিস্তর ইলেকট্রন বিন্যাস সারণি 8.1-এ দেয়া হলো।

সারণি 8.1: সন্ধিগত মৌলসমূহের সর্ববহিঃস্থ কক্ষকের ইলেকট্রন বিন্যাস (ভূমিস্তর)

| প্রথম সারি | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Sc | Ti | V | Cr | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn |
| *Z* | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| 4*s* | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| 3*d* | 1 | 2 | 3 | 5 | 5 | 6 | 7 | 8 | 10 | 10 |

দ্বিতীয় সারি

| | Y | Zr | Nb | Mo | Tc | Ru | Rh | Pd | Ag | Cd |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $Z$ | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 |
| $5s$ | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 2 |
| $4d$ | 1 | 2 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 10 | 10 | 10 |

তৃতীয় সারি

| | La | Hf | Ta | W | Re | Os | Ir | Pt | Au | Hg |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $Z$ | 57 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 |
| $6s$ | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| $5d$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 9 | 10 | 10 |

চতুর্থ সারি

| | Ac | Rf | Db | Sg | Bh | Hs | Mt | Ds | Rg | Cn |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $Z$ | 89 | 104 | 105 | 106 | 107 | 108 | 109 | 110 | 111 | 112 |
| $7s$ | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| $6d$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 10 | 10 |

Zn, Cd, Hg এবং Cn -এর সর্ববহিঃস্থ কক্ষকের ইলেকট্রন বিন্যাসকে $(n-1)d^{10}ns^2$ সাধারণ সংকেত দ্বারা প্রকাশ করা হয়। এই সমস্ত মৌলের কক্ষকগুলোর ভূমিস্তর এমনকি স্বাভাবিক জারণস্তরও ইলেকট্রন দ্বারা পূর্ণ থাকে। তাই এদের সন্ধিগত মৌল হিসেবে বিবেচনা করা হয় না।

অন্যান্য কক্ষকসমূহের (অর্থাৎ $s$ ও $p$) তুলনায় সন্ধিগত মৌলগুলোর $d$-কক্ষকটি পরমাণুর পরিধির দিকে প্রসারিত হয়ে থাকে বলে এরা যেমন পরিবেশ দ্বারা সহজেই প্রভাবিত হয় তেমনি এরা পারিপার্শ্বিক অণু বা পরমাণুকে প্রভাবিত করে। কোন কোন সময় একটি নির্দিষ্ট $d^n$ ইলেকট্রন বিন্যাসযুক্ত (n = 1 – 9) আয়নসমূহের চৌম্বক এবং ইলেকট্রনীয় (ইলেকট্রোনিক) ধর্ম অনুরূপ হয়। এদের মধ্যে যে সমস্ত মৌলের $d$-কক্ষকটি আংশিকভাবে পূর্ণ থাকে তারা কিছু বিশেষ চরিত্রগত বৈশিষ্ট্যের অধিকারী হয়, যেমন– এরা একাধিক জারণ অবস্থা প্রদর্শন করে, রঙিন আয়ন তৈরী করে এবং বিভিন্ন লিগান্ডের সাথে জটিল আয়ন/যৌগ তৈরিতে অংশগ্রহণ করে।

সন্ধিগত ধাতু এবং এদের যৌগসমূহ অনুঘটন ধর্ম এবং পরাচুম্বকীয় ধর্ম প্রদর্শন করে। এইসমস্ত ধর্মাবলি এই অধ্যায়ের পরবর্তী অংশে বিস্তারিতভাবে ব্যাখ্যা করা হয়েছে।

একই অনুভূতিক সারিভুক্ত অন্যান্য মৌলসমূহের তুলনায় সন্ধিগত মৌলের অনুভূমিক সারির মৌলগুলোর ধর্মের মধ্যে অধিকতর সাদৃশ্য লক্ষ্য করা যায়। তবে গ্রুপ ভিত্তিক কিছু সাদৃশ্যও বর্তমান। আমরা প্রথমে এদের সাধারণ বৈশিষ্ট্যসমূহ এবং অনুভূমিক সারি অনুযায়ী এদের সাধারণ প্রবণতাসমূহ (বিশেষ করে $3d$ সারি) সম্পর্কে অধ্যয়ন করব এবং এরপর এদের গ্রুপ ভিত্তিক সাদৃশ্য সমূহের পর্যালোচনা করব।

***নমুনা প্রশ্ন 8.1***

কিসের ভিত্তিতে তুমি বলতে পারবে যে স্কেনডিয়াম ($Z$ = 21) একটি সন্ধিগত মৌল কিন্তু জিঙ্ক সন্ধিগত মৌল নয়?

***সমাধান***

স্কেনডিয়ামের ভূমিস্তর ইলেকট্রন বিন্যাসের ($3d^1$) $d$-কক্ষকটি ইলেকট্রন দ্বারা আংশিকভাবে পূর্ণ থাকে তাই স্কেনডিয়াম একটি সন্ধিগত মৌল। অপরপক্ষে, জিঙ্কের ক্ষেত্রে ভূমিস্তর ইলেকট্রন বিন্যাসে এবং জারিত অবস্থার ইলেকট্রন বিন্যাসে $d$ -কক্ষকটি ($3d^{10}$) ইলেকট্রন দ্বারা পূর্ণ থাকে, তাই জিঙ্ককে সন্ধিগত মৌলের অন্তর্ভুক্ত করা হয়নি।

## বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলি

8.1 সিলভার পরমাণুর ভূমিস্তর ইলেকট্রন বিন্যাসে $d$-কক্ষকটি ইলেকট্রন দ্বারা পূর্ণ থাকে ($4d^{10}$)। তুমি কী করে বলবে যে সিলভার একটি সন্ধিগত মৌল?

পরবর্তী অনুচ্ছেদটিতে আমরা প্রথম সন্ধিগত সারির মৌলসমূহের শুধুমাত্র ভৌতধর্মাবলি সম্বন্ধে আলোচনা করবো।

## 8.3 সন্ধিগত মৌলসমূহের সাধারণ ধর্মাবলী ($d$-ব্লক)

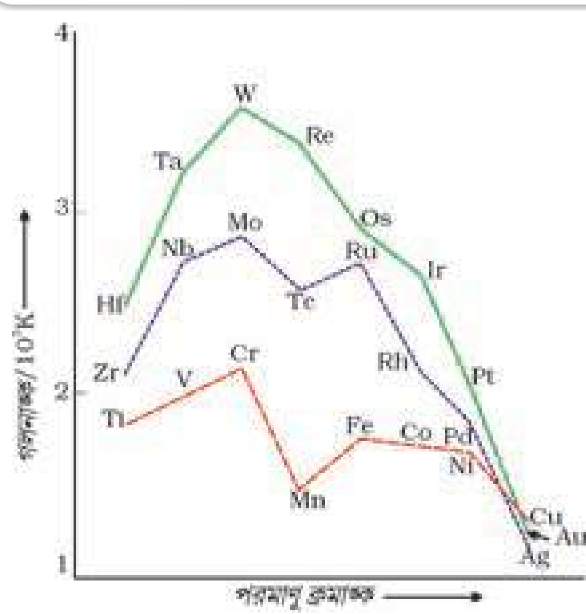
### 8.3.1 ভৌতধর্মাবলি

প্রায় সমস্ত সন্ধিগত মৌলই সাধারণ ধাতব ধর্মগুলো প্রদর্শন করে, যেমন এদের উচ্চ প্রসারণ ক্ষমতা নমনীয়তা, ঘাতসহ প্রবণতা, উচ্চ তাপ ও তড়িৎ পরিবাহীতা এবং ধাতব দ্যুতি থাকে। Zn, Cd, Hg এবং Mn ব্যতীত, সাধারণ উষ্ণতায় তাদের এক বা একাধিক আদর্শ ধাতব গঠন দেখা যায়।

সন্ধিগত মৌলসমূহের জালকগঠন (ল্যাটিস গঠন)

| Sc | Ti | V | Cr | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| hcp (bcc) | hcp (bcc) | bcc | bcc | X (bcc, ccp) | bcc (hcp) | ccp (hcp) | ccp | ccp | X (hcp) |
| **Y** | **Zr** | **Nb** | **Mo** | **Tc** | **Ru** | **Rh** | **Pd** | **Ag** | **Cd** |
| hcp (bcc) | hcp (bcc) | bcc | bcc | hcp | hcp | ccp | ccp | ccp | X (hcp) |
| **La** | **Hf** | **Ta** | **W** | **Re** | **Os** | **Ir** | **Pt** | **Au** | **Hg** |
| hcp (ccp,bcc) | hcp (bcc) | bcc | bcc | hcp | hcp | ccp | ccp | ccp | X |

*(bcc = বডি সেন্টার্ড কিউবিক; hcp = হেক্সাগোনাল ক্লোজ্যড় প্যাক্‌ড; ccp = কিউবিক ক্লোজড প্যাক্‌ড; X = ধাতব বৈশিষ্ট্যসূচক গঠন)*

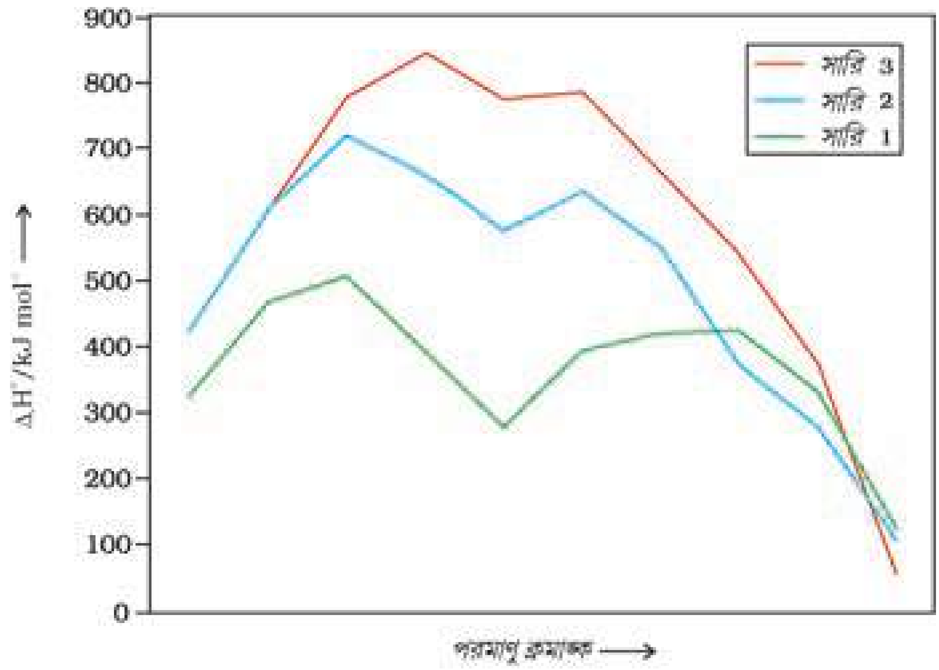



*চিত্র 8.1: সন্ধিগত মৌলের গলনাঙ্কের প্রবণতা*

সন্ধিগত মৌলগুলোর (ব্যতিক্রম Zn, Cd এবং Hg) খুবই শক্ত প্রকৃতির এবং অপেক্ষাকৃত কম উদ্বায়ী প্রকৃতির হয়। এদের গলনাংক ও স্ফুটনাঙ্ক উচ্চ হয়। চিত্র 8.1-এ 3$d$, 4$d$ এবং 5$d$ সারির অন্তর্গত সন্ধিগত মৌলসমূহের গলনাংকের রেখাচিত্র প্রদর্শন করা হয়েছে। আন্তঃপারমাণবিক ধাতব বন্ধন গঠনে n$s$-কক্ষকের ইলেকট্রনের পাশাপাশি অধিকতর সংখ্যক (n-1)$d$-কক্ষকের ইলেকট্রনের অংশগ্রহণের কারণেই এই সমস্ত ধাতুর গলনাংক উচ্চ হয়। Mn এবং Tc ব্যতীত সন্ধিগত মৌল সমূহের গলনাঙ্কের মান যে কোনোও সারির $d^5$ বিন্যাসে সর্বাধিক হয়, এরপর পরমাণু ক্রমাঙ্ক বৃদ্ধির সাথে সাথে কমতে থাকে। এদের পরমাণু গঠন এন্‌থ্যালপির (atomisation enthalpy) মান উচ্চ হয় যা চিত্র 8.2 তে দেখানো হয়েছে। প্রত্যেক সারির ক্ষেত্রে রেখাচিত্রগুলো প্রায় মাঝামাঝি অঞ্চলে শীর্ষবিন্দুতে পৌছায়, যার থেকে বোঝা যায় যে প্রতিটি $d$ -কক্ষকে একটি করে অযুগ্ম ইলেকট্রনযুক্ত সন্ধিগত মৌলগুলো সহজে

আন্তঃপারমাণবিক মিথষ্ক্রিয়া সম্পন্ন করতে পারে। সাধারণভাবে বলতে গেলে, যোজক ইলেকট্রন সংখ্যা বৃদ্ধি পেলে গঠিত বন্ধনের শক্তিও বৃদ্ধি পায়। ধাতুর প্রমাণ তড়িৎদ্বার বিভব নির্ণয়ের ক্ষেত্রে পরমাণুগঠন এনথ্যালপি একটি গুরুত্বপূর্ণ শর্ত হওয়ায় উচ্চ পরমাণু গঠন এনথ্যালপি বিশিষ্ট ধাতুগুলো (অর্থাৎ খুবই উচ্চ গলনাংকবিশিষ্ট ধাতু) রাসায়নিক বিক্রিয়া সংঘটনের ক্ষেত্রে নোবেল গ্যাসের মতো আচরণ করে (পরবর্তী সময়ে তড়িৎদ্বার বিভবের প্রবণতা সম্বন্ধীয় আলোচনাটি দেখতে পাবে)।

চিত্র 8.2 থেকে আরেকটি সিদ্ধান্তে নেওয়া যেতে পারে, সেটি হল প্রথম সন্ধিগত সারির মৌলগুলোর তুলনায় দ্বিতীয় এবং তৃতীয় সন্ধিগত সারির মৌলসমূহের পরমাণু-গঠন এন্‌থ্যালপি আপেক্ষাকৃত বেশী হয়, অধিক পরমাণু ক্রমাঙ্ক বিশিষ্ট সন্ধিগত ধাতু সমূহের ক্ষেত্রে অধিক সংখ্যায় ধাতু-ধাতু বন্ধন দেখতে পাওয়ার পেছনে এটি একটি গুরুত্বপূর্ণ শর্ত।

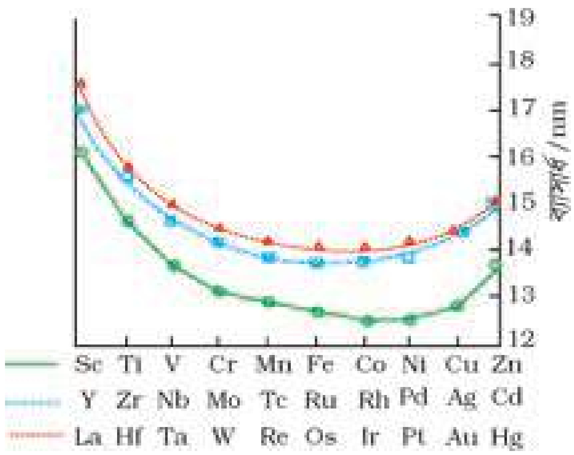



*চিত্র 8.2 ঃ বিভিন্ন সন্ধিগত সারির মৌলসমূহের পারমাণবিক ব্যাসার্ধের প্রবণতা*

### 8.3.2 সন্ধিগত মৌলসমূহের পারমানবিক এবং আয়নীয় আকারের পরিবর্তন

সাধারণত একটি নির্দিষ্ট সন্ধিগত সারির সমআধানযুক্ত আয়নগুলোর ক্ষেত্রে পরমাণুক্রমাঙ্ক বৃদ্ধির সাথে আয়নীয় ব্যাসার্ধ ক্রমশ হ্রাস পায়। এর কারণ হল প্রতিটি ক্ষেত্রে নিউক্লীয়াসের আধান এক একক করে বৃদ্ধির সাথে সাথে $d$ -কক্ষকে একটি করে নতুন ইলেকট্রন প্রবেশ করে। স্মরণ করা যেতে পারে যে $d$ -ইলেকট্রনের ক্ষেত্রে আবরণী প্রভাব ততটা কার্যকরী হয় না, তাই নিউক্লীয় আধান এবং সর্ববহিঃস্থ কক্ষকের ইলেকট্রনগুলোর মধ্যকার স্থিরতড়িৎ আকর্ষণ বৃদ্ধি পায় এবং আয়নীয় ব্যাসার্ধ হ্রাস পায়। নির্দিষ্ট যে কোন একটি সারির মৌলগুলোর পারমাণবিক ব্যাসার্ধের ক্ষেত্রেও একই প্রবণতা লক্ষ্য করা যায়। তবে একটি সারির মধ্যে এই পরিবর্তন খুবই কম। একটি সারির বিভিন্ন মৌলের পারমাণবিক আকারের সাথে অপর কোন একটি সারির মৌলগুলোর পারমাণবিক আকারের তুলনা করলে একটি মজার ঘটনা লক্ষ্য করা যায়। চিত্র. 8.3-র লেখচিত্রগুলো থেকে দেখা যাচ্ছে যে প্রথম ($3d$) সারির মৌলগুলোর আয়নীয়/পারমাণবিক ব্যাসার্ধ্যের মান দ্বিতীয় ($4d$) সারির মৌলগুলো থেকে যথেষ্ট পরিমাণে বৃদ্ধি পেয়েছে। কিন্তু তৃতীয় ($5d$) সারির মৌলগুলোর আয়নীয়/পারমাণবিক ব্যাসার্ধের মান দ্বিতীয় ($4d$) সারির মৌলগুলোর প্রায় সমান। এই ঘটনাটি থেকে প্রমাণিত হয় যে $5d$ সারির মৌলগুলোতে ইলেকট্রন পূর্তি শুরু করার পূর্বে অবশ্যই $4f$ কক্ষকটি ইলেকট্রন দ্বারা পূর্ণ করতে হবে। $5d$ কক্ষকের পূর্বে $4f$ কক্ষকটিকে ইলেকট্রন দ্বারা পূর্ণ করার ফলে পারমাণবিক ব্যাসার্ধের যে ধারাবাহিক অবনমন পরিলক্ষিত হয়, তাকেই ল্যান্থানয়েড সংকোচন বলা হয় এবং স্বাভাবিকভাবেই এটি পরমাণু ক্রমাঙ্ক বৃদ্ধির সাথে

পারমাণবিক আকারের বৃদ্ধির ঘটনাটিকে প্রতিহত করে। ল্যান্থানয়েড সংকোচনের সামগ্রিক ফলস্বরূপ দ্বিতীয় এবং তৃতীয় সারির সন্ধিগত মৌলগুলোর পারমাণবিক ব্যাসার্ধ্য খুব কাছাকাছি হয় (যেমন-Zr 160 pm, Hf 159 pm) এবং সাধারণত একই গ্রুপের সদস্য মৌলগুলোর মধ্যে শ্রেণি সম্পর্কের ভিত্তিতে ধর্মের যতটা সাদৃশ্য আশা করা যায়, ল্যান্থানয়েড মৌলগুলো তার চেয়েও অনেক বেশী সাদৃশ্য প্রদর্শন করে।




*চিত্র 8.3: বিভিন্ন সন্ধিগত সারির মৌলসমূহের পারমাণবিক ব্যাসার্ধের প্রবণতা*

একটি সাধারণ সন্ধিগত সারির মৌলগুলোর আকার নির্ণয়ের ক্ষেত্রে যে শর্তগুলোর প্রভাব লক্ষকরা যায়, ল্যান্থনয়েড সংকোচনের ক্ষেত্রেও অনুরূপ শর্তের প্রভাব লক্ষ্য করা যায় এবং অনুরূপ কারণেই ল্যান্থানয়েড সংকোচন সংগঠিত হয় বলে মনে করা হয় অর্থাৎ একটি নির্দিষ্ট সেটের কক্ষকগুলোর অন্তর্গত একটি ইলেকট্রন অন্যটিকে সঠিকভাবে আবৃত করে রাখতে পারে না–একেই ল্যান্থনয়েড সংকোচনের মুল কারণ হিসেবে মনে করা হয়। $d$-কক্ষকে উপস্থিত একটি ইলেকট্রনকে অন্য একটি ইলেকট্রন যতটা আবৃত করে রাখে $4f$ -কক্ষকে উপস্থিত একটি ইলেকট্রনকে অন্য একটি ইলেকট্রন তার চেয়ে কম পরিমাণে আবৃত করে এবং সারি বরাবর অগ্রসর হলে নিউক্লিয়াসের আধান বৃদ্ধি পায় বলে স্বাভাবিক নিয়মেই সমগ্র $4f^n$ কক্ষকগুলোর আকারও ক্রমশঃ হ্রাস পেতে থাকে।

এই মৌলগুলোর পারমাণবিক গুরুত্ব বৃদ্ধির বিষয়টির সাথে ধাতব ব্যাসার্ধ্য হ্রাস পাবার বিষয়টি যুক্ত হবার ফলস্বরূপ এই সব মৌলের ঘনত্বও স্বাভাবিকভাবেই বৃদ্ধি পায়। তাই টাইটেনিয়াস (Z = 22) থেকে কপার (Z = 29) পর্যন্ত ঘনত্বের উল্লেখযোগ্য পরিমাণে বৃদ্ধি পাবার বিষয়টির প্রতি নজর দেয়া যেতে পারে (সারণি 8.2)।

সারণি 8.2 ঃ প্রথম সারির সন্ধিগত মৌলসমূহের ইলেকট্রন বিন্যাস এবং অন্যান্য কিছু ধর্মাবলি।

| মৌল | | Sc | Ti | V | Cr | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| পরমাণুক্রমাঙ্ক | | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| ইলেকট্রন বিন্যাস | | | | | | | | | | | |
| | M | $3d^1 4s^2$ | $3d^2 4s^2$ | $3d^3 4s^2$ | $3d^5 4s^1$ | $3d^5 4s^2$ | $3d^6 4s^2$ | $3d^7 4s^2$ | $3d^8 4s^2$ | $3d^{10} 4s^1$ | $3d^{10} 4s^2$ |
| | $M^+$ | $3d^1 4s^1$ | $3d^2 4s^1$ | $3d^3 4s^1$ | $3d^5$ | $3d^5 4s^1$ | $3d^6 4s^1$ | $3d^7 4s^1$ | $3d^8 4s^1$ | $3d^{10}$ | $3d^{10} 4s^1$ |
| | $M^{2+}$ | $3d^1$ | $3d^2$ | $3d^3$ | $3d^4$ | $3d^5$ | $3d^6$ | $3d^7$ | $3d^8$ | $3d^9$ | $3d^{10}$ |
| | $M^{3+}$ | [Ar] | $3d^1$ | $3d^2$ | $3d^3$ | $3d^4$ | $3d^5$ | $3d^6$ | $3d^7$ | – | – |
| পরমাণু গঠন এন্থ্যালপি $\Delta_a H^\ominus$/kJ mol$^{-1}$ | | 326 | 473 | 515 | 397 | 281 | 416 | 425 | 430 | 339 | 126 |
| আয়নন এন্থ্যালপি/$\Delta_i H^\ominus$/kJ mol$^{-1}$ | | | | | | | | | | | |
| $\Delta_i H^\ominus$ | I | 631 | 656 | 650 | 653 | 717 | 762 | 758 | 736 | 745 | 906 |
| $\Delta_i H^\ominus$ | II | 1235 | 1309 | 1414 | 1592 | 1509 | 1561 | 1644 | 1752 | 1958 | 1734 |
| $\Delta_i H^\ominus$ | III | 2393 | 2657 | 2833 | 2990 | 3260 | 2962 | 3243 | 3402 | 3556 | 3837 |
| ধাতব/আয়নীয় ব্যাসার্ধ/pm | M | 164 | 147 | 135 | 129 | 137 | 126 | 125 | 125 | 128 | 137 |
| | $M^{2+}$ | – | – | 79 | 82 | 82 | 77 | 74 | 70 | 73 | 75 |
| | $M^{3+}$ | 73 | 67 | 64 | 62 | 65 | 65 | 61 | 60 | – | – |
| প্রমাণ তড়িৎদ্বার বিভব $E^\ominus$/V | $M^{2+}/M$ | – | –1.63 | –1.18 | –0.90 | –1.18 | –0.44 | –0.28 | –0.25 | +0.34 | -0.76 |
| | $M^{3+}/M^{2+}$ | – | –0.37 | –0.26 | –0.41 | +1.57 | +0.77 | +1.97 | – | – | – |
| ঘনত্ব/g cm$^{-3}$ | | 3.43 | 4.1 | 6.07 | 7.19 | 7.21 | 7.8 | 8.7 | 8.9 | 8.9 | 7.1 |

সন্ধিগত মৌলগুলোর পরমাণু গঠন এন্থ্যালপি (enthalpies of atomisation) উচ্চ হয় কেন?

***নমুনা প্রশ্ন 8.2***

***সমাধান***

এদের মধ্যে অধিক সংখ্যক অযুগ্ম ইলেকট্রন থাকে বলে এদের মধ্যে আন্তঃপারমাণবিক মিথোষ্ক্রিয়া অপেক্ষাকৃত বেশী হয় এবং তাই অণুগুলোর মধ্যে শক্তিশালী বন্ধন গঠিত হয়, ফলস্বরূপ এদের পরমাণু গঠন এন্থ্যালপির মানও উচ্চ হয়।

**বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলি**

**8.2** Sc ($Z$ = 21) to Zn থেকে Zn ($Z$ = 30), পর্যন্ত সন্ধিগত সারিটিতে জিঙ্কের (পরমাণু গঠন এনথ্যালপির) মনে enthalpies of atomisation সবচেয়ে কম অর্থাৎ 126 kJ $mol^{-1}$ হয় কেন?

### 8.3.3 আয়নায়ন এনথ্যালপি

ভিতরের $d$ কক্ষকে ইলেকট্রন প্রবেশ করার মাধ্যমে নিউক্লীয় আধান বৃদ্ধি পাবার ফলে প্রতিটি সন্ধিগত সারির বাম দিক থেকে ডান দিয়ে অগ্রসর হলে আয়নায়ন এন্থ্যালপি ক্রমশঃ বৃদ্ধি পায়। সারণি 8.2 তে প্রথম সন্ধিগত সারির মৌলসমূহের প্রথম, দ্বিতীয় এবং তৃতীয় আয়নায়ন এন্থ্যালপির মানগুলো দেওয়া আছে। মানগুলো থেকে দেখা যাচ্ছে সন্ধিগত মৌল নয় এমন একটি মৌলের আয়নায়ন এন্থ্যালপির সাথে পরবর্তী মৌলটির আয়নায়ন এন্থ্যালপির যে পরিমাণ ব্যবধান লক্ষ্য করা যায় সন্ধিগত মৌলের ক্ষেত্রে পরবর্তী মৌলটির সাথে আয়নায়ন এন্থ্যালপির মানের ততটা পার্থক্য থাকে না। একই সারিযুক্ত সন্ধিগত মৌল নয় এমন মৌলদের আয়নায়ন এন্থ্যালপির মানের মধ্যে যে পরিমাণ পরিবর্তন লক্ষ্য করা যায় সন্ধিগত মৌলের ক্ষেত্রে তার চেয়ে অনেক কম পরিবর্তন লক্ষ্য করা যায়। সাধারণত প্রথম আয়নায়ন এন্থ্যালপির মান স্বাভাবিকভাবে বৃদ্ধি পায়। সারি বরাবর অগ্রসর হলে মৌলগুলোর ক্রম অনুযায়ী দ্বিতীয় ও তৃতীয় আয়নিভবন বিভবের মান অধিক হয়।

$3d$ -সারির ধাতু সমূহের $ns$ কক্ষ থেকে একটি ইলেকট্রন নির্গত হওয়ার ফলে $3d$ এবং $4s$ কক্ষকগুলোর মধ্যে শক্তির যে অপেক্ষিক পরিবর্তন ঘটে তার জন্যই প্রথম আয়নায়ন এন্থ্যালপির অনিয়মিত প্রবণতা লক্ষ্য করা যায়, যদিও এর রাসায়নিক তাৎপর্য খুবই নগন্য। তোমরা এটা জানো যে $d$--ব্লক মৌলগুলোর যখন আয়ন তৈরি করে তখন $(n - 1)$ $d$ কক্ষকটির পূর্বে $ns$ কক্ষ থেকে ইলেকট্রন নির্গত হয়। আমরা $3d$ সারির মৌলগুলোর ক্ষেত্রে পর্যায় বরাবর অগ্রসর হলে দেখতে পাই যে স্ক্যানডিয়াম থেকে জিঙ্ক পর্যন্ত নিউক্লীয় আধান বৃদ্ধি পেতে থাকে কিন্তু ভিতরের কক্ষক অর্থাৎ $3d$ কক্ষকে ইলেকট্রনগুলো প্রবেশ করে। সর্ববহিস্থ কক্ষের ইলেকট্রনগুলো একে অপরকে যতটা আবৃত করে রাখতে পারে তার চাইতে এই $3d$ ইলেকট্রনসমূহ $4s$ ইলেকট্রনকে কিছুটা হলেও বর্ধিত নিউক্লীয় আধান থেকে আবৃত করে রাখতে পারে। একারণেই পারমাণবিক ব্যসার্ধ্য তুলনামূলক ভাবে কম হ্রাস পায়। তাই $3d$ সারি বরাবর অগ্রসর হলে আয়নায়ন শক্তি সামান্য পরিমাণে বৃদ্ধি পায়। দুই বা তার বেশী আধানযুক্ত $d^n$ বিন্যাসে কোনোও $4s$ ইলেকট্রন থাকে না। স্বাভাবিকভাবেই দ্বিতীয় আয়নায়ন এন্থ্যালপির মান ক্রমানুসারে বৃদ্ধি পাবার কথা কেননা $d$-কক্ষকগুলোর দিক-বিন্যাস একরকম হয় না বলে একটি $d$-কক্ষক অপর $d$ -কক্ষকের ইলেকট্রনকে নিউক্লীয়াসের আধান থেকে আবৃত করে রাখতে পারে না। তবে দ্বিতীয় এবং তৃতীয় আয়নায়ন এন্থ্যালপির ধারাবাহিক বৃদ্ধির প্রবণতাটি যথাক্রমে $Mn^{2+}$ এবং $Fe^{3+}$ আয়ন তৈরি করার ক্ষেত্রে ব্যতিক্রমী নিয়ম অনুধাবন করে। দুটো আয়নের ক্ষেত্রেই $d^5$ ইলেকট্রন বিন্যাস লক্ষ্য করা যায়। একই ধরনের ব্যতিক্রম পরবর্তী সন্ধিগত সারির সংশ্লিষ্ট মৌলগুলোর ক্ষেত্রেও লক্ষ্য করা যায়।

$d^n$ - ইলেকট্রন বিন্যাসযুক্ত মৌলগুলোর আয়নায়ন এন্থ্যালপি মানের পরিবর্তনের ব্যখ্যা নিম্নে দেওয়া হলো ঃ

যে তিনটি বিষয়ের উপর আয়নায়ন এন্থ্যালপির মান নির্ভর করে সেগুলো হলো নিউক্লীয়াস এবং প্রতিটি ইলেকট্রনের মধ্যকার আকর্ষণ বল, ইলেকট্রনসমূহের নিজেদের মধ্যকার বিকর্ষণ বল, এবং শক্তির

হস্তান্তর। শক্তিস্তরগুলোর স্থায়ীত্বের উপর শক্তির বিনিময়ের প্রভাব রয়েছে। সমশক্তিসম্পন্ন কক্ষকগুলোতে একই ঘূর্ণনযুক্ত (প্যারালাল স্পিন) ইলেকট্রনের যত সংখ্যক জোড়া উপস্থিত থাকে তার সাথে শক্তির হস্তান্তরের পরিমাণের প্রায় সমানুপাতিক সম্পর্ক রয়েছে। সমশক্তিসম্পন্ন কক্ষকগুলোর যে সেটটিতে সর্বাধিক সংখ্যক অযুগ্ম এবং একই ঘূর্ণনযুক্ত ইলেকট্রন থাকবে সেটিই হবে সর্বনিম্ন শক্তিস্তরের সেট (হুন্ডের নিয়ম)। শক্তির বিনিময় শক্তি স্তরের স্থায়িত্বতার জন্য দায়ী। শক্তিস্তরের স্থায়ীত্বের বৃদ্ধির ফলে আয়ন তৈরি করার প্রক্রিয়াটি (আয়নাইজেশন) আরো কঠিন হয়ে পড়ে। $d^6$ বিন্যাসের ক্ষেত্রে শক্তির বিনিময়ের পরিমাণ হ্রাস পায় না। $Mn^+$ আয়নের ইলেকট্রন বিন্যাস $3d^54s^1$ এবং $Cr^+$ আয়নের ক্ষেত্রে বিন্যাসটি হল $d^5$, তাই $Cr^+$ আয়ন থেকে $Mn^+$ আয়নের আয়নায়ন এন্থ্যালপি কম হয়। অনুরূপভাবে $Fe^{2+}$ আয়নের ইলেকট্রন বিন্যাসটি হল $d^6$ এবং $Mn^{2+}$ আয়নের ক্ষেত্রে বিন্যাসটি হল $3d^5$। একারণেই $Mn^{2+}$ আয়ন থেকে $Fe^{2+}$ আয়নের আয়নায়ন এন্থ্যালপি কম হয়। অন্যভাবে বললে আমরা এটা বলতেই পারি যে Mn থেকে Fe-এর তৃতীয় আয়নায়ন এন্থ্যালপির মান কম হয়।

সন্ধিগত ধাতুসমূহের সর্বনিম্ন সাধারণ জারণ স্তরটি হলো +2, গ্যাসীয় অবস্থার পরমাণু থেকে $M^{2+}$ আয়ন তৈরি করার জন্য পরমাণু-গঠন এনথ্যালপির পাশাপাশি প্রথম এবং দ্বিতীয় আয়নায়ন এন্থ্যালপির সমষ্টিগত মানেরও প্রয়োজন হয়। Cr এবং Cu -এর ক্ষেত্রে প্রভাবশালী বিষয়টি হলো দ্বিতীয় আয়নায়ন এন্থ্যালপি, কেননা এদের ক্ষেত্রে ইলেকট্রন বিন্যাস যথাক্রমে $d^5$ এবং $d^{10}$ হওয়ায় এদের ক্ষেত্রে দ্বিতীয় আয়নায়ন এন্থ্যালপির মান অস্বাভাবিকভাবে বেশী হয়। Zn-এর আয়নায়ন এন্থ্যালপির মান স্বাভাবিকভাবেই কম হয় কেননা আয়নীভবনের ফলে $1s$ কক্ষক থেকে একটি একটি করে ইলেকট্রন নির্গত হয় এবং উৎপন্ন আয়নটি $d^{10}$ স্থায়ী ইলেকট্রন বিন্যাস প্রাপ্ত হয়। তৃতীয় আয়নায়ন এন্থ্যালপির ক্ষেত্রে $4s$ -কক্ষকটি কোন ধরনের জটিলতার সৃষ্টি করে না। $d^5$ ($Mn^{2+}$) এবং $d^{10}$ ($Zn^{2+}$) স্থায়ী বিন্যাসযুক্ত আয়নগুলো থেকে ইলেকট্রন সরানো ভীষণ কষ্টসাধ্য। সাধারণভাবে তৃতীয় আয়নায়ন এন্থ্যালপির মান এই সমস্ত ধাতুগুলোর ক্ষেত্রে খুবই উচ্চ হয়। এইসব ধাতুর পক্ষে 2-এর বেশী জারণস্তর প্রদর্শন করা কেন কষ্টসাধ্য হয় তা কপার, নিকেল এবং জিঙ্কের উচ্চ তৃতীয় আয়নায়ন এন্থ্যালপির মান থেকেই স্পষ্ট বোঝা যায়।

জারণস্তরের আপেক্ষিক স্থায়ীত্বের সম্পর্কে ধারণা পেতে তৃতীয় আয়নায়ন এন্থ্যালপি সহায়তা প্রদর্শন করে, কিন্তু সমস্যাটি একটি জটিল সমস্যা এবং এই সমস্যাটির সমাধানের জন্য কোন সাধারণ নিয়ম এখনো প্রতিষ্ঠা করা যায়নি।

### 8.3.4 জারণ স্তর

সন্ধিগত মৌলসমূহের একটি লক্ষনীয় বৈশিষ্ট্য হলো এরা বিভিন্ন জারণস্তর বিশিষ্ট যৌগ গঠন করে। সারণি 8.3 তে প্রথম সারির সন্ধিগত মৌলের প্রচলিত জারণস্তরগুলো নথিবদ্ধ করা হয়েছে।

সারণি 8.3 ঃ প্রথম সন্ধিগত সারির ধাতু সমূহের জারণস্তর (অধিক প্রচলিত জারণস্তরগুলো মোটা দাগের অক্ষর দ্বারা দেখানো হয়েছে।

| Sc | Ti | V | Cr | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | +2 | +2 | +2 | **+2** | **+2** | **+2** | **+2** | +1 | **+2** |
| +3 | +3 | +3 | **+3** | +3 | **+3** | **+3** | +3 | **+2** | |
| | **+4** | +4 | +4 | +4 | +4 | +4 | +4 | | |
| | | **+5** | +5 | +5 | | | | | |
| | | | **+6** | +6 | +6 | | | | |
| | | | | **+7** | | | | | |

সর্বাধিক সংখ্যক জারণস্তর প্রদর্শনকারী মৌলটি সারির প্রায় মধ্যবর্তী স্থানে অবস্থান করে। উদাহরণস্বরূপ ম্যাঙ্গানিজ মৌলটি +2 থেকে +7 পর্যন্ত সবগুলো জারণস্তর প্রদর্শন করে। প্রান্তীয় মৌলগুলোর কম সংখ্যাক জারণস্তর থাকার কারণ হিসেবে মনে করা হয় যে এদের মধ্যে বর্জন বা ভাগীদারিত্ব করার জন্য খুবই কম সংখ্যক ইলেকট্রন থাকে (Sc, Ti) অথবা যোজ্যতা বেশী হবার কারণে (Cu, Zn) অনেক বেশী *d*-ইলেকট্রন (তাই অন্যদের সাথে ভাগীদারিত্ব করার জন্য কমসংখ্যক কক্ষকের উপস্থিতি) থাকে। একারণেই সারির প্রথম দিকের স্কেনডিয়াম (II)-এর অস্তিত্ব বস্তুত অজানা এবং Ti(II) ও Ti(III) থেকে টাইটেনিয়াম (IV) অধিক স্থায়ী হয়। অন্যদিকে জিঙ্কের একমাত্র জারণস্তরটি হলো +2 (*d* -ইলেকট্রন অংশগ্রহণ করে না)। পরিমিত স্থায়ীত্বসম্পন্ন সর্বাধিক সংখ্যক জারণস্তর প্রদর্শণের ঘটনাটি এই সারিটির ক্ষেত্রে *s* এবং *d* ইলেকট্রনের যোগফলের উপর নির্ভর সরে ম্যাঙ্গানিজ পর্যন্ত অগ্রসর হয় ($Ti^{IV}O_2$, $V^{V}O_2^{+}$, $Cr^{VI}O_4^{2-}$, $Mn^{VII}O_4^{-}$) এরপর উচ্চ জারণস্তরগুলোর স্থায়ীত্ব খুব দ্রুত হ্রাস পায়, একারণেই $Fe^{II,III}$, $Co^{II,III}$, $Ni^{II}$, $Cu^{I,II}$, $Zn^{II}$ইত্যাদির মত বিশেষ জারণস্তরগুলোর প্রতি নজর দেওয়া প্রয়োজন।

সন্ধিগত মৌলের বিভিন্ন জারণস্তর প্রদর্শন করার বিশেষ বেশিষ্ট্য রয়েছে এবং এদের অসম্পূর্ণ *d*-কক্ষকগুলো অসম্পূর্ণভাবে ইলেকট্রন দ্বারা এমনভাবে পূর্ণ হয় যে, একটি জারণস্তর থেকে অপর জারণস্তরের এক একক ব্যবধান থাকে যেমন–$V^{II}$, $V^{III}$, $V^{IV}$, $V^{V}$। সন্ধিগত মৌল নয় এমন মৌলসমূহের ক্ষেত্রে ঘটনাটি বিপরীত হয় এবং বিভিন্ন জারণস্তরগুলোর মধ্যে সাধারণত এক বা দুই একক ব্যবধান থাকে।

*d*–ব্লক মৌলসমূহের জারণস্তর পরিবর্তনের বিষয়টিতে একটি আকর্ষনীয় বৈশিষ্ট্য পরিলক্ষিত হয় এবং এটি চারটি সারির (চারটি সারির 10 টি করে মৌল) ক্ষেত্রেই পরিলক্ষিত হয়। যদিও *p*–ব্লকে ভারী মৌল সমূহ নিম্ন জারণস্তরে অবস্থান করতে পছন্দ করে (নিষ্ক্রিয় ইলেকট্রন জোড় প্রভাব-এর কারণে), কিন্তু *d*–ব্লক মৌলসমূহের গ্রুপের ক্ষেত্রে উল্টো ব্যক্তব্যটি সঠিক। উদাহরণস্বরূপ গ্রুপ- 6-এর অন্তর্গত মৌলগুলোর ক্ষেত্রে দেখা গেছে যে Cr(VI) থেকে Mo(VI) এবং W(VI) -এর স্থায়ীত্ব অনেকবেশী হয়। একারণেই আম্লিক মাধ্যমে ডাইক্রোমেট আয়নের Cr(VI) আয়নটি একটি তীব্র জারক দ্রব্য হয়, কিন্তু $MoO_3$ এবং $WO_3$ জারক দ্রব্য নয়।

কোন জটিল যৌগে σ-বন্ধন গঠনের পাশাপাশি π-ইলেকট্রন গ্রহণে সক্ষম এমন লিগান্ড যদি উপস্থিত থাকে তবেই নিম্ন জারণস্তর লক্ষ করা যায়। উদাহরণস্বরূপ $Ni(CO)_4$ এবং $Fe(CO)_5$ জটিল যৌগসমূহে নিকেল এবং আয়রনের জারণস্তর শূন্য হয়।

***নমুনা প্রশ্ন 8.3***

এমন একটি সন্ধিগত মৌলের নাম লেখো যেটি পরিবর্তনশীল জারণস্তর প্রদর্শন করে না?

***সমাধান***

স্কেডিয়াম (($Z = 21$) ) পরিবর্তনশীল জারণস্তর প্রদর্শন করে না।

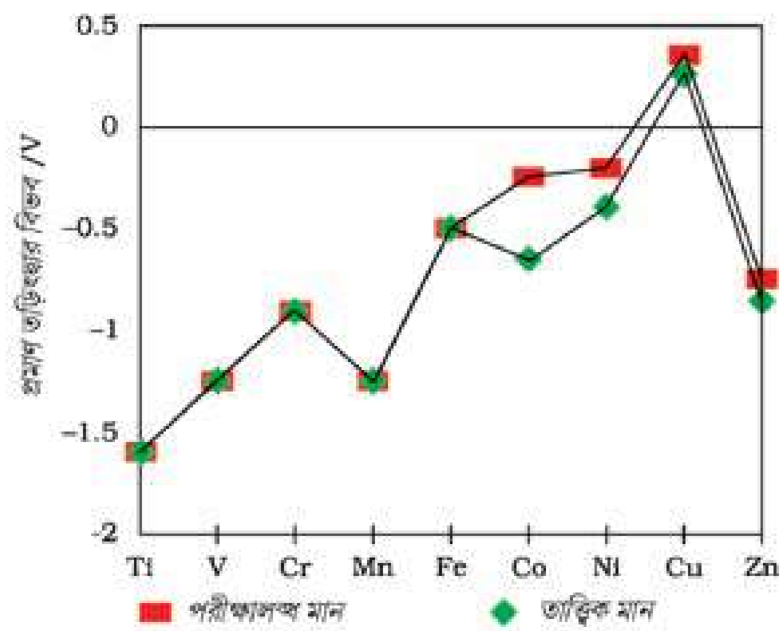
## বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলি

8.3 সন্ধিগত মৌলের 3*d* সারির কোন্ মৌলগুলো অধিকসংখ্যক জারণস্তর প্রদর্শন করবে এবং কেন?

**8.3.5 $M^{2+}$/M ধরনের প্রমাণ তড়িৎদ্বার বিভবের প্রবণতাসমূহ**

দ্রবণের মধ্যে কোন কঠিন ধাতুর $M^{2+}$ আয়নে রূপান্তর এবং তাদের প্রমাণ তড়িৎদ্বার সংক্রান্ত তাপ রাসায়নিক স্থিতিমাপগুলো সারণি 8.4 -এ দেয়া হলো। সারণি 8.4 থেকে প্রাপ্ত $E^\ominus$ এর পরিক্ষালব্ধ এবং তাত্ত্বিক মানগুলোর তুলনা চিত্র 8.4-তে দেখানো হল।

Cu -এর $E^\ominus$ মান ধনাত্মক এবং এই বিশেষ চরিত্রের জন্যই কপার অ্যাসিড থেকে $H_2$ নির্গত করতে পারে না। একমাত্র জারক অ্যাসিড (নাইট্রিক এবং উষ্ণ ও গাঢ় সালফিউরিক) সমূহ Cu-এর সাথে বিক্রিয়া সংঘটিত করে, এবং অ্যাসিডগুলো বিজারিত হয়। Cu(s) থেকে $Cu^{2+}$(aq)-এ রূপান্তর প্রক্রিয়াটির জন্য উচ্চ শক্তির প্রয়োজন এবং এই শক্তি কপারের জলযোজন (হাইড্রেশন) এন্থ্যালপি দ্বারা প্রশমিত হয় না। সাধারণভাবে প্রথম এবং দ্বিতীয় আয়নায়ন এন্থ্যালপির সমষ্টি বৃদ্ধি পায় বলেই সারি বরাবর




*চিত্র 8.4 : প্রমাণ তড়িৎদ্বার বিভবের পরীক্ষালব্ধ মান এবং তাত্ত্বিক মান Ti থেকে Zn মৌলগুলোর ($M^{2+} \rightarrow M^\circ$)*

অগ্রসর হলে $E^\ominus$ মান ক্রমশ কম ঋণাত্মক মানের দিকে অগ্রসর হওয়ার প্রবণতা দেখায়। লক্ষ্য করার মতো মজার ঘটনাটি হল, Mn, Ni এবং Zn -এর ক্ষেত্রে $E^\ominus$ এর মান প্রবণতা অনুযায়ী যতটা ঋণাত্মক হওয়ার কথা তার চেয়ে অধিক ঋণাত্মক হয়।

**নমুনা প্রশ্ন 8.4**

উভয়ই $d^4$ ইলেকট্রন বিন্যাসযুক্ত হওয়া সত্ত্বেও $Cr^{2+}$ বিজারক দ্রব্য এবং $Mn^{3+}$ জারক দ্রব্য কেন?

**সমাধান**

$Cr^{2+}$-র ক্ষেত্রে ইলেকট্রন বিন্যাস $d^4$ থেকে $d^3$ পরিবর্তিত হয় এবং $d^3$ ইলেকট্রন বিন্যাসে $t_{2g}$ স্তরটি অর্ধপূর্ণ থাকে (অধ্যায় *9* দেখো)। অন্যদিকে $Mn^{3+}$ থেকে $Mn^{2+}$ পরিবর্তনের ফলে অর্ধপূর্ণ $d^5$ বিন্যাস পাওয়া যায়, যার অতিরিক্ত স্থায়ীত্ব রয়েছে।

**বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলি**

8.4 কপারের $E^\ominus(M^{2+}/M)$ মান ধনাত্মক (+0.34V) । এর সম্ভাব্য কারণ কি? (সংকেত ঃ এর উচ্চ $\Delta_a H^\ominus$ এবং $\Delta_{hyd} H^\ominus$ -এর নিম্নমানের কথা বিবেচনা করো)

সারণি 8.4: প্রথম সারির সন্ধিগত মৌলসমূহের বিভিন্ন তাপ রাসায়নিক মান (kJ $mol^{-1}$) এবং $M^{II}$ থেকে M -এ বিজারণের ক্ষেত্রে প্রমাণ তড়িৎদ্বার বিভবের মান সমূহ।

| মৌল (M) | $\Delta_a H^\ominus$ (M) | $\Delta_i H^\ominus_1$ | $\Delta_i H^\ominus_2$ | $\Delta_{hyd} H^\ominus (M^{2+})$ | $E^\ominus/V$ |
|---|---|---|---|---|---|
| Ti | 469 | 656 | 1309 | -1866 | -1.63 |
| V | 515 | 650 | 1414 | -1895 | -1.18 |
| Cr | 398 | 653 | 1592 | -1925 | -0.90 |
| Mn | 279 | 717 | 1509 | -1862 | -1.18 |
| Fe | 418 | 762 | 1561 | -1998 | -0.44 |
| Co | 427 | 758 | 1644 | -2079 | -0.28 |
| Ni | 431 | 736 | 1752 | -2121 | -0.25 |
| Cu | 339 | 745 | 1958 | -2121 | 0.34 |
| Zn | 130 | 906 | 1734 | -2059 | -0.76 |

$Mn^{2+}$ আয়নের অর্ধপূর্ণ *d*-কক্ষকের এবং $Zn^{2+}$ আয়নের পূর্ণ $d^{10}$ ইলেকট্রন বিন্যাসের সাথে তাদের $E^\ominus$ মানগুলোর সম্পর্ক রয়েছে, আবার Ni-এর $\Delta_{hyd}H^\ominus$ মানের সাথে $E^\ominus$-এর সর্বোচ্চ মানের মিল রয়েছে।

### 8.3.6 প্রমাণ $M^{3+}/M^{2+}$ তড়িৎদ্বার বিভব মানের প্রবণতা

$E^\ominus(M^{3+}/M^{2+})$ মানগুলো (সারণি 8.2) পর্যবেক্ষণ করলে মানগুলোর মধ্যে পরিবর্তনের ধারা লক্ষ্য করা যায়। $Sc^{3+}$ এর নিম্ন মানটি $Sc^{3+}$ আয়নের স্থায়ীত্ব নির্দেশ করে, যার মধ্যে নোবেল গ্যাসের ইলেকট্রন বিন্যাস পরিলক্ষিত হয়। $Zn^{2+}$ আয়নের ক্ষেত্রে স্থায়ী $d^{10}$ বিন্যাস থেকে একটি ইলেকট্রন অপসারণ করতে হয় বলেই Zn-এর ক্ষেত্রে মানটি সর্বাধিক হয়। Mn -এর অপেক্ষাকৃত উচ্চ মানটি এটাই নির্দেশ করে যে $Mn^{2+}$-এর ক্ষেত্রে $d^5$ বিন্যাসটি যথেষ্ট পরিমাণে স্থায়ী প্রকৃতির। আবার Fe-র অপেক্ষাকৃত নিম্ন মান থেকে বোঝা যায় $Fe^{3+}$ আয়নের $d^5$ বিন্যাসটির অতিরিক্ত স্থায়ীত্ব রয়েছে। V-এর অপেক্ষাকৃত নিম্ন মানটি $V^{2+}$ আয়নের স্থায়ীত্বের সাথে সম্পর্কিত (অর্ধপূর্ণ $t_{2g}$ স্তর, অধ্যায়-9)।

### 8.3.7 উচ্চ জারণস্তর সমূহের স্থায়ীত্বের প্রবণতা

সারণি 8.5-এ 3*d* সারির সন্ধিগত ধাতুসমূহের স্থায়ী হ্যালাইডসমূহ দেখানো হল। $TiX_4$ (চতুঃস্তলকীয়), $VF_5$ এবং $CrF_6$ -এর মধ্যে সর্বাধিক জারণ সংখ্যা পরিলক্ষিত হয়। সাধারণ হ্যালাইড যৌগে Mn, +7 জারণস্তর প্রদর্শন করে না তবে $MnO_3F$ যৌগের অস্তিত্ব রয়েছে এবং $FeX_3$ ও $CoF_3$ ছাড়া Mn-এর পর আরো কোন ধাতুর ট্রাই হ্যালাইড যৌগের অস্তিত্ব জানা নেই।$CoF_3$-এর ক্ষেত্রে উচ্চতর জালকশক্তি এবং উচ্চতর সমযোজী যৌগগুলোর (যেমন $VF_5$ এবং $CrF_6$) বন্ধন বিয়োজন শক্তি বেশী হওয়ার জন্যই ফ্লুরিনের যৌগগুলোর স্থায়িত্বতা প্রদানে বিশেষ ভূমিকা রয়েছে।

যদিও $V^{+5}$-কে $VF_5$ দ্বারা বোঝানো হয়, তবে ভ্যানাডিয়ামের অন্যান্য হ্যালাইড আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়ে অক্সোহ্যালাইড, $VOX_3$ উৎপন্ন করে। ফ্লুরাইডের অন্য একটি বৈশিষ্ট্য হল নিম্ন জারণস্তরের যৌগগুলো যেমন $VX_2$ (X = CI, Br বা I) দুঃস্থিত এবং CuX এর ক্ষেত্রে ও এটি প্রযোজ্য।

সারণি 8.5 ঃ 3*d* সারি ধাতুর হ্যালাইডসমূহের সংকেত

| জারণ সংখ্যা | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| + 6 | | | $CrF_6$ | | | | | | |
| + 5 | | $VF_5$ | $CrF_5$ | | | | | | |
| + 4 | $TiX_4$ | $VX^I_4$ | $CrX_4$ | $MnF_4$ | | | | | |
| + 3 | $TiX_3$ | $VX_3$ | $CrX_3$ | $MnF_3$ | $FeX^I_3$ | $CoF_3$ | | | |
| + 2 | $TiX_2^{III}$ | $VX_2$ | $CrX_2$ | $MnX_2$ | $FeX_2$ | $CoX_2$ | $NiX_2$ | $CuX_2^{II}$ | $ZnX_2$ |
| + 1 | | | | | | | | $CuX^{III}$ | |

*সূত্র* : X = F → I; $X^I$ = F → Br; $X^{II}$ = F, CI; $X^{III}$ = CI → I

অন্যদিকে আয়োডাইড ছাড়া অন্য সবগুলো $Cu^{II}$ হ্যালাইড যৌগের অস্তিত্ব রয়েছে। আয়োডাইড যৌগের ক্ষেত্রে $Cu^{2+}$ আয়ন $I^-$ আয়নকে $I_2$ -তে জারিত করে ঃ

$$2Cu^{2+} + 4I^- \rightarrow Cu_2I_2\,(s) + I_2$$

আবার বেশীরভাগ কপার (I) যৌগগুলো জলীয় দ্রবণে স্থায়ী হয় না এবং অসমঞ্জস্য বিক্রিয়া প্রদর্শন করে।

$$2Cu^+ \rightarrow Cu^{2+} + Cu$$

$Cu^{2+}$ আয়নের ঋণাত্বক $\Delta_{hyd}H^\ominus$ মান $Cu^+$ আয়ন থেকে অনেক বেশী হয় বলেই $Cu^+(aq)$ আয়নের স্থায়ীত্ব $Cu^{1+}$ (aq) আয়ন থেকে বেশী হয়, এছাড়াও $\Delta_{hyd}H^\ominus$-এর এই ঋণাত্বক মান Cu-এর দ্বিতীয় আয়নায়ন এন্থ্যালপি থেকে অনেক বেশী হয়।

সন্ধিগত মৌলগুলোর সর্বোচ্চ জারণস্তরটির স্থায়ীত্ব প্রদানের ক্ষেত্রে অক্সিজেনের অবদানের বিষয়টি এদের অক্সাইড যৌগসমূহ দ্বারা বর্ণনা করা যায়। অক্সাইড যৌগগুলোতে ধাতব মৌলের সর্বোচ্চ জারণ সংখ্যা, সংশ্লিষ্ট ধাতুটির গ্রুপ সংখ্যার সঙ্গে সমান হয় (সারণি 8.6) এবং $Sc_2O_3$ থেকে ক্রমশঃ বৃদ্ধি পেয়ে $Mn_2O_7$ এ এসে সর্বোচ্চ মানটি উপলব্ধ হয়। গ্রুপ -7 এর পর আয়রন $Fe_2O_3$ অপেক্ষা উচ্চতর অক্সাইড গঠন করে না, যদিও বা ক্ষারীয় মাধ্যমে ফেরেট VI আয়ন $(FeO_4)^{2-}$ গঠিত হয়, তবে সেটি দ্রুত বিয়োজিত হয়ে $Fe_2O_3$ এবং $O_2$ তে রূপান্তরিত হয়। অক্সাইড যৌগগুলোর পাশাপাশি অক্সোক্যাটায়ন সমূহও উচ্চতর জারণ স্তরগুলোকে স্থায়ীত্ব প্রদান করতে পারে। যেমন–$VO_2^+$ গঠনের মাধ্যমে $V^{IV}$ স্থায়ীত্ব প্রাপ্ত হয়, $TiO^{2+}$ গঠনের মাধ্যমে $Ti^{IV}$ জারণ স্তরটি স্থায়ীত্বতা অর্জন করে। এধরনের উচ্চ জারণস্তর সমূহের স্থায়ীত্ব প্রদানের ক্ষেত্রে অক্সিজেনের দক্ষতা ফ্লুরিন থেকেও বেশী। একারণেই Mn-এর সর্বোচ্চ ফ্লুরাইড যৌগটি হলো $MnF_4$। কিন্তু সর্বোচ্চ অক্সাইড যৌগটি হল $Mn_2O_7$। ধাতুর সঙ্গে বহুবন্ধন গঠন করার বিশেষ প্রবণতার দ্বারা অক্সিজেনের অধিক দক্ষতা ব্যাখ্যা করা যায়। সমযোজী অক্সাইড $Mn_2O_7$-এ প্রত্যেকটি Mn চতুঃস্তলকীয়ভাবে অক্সিজেন দ্বারা ঘিরে থাকে এবং সঙ্গে একটি Mn–O–Mn সেতুবন্ধন থাকে। $V^V$, $Cr^{VI}$, $Mn^V$, $Mn^{VI}$ এবং $Mn^{VII}$-এর ক্ষেত্রে এ ধরনের চতুঃস্তলকীয় $[MO_4]^{n-}$ আয়নের অস্তিত্ব জানা গেছে।

**সারণি 8.6: 3d সারির ধাতুর অক্সাইডসমূহ**

| জারণ সংখ্যা | গ্রুপ 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| + 7 | | | | | $Mn_2O_7$ | | | | | |
| + 6 | | | | $CrO_3$ | | | | | | |
| + 5 | | | $V_2O_5$ | | | | | | | |
| + 4 | | $TiO_2$ | $V_2O_4$ | $CrO_2$ | $MnO_2$ | | | | | |
| + 3 | $Sc_2O_3$ | $Ti_2O_3$ | $V_2O_3$ | $Cr_2O_3$ | $Mn_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | | | | |
| | | | | | $Mn_3O_4$* | $Fe_3O_4$* | $Co_3O_4$* | | | |
| + 2 | | TiO | VO | (CrO) | MnO | FeO | CoO | NiO | CuO | ZnO |
| + 1 | | | | | | | | | $Cu_2O$ | |

* *মিশ্র অক্সাইড*

***নমুনা প্রশ্ন 8.5***

$VO_2^+ < Cr_2O_7^{2-} < MnO_4^-$ জারণ ক্ষমতার এই উর্ধ্বক্রমটিকে তোমরা কীভাবে ব্যাখা করবে?

***সমাধান***

এর কারণ হল এরা বিজারিত হয়ে যে নিম্ন জারণস্তরের ধাতব আয়ন তৈরী করে তাদের স্থায়ীত্ব ক্রমানুসারে বৃদ্ধি পায়।

**বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলী**

8.5 সন্ধিগত মৌলের প্রথম সারিটির আয়নায়ন এন্থ্যালপির (প্রথম এবং দ্বিতীয়) অসম পরিবর্তনের ঘটনাটিকে তোমরা কীভাবে ব্যাখ্যা করবে?

**8.3.8 রসায়নিক সক্রিয়তা এবং $E^{\ominus}$ এর মান**

সন্ধিগত ধাতুসমূহের রাসায়নিক সক্রিয়তার মধ্যে অনেক অসদৃশতা বর্তমান। এদের বেশীর ভাগই যথেষ্ট পরিমাণে তড়িৎধনাত্মক হওয়ায় সহজেই খনিজ অ্যাসিডের মধ্যে দ্রবীভূত হতে পারে, কয়েকটি অবশ্য 'নোবেল' ধাতুর মতো, এগুলো কোন একক অ্যাসিডের সাথে ক্রিয়া করে না।

কপার ব্যতীত প্রথম সারির অন্যান্য ধাতুসমূহের সক্রিয়তা অপেক্ষাকৃত বেশী হয় এবং 1M $H^+$ দ্বারা জারিত হয়, যদিও হাইড্রোজেন আয়ন ($H^+$) -এর মতো এই সমস্ত ধাতুর জারকদ্রব্যের সাথে বিক্রিয়া করার প্রকৃত হার অনেক সময় খুব মন্থর হয়। উদারহরণস্বরূপ ঘরের উষ্ণতার লঘু অজারক অ্যাসিডগুলোর প্রতি ভ্যানাডিয়াম ও টাইটেনিয়াম নিষ্ক্রিয় হয়। সারি বরাবর বাম দিক থেকে ডান দিকে অগ্রসর হলে $M^{2+}$/M (সারণি 8.2) $E^{\ominus}$ মানগুলোর দ্বিযোজী ক্যাটায়ন উৎপন্ন করার প্রবণতা ক্রমহ্রাসমান। সারি বরাবর অধিক ঋণাত্বক $E^{\ominus}$ মানের এই সাধারণ প্রবণতাটি, প্রথম এবং দ্বিতীয় আয়নায়ন এন্থ্যালপির মোট পরিমাণের বৃদ্ধির সাথে সম্পর্কযুক্ত। লক্ষ্য করার মতো মজাদার ঘটনাটি হলো এই যে সাধারণ প্রবণতা থেকে যেরকমটা আশা করা হয়, Mn, Ni এবং Zn -এর ক্ষেত্রে $E^{\ominus}$ মান তার চাইতেও বেশী পরিমাণে ঋণাত্বক হয়। যদিও $Mn^{2+}$-র ক্ষেত্রে অর্ধপূর্ণ $d$ উপকক্ষটির ($d^5$) এবং জিঙ্কের ক্ষেত্রে সম্পূর্ণভাবে পূর্ণ $d$ উপকক্ষটির ($d^{10}$) স্থায়ীত্বের তাদের $E^{\ominus}$ মানের সাথে সম্পর্ক রয়েছে। Ni -এর ক্ষেত্রে সর্বাধিক ঋণাত্বক $E^{\ominus}$ মানটি জলযোজন এনথ্যালপির মানের সাথে সম্পর্কযুক্ত।

রেডক্স যুগ্ম $M^{3+}/M^{2+}$ (সারণি 8.2) -এর $E^{\ominus}$ মানগুলো নিরীক্ষন করলে এটা দেখা যায় যে $Mn^{3+}$ এবং $Co^{3+}$ আয়নগুলোর জলীয় দ্রবণে সর্বাধিক শক্তিশালী জারক দ্রব্য। $Ti^{2+}$, $V^{2+}$ এবং $Cr^{2+}$ আয়নগুলো শক্তিশালী বিজারক পদার্থ এবং লঘু অ্যাসিড থেকে হাইড্রোজেন নির্গত করতে পারে, যেমন,

$$2\ Cr^{2+}(aq) + 2\ H^+(aq) \rightarrow 2\ Cr^{3+}(aq) + H_2(g)$$

***নমুনা প্রশ্ন 8.6***

প্রথম সারির সন্ধিগত ধাতুগুলোর $E^{\ominus}$ মানগুলো হল ঃ

| $E^{\ominus}$ | V | Cr | Mn | Fe | Co | Ni | Cu |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ($M^{2+}$/M) | –1.18 | – 0.91 | –1.18 | – 0.44 | – 0.28 | – 0.25 | +0.34 |

উপরোক্ত মানগুলোর অসমঞ্জস্যতার কারণ ব্যাখ্যা কর।

***সমাধান***

$E^{\ominus}$ ($M^{2+}$/M) মানগুলো ধারবাহিক হয় না, যা তাদের আয়নায়ন এন্থ্যালপির $(\Delta_i H_1 + \Delta_i H_2)$ মানের ধারা বিচ্যুতির সাহায্যে ব্যাখ্যা করা সম্ভব, তাছাড়া ম্যাঙ্গানিজ ও ভ্যানাডিয়ামের উর্ধ্বপাতন এন্থ্যালপির মান অপেক্ষাকৃত কম হয়।

***নমুনা প্রশ্ন 8.7***

$Cr^{3+}/Cr^{2+}$ or $Fe^{3+}/Fe^{2+}$ আয়নযুগ্মগুলোর $E^{\ominus}$ মান থেকে $Mn^{3+}/Mn^{2+}$ আয়নযুগ্মটির $E^{\ominus}$ মান বেশী ধনাত্মক হয় কেন? ব্যাখ্যা কর।

***সমাধান***

Mn (যেখানে প্রয়োজনীয় পরিবর্তনটি হচ্ছে $d^5$ থেকে $d^4$) -এর তৃতীয় আয়নায়ন এন্থ্যালপির বড় মানটিই এর জন্য দায়ী। এই ঘটনাটিই দেখিয়ে দেয় যে Mn - এর ক্ষেত্রে +3 জারণ অবস্থাটি কতটা গুরুত্বহীন।

**বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলি**

8.6 ধাতুগুলোর ক্ষেত্রে সর্বাধিক জারণ অবস্থাটি কেবলমাত্র অক্সাইড এবং ফ্লুরাইড যৌগগুলোতেই দেখা যায় কেন?

8.7 $Cr^{2+}$ বা $Fe^{2+}$ কোন্‌টি অধিক শক্তিশালী বিজারক দ্রব্য এবং কেন?

**8.3.9 চৌম্বক ধর্ম**

কোন একটি বস্তুকে চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে রাখলে মূলত দুই ধরনের চুম্বকীয় প্রকৃতি লক্ষ্য করা যায় ঃ তীরশ্চুম্বকীয় এবং পরাচুম্বকীয় (অধ্যায়-1)। তীরশ্চুম্বকীয় বস্তুগুলো আরোপিত চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা বিকর্ষিত হয়, কিন্তু পরাচুম্বকীয় বস্তুগুলো তীব্রভাবে আকর্ষিত হয়। যে সমস্ত বস্তুগুলো তীব্রভাবে

আকর্ষিত হয় তাদের ফেরোমেগনেটিক বস্তু বলে। প্রকৃতপক্ষে ফেরোমেগনেটিক ধর্ম হল পরাচুম্বকীয় ধর্মের চুরান্ত রূপ। সন্ধিগত ধাতুগুলোর বেশীর ভাগই পরাচুম্বকীয় ধর্মসম্পন্ন হয়।

অযুগ্ম ইলেকট্রনের উপস্থিতির কারণেই পরাচুম্বকীয় ধর্মের সৃষ্টি হয়, এরূপ প্রত্যেকটি ইলেকট্রনের ঘূর্ণন কৌণিক ভ্রামক এবং কক্ষক কৌণিক ভ্রামক সমন্বিত চুম্বকীয় ভ্রামক থাকে। সন্ধিগত ধাতুর প্রথম সারির যৌগগুলোর ক্ষেত্রে কক্ষক কৌণিক ভ্রামকটির কার্যকরী প্রভাব নেই এবং এজন্যই এর কোন গুরুত্ব থাকে না। এ সকল কারণেই চৌম্বক ভ্রামকের মান অযুগ্ম ইলেকট্রনের সংখ্যা দ্বারা নির্ণয় করা হয় এবং 'স্পিন-ওনলি' সূত্র ব্যবহার করে গণনা করা হয়। অর্থাৎ,

$$\mu = \sqrt{n(n+2)}$$

যেখানে n হল অযুগ্ম ইলেকট্রন সংখ্যা এবং μ হল বোর ম্যাগনেটন **(BM)** এককে প্রকাশিত চৌম্বক ভ্রামক। বোর ম্যাগনেটন এককে **(BM)** একটি একক অযুগ্ম ইলেকট্রনের চৌম্বক ভ্রামকের মান 1.73 হয়।

অযুগ্ম ইলেকট্রন সংখ্যার বৃদ্ধির সাথে সাথে চৌম্বক ভ্রামকের মানও বৃদ্ধি পায়। তাই চৌম্বক ভ্রামকের প্রাপ্ত মান থেকে কোন পরমাণু, অণু বা আয়নের মধ্যে উপস্থিত অযুগ্ম ইলেকট্রন সংখ্যার প্রয়োজনীয় ধারণা পাওয়া যায়। প্রথম সারির সন্ধিগত মৌলের বেশ কিছু আয়নের 'স্পিন ওনলি' সূত্রের সাহায্যে গণনাকৃত চৌম্বক ভ্রামকের মান এবং পরীক্ষালব্ধ মান সারণি 8.7 -এ দেয়া হল। পরীক্ষালব্ধ মানগুলো মূলত জলীয় দ্রবণে বা কঠিন অবস্থায় জলযোজিত (হাইড্রেটেট) আয়নগুলোর জন্য।

সারণি 8.7 ঃ গণনাকৃত এবং পরীক্ষালব্ধ চৌম্বক ভ্রামক **(BM)**

| আয়ন | ইলেকট্রন বিন্যাস | অযুগ্ম ইলেকট্রন সংখ্যা | চৌম্বক ভ্রামক | |
|---|---|---|---|---|
| | | | গণনাকৃত | পরীক্ষালব্ধ |
| $Sc^{3+}$ | $3d^0$ | 0 | 0 | 0 |
| $Ti^{3+}$ | $3d^1$ | 1 | 1.73 | 1.75 |
| $Tl^{2+}$ | $3d^2$ | 2 | 2.84 | 2.76 |
| $V^{2+}$ | $3d^3$ | 3 | 3.87 | 3.86 |
| $Cr^{2+}$ | $3d^4$ | 4 | 4.90 | 4.80 |
| $Mn^{2+}$ | $3d^5$ | 5 | 5.92 | 5.96 |
| $Fe^{2+}$ | $3d^6$ | 4 | 4.90 | 5.3 – 5.5 |
| $Co^{2+}$ | $3d^7$ | 3 | 3.87 | 4.4 – 5.2 |
| $Ni^{2+}$ | $3d^8$ | 2 | 2.84 | 2.9 – 3, 4 |
| $Cu^{2+}$ | $3d^9$ | 1 | 1.73 | 1.8 – 2.2 |
| $Zn^{2+}$ | $3d^{10}$ | 0 | 0 | |

***নমুনা প্রশ্ন 8.8***

জলীয় দ্রবণে পারমাণবিক সংখ্যা 25 এমন একটি দ্বিযোজী আয়নের চৌম্বক ভ্রামক কত হবে তা গণনা কর।

***সমাধান***

জলীয় দ্রবণে পারমাণবিক সংখ্যা 25 বিশিষ্ট আয়নটির ইলেকট্রন বিন্যাস হবে $d^5$ (পাচটি অযুগ্ম ইলেকট্রন সম্পন্ন)। চৌম্বক ভ্রামক μ হল

$$\mu = \sqrt{5(5+2)} = 5.92\,\text{BM}$$

বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলি

8.8 আয়ন $M^{2+}_{(aq)}$ ion ($Z$ = 27)-এর 'স্পিন ওনলি' চৌম্বক ভ্রামক গণনা কর।

**8.3.10 রঙীন আয়নের গঠন**

যখন কোন একটি ইলেকট্রন নিম্নতর শক্তিসম্পন্ন *d*-কক্ষক থেকে উচ্চতর শক্তিসম্পন্ন *d*-কক্ষকে স্থানান্তরিত হয়, তখন এই স্থানান্তরের জন্য প্রয়োজনীয় শক্তি যে কম্পাঙ্কের আলোকরশ্মি শোষনের মাধ্যমে হয়েছে তার সাথে সামঞ্জস্যপূর্ণ হয় (অধ্যায় 9)। আলোকরশ্মির এই সকল কম্পাঙ্কগুলো সাধারণত দৃশ্যমান আলোকরশ্মির কম্পাঙ্কের মধ্যেই সীমাবদ্ধ থাকে। শোষিত আলোকরশ্মির পরিপূরক বর্ণটি পরিলক্ষিত হয়। লিগান্ডের প্রকৃতির ওপর নির্ভর করে শোষিত আলোকরশ্মির কম্পাঙ্ক স্থির করা হয়। জলীয় দ্রবণ, যেখানে জলের অণুগুলো লিগান্ডরূপে কাজ করে, সেক্ষেত্রে বিভিন্ন আয়ন যে বর্ণ প্রদর্শন করে, তা সারণি 8.8 -এ তালিকাবদ্ধ করা হল। *d*-ব্লক মৌলসমূহের কয়েকটির রঙীন দ্রবণের বর্ণ চিত্র 8.5-এ দেখানো হল।

*চিত্র 8.5 ঃ প্রথম সন্ধিগত ধাতব আয়ন সমূহের কয়েকটির জলীয় দ্রবণের বর্ণ। বাম দিক থেকে ডানদিকে ঃ $V^{4+}$, $V^{3+}$, $Mn^{2+}$, $Fe^{3+}$, $Co^{2+}$, $Ni^{2+}$ এবং $Cu^{2+}$ ।*

সারণি 8.8 ঃ প্রথম সারির সন্ধিগত ধাতব আয়নের কয়েকটির (জলযোজিত অবস্থায়) বর্ণ

| ইলেকট্রন বিন্যাস | উদাহরণ | বর্ণ |
|---|---|---|
| $3d^0$ | $Sc^{3+}$ | বর্ণহীন |
| $3d^0$ | $Ti^{4+}$ | বর্ণহীন |
| $3d^1$ | $Ti^{3+}$ | রক্তবর্ণ |
| $3d^1$ | $V^{4+}$ | নীল |
| $3d^2$ | $V^{3+}$ | সবুজ |
| $3d^3$ | $V^{2+}$ | বেগুনী |
| $3d^3$ | $Cr^{3+}$ | বেগুনী |
| $3d^4$ | $Mn^{3+}$ | বেগুনী |
| $3d^4$ | $Cr^{2+}$ | নীল |
| $3d^5$ | $Mn^{2+}$ | গোলাপী |
| $3d^5$ | $Fe^{3+}$ | হলুদ |
| $3d^6$ | $Fe^{2+}$ | সবুজ |
| $3d^6 3d^7$ | $Co^{3+} Co^{2+}$ | নীলাভ গোলাপি |
| $3d^8$ | $Ni^{2+}$ | সবুজ |
| $3d^9$ | $Cu^{2+}$ | নীল |
| $3d^{10}$ | $Zn^{2+}$ | বর্ণহীন |

**8.3.11 জটিল যৌগ গঠন**

ধাতব আয়নের সাথে অ্যানায়ন বা প্রশম অণু যুক্ত হয়ে নির্দিষ্ট বৈশিষ্ট্যের জটিল আয়ন বা যৌগ উৎপন্ন করে, তাদের জটিল যৌগ বলে। কয়েকটি উদাহরণ হল–$[Fe(CN)_6]^{3-}$, $[Fe(CN)_6]^{4-}$, $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$ এবং $[PtCl_4]^{2-}$ (জটিল যৌগের রসায়ন অধ্যায়-9 -এ বিস্তারিতভাবে আলোচনা করা হয়েছে)।

সন্ধিগত ধাতুগুলো বিশাল সংখ্যক জটিল যৌগ তৈরি করে। এর কারণ হল ধাতব আয়নগুলোর তুলনামূলক ক্ষুদ্র আকার, উচ্চ আয়নীর আধান এবং বন্ধন তৈরি করার জন্য $d$-কক্ষকের প্রাচুর্যতা।

**8.3.12 অনুঘটকীয় ধর্ম**

সন্ধিগত ধাতুসমূহ এবং তাদের যৌগসমূহ তাদের অনুঘটকীয় কার্যকলাপের জন্য সুপরিচিত । ভিন্ন ভিন্ন জারণস্তরে উপস্থিত থাকার দক্ষতা এবং জটিল আয়ন গঠন করার দক্ষতার জন্য এরা এধরনের অনুঘটকীয় কার্যকলাপ সংঘটিত করতে পারে। ভ্যানাডিয়াম (V) অক্সাইড (স্পর্শ পদ্ধতিতে), আয়রনের সূক্ষ্মচূর্ণ (হেবার পদ্ধতিতে) এবং নিকেল (অনুঘটকীয় হাইড্রোজেনেশনে) হল কয়েকটি উদাহরণ। অনুঘটকের পৃষ্ঠতলে অনুঘটকের বহিঃতলের পরমাণু এবং বিক্রিয়ক পদার্থের অণুর মধ্যে বন্ধন গঠিত হয় (প্রথম সারির সন্ধিগত মৌলগুলো $3d$ এবং $4s$ কক্ষকের ইলেকট্রনগুলোকে বন্ধন তৈরিতে ব্যবহার করে)। এর প্রভাব স্বরূপ অনুঘটকের পৃষ্ঠতলে বিক্রিয়ক পদার্থের অণু মধ্যস্ত বন্ধনগুলো দূর্বল হয় (সক্রিয়করণ শক্তি ক্রমশঃ হ্রাস পেতে থাকে)। এছাড়াও সন্ধিগত ধাতুর আয়ন সমূহ জারণস্তরের পরিবর্তন করতে পারে বলে এরা অনুঘটক হিসাবে অধিক কার্যকরী হয়। উদাহরণস্বরূপ আয়োডাইড এবং পারসালফেট আয়নের মধ্যে সংঘটিত বিক্রিয়াটিতে আয়রন (III) অনুঘটকরূপে কাজ করতে পারে।

$$2\ I^- + S_2O_8^{2-} \rightarrow I_2 + 2\ SO_4^{2-}$$

এই ধরনের অনুঘটকীয় কার্যকলাপের একটি উপযুক্ত ব্যাখ্যা নিম্নলিখিতভাবে দেওয়া যেতে পারেঃ

$$2\ Fe^{3+} + 2\ I^- \rightarrow 2\ Fe^{2+} + I_2$$

$$2\ Fe^{2+} + S_2O_8^{2-} \rightarrow 2\ Fe^{3+} + 2SO_4^{2-}$$

**8.3.13 অন্তঃস্থানিক যৌগের গঠন**

ধাতব কেলাস জালকের অন্তঃস্তলে H, C এবং N-এর মত ক্ষুদ্র পরমাণুর আবদ্ধ হওয়ার মাধ্যমে যে সকল যৌগ উৎপন্ন হয় তাদের অন্তঃস্থানিক যৌগ বলা হয়। এই ধরনের যৌগগুলো সাধারণত ননস্টয়চিত্রমেট্রিক হয় এবং সম্পূর্ণভাবে আয়নীর বা সমযোজী চরিত্রের হয় না, উদাহরণস্বরূপ TiC, $Mn_4N$, $Fe_3H$, $VH_{0.56}$ এবং $TiH_{1.7}$ ইত্যাদি। উল্লিখিত সংকেতগুলোতে ধাতুসমূহ কোন নির্দিষ্ট জারণস্তরে থাকে না। তাদের এই ধরনের সংযুক্তির জন্য এদের অন্তঃস্থানিক যৌগ বলা হয়। এই সমস্ত যৌগের মুখ্য ভৌত এবং রাসায়নিক বৈশিষ্ট্যগুলো হল নিম্নরূপ ঃ

(i) এদের গলনাংক উচ্চ হয়, বিশুদ্ধ ধাতুর গলনাংক থেকেও বেশী হয়।

(ii) এরা খুবই শক্ত প্রকৃতির, কয়েকটি বোরাইড যৌগতো হীরকের মতোই শক্ত।

(iii) এদের মধ্যে ধাতব পরিবাহিতা বজায় থাকে।

(iv) এরা রাসায়নিকভাবে নিষ্ক্রিয় প্রকৃতির।

**8.3.14 ধাতু সংকর গঠন**

ধাতু সংকর হল এমন একটি ধাতব মিশ্রণ, যা উপাদান ধাতুগুলোকে পরস্পরের সাথে মিশ্রিত করে তৈরি করা হয়। ধাতুসংকরগুলো সমসত্ত্ব কঠিন দ্রবণ হতে পারে যেখানে একটি ধাতুর পরমাণুগুলো অপর ধাতুর পরমাণুগুলোর মাঝখানে ইতস্তত ভাবে ছড়িয়ে থাকে। যেসকল ধাতুর ধাতব ব্যাসার্ধের মধ্যে প্রায় 15%-এর কম ব্যবধান থাকে, তাদের দ্বারাই এই ধরনের ধাতুসংকর তৈরি করা যায়। সন্ধিগত ধাতুগুলোর ব্যাসার্ধ কাছাকছি হওয়ায় এবং সন্ধিগত মৌলগুলোর অন্যান্য বৈশিষ্ট্যসমূহের মধ্যেও সাদৃশ্য থাকার কারণে, সহজেই এদের দ্বারা ধাতুসংকর তৈরি করা যায়। এভাবে উৎপন্ন ধাতুসংকরগুলো কঠিন /শক্ত এবং প্রায়শঃই উচ্চ গলনাংক বিশিষ্ট হয়। সর্বাধিক পরিচিত ধাতুসংকরগুলো হল ফেরাস ধাতুসংকর —ক্রোমিয়াম, ভেনাডিয়াম, টাংস্টেন, মলিবডেনাম এবং ম্যাঙ্গানিজ, নানা ধরনের ইস্পাত এবং কলঙ্কহীন ইস্পাত তৈরি করার কাজে ব্যবহার করা হয়। পিতল (কপার -জিঙ্ক) এবং ব্রোঞ্জের (কপার-টিন) এর মতো সন্ধিগত ধাতু এবং অন্যান্য ধাতুর মিশ্রণের ফলে উৎপন্ন ধাতুসংকরগুলোরও শিল্পক্ষেত্রে যথেষ্ট গুরুত্ব রয়েছে।

*নমুনা প্রশ্ন 8.9* জারণস্তরের ‘অসমঞ্জস্যতা’ (ডিসপ্রোপোরশনেশন) বলতে কি বোঝায়? একটি উদাহরণ দাও।

*সমাধান* যখন কোন নির্দিষ্ট জারণস্তর একটি নিম্ন বা উচ্চ জারণস্তর থেকে অপেক্ষাকৃত কম স্থায়ী হয়, তখন সেটি অসমঞ্জস্যতা প্রদর্শনন করে। উদাহরণস্বরূপ ম্যাঙ্গানিজ (IV) এবং ম্যাঙ্গানিজ (VII) থেকে আম্লিক দ্রবণে ম্যাঙ্গানিজ (VI) অপেক্ষাকৃত অস্থায়ী প্রকৃতির হয়।

$$3\ Mn^{VI}O_4{}^{2-} + 4\ H^+ \rightarrow 2\ Mn^{VII}O^-_4 + Mn^{IV}O_2 + 2H_2O$$

**বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলী**

8.9 জলীয় দ্রবণে $Cu^+$ আয়ন স্থায়ী হয় না কেন? ব্যাখ্যা কর।

## 8.4 সন্ধিগত মৌলগুলোর কয়েকটি গুরুত্বপূর্ণ যৌগ

### 8.4.1 ধাতুর অক্সাইড এবং অক্সোঅ্যানায়নসমূহ

এই ধরনের অক্সাইডগুলো সাধারনত উচ্চ উষ্ণতায় ধাতুর সাথে অক্সিজেনের বিক্রিয়ার দ্বারা উৎপন্ন হয়। স্ক্যানডিয়াম ব্যতীত সমস্ত ধাতুগুলো MO ধরনের অক্সাইড গঠন করে এবং এগুলো আয়নীয় প্রকৃতির হয়। অক্সাইডগুলোতে উপস্থিত ধাতুগুলো সর্বোচ্চ জারণ সংখ্যা গ্রুপসংখ্যার সমান হয় এবং $Sc_2O_3$ থেকে অগ্রসর হয়ে $Mn_2O_7$ এসে সর্বোচ্চ জারণ সংখ্যাটি পাওয়া যায়। গ্রুপ 7 -এর পর $Fe_2O_3$ থেকে অধিকতর জারণ সংখ্যা সম্পন্ন আয়রনের আর কোন অক্সাইডের কথা জানা যায়নি। অক্সাইডগুলো ছাড়া, অক্সোক্যাটায়নগুলো যেমন $V^V$ রূপে $VO_2^+$, $V^{IV}$ as $VO^{2+}$ রূপে এবং $Ti^{IV}$ রূপে $TiO^{2+}$ রূপে স্থায়িত্ব অর্জন করে।

জারণ সংখ্যা বৃদ্ধি পেলে কোন ধাতুর আয়নীর চরিত্র হ্রাস পায়। Mn-এর ক্ষেত্রে, $Mn_2O_7$ হল একটি সবুজ বর্ণের সমযোজী তেল। এমনকি $CrO_3$ এবং $V_2O_5$ -এর গলনাংক খুবই কম। এই ধরনের উচ্চতর অক্সাইডসমূহে আম্লিক চরিত্র ভীষণভাবে প্রকট হয়।

এভাবেই $Mn_2O_7$ থেকে $HMnO_4$ এবং $CrO_{3ভ}$ থেকে $H_2CrO_4$ এবং $H_2Cr_2O_7$ পাওয়া যায়। $V_2O_5$ উভধর্মী হলেও এটি মূলত আম্লিক প্রকৃতির এবং এটিও $VO_4^{3-}$এর পাশাপাশি $VO_2^+$ লবণ উৎপন্ন করে। ভেনাডিয়ামের ক্ষেত্রে ক্ষারকীয় $V_2O_3$ থেকে কম ক্ষারকীয় $V_2O_4$ এবং উভধর্মী $V_2O_5$ পর্যন্ত ধারাবাহিক পরিবর্তন লক্ষ্য করা যায়। $V_2O_4$ অ্যাসিডের মধ্যে দ্রবীভূত হয়ে $VO^{2+}$ লবণ উৎপন্ন করে। অনুরূপভাবে $V_2O_5$ ক্ষার এবং অ্যাসিডের সাথে বিক্রিয়ায় যথাক্রমে $VO_4^{3-}$ এবং $VO_4^+$ উৎপন্ন করে। বিশেষ বৈশিষ্ট্যযুক্ত CrO ক্ষারকীয় চরিত্রের হয় কিন্তু $Cr_2O_3$ উভকর্মী প্রকৃতির।

*পটাশিয়াম ডাই ক্রোমেট $K_2Cr_2O_7$*

পটাশিয়াম ডাই ক্রোমেট একটি গুরুত্বপূর্ণ রাসায়নিক দ্রব্য যা চর্মশিল্পে ব্যবহৃত হয় এবং বহুসংখ্যক অ্যাজো যৌগের প্রস্তুতিতে জারকদ্রব্য হিসাবে ব্যবহৃত হয়। ডাইক্রোমেট যৌগগুলো সাধারণত ক্রোমেট যৌগ থেকে প্রস্তুত করা হয়। ক্রোমেট যৌগগুলোকে আবার অতিরিক্ত মুক্ত বায়ুতে ক্রোমাইট খনিজের ($FeCr_2O_4$) সাথে সোডিয়াম বা পটাশিয়াম কার্বোনেটকে উচ্চতাপে গলিয়ে প্রস্তুত করা হয়। সোডিয়াম কার্বোনেটের সাথে বিক্রিয়াটি নিম্নলিখিতভাবে সংঘটিত হয় ঃ

$$4\ FeCr_2O_4 + 8\ Na_2CO_3 + 7\ O_2 \rightarrow 8\ Na_2CrO_4 + 2\ Fe_2O_3 + 8\ CO_2$$

হলুদ বর্ণের সোডিয়াম ক্রোমেট দ্রবণটিকে পরিস্রাবন করে এবং সালফিউরিক অ্যাসিডদ্বারা অম্লীকৃত করলে যে দ্রবণটি পাওয়া যায় তার থেকে কমলা বর্ণের সোডিয়াম ডাই ক্রোমেট, $Na_2Cr_2O_7.\ 2H_2O$ কেলাসিত করা যায়।

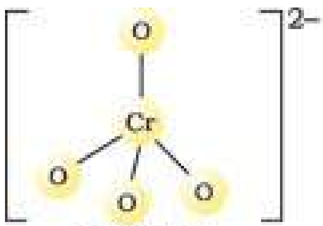
$$2Na_2CrO_4 + 2\ H^+ \rightarrow Na_2Cr_2O_7 + 2\ Na^+ + H_2O$$

সোডিয়াম ডাইক্রোমেটের দ্রাব্যতা পটাশিয়াম ডাই ক্রোমেট থেকে বেশী হয়। দ্বিতীয় যৌগটি অর্থাৎ পটাশিয়াম ডাইক্রোমেট প্রস্তুত করার জন্য তাই সোডিয়াম ডাই ক্রোমেট দ্রবণের সাথে পটাশিয়াম ক্লোরোইডের বিক্রিয়া সংঘটিত করা হয়।

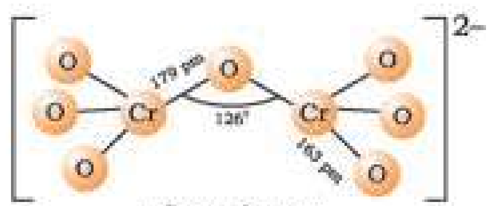
$$Na_2Cr_2O_7 + 2\ KCl \rightarrow K_2Cr_2O_7 + 2\ NaCl$$

কমলাবর্ণের পটাশিয়াম ডাইক্রোমেট কেলাসিত হয়। দ্রবণের pH এর উপর নির্ভর করে জলীয় দ্রবনে ক্রোমেট এবং ডাইক্রোমেট যৌগগুলো নিজেদের মধ্যে রূপান্তরিত হতে পারে। ক্রোমেট এবং ডাইক্রোমেটের মধ্যে ক্রোমিয়ামের জারণ সংখ্যা একই হয়।

$$2\ CrO_4^{2-} + 2H^+ \rightarrow Cr_2O_7^{2-} + H_2O$$
$$Cr_2O_7^{2-} + 2\ OH^- \rightarrow 2\ CrO_4^{2-} + H_2O$$




ক্রোমেট আয়ন




ডাইক্রোমেট আয়ন

ক্রোমেট আয়ন, $CrO_4^{2-}$ এবং ডাই ক্রোমেট, $Cr_2O_7^{2-}$ আয়নের গঠন নিম্নে দেখানো হলো। ক্রোমেট আয়নটির গঠন চতুঃস্তলকের ন্যায় কিন্তু ডাইক্রোমেট আয়নটির গঠনে দুটি চতুঃস্তলক থাকে যাদের একটি প্রান্ত অপরটির সঙ্গে Cr–O–Cr বন্ধন তৈরির দ্বারা 126° কোণে আনত থাকে।

সোডিয়াম এবং পটাশিয়াম ডাইক্রোমেট শক্তিশালী জারকদ্রব্য, সোডিয়াম লবণগুলো জলের মধ্যে অধিক দ্রাব্য হয় এবং জৈব রসায়নে জারকদ্রব্য হিসাবে ব্যাপকভাবে ব্যবহৃত হয়। পরিমাণগত বিশ্লেষণে প্রমাণ দ্রবণ হিসাবে পটাশিয়াম ডাই ক্রোমেটের ব্যবহার আছে। আম্লিক দ্রবণে জারকদ্রব্য হিসাবে এর কার্যকারীতা নিম্নলিখিতভাবে প্রদর্শন করা যায় ঃ

$$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \rightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O\ (E^\ominus = 1.33V)$$

এইভাবে অম্লীকৃত পটাশিয়াম ডাইক্রোমেট আয়োডাইডকে আয়োডিনে, সালফাইডকে সালফারে, টিন (II) কে টিন (IV)-এ এবং আয়রন (II) লবণগুলোকে আয়রন (III) লবণে জারিত করে। অর্ধবিক্রিয়াগুলোকে নিম্নে দেখানো হল ঃ

$$6\ I^- \rightarrow 3I_2 + 6\ e^-; \qquad 3\ Sn^{2+} \rightarrow 3Sn^{4+} + 6\ e^-$$
$$3\ H_2S \rightarrow 6H^+ + 3S + 6e^-; \qquad 6\ Fe^{2+} \rightarrow 6Fe^{3+} + 6\ e^-$$

পটাশিয়াম ডাইক্রোমেটের জন্য অর্ধবিক্রিয়া এবং বিজারকদ্রব্যগুলোর জন্য অর্ধবিক্রিয়াগুলোকে যোগ করলে সম্পূর্ণ আয়নীয় সমীকরণটি পাওয়া যাবে। উদাহরণ স্বরূপ,

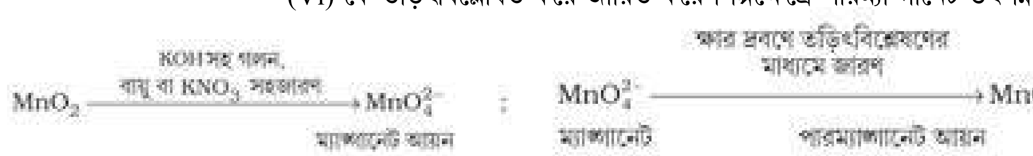
$$Cr_2O_7^{2-} + 14\ H^+ + 6\ Fe^{2+} \rightarrow 2\ Cr^{3+} + 6\ Fe^{3+} + 7\ H_2O$$

*পটাশিয়াম পারম্যাঙ্গানেট, $KMnO_4$*

$MnO_2$ কে ক্ষারধাতুর হাইড্রক্সাইডের উপস্থিতিতে $KNO_3$-র মতো জারকদ্রব্যের সঙ্গে উচ্চ উষ্ণতায় উত্তপ্ত করে বিগলিত পটাশিয়াম পারম্যাঙ্গানেট প্রস্তুত করা হয়। এই প্রক্রিয়ায় গাঢ় সবুজ বর্ণের $K_2MnO_4$ উৎপন্ন হয় যা প্রশম বা আম্লিকদ্রবণে অসমঞ্জসতা প্রদর্শন করে এবং পারম্যাঙ্গানেট উৎপন্ন হয়।

$$2MnO_2 + 4KOH + O_2 \rightarrow 2K_2MnO_4 + 2H_2O$$
$$3MnO_4^{2-} + 4H^+ \rightarrow 2MnO_4^- + MnO_2 + 2H_2O$$

$MnO_2$ কে ক্ষারসহ গলিয়ে বায়ু বা জারক দ্রব্যের উপস্থিতিতে জারিত করার পর উৎপন্ন ম্যাঙ্গানেট (VI) কে তড়িৎবিশ্লেষিত করে জারিত করে শিল্পক্ষেত্রে পারম্যাঙ্গানেট উৎপন্ন করা হয়।

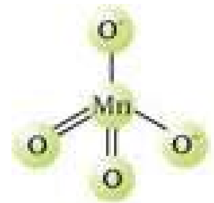


পরীক্ষাগারে ম্যাঙ্গানিজ (II) আয়নের লবণকে পারঅক্সোডাই সালফেট দ্বারা জারিত করে পারম্যাঙ্গানেট প্রস্তুত করা হয়।

$$2Mn^{2+} + 5S_2O_8^{2-} + 8H_2O \rightarrow 2MnO_4^- + 10SO_4^{2-} + 16H^+$$

পটাশিয়াম পারম্যাঙ্গানেট গাঢ় রক্তবর্ণের (প্রায় কালো) কেলাস গঠন করে যেগুলো $KClO_4$-এর অনুরূপ গঠনাকৃতির মত হয়। লবণটি জলের মধ্যে খুব বেশী দ্রবণীয় নয় (6.4 g/100 g জল, 293 K উষ্ণতায়) কিন্তু উত্তপ্ত করলে 513 K উষ্ণতায় বিয়োজিত হয়ে যায়।

$$2KMnO_4 \rightarrow K_2MnO_4 + MnO_2 + O_2$$

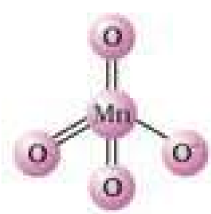


চতুস্তলকীয়
ম্যাঙ্গানেট আয়ন

এর দুটো ভৌতধর্ম যথেস্ট গুরুত্ব বহন করে ঃ এর গাঢ় বর্ণ এবং তীরশ্চুম্বকীয়তার সঙ্গে উষ্ণতার উপর ভিত্তি করে দুর্বল পরাচুম্বকীয়তা। এইসব ঘটনা আণবিক কক্ষক তত্ত্বের দ্বারা ব্যাখ্যা করা সম্ভব, কিন্তু এই অধ্যায়ে এর সুযোগ নেই।

ম্যাঙ্গানেট এবং পারম্যাঙ্গানেট আয়ন উভয়ই চতুঃস্তলকীয় গঠনাকৃতির; অক্সিজেন পরমাণুর p- কক্ষক এবং ম্যাঙ্গানিজ পরমাণুর $d$-কক্ষকের অভিলেপনের ফলে $\pi$-বন্ধন তৈরী হয়। সবুজ বর্ণের ম্যাঙ্গানেট আয়নে একটি অযুগ্ম ইলেকট্রন উপস্থিত থাকায় এটি পরাচুম্বকীয় হয় কিন্তু অযুগ্ম ইলেকট্রন না থাকায় পারম্যাঙ্গানেট আয়নটি তীরশ্চুম্বকীয় হয়।

অম্লীকৃত পারম্যাঙ্গানেট দ্রবণ অক্সালেটসমূহকে $CO_2$-তে, আয়রন (II) কে আয়রন (III) তে নাইট্রাইট সমূহকে নাইট্রেট এবং আয়োডাইডসমূহকে মুক্ত আয়োডিনে জারিত করে। বিজারক দ্রব্যের জন্য অর্ধবিক্রিয়াগুলো হল ঃ



চতুস্তলকীয়
পারম্যাঙ্গানেট আয়ন

$$5 \begin{array}{l} COO^- \\ | \\ COO^- \end{array} \longrightarrow 10CO_2 + 10e^-$$

$$5\ Fe^{2+} \rightarrow 5\ Fe^{3+} + 5e^-$$

$$5NO_2^- + 5H_2O \rightarrow 5NO_3^- + 10H^+ + 10e^-$$

$$10I^- \rightarrow 5I_2 + 10e^-$$

$KMnO_4$ -এর জন্য অর্ধবিক্রিয়া এবং বিজারক দ্রব্যের জন্য অর্ধবিক্রিয়াগুলোকে যোগ করে সম্পূর্ণ বিক্রিয়াগুলো পাওয়া যায়, প্রয়োজন হলে সমতাবিধান করতে হবে।

পারম্যাঙ্গানেটের বিজারণ দ্বারা ম্যাঙ্গানেট, ম্যাঙ্গানিজ ডাই-অক্সাইড এবং ম্যাঙ্গানিজ (II) লবণ উৎপন্ন করার অর্ধবিক্রিয়াগুলোকে আমরা নিম্নলিখিতভাবে প্রদর্শণ করতে পারি

$$MnO_4^- + e^- \rightarrow MnO_4^{2-} \qquad (E^\ominus = +\ 0.56\ V)$$

$$MnO_4^- + 4H^+ + 3e^- \rightarrow MnO_2 + 2H_2O \qquad (E^\ominus = +\ 1.69\ V)$$

$$MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \rightarrow Mn^{2+} + 4H_2O \qquad (E^\ominus = +\ 1.52\ V)$$

আমরা খুব ভালোভাবেই লক্ষ্য করতে পারছি যে দ্রবণে উপস্থিত হাইড্রোজেন আয়নের গাঢ়ত্ব বিক্রিয়াগুলোকে সংঘটিত করার ক্ষেত্রে গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করছে। যদিও জারণ -বিজারণ বিভব থেকে বহু বিক্রিয়ার সম্ভবতা অধ্যয়ন করা সম্ভব হয় তবুও এক্ষেত্রে বিক্রিয়ার গতীবিদ্যার নিয়মগুলোও গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে। পারম্যাঙ্গানেট দ্রবণের $[H^+] = 1$ হলে এটি জলকে জারিত করবে, কিন্তু বাস্তবে বিক্রিয়ার গতী খুবই মন্থর হয় যদি না বিক্রিয়া মাধ্যমে ম্যাঙ্গানিজ (ll) আয়ন উপস্থিত থাকে অথবা উষ্ণতা বৃদ্ধি করা হয়।

জারকদ্রব্য হিসাবে $KMnO_4$ এর কয়েকটি গুরুত্বপূর্ণ বিক্রিয়া নিম্নে প্রদর্শণ করা হলো

1. আম্লিক দ্রবণে ঃ
   (a) পটাশিয়াম আয়োডাইড থেকে আয়োডিন নির্গত করে ঃ
   $$10I^- + 2MnO_4^- + 16H^+ \rightarrow 2Mn^{2+} + 8H_2O + 5I_2$$
   (b) $Fe^{2+}$ আয়ন (সবুজ) $Fe^{3+}$ আয়নে (হলুদ) রূপান্তরিত হয় ঃ
   $$5Fe^{2+} + MnO_4^- + 8H^+ \rightarrow Mn^{2+} + 4H_2O + 5Fe^{3+}$$

(c) 333 K উষ্ণতায় অক্সালেট আয়ন বা অক্সালিক অ্যাসিড জারিত হয় ঃ

$$5C_2O_4^{2-} + 2MnO_4^- + 16H^+ \longrightarrow 2Mn^{2+} + 8H_2O + 10CO_2$$

(d) হাইড্রোজেন সালফাইড জারিত হয়, সালফার অধঃক্ষিপ্ত হয় ঃ

$$H_2S \longrightarrow 2H^+ + S^{2-}$$

$$5S^{2-} + 2MnO^-_4 + 16H^+ \longrightarrow 2Mn^{2+} + 8H_2O + 5S$$

(e) সালফিউরাস অ্যাসিড বা সালফাইট জারিত হয়ে সালফেট বা সালফিউরিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে ঃ

$$5SO_3^{2-} + 2MnO_4^- + 6H^+ \longrightarrow 2Mn^{2+} + 3H_2O + 5SO_4^{2-}$$

(f) নাইট্রাইট জারিত হয়ে নাইট্রেট্রে পরিণত হয় ঃ

$$5NO_2^- + 2MnO_4^- + 6H^+ \longrightarrow 2Mn^{2+} + 5NO_3^- + 3H_2O$$

2. প্রশম বা মৃদু ক্ষারীয় দ্রবণে ঃ

(a) লক্ষ্যনীয় বিক্রিয়াটি হলো আয়োডাইড থেকে আয়োডেটে জারণ

$$2MnO_4^- + H_2O + I^- \longrightarrow 2MnO_2 + 2OH^- + IO_3^-$$

(b) থায়োসালফেট প্রায় পরিমাণগতভাবে জারিত হয়ে সালফেট উৎপন্ন করে ঃ

$$8MnO_4^- + 3S_2O_3^{2-} + H_2O \longrightarrow 8MnO_2 + 6SO_4^{2-} + 2OH^-$$

(c) ম্যাঙ্গানাস লবণ $MnO_2$ তে জারিত হয়; জিঙ্কসালফেটের বা জিঙ্ক অক্সাইডের জারণ বিক্রিয়াটিতে অনুঘটকের কাজ করে ঃ

$$2MnO_4^- + 3Mn^{2+} + 2H_2O \longrightarrow 5MnO_2 + 4H^+$$

***দ্রষ্টব্য ঃ*** হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের উপস্থিতিতে পারম্যাঙ্গানেট দ্বারা প্রশমনবিক্রিয়া (টাইট্রেশন) সংঘটিত করলে ফলাফল ততোটা সন্তোষজনক হয় না, কেননা এক্ষেত্রে হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড ক্লোরিনে জারিত হয়।

**ব্যবহার ঃ** বিশ্লেষণী রসায়ন (অ্যানালিটিক্যাল কেমিস্ট্রি) -তে এর ব্যবহারের পাশাপাশি, জৈবরসায়নে জৈবযৌগের প্রস্তুতিতেও পটাশিয়াম পারম্যাঙ্গানেট একটি পছন্দসই জারকদ্রব্য হিসাবে ব্যবহৃত হয়। উল, সুতি, সিল্ক এবং অন্যান্য বয়নশিল্পের তন্তুকে বিরঞ্জিত করার জন্য এবং তেল জাতীয় পদার্থ থেকে অপ্রয়োজনীয় বর্ণ দূরীভূত করতে এর শক্তিশালী জারণ ক্ষমতার ব্যবহার করা হয়।

## অভ্যন্তরিন সন্ধিগত মৌলসমূহ ( *f*-ব্লক )

*f*- ব্লকের মধ্যে দুটো সারি বর্তমান, ল্যান্থানয়েড (ল্যান্থানামের পরবর্তী চৌদ্দটি মৌল) এবং অ্যাক্টিনয়েড (অ্যাক্টিনামের পরবর্তী চৌদ্দটি মৌল) । ল্যান্থানয়েড মৌলসমূহের সাথে বহু সদৃশ ধর্ম প্রদর্শন করে বলে ল্যান্থানয়েড সংক্রান্ত আলোচনায় ল্যান্থানামকে অন্তর্ভুক্ত করা হয়েছে এবং একারণেই ল্যান্থানাম এবং ল্যান্থানয়েড সারির সমস্ত মৌলকে সাধারণভাবে *'Ln'* প্রতীক দ্বারা প্রকাশ করা হয়। অনুরূপভাবে অ্যাক্টিনয়েড সারির চৌদ্দটি মৌলের সাথে অক্টিনয়েডকেও অ্যাক্টিনয়েড সংক্রান্ত আলোচনার অন্তর্ভুক্ত করা হয়েছে। যে-কোন সারির সাধারণ সন্ধিগত মৌলগুলোর তুলনায় ল্যান্থানয়েড মৌলগুলো পরস্পরের সাথে অধিকতর সদৃশতা প্রদর্শন করে। এদের একটি জারনস্তর থাকে এবং কোন সারির সদৃশ মৌলগুলোর আকার এবং নিউক্লীয় আধানের সামান্য পরিবর্তনের প্রভাব পর্যবেক্ষনের অসামান্য সুযোগ এদের রসায়নের মধ্যে রয়েছে। অ্যাক্টিনয়েড মৌলসমূহের রসায়ন কিন্তু অন্যরকম,অনেকটাই জটিল প্রকৃতির। জটিলতা সৃষ্টির একটি কারণ হল এদের জারণস্তরের বিশাল পরিধি এবং অপর কারণটি হল, এদের তেজস্ক্রিয়তা এবং এর জন্য এদের সম্পর্কে অধ্যয়ন করা কষ্টকর। *f*-ব্লক মৌলগুলোর সারি দুটোকে এখানে পৃথকভাবে আলোচনা করা হবে।

## 8.5 ল্যান্থানয়েড সমূহ

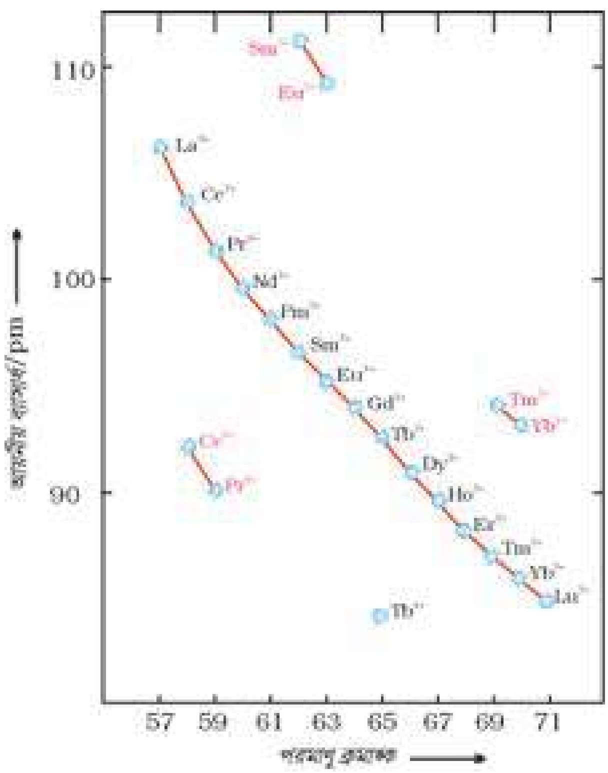
ল্যান্থানাম এবং ল্যান্থানয়েডসমূহের নাম, প্রতীক, পারমাণবিক বা আয়নীয় অবস্থার ইলেকট্রন বিন্যাস এবং পারমাণবিক ও আয়নীয় ব্যাসার্ধ্য সারণি 8.9-এ দেওয়া হল।

### 8.5.1 ইলেকট্রনীয় বিন্যাস

এটা লক্ষ্য করা যায় যে এই সকল পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাসে $6s^2$ বিন্যাসটি সাধারণ বিন্যাস কিন্তু $4f$ কক্ষকটিতে পরিবর্তনশীল ইলেকট্রন সংখ্যার অস্তিত্ব থাকে (সারণি 8.9)। তবে ত্রিযোজী আয়নগুলোর (ল্যান্থানয়েড মৌলগুলোর সর্বাধিক স্থায়ী জারণস্তর) ইলেকট্রন বিন্যাস $4f^n$ (n = 1 থেকে 14 পর্যন্ত ক্রমবর্ধমান পরমাণু ক্রমাঙ্ক ) হয়।

### 8.5.2 পারমাণবিক এবং আয়নীয় আকার

ল্যান্থানয়েড মৌলগুলোর একটি স্বতন্ত্র বৈশিষ্ট্য হল ল্যান্থানাম থেকে লুটেশিয়াম পর্যন্ত মৌলগুলোর পারমাণবিক এবং আয়নীয় ব্যাসার্ধ সামগ্রীকভাবে হ্রাস পায় (ল্যান্থানয়েড সংকোচন)। তৃতীয় সারির সন্ধিগত মৌল সমূহের রসায়নের উপর এই সংকোচনের সুদূর প্রসারী প্রভাব রয়েছে। পারমাণবিক ব্যাসার্ধ্যের হ্রাস (ধাতুর গঠন থেকে নির্ণয় করা হয়েছে) খুব একটা ধারাবাহিক নয়, যতটা $M^{3+}$ আয়নগুলোর ক্ষেত্রে দেখা যায় (চিত্র 8.6) । এই ধরনের সংকোচন অবশ্যই সাধারণ সন্ধিগত সারির ক্ষেত্রে যে রকম পর্যবেক্ষণ করা হয় তার অনুরূপ এবং একই কক্ষকের একটি ইলেকট্রন দ্বারা অপর ইলেকট্রনকে সঠিকভাবে আবৃত না করে রাখতে পারাকেই এর কারণ বলে মনে করা হয়।




*চিত্র 8.6: ল্যান্থানয়েড মৌলসমূহের আয়নীয় ব্যাসার্ধের প্রবণতা*

সারি বরাবর নিউক্লীয় আধান বৃদ্ধির সাথে সাথে একটি $4f$ ইলেকট্রন দ্বারা অন্য একটি $4f$ ইলেকট্রনকে আবৃত করে রাখার ক্ষমতা, একটি $d$ ইলেকট্রন দ্বারা অন্য একটি $d$ ইলেকট্রনকে আবৃত করে রাখার ক্ষমতা থেকে কম হয়। পরমাণু ক্রমাঙ্কের বৃদ্ধির সাথে সাথে আকারের পরিবর্তন যথেষ্ট ধারাবাহিক হয়।

ল্যান্থানয়েড সারির মৌলগুলোর এই সংকোচন, যা ল্যান্থানয়েড সংকোচন নামে পরিচিত, তার কারণে তৃতীয় সন্ধিগত সারির সদস্যদের ব্যাসার্ধ, দ্বিতীয় সন্ধিগত সারির সংশ্লিষ্ট সদস্যদের অনুরূপ বা কাছাকাছি হয়। ল্যান্থানয়েড সংকোচনের জন্য প্রায় একই ব্যাসার্ধ যুক্ত হওয়ার ফলে Zr (160 pm) এবং Hf (159 pm) কে প্রকৃতিতে একসাথে পাওয়া যায় এবং এই কারণেই এদের পৃথক করা অসুবিধাজনক হয়।

### 8.5.3 জারণ স্তর

ল্যান্থানয়েডসমূহের মধ্যে La(II) এবং Ln(III) যৌগগুলোর অস্তিত্বই মূলত লক্ষ করা যায়। তবে দ্রবণের মধ্যে বা কঠিন যৌগের মধ্যে +2 এবং +4 আয়নের অস্তিত্ব মাঝে মধ্যে লক্ষ করা যায়। সুস্থিত ফাঁকা অর্ধপূর্ণ বা পূর্ণ $f$-উপকক্ষের জন্যই ধারাবাহিকতার (যেমন– আয়নায়ন এন্থ্যালপির ক্ষেত্রে) এই অভাব লক্ষ্য করা যায়। একারণেই নিষ্ক্রিয় গ্যাসের ইলেকট্রন বিন্যাস লাভ করে বলে $Ce^{IV}$ গঠন সহজতর হয়, কিন্তু এটি একটি উত্তম জারকদ্রব্য হওয়ায় পুনরায় সাধারণ জারণস্তর +3 তে ফিরে যেতে পারে। $Ce^{4+}/Ce^{3+}$ এর $E^\circ$ মান + 1.74 V হয়, যার থেকে বোঝা যায় এটি জলকেও জারিত করতে পারে। যদিও বিক্রিয়াটির গতি খুবই মন্থর হয় এবং একারণেই Ce(IV) হল একটি উত্তম বিশ্লেষণী (অ্যানালিটিক্যাল) বিকারক। $MO_2$ ধরনের অক্সাইডে Pr, Nd, Tb এবং Dy +4 জারণ অবস্থাতে থাকে। 2 টো $s$ ইলেকট্রন বর্জনের মাধ্যমে $Eu^{2+}$ গঠিত হয় এবং এর $f^7$ বিন্যাসের কারণেই এই বিন্যাসটি গঠিত হয়। যদিও $Eu^{2+}$ একটি শক্তিশালী বিজারক দ্রব্য হওয়ায় সহজেই সাধারণ জারণস্তর +3 তে ফিরে আসে। অনুরূপভাবে $f^{14}$ বিন্যাসযুক্ত $Yb^{2+}$ হল একটি উত্তম বিজারক দ্রব্য। অর্ধপূর্ণ $f$-কক্ষকের উপস্থিতির কারণে $Tb^{IV}$ হল একটি জারক দ্রব্য। সামারিয়ামের আচরণ অনেকটা ইউরোপিয়ামের মতো, +2 এবং +3 উভয় জারণস্তরই প্রদর্শন করে।

সারণি 8.9 ল্যান্থনাম এবং ল্যান্থানয়েড সমূহের ইলেকট্রন বিন্যাস এবং ব্যাসার্ধ

| পরমাণু ক্রমাঙ্ক | নাম | প্রতীক | ইলেকট্রনীয় বিন্যাস * | | | ব্যাসার্ধ / pm | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Ln | $Ln^{2+}$ | $Ln^{3+}$ | $Ln^{4+}$ | Ln | $Ln^{3+}$ |
| 57 | ল্যান্থানাম | La | $5d^1 6s^2$ | $5d^1$ | $4f^0$ | | 187 | 106 |
| 58 | সিরিয়াম | Ce | $4f^1 5d^1 6s^2$ | $4f^2$ | $4f^1$ | $4f^0$ | 183 | 103 |
| 59 | প্রাসিওডাইমিয়াম | Pr | $4f^3 6s^2$ | $4f^3$ | $4f^2$ | $4f^1$ | 182 | 101 |
| 60 | নিওডাইমিয়াম | Nd | $4f^4 6s^2$ | $4f^4$ | $4f^3$ | $4f^2$ | 181 | 99 |
| 61 | প্রোমেথিয়াম | Pm | $4f^5 6s^2$ | $4f^5$ | $4f^4$ | | 181 | 98 |
| 62 | সামারিয়াম | Sm | $4f^6 6s^2$ | $4f^6$ | $4f^5$ | | 180 | 96 |
| 63 | ইউরোপিয়াম | Eu | $4f^7 6s^2$ | $4f^7$ | $4f^6$ | | 199 | 95 |
| 64 | গ্যাডোলিনিয়াম | Gd | $4f^7 5d^1 6s^2$ | $4f^7 5d^1$ | $4f^7$ | | 180 | 94 |
| 65 | টারবিয়াম | Tb | $4f^9 6s^2$ | $4f^9$ | $4f^8$ | $4f^7$ | 178 | 92 |
| 66 | ডিসপ্রোসিয়াম | Dy | $4f^{10} 6s^2$ | $4f^{10}$ | $4f^9$ | $4f^8$ | 177 | 91 |
| 67 | হলমিয়াম | Ho | $4f^{11} 6s^2$ | $4f^{11}$ | $4f^{10}$ | | 176 | 89 |
| 68 | এরবিয়াম | Er | $4f^{12} 6s^2$ | $4f^{12}$ | $4f^{11}$ | | 175 | 88 |
| 69 | থুলিয়াম | Tm | $4f^{13} 6s^2$ | $4f^{13}$ | $4f^{12}$ | | 174 | 87 |
| 70 | ইটারবিয়াম | Yb | $4f^{14} 6s^2$ | $4f^{14}$ | $4f^{13}$ | | 173 | 86 |
| 71 | লুটেশিয়াম | Lu | $4f^{14} 5d^1 6s^2$ | $4f^{14} 5d^1$ | $4f^{14}$ | – | – | – |

* [Xe] অন্তঃ ইলেকট্রন বিন্যাসের বাইরের ইলেকট্রনগুলোকে দেখানো হয়েছে

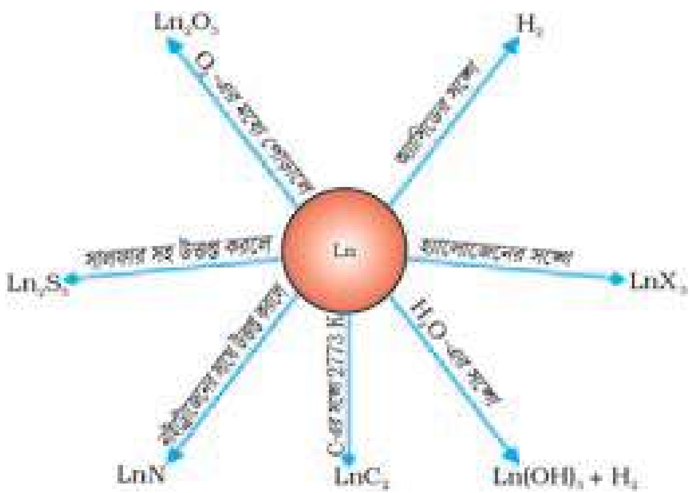
### 8.5.4 সাধারণ বৈশিষ্ট্য সমূহ

সমস্ত ল্যান্থানয়েড মৌলগুলো রূপালী-সাদা বর্ণের নরম ধাতব পদার্থ এবং বায়ুর সংস্পর্শে দ্রুত মলিন হয়ে যায়। মৌলগুলোর কাঠিন্য পরমাণুক্রমাঙ্ক বৃদ্ধির সাথে বৃদ্ধি পায়, সামারিয়ামের কাঠিন্য প্রায় ইস্পাত সদৃশ হয়। এদের গলনাংক 1000K থেকে 1200K -এর মাঝামাঝি হয়, কিন্তু সামারিয়াম 1623 K উষ্ণতায় গলতে শুরু করে। মৌলগুলোর বৈশিষ্ট্যসূচক ধাতব গঠন থাকে এরা তাপ ও তড়িতের সুপরিবাহী হয়। ঘনত্ব এবং অন্যান্য ধর্মাবলির নিয়মিত পরিবর্তন লক্ষ্য করা যায়, কিন্তু Eu এবং Yb এবং কোন কোন ক্ষেত্রে Sm এবং Tm এর মধ্যে ব্যতীক্রম ধর্ম লক্ষ্য করা যায়।

ত্রিযোজী ল্যান্থানয়েড আয়নগুলোরবেশীর ভাগই কঠিন অবস্থায় এবং জলীয় দ্রবণে রঙিন বর্ণ প্রদর্শন করে। $f$-ইলেকট্রনের উপস্থিতি বর্ণ প্রদর্শনের সম্ভাব্য কারণ বলে মনে করা হয়। $La^{3+}$ এবং $Lu^{3+}$ কোন বর্ণ প্রদর্শন করে না, বাকী আয়নগুলো বর্ণ প্রদর্শন করে। যদিও বর্ণালীর পটিগুলো খুবই সরু হয়। ইলেকট্রনের স্থানান্তর $f$-স্তরেই সমীবদ্ধ থাকে বলেই এরকমটা হয় বলে মনে করা হয়। $f^0$ ধরনের ($La^{3+}$ এবং $Ce^{4+}$) এবং $f^{14}$ ধরনের ($Yb^{2+}$ এবং $Lu^{3+}$) ব্যতীত অন্যান্য সমস্ত ল্যান্থানয়েড আয়নসমূহ পরাচুম্বকীয় ধর্ম প্রদর্শন করে।

ল্যান্থানয়েড মৌলগুলোর প্রথম আয়নায়ন এন্থ্যালপির মান প্রায় 600 kJ $mol^{-1}$ হয়, দ্বিতীয় আয়নায়নের এন্থ্যালপির মান প্রায় 1200 kJ $mol^{-1}$ হয় যা কিনা ক্যালসিয়ামের দ্বিতীয় আয়নায়ন এন্থ্যালপির সাথে তুলনীয়। তৃতীয় আয়নায়ন এন্থ্যালপির মানের পরিবর্তনের বিস্তারিত আলোচনা এটাই নির্দেশ করে যে আলোচ্য এন্থ্যালপির বিনিময় (যেমনটা প্রথম সন্ধিগত সারির $3d$ কক্ষকের ক্ষেত্রে দেখা যায়)। $f$-কক্ষক ফাঁকা অর্ধপূর্ণ এবং সম্পূর্ণ থাকার উপর নির্ভর করে কক্ষকগুলো সুস্থিত হয়। এজন্যই ল্যান্থানাম গ্যাডোলিনিয়াম এবং লুটেসিয়ামের তৃতীয় আয়নায়ন এন্থ্যালপির মান অস্বাভাবিক ভাবে কম হয়।

এদের রাসায়নিক চরিত্রের ক্ষেত্রে, সারির প্রথম দিকের সদস্যরা ক্যালসিয়ামের মতোই সাধারণভাবে যথেষ্ট সক্রিয় প্রকৃতির হয়, কিন্তু পরমাণু ক্রমাঙ্ক বৃদ্ধির সাথে সাথে সক্রিয়তার দিক থেকে এরা অ্যালুমিনিয়ামের মতো আচরণ করে। ল্যান্থানয়েড আয়নসমূহের নিম্নলিখিত অর্ধবিক্রিয়াগুলোর $E^{\ominus}$ এর মান –2.2 থেকে $Ln^{3+}(aq) + 3e^- \rightarrow Ln(s)$




*চিত্র 8.7: ল্যান্থানয়েড সমূহের রাসায়নিক বিক্রিয়া*

–2.4 V-এর মধ্যে সমীবদ্ধ থাকে, ব্যতীক্রম হল Eu, যার ক্ষেত্রে $E^{\ominus}$ মানটি হল – 2.0 V। মানের এই পরিবর্তন অবশ্যই একটি ক্ষুদ্র পরিবর্তন। হাইড্রোজেন গ্যাসের সাথে মৃদু উত্তপ্ত করলেই ধাতুগুলো হাইড্রোজেনের সাথে যুক্ত হয়। ধাতুগুলোকে কার্বন সহ উত্তপ্ত করলে $Ln_3C$, $Ln_2C_3$ এবং $LnC_2$ ইত্যাদি কার্বাইড যৌগ উৎপন্ন হয়। এরা লঘু অ্যাসিড থেকে হাইড্রোজেন নির্গত করে এবং হ্যালোজেন মৌলগুলোর সাথে পোড়ালে হ্যালাইড যৌগ উৎপন্ন করে। এরা অক্সাইড $M_2O_3$ এবং হাইড্রোক্সাইড $M(OH)_3$ উৎপন্ন করে। উৎপন্ন হাইড্রোক্সাইডগুলো শুধুমাত্র জলযোজিত অক্সাইড হয় না, এরা বিশুদ্ধ হাইড্রোক্সাইড হয়। ক্ষারকীয় মৃত্তিকা ধাতুর অক্সাইড এবং হাইড্রোক্সাইসমূহের মতো এরাও ক্ষারকীয় চরিত্রের হয়। এদের সাধারণ বিক্রিয়াগুলোকে চিত্র 8.7 -এ প্রদর্শন করা হলো।

পাত এবং পাইপ তৈরির জন্য সংকর ইস্পাত প্রস্তুত করাই হল ল্যান্থানয়েড মৌলগুলোর একমাত্র এবং সর্বোত্তম ব্যবহারিক প্রয়োগ। একটি সুপরিচিত ধাতুসংকর হলো মিশ্চমেটাল যা মূলত ল্যান্থানয়েড ধাতু (~ 95%) এবং আয়রন (~ 5%) এবং অতিসামান্য পরিমান, S, C, Ca এবং Al দ্বারা গঠিত হয়। বুলেট, বর্ম (সেল) এবং লাইটারের পাথর তৈরির জন্য ম্যাগনেসিয়াম ভিত্তিক সংকর ধাতু প্রস্তুত করার কাজই বেশীর ভাগ মিশ্চমেটাল ব্যবহৃত হয়। খনিজ তেলের ক্র্যাকিং বিক্রিয়ায় ল্যান্থানয়েডসমূহের মিশ্র অক্সাইডগুলো অনুঘটকরূপে ব্যবহৃত হয়। কয়েকটি ল্যান্থানয়েড মৌলের অক্সাইড যৌগ স্বকীয় টেলিভিশন পর্দায় প্রতিপ্রভা সৃষ্টির কাজে এবং অনুরূপ প্রতিপ্রভ পৃষ্ঠতল তৈরি করার কাজে ব্যবহৃত হয়।

## 8.6 অ্যাক্টিনয়েডসমূহ

Th থেকে Lr এই চৌদ্দটি মৌল অ্যাক্টিনয়েড-এর অন্তর্ভুক্ত। এইসকল মৌলের নাম, প্রতীক এবং কিছু সংখ্যক ধর্ম সারণি 8.10-তে দেওয়া হল।

**সারণি 8.10 ঃ অ্যাক্টিনাম এবং অ্যাক্টিনয়েডসমূহের কিছু ধর্মাবলি**

| পরমাণু ক্রমাঙ্ক | নাম | প্রতীক | ইলেকট্রন বিন্যাস * | | | ব্যাসার্ধ/pm | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | M | $M^{3+}$ | $M^{4+}$ | $M^{3+}$ | $M^{4+}$ |
| 89 | অ্যাক্টিনাম | Ac | $6d^1 7s^2$ | $5f^0$ | | 111 | |
| 90 | থোরিয়াম | Th | $6d^2 7s^2$ | $5f^1$ | $5f^0$ | | 99 |
| 91 | প্রোটাক্টিনিয়াম | Pa | $5f^2 6d^1 7s^2$ | $5f^2$ | $5f^1$ | | 96 |
| 92 | ইউরেনিয়াম | U | $5f^3 6d^1 7s^2$ | $5f^3$ | $5f^2$ | 103 | 93 |
| 93 | নেপচুনিয়াম | Np | $5f^4 6d^1 7s^2$ | $5f^4$ | $5f^3$ | 101 | 92 |
| 94 | প্লুটোনিয়াম | Pu | $5f^6 7s^2$ | $5f^5$ | $5f^4$ | 100 | 90 |
| 95 | অ্যামেরিসিয়াম | Am | $5f^7 7s^2$ | $5f^6$ | $5f^5$ | 99 | 89 |
| 96 | কুরিয়াম | Cm | $5f^7 6d^1 7s^2$ | $5f^7$ | $5f^6$ | 99 | 88 |
| 97 | বার্কেলিয়াম | Bk | $5f^9 7s^2$ | $5f^8$ | $5f^7$ | 98 | 87 |
| 98 | ক্যালিফোর্নিয়াম | Cf | $5f^{10} 7s^2$ | $5f^9$ | $5f^8$ | 98 | 86 |
| 99 | আইনস্টেনিয়াম | Es | $5f^{11} 7s^2$ | $5f^{10}$ | $5f^9$ | – | – |
| 100 | ফেরিয়াম | Fm | $5f^{12} 7s^2$ | $5f^{11}$ | $5f^{10}$ | – | – |
| 101 | মেন্ডেলেভিয়াম | Md | $5f^{13} 7s^2$ | $5f^{12}$ | $5f^{11}$ | – | – |
| 102 | নোবেলিয়াম | No | $5f^{14} 7s^2$ | $5f^{13}$ | $5f^{12}$ | – | – |
| 103 | লরেন্সিয়াম | Lr | $5f^{14} 6d^1 7s^2$ | $5f^{14}$ | $5f^{13}$ | – | – |

অ্যাক্টিনয়েডসমূহ হলো তেজস্ক্রিয় মৌল এবং সারির প্রথম দিকের সদস্যগুলোর অর্ধজীবন অপেক্ষাকৃত বেশী হয়, শেষের দিকের মৌল লরেন্সিয়ামের ($Z$ =103) ক্ষেত্রে অর্ধজীবন 1 দিন থেকে 3 মিনিটের মধ্যে সীমাবদ্ধ থাকে। শেষের দিকে সদস্যগুলোকে কেবলমাত্র ন্যানোগ্রাম পরিমাণে তৈরি করা সম্ভব। এই তথ্য থেকেই বোঝা যায়, এইসকল মৌল নিয়ে অধ্যয়ন করা অধিকতর কষ্ঠসাধ্য।

**8.6.1 ইলেকট্রন বিন্যাস**

সমস্ত অ্যাক্টিনয়েড মৌলগুলোর ইলেকট্রন বিন্যাসে $7s^2$ এবং 5f ও 6d উপকক্ষকগুলোতে ভিন্ন ভিন্ন সংখ্যক ইলেকট্রন থাকে বলে মনে করা হয়। থোরিয়াম (Z = 90) ব্যতীত চৌদ্দটি ইলেকট্রন মূলত $5f$ কক্ষক প্রবেশ করে, কিন্তু Pa থেকে শুরু করে 103 পরমাণু ক্রমাঙ্ক বিশিষ্ট মৌলটিতে এসে $5f$ -কক্ষকটি ইলেকট্রন দ্বারা পূর্ণ হয়। ল্যান্থানয়েড মৌলগুলোর মতো অ্যাক্টিনয়েড মৌলগুলোর ক্ষেত্রেও ইলেকট্রন বিন্যাসের এই অসমধারা 5f -কক্ষকটির $f^0$, $f^7$ এবং $f^{14}$ বিন্যাসের স্থায়ীত্বের সাথে সম্পর্কিত। একারণেই Am এবং Cm -এর ইলেকট্রন বিন্যাস হলো যথাক্রমে [Rn] $5f^7 7s^2$ এবং [Rn] $5f^7 6d^1 7s^2$ যদিও তরঙ্গ অপেক্ষকের কৌণিক বিন্যাস-এর দিক থেকে $5f$-কক্ষকটি $4f$-কক্ষকের সদৃশ হয়, এরা কিন্তু $4f$-কক্ষকের মতো পরমাণুর ভিতরের দিকে ততোটা প্রবিষ্ট থাকে না এবং তাই $5f$ ইলেকট্রনসমূহ আপেক্ষাকৃত বেশী পরিমাণে রাসায়নিক বন্ধন তৈরী করতে সক্ষম হয়।

**8.6.2 আয়নীয় আকার**

ল্যান্থানয়েড মৌলগুলোর সাধারণ প্রবণতাগুলো অ্যাক্টিনয়েড মৌলসমূহের মধ্যেও দেখা যায়। সারি বরাবর অগ্রসর হলে পরমাণুর আকার এবং $M^{3+}$ আয়নের আকার ক্রমাগত হ্রাস পায়। এই ঘটনাকে অ্যাক্টিনয়েড সংকোচন (ল্যান্থানয়েড সংকোচনের মতোই) বলা হয়। $5f$ ইলেকট্রনের দুর্বল আবরণী ক্ষমতার জন্যই অ্যাক্টিনয়েড সারির একটি মৌল থেকে অন্য মৌলের দিকে অগ্রসর হলে সংকোচনের পরিমাণ অপেক্ষাকৃত বেশী হয়।

**8.6.3 জারণ স্তর**

$5f$, $6d$ এবং $7s$ স্তরের শক্তি প্রায় সমান হয় বলে অ্যাক্টিনয়েড মৌলগুলোর জারণস্তর অধিক সীমা পর্যন্ত বিস্তৃত থাকে। অ্যাক্টিনয়েড মৌলসমূহের জ্ঞাত জারণস্তরগুলোকে সারণি 8.11-এ লিপিবদ্ধ করা হলো।

অ্যাক্টিনয়েড মৌলসমূহের প্রদর্শিত সাধারণ জারণস্তরটি হলো +3। অ্যাক্টিনয়েড সারির প্রথম ভাগের মৌলগুলো সহজেই উচ্চ জারণস্তর প্রদর্শন করে। উদাহরণস্বরূপ সর্বোচ্চ জারণস্তরটি Th-র +4 থেকে ক্রমশঃ বৃদ্ধি পেয়ে Pa, U এবং Np-র ক্ষেত্রে যথাক্রমে +5, +6 এবং +7 হয়, কিন্তু পরবর্তী মৌলগুলোর ক্ষেত্রে জারণস্তর ক্রমশঃ হ্রাস পায় (সারণি 8.11)। ল্যান্থানয়েডের মতো অ্যাক্টিনয়েড মৌলগুলোরও অধিকাংশ যৌগ +4 জারণস্তর অপেক্ষা +3 জারণস্তরে উপস্থিত থাকে। যদিও +3 এবং +4 আয়নগুলোর ক্ষেত্রে আর্দ্রবিশ্লেষণের প্রবণতা লক্ষ্য করা যায়। অ্যাক্টিনয়েড মৌলসমূহের আগের মৌলগুলোর সাথে পরের মৌলগুলোর জারণস্তরের বণ্টন এতটাই অসম হয় যে, জারণস্তরের ভিত্তিতে এদের রসায়নের পর্যালোচনা করা অসঙ্গাতিপূর্ণ হয়।

**সারণি 8.11 ঃ অ্যাক্টিনিয়াম এবং অ্যাক্টিনয়েড সমূহের জারণস্তর**

| Ac | Th | Pa | U | Np | Pu | Am | Cm | Bk | Cf | Es | Fm | Md | No | Lr |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | | | | | | |
| | | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | | | | | | | | |
| | | | 6 | 6 | 6 | 6 | | | | | | | | |
| | | | | 7 | 7 | | | | | | | | | |

**8.6.4 সাধারণ বৈশিষ্ট্য এবং ল্যান্থানয়েডসমূহের সাথে তুলনা**

অ্যাক্টিনয়েড ধাতুর প্রত্যেকটি দেখতে রূপালী বর্ণের হয় কিন্তু এদের গঠন বৈচিত্রপূর্ণ হয়। ধাতব ব্যাসার্ধের অসম ধারা ল্যান্থানয়েডসমূহ থেকেও অধিকতর হয়, তার কারণেই এদের গঠনের মধ্যে এই বৈচিত্র লক্ষ্য করা যায়।

অ্যাক্টিনয়েডগুলো অত্যন্ত সক্রিয় ধাতু, বিশেষকরে যখন সূক্ষ্মগুড়া অবস্থায় থাকে। উদাহরণস্বরূপ অ্যাক্টিনয়েড ধাতুগুলোর ওপর গরম জল ঢাললে অক্সাইড এবং হাইড্রাইড যৌগের একটি মিশ্রণ উৎপন্ন হয় এবং সর্বোত্তম উষ্ণতায় এরা বেশীরভাগ অধাতুর সাথে যুক্ত হয়ে যৌগ গঠন করে। এই ধাতুগুলোর প্রত্যেকটিই হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড দ্বারা আক্রান্ত হয় কিন্তু বেশীর ভাগ ধাতুই নাইট্রিক অ্যাসিডের সাথে বিক্রিয়ায় সামান্য সাড়া দেয় কারণ ধাতুগুলোর ওপর অক্সাইডের আস্তরণ তৈরি হয়। এই সকল ধাতুগুলো ক্ষারের সাথে কোন বিক্রিয়া করে না।

অ্যাক্টিনয়েড মৌলসমূহের চুম্বকীয় ধর্মাবলি ল্যান্থানয়েড মৌলগুলোর তুলনায় অনেকটাই জটিল প্রকৃতির। যদিও $5f$-উপকক্ষকটিতে উপস্থিত অযুগ্ম ইলেকট্রন সংখ্যা অনুসারে অ্যাক্টিনয়েড মৌলগুলোর চুম্বকের প্রতি সংবেদনশীলতার ক্ষেত্রে যে লেখচিত্র পাওয়া যায়, সেটির সাথে অনুভূমিক হয়, দ্বিতীয় লেখচিত্রটির প্রাপ্ত বিন্দুগুলোর মান অপেক্ষাকৃত বেশী হয়।

অ্যাক্টিনয়েড মৌলগুলোর আচরণ থেকে এটা স্পষ্ট যে অ্যাক্টিনয়েড সারির প্রথম দিকের সদস্যদের আয়নায়ন এনথ্যালপি, যদিও সঠিক মানগুলো জানা নেই, তবুও এই মানগুলো ল্যান্থানয়েড সারির প্রথমদিকের সদস্যদের থেকে কম হয়। এর যথেষ্ট গ্রহণযোগ্য কারণ আছে, কেননা ধরে নেওয়া যেতেই পারে যে যখন $5f$-কক্ষকটি ইলেকট্রন দ্বারা পূর্ণ হতে শুরু করে তখন কক্ষকগুলো ইলেকট্রন সমৃদ্ধ অন্তঃ অঞ্চলটিতে অনেকটাই কম পরিমাণে প্রবিষ্ট থাকে। সংশ্লিষ্ট ল্যান্থানয়েড মৌলটির $4f$-ইলেকট্রনের তুলনায় অ্যাক্টিনয়েড মৌলের $5f$- ইলেকট্রনগুলো অবশ্যই নিউক্লীয় আধান দ্বারা কম পরিমাণে আবৃত থাকে। বহিঃস্থ ইলেকট্রনগুলো দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ থাকে না বলে অ্যাক্টিনয়েড মৌলসমূহের বহিঃস্থ ইলেকট্রনগুলো সহজেই বন্ধন তৈরিতে অংশগ্রহণ করতে পারে।

উপরের ল্যান্থানয়েড এবং অক্টিনয়েড বিভিন্ন ধর্মের তুলনামূলক আলোচনা থেকে এটি স্পষ্ট যে, অ্যাক্টিনয়েড সারির দ্বিতীয় অর্ধের পূর্ব পর্যন্ত অ্যাক্টিনয়েড মৌলগুলো ল্যান্থানয়েড মৌলের সারির মতো ধর্মের সাদৃশতা প্রদর্শন করে না। যদিও অ্যাক্টিনয়েড সারির প্রথম দিকের সদস্যগুলোর ধর্ম ল্যান্থানয়েড সারির প্রথম দিকের সদস্যগুলোর ধর্মের প্রায় অনুরূপ হয় এবং ধর্মাবলীর ধারাবাহিক পরিবর্তন লক্ষ্য করা যায়, কিন্তু এর ফলস্বরূপ জারণস্তরের কোনরূপ পরিবর্তন হয় না। ল্যান্থানয়েড এবং অ্যাক্টিনয়েড সংকোচন সংশ্লিষ্ট মৌলগুলোর আকারের ওপর বিশাল প্রভাব বিস্তার করে এবং মৌলগুলোর ধর্মাবলী তাদের নিজস্ব পর্যায়ে একই নিয়ম অনুসরন করে। ল্যান্থানয়েড সংকোচনের গুরুত্ব অপেক্ষাকৃত বেশী কেননা অ্যাক্টিনয়েডের অন্তর্ভূক্ত মৌলগুলোর রসায়ন এখনো পর্যন্ত তেমনভাবে আবিস্কৃত হয়নি।

***নমুনা প্রশ্ন 8.10*** ল্যান্থানয়েড সারির এমন একটি সদস্যের নাম কর যেটি সুবিদিতভাবে +4 জারণস্তর প্রদর্শন করে।

***সমাধান*** সিরিয়াম ($Z$ = 58)

### বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলি

**8.10** এক মৌল থেকে অন্য মৌলে অ্যাক্টিনয়েড সংকোচনের মাত্রা ল্যান্থানয়েড মৌলগুলোর তুলনায় বেশী হয়। কেন?

## 8.7 *d*- এবং *f*-ব্লক মৌলসমূহের কিছু সংখ্যক প্রয়োগ

আয়রন এবং ইস্পাত হল দুটো গুরুত্বপূর্ণ নির্মাণসামগ্রী। আয়রন অক্সাইডের বিজারণ, অশুদ্ধি দূরীকরণ এবং কার্বন ও সংকরধাতু তৈরি করতে পারে এমন ধাতু যেমন Cr, Mn এবং Ni এর সংযোজনের ওপর এদের প্রস্তুতি নির্ভর করে। বিশেষ উদ্দেশ্যে কিছু সংখ্যক যৌগ প্রস্তুত করা হয় যেমন রঞ্জন শিল্পের জন্য TiO এবং শুষ্ক তড়িৎকোশে $MnO_2$ ব্যবহার করা হয়। তড়িৎকোশ বা ব্যাটারীশিল্পে Zn এবং Ni/Cd-এর প্রয়োজন হয়। গ্রুপ 11-এর মৌলগুলো মহার্ঘ হওয়ায় এদের মুদ্রা ধাতু বলা হয়। যদিও Ag এবং Au-এর

ব্যবহার সংগ্রহযোগ্য বস্তুর মধ্যেই সীমাবদ্ধ এবং সমকালীন UK 'কপারের' মুদ্রাগুলো হলো কপারের আস্তরণযুক্ত ইস্পাতের মুদ্রা। 'সিলভারের' UK মুদ্রাগুলো হলো Cu/Ni -এর সংকরধাতু। d এবং *f*-ব্লকের বেশীরভাগ ধাতু অথবা এদের যৌগগুলো রসায়নিক শিল্পের ক্ষেত্রে অত্যাবশ্যকীয় অনুঘটকরূপে কাজ করে। সালফিউরিক অ্যাসিডের শিল্প প্রস্তুতিতে $SO_2$-এর জারণ বিক্রিয়াটিতে $V_2O_5$ অনুঘটক রূপে কাজ করে। পলিইথিলিন (পলিথিন) প্রস্তুতিতে যে জিগলার অনুঘটক ব্যবহার করা হয়, সেটি $Al(CH_3)_3$ এবং $TiCl_4$ মিলিতভাবে তৈরি করে। $N_2/H_2$ এর মিশ্রণ থেকে হেবার পদ্ধতিতে অ্যামোনিয়াম প্রস্তুত করার সময় আয়রন অনুঘটক ব্যবহার করা হয়। নিকেল অনুঘটক স্নেহজাতীয় পদার্থের হাইড্রোজেনেশন প্রক্রিয়াটিকে সচল রাখতে পারে। ওয়াকার পদ্ধতিতে ইথাইন থেকে ইথানলের জারণ প্রক্রিয়াটিতে $PdCl_2$ অনুঘটক রূপে কাজ করে। অ্যালকাইন এবং বেঞ্জিনের মতো জৈবযৌগের বহুলীভবন বিক্রিয়ায় নিকেলের জটিলযৌগ/আয়নগুলো খুবই সহায়তা করে। ফটোগ্রাফী শিল্পের ভিত্তিই দাড়িয়ে আছে AgBr-এর বিশেষ আলোক-সংবেদনশীলতা ধর্মের ওপর।

## সারাংশ

পর্যায়-সারণির **3-12** গ্রুপগুলো *d* -ব্লকের অন্তর্ভুক্ত এবং এরা পর্যায় সারণির মধ্যভাগে একটা বিশাল অঞ্চলজুড়ে অবস্থান করছে। এই সমস্ত মৌলের অন্তঃ *d* -কক্ষকটি ইলেকট্রন দ্বারা একের পর এক পূর্ণ হয়। *f* -ব্লক মৌলগুলো পর্যায় সারণির বাইরে এর নীচের দিকে অবস্থান করে এবং এই ব্লকের অন্তর্ভুক্ত মৌলসমূহের 4*f* এবং 5*f* কক্ষকগুলোতে একের পর এক ইলেকট্রন প্রবেশ করে।

3*d*, 4*d* এবং 5*d* কক্ষকগুলোতে ইলেকট্রন প্রবেশ করে বলে সন্ধিগত মৌলের ক্ষেত্রে তিনটি সারির সুবিদিত অস্তিত্ব রয়েছে। সমস্ত সন্ধিগত মৌলসমূহই সাধারণ ধাতব বৈশিষ্ট্যগুলো প্রদর্শন করে যেমন উচ্চ প্রসার্য ক্ষমতা, নমনীয়তা, ঘাতসহ প্রবণতা, উচ্চতাপ ও তড়িৎ পরিবাহীতা এবং ধাতব ধর্মসমূহ। এদের গলনাঙ্ক এবং স্ফুটনাঙ্ক উচ্চ হয় এবং আন্তঃপারমাণবিক ধাতব বন্ধন গঠনে অধিক সংখ্যক $(n-1)\,d$ ইলেকট্রন অংশগ্রহণ করে বলেই এরকম হয়। এই সমস্ত ধর্মের বেশীর ভাগের ক্ষেত্রেই সারির মধ্যবর্তী মৌলটির মান সর্বাধিক হয়, যার থেকে বোঝা যায় *d* কক্ষকের প্রত্যেকটি কক্ষে একটি করে অযুগ্ম ইলেকট্রনযুক্ত ইলেকট্রন বিন্যাসটি শক্তিশালী আন্তঃপারমাণবিক মিথোষ্ক্রিয়া সংঘটিত করার জন্য উপযুক্ত বিন্যাস।

পরমাণু ক্রমাঙ্কের বৃদ্ধির সাথে সাথে মূল গ্রুপের অন্যান্য মৌলগুলোর মতো *d* -ব্লক মৌলগুলোর আয়নায়ন এন্থ্যালপির মান ততোটা তীব্রভাবে বৃদ্ধি পায় না। একারণেই $(n-1)\,d$ -কক্ষক থেকে নানা সংখ্যায় ইলেকট্রনের নির্গমন শক্তির ক্ষেত্রটির দিক থেকে অসুবিধাজনক হয় না। সন্ধিগত মৌলের আচরণের ক্ষেত্রে $(n-1)\,d$ ইলেকট্রনসমূহ অংশগ্রহণ করে বলে এই সকল মৌলের মধ্যে স্বতন্ত্র বৈশিষ্ট্য লক্ষ্য করা যায়। একারণেই পরিবর্তনশীল জারণ স্তরের পাশাপাশি এরা পরাচুম্বকীয় ধর্ম, অনুঘটন ধর্ম প্রদর্শন করে এবং রঙীন আয়ন, ইন্টারস্টিসিয়েল যৌগ এবং জটিলযৌগ গঠনের প্রবণতা প্রদর্শন করে।

সন্ধিগত মৌলগুলোর রাসায়নিক ধর্মের বিস্তর ফারাক লক্ষ করা গেছে। এদের বেশীরভাগ মৌলই খনিজ অ্যাসিড দ্রবীভূত হওয়ার জন্য যথেষ্ট পরিমাণে তড়িৎধনাত্মক প্রকৃতির হয়, যদিও কয়েকটি মৌল আবার 'নোবেল' গ্যাসের মতো আচরণ করে। সন্ধিগত মৌলের প্রথম সারিটির ক্ষেত্রে কপার ছাড়া বাকি সমস্ত মৌলগুলোই তুলনামূলকভাবে সক্রিয় হয়।

অক্সিজেন, নাইট্রোজেন, সালফার এবং হ্যালোজেনের মতো বেশ কয়েকটি অধাতুর সাথে বিক্রিয়া করে সন্ধিগত ধাতুসমূহ দ্বিযৌগ (বাইনারি) গঠন করতে পারে। উচ্চ উষ্ণতার অক্সিজেনের সাথে বিক্রিয়া করেই প্রথম সারির সন্ধিগত মৌলগুলো ধাতব অক্সাইড গঠন করে। অ্যাসিড এবং ক্ষারকের মধ্যে দ্রবীভূত হয়ে এইসমস্ত অক্সাইড অক্সো-ধাতব লবণ তৈরি করে। পটাশিয়াম ডাইক্রোমেট এবং পটাশিয়াম পারম্যাঙ্গানেট হলো এই ধরনের অক্সোধাতব লবনের প্রচলিত উদাহরণ। ক্রোমাইট আকরিকে বায়ুর উপস্থিতিতে ক্ষারসহ উচ্চ উষ্ণতায় গলিয়ে এবং প্রাপ্ত নির্যাসকে অম্লীকৃত করে পটাশিয়াম ডাইক্রোমেট প্রস্তুত করা হয়। পটাশিয়াম পারম্যাঙ্গানেট প্রস্তুত করার জন্য পাইরোলুসাইট ($MnO_2$) আকরিক ব্যবহার করা হয়। ডাইক্রোমেট এবং পারম্যাঙ্গানেট আয়ন দুটোর প্রত্যেকেই শক্তিশালী জারণ দ্রব্য।

ল্যান্থানয়েড এবং অ্যাক্টিনয়েড এই দুটো অভ্যন্তরীন সন্ধিগত মৌলের সারি একত্রে পর্যায় সারণি *f* -ব্লকটি গঠন করে। অন্তঃ 4*f*-কক্ষকটিতে একের পর এক ইলেকট্রন প্রবেশ করে বলে এই সমস্ত মৌলের সারি বরাবর অগ্রসর হলে মৌলগুলোর পারমাণবিক আকার এবং আয়নীয় আকার ক্রমাগত হ্রাস পায় (ল্যান্থানয়েড সংকোচন)। এদের পরবর্তী মৌলগুলোর রসায়নের ক্ষেত্রে এই ঘটনার প্রভাব সুদূরপ্রসারী। ল্যান্থানাম এবং সমস্ত ল্যান্থানয়েড মৌলগুলো মূলত হাল্কা সাদা বর্ণের ধাতু। জলের সাথে সহজেই বিক্রিয়া করে। এরা +3 ধাতব আয়নের দ্রবণে তৈরি করে। এদের প্রধান জারণস্তরটি হলো +3, যদিও এদের

কয়েকটি ধাতু কখনো কখনো +4 এবং +2 জারণস্তর প্রদর্শন করে। অ্যাক্টিনয়েড মৌলগুলো পরিবর্তনশীল জারণস্তর প্রদর্শন করতে সক্ষম, এই বিষয়টি বিবেচনায় রাখলে অ্যাক্টিনয়েড মৌলের রসায়ন অনেকটাই জটিল প্রকৃতির হয়। এছাড়াও বেশীরভাগ অ্যাক্টিনয়েড মৌলগুলো তেজস্ক্রিয় প্রকৃতির হয় বলে এই সকল মৌল সম্বন্ধে অধ্যয়ন করা খুবই অসুবিধাজনক হয়।

*d*- এবং *f* -ব্লক মৌল এবং এদের যৌগসমূহের অনেক অনেক ব্যবহারিক প্রয়োগ আছে, এর মধ্যে গুরুত্বপূর্ণ কয়েকটি হল নানাকরমের ইস্পাত, অনুঘটক, জটিলযৌগ, জৈবসংশ্লেষণ ইত্যাদি।

## অনুশীলনী

**8.1** নিম্নলিখিত আয়নসমূহের ইলেকট্রন বিন্যাস লেখো ঃ

(i) $Cr^{3+}$ (iii) $Cu^{+}$ (v) $Co^{2}+$ (vii) $Mn^{2+}$

(ii) $Pm^{3+}$ (iv) $Ce^{4+}$ (vi) $Lu^{2+}$ (viii) $Th^{4+}$

**8.2** +3 জারণ অবস্থায় উন্নিত হওয়ার ক্ষেত্রে $Mn^{2+}$ এর যৌগগুলো $Fe^{2+}$ -এর চেয়ে অধিকতর সুস্থিত কেন?

**8.3** পরমাণু ক্রমাঙ্ক বৃদ্ধির সাথে সাথে প্রথম সারির প্রথম অর্ধের সন্ধিগত মৌলগুলোর ক্ষেত্রে +2 জারণস্তরটি অধিক থেকে অধিকতর স্থায়ী হয় কেন তা সংক্ষেপে বর্ণনা কর।

**8.4** সন্ধিগত মৌলের প্রথম সারির মৌলগুলোর জারণ স্তরের স্থায়ীত্ব নির্ধারণে তাদের ইলেকট্রন বিন্যাসের ভূমিকা কতটুকু? উপযুক্ত উদাহরণ তোমার উত্তরের স্বপক্ষে ব্যাখা দাও।

**8.5** নিম্নলিখিত *d* -ইলেকট্রন বিন্যাসযুক্ত সন্ধিগত মৌলগুলোর পরমাণুর মধ্যে কোনটির জারণস্তর ভূমিস্তর অবস্থায় অধিক স্থায়ী হতে পারে ঃ $3d^3$, $3d^5$, $3d^8$ এবং $3d^4$?

**8.6** সন্ধিগত মৌলের প্রথম সারির কোন্ অক্সোধাতব অ্যানায়নটিতে উপস্থিত ধাতুর জারণস্তর গ্রুপ সংখ্যার সমান হয়, তার নাম লিখো।

**8.7** 'ল্যান্থানয়েড সংকোচন' বলতে কী বুঝ? ল্যান্থানয়েড সংকোচনের ফলাফল বা প্রভাব গুলো কী কী?

**8.8** সন্ধিগত মৌলের বৈশিষ্ট্যগুলো কী কী এবং কেন এদের সন্ধিগত মৌল বলা হয়? *d*--ব্লকের কোন্ কোন্ মৌলগুলোকে সন্ধিগত মৌল হিসেবে বিবেচনা করা হয় না।

**8.9** সন্ধিগত মৌল নয় এমন মৌলের ইলেকট্রন বিন্যাস থেকে সন্ধিগত মৌলের ইলেকট্রনবিন্যাসগুলো কীভাবে পৃথক হয়?

**8.10** ল্যান্থানয়েড মৌলগুলো প্রদর্শন করে, এমন বিভিন্ন জারণস্তরগুলো কী কী?

**8.11** কারণসহ বর্ণনা করো ঃ

(i) সন্ধিগত মৌল এবং তাদের বেশীরভাগ যৌগগুলো পরাচম্বকীয় ধর্ম প্রদর্শন করে।

(ii) সন্ধিগত মৌলগুলোর অ্যাটমাইজেশন এনথ্যালপির মান উচ্চ হয়।

(iii) সন্ধিগত ধাতুগুলো সাধারণত রঙীন যৌগ গঠন করে।

(iv) সন্ধিগত ধাতু এবং তাদের বেশীর ভাগ যৌগগুলো উত্তম অনুঘটক হিসাবে কাজ করে।

**8.12** ইন্টারস্টিশিয়ান যৌগ বলতে কী বুঝ? সন্ধিগত মৌলগুলোর ক্ষেত্রে এই ধরনের যৌগগুলোর অস্তিত্ব অধিক সুবিদিত কেন?

**8.13** সন্ধিগত মৌলনয় এমন মৌলের জারণস্তর অপেক্ষা সন্ধিগত মৌলের জারণস্তরের মধ্যে অধিক পরিবর্তনশীলতা দেখা যায় কেন? উদাহরণসহ ব্যাখ্যা করো।

**8.14** আয়রন ক্রোমাইট আকরিক থেকে পটাশিয়াম ডাই ক্রোমেট প্রস্তুতি ব্যাখ্যা করো। পটাশিয়াম ডাইক্রোমেট দ্রবণের উপর pH বৃদ্ধির প্রভাব আলোচনা কর।

**8.15** নিম্নলিখিত রাসায়নিক পদার্থগুলোকে পটাশিয়াম ডাই ক্রোমেট কীভাবে জারিত করে তা ব্যাখ্যা কর এবং সংশ্লিষ্ট আয়নীয় বিক্রিয়াগুলোর সমীকরণ লেখো ঃ

(i) আয়োডাইড (ii) আয়রন(II) দ্রবণ এবং (iii) $H_2S$

8.16 পটাশিয়াম পারম্যাঙ্গানেট কীভাবে প্রস্তুত করা হয় তা আলোচনা কর। অম্লীকৃত পারম্যাঙ্গানেট দ্রবণ (i) আয়রন(II) আয়ন (ii) $SO_2$ এবং (iii) অক্সালিক অ্যাসিডের সাথে কীভাবে বিক্রিয়া করে? সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়াগুলোর আয়নীয় সমীকরণগুলো লেখো।

8.17 কয়েকটি ধাতুর $M^{2+}/M$ এবং $M^{3+}/M^{2+}$ সিস্টেমগুলোর $E^{\ominus}$ নামগুলো নিম্নে দেওয়া হলো ঃ

| | | | |
|---|---|---|---|
| $Cr^{2+}/Cr$ | -0.9V | $Cr^{3}/Cr^{2+}$ | -0.4 V |
| $Mn^{2+}/Mn$ | -1.2V | $Mn^{3+}/Mn^{2+}$ | +1.5 V |
| $Fe^{2+}/Fe$ | -0.4V | $Fe^{3+}/Fe^{2+}$ | +0.8 V |

এই তথ্যগুলোর সাহায্যে মন্তব্য কর ঃ

(i) $Cr^{3+}$ বা $Mn^{3+}$ আয়নের তুলনায় আম্লিক দ্রবণে $Fe^{3+}$ সুস্থিত এবং

(ii) অনুরূপ পদ্ধতিতে ক্রোমিয়াম বা ম্যাঙ্গানিজ ধাতুর তুলনায় কত সহজে আয়রন ধাতু জারিত হতে পারবে।

8.18 নিম্নলিখিত আয়নগুলোর জলীয় দ্রবণের মধ্যে কোন্‌টি রঙীন বর্ণ প্রদর্শন করবে, তা অনুমান করো? $Ti^{3+}$, $V^{3+}$, $Cu^{+}$, $Sc^{3+}$, $Mn^{2+}$, $Fe^{3+}$এবং $Co^{2+}$ প্রতিটি ক্ষেত্রে কারণ দর্শাও।

8.19 প্রথম সারির সন্ধিগত মৌলগুলোর +2 জারণস্তরের স্থায়ীত্বের তুলনামূলক আলোচনা কর।

8.20 নিম্নলিখিত বিশেষ ধর্মগুলোর ক্ষেত্রে ল্যান্থানয়েড এবং অ্যাক্টিনয়েড মৌলগুলোর রসায়নের তুলনামূলক আলোচনা কর ঃ

(i) ইলেকট্রন বিন্যাস

(ii) পারমানবিক এবং আয়নীয় আকার

(iii) জারণ স্তর

(iv) রাসায়নিক সক্রিয়তা।

8.21 নিম্নলিখিত বিষয়গুলোকে তুমি কীভাবে মূল্যায়ন করবে ঃ

(i) $d^4$ বিন্যাসযুক্ত $Cr^{2+}$ আয়নটি একটি শক্তিশালী বিজারক দ্রব্য কিন্তু ম্যাঙ্গানিজ (III) একটি শক্তিশালী জারক দ্রব্য।

(ii) জলীয় দ্রবণে কোবাল্ট (II) সুস্থিত কিন্তু জটিলযৌগ তৈরি করতে পারে এমন বিকারকের উপস্থিতিতে এটি সহজেই জারিত হতে পারে।

(iii) আয়নসমূহের $d^1$ বিন্যাসটি খুবই দুঃস্থিত প্রকৃতির।

8.22 'অসমঞ্জসতা' বলতে কী বোঝায়? জলীয় দ্রবণে সংঘটিত হয় এমন দুটো অসমঞ্জস বিক্রিয়ার উদাহরণ দাও।

8.23 প্রথম সারির সন্ধিগত ধাতুগুলোর মধ্যে কোন্ ধাতুটি সচরাচর +1 জারণস্তর প্রদর্শন করে এবং কেন?

8.24 নিম্নলিখিত গ্যাসীয় আয়নগুলোতে উপস্থিত অযুগ্ম ইলেকট্রন সংখ্যা গণনা কর ঃ $Mn^{3+}$, $Cr^{3+}$, $V^{3+}$ এবং $Ti^{3+}$। জলীয় দ্রবণে এদের মধ্যে কোন্‌টি সর্বাধিক পরিমাণে সুস্থিত হয়?

8.25 সন্ধিগত ধাতুর রসায়নে নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্যগুলোর উদাহরণ দাও এবং সম্ভাব্য কারণ বর্ণনা কর ঃ

(i) সন্ধিগত ধাতুর সর্বনিম্ন জারণস্তরযুক্ত অক্সাইডগুলো ক্ষারীয় হয় কিন্তু সর্বোচ্চ জারণস্তরযুক্ত অক্সাইডগুলো উভধর্মী না আম্লিক প্রকৃতির হয়।

(ii) সন্ধিগত ধাতুগুলো অক্সাইড এবং ফ্লুরাইড যৌগগুলোতেই সর্বোচ্চ জারণস্তর প্রদর্শন করে।

(iii) ধাতুসমূহ অক্সোঅ্যানায়ন সর্বোচ্চ জারণ প্রদর্শন করে।

8.26 নিম্নলিখিত যৌগগুলোর প্রস্তুতির বিভিন্ন ধাপগুলো নির্দেশ কর ঃ

(i) ক্রোমাইট আকরিক থেকে $K_2Cr_2O_7$

(ii) পাইরোলুসাইট আকরিক থেকে $KMnO_4$

8.27 ধাতু সংকর কী? কিছু ল্যান্থানয়েড ধাতু যুক্ত একটি ধাতুসংকের নাম লিখ।

8.28 অভ্যন্তরিন সন্ধিগত মৌল বলতে কাদের বোঝায়? নিম্নলিখিত পারমাণবিক সংখ্যাগুলোর মধ্যে কোন্ কোন্ সংখ্যাগুলো আভ্যন্তরিণ সন্ধিগত মৌলের পারমাণবিক সংখ্যা - তা নির্ণয় কর ঃ 29, 59, 74, 95, 102, 104.

8.29 অ্যাক্টিনয়েড মৌলের রসায়ন, ল্যান্থানয়েড মৌলের মতো ততটা ধারাবাহিক নয়। এইসকল ধাতুর জারণস্তরের সাহায্য নিয়ে এই বক্তব্যটির সত্যতা যাচাই করো।

8.30 অ্যাক্টিনয়েড সারিগুলোর সর্বশেষ মৌলটি কী? এই মৌলটির ইলেকটন বিন্যাস লেখো। এই মৌলটির সম্ভাব্য জারণস্তর কী কী হতে পারে, তার উপর মন্তব্য প্রকাশ করো।

8.31 হুন্ডের সূত্রের সাহায্য নিয়ে $Ce^{3+}$ আয়নের ইলেকট্রন বিন্যাস লেখো এবং 'স্পিন ওনলি' সূত্রের সাহায্যে এর চৌম্বক ভ্রামক গণনা কর।

8.32 +4 এবং +2 জারণস্তর প্রদর্শনকারী ল্যান্থানয়েড সারির মৌলসমূহের নাম লিখ। মৌলগুলোর এই ধরনের ব্যবহারের সাথে তাদের ইলেকট্রন বিন্যাসে সমন্বয় সাধনে চেষ্টা করো।

8.33 নিম্নলিখিত বিষয়গুলোর সাপেক্ষে ল্যান্থানয়েড এবং অ্যাক্টিনয়েড মৌলসমূহের রসায়নের তুলনা কর ঃ

(i) ইলেকট্রন বিন্যাস (ii) জারণস্তর এবং (iii) রাসায়নিক সক্রিয়তা ।

8.34 61, 91, 101, এবং 109 পরমাণুক্রমাঙ্ক বিশিষ্ট মৌলসমূহের ইলেকট্রন বিন্যাস লেখো।

8.35 সংশ্লিষ্ট উলম্ব সারির অন্তর্গত প্রথম সারির সন্ধিগত মৌলগুলোর সাথে দ্বিতীয় এবং তৃতীয় সারির সন্ধিগত মৌলগুলোর সাধারণ বৈশিষ্ট্যর তুলনা কর। নিম্নলিখিত বিষয়গুলোর প্রতি বিশেষ গুরুত্ব প্রদান কর।

(i) ইলেকট্রন বিন্যাস (ii) জারণস্তর (iii) আয়নায়ন এনথ্যালপি এবং (iv) পারমানবিক আকার।

8.36 নিম্নলিখিত আয়নগুলোর প্রত্যেকটিতে উপস্থিত 3d ইলেকট্রন সংখ্যাগুলো লেখো ঃ $Ti^{2+}$, $V^{2+}$, $Cr^{3+}$, $Mn^{2+}$, $Fe^{2+}$, $Fe^{3+}$, $Co^{2+}$, $Ni^{2+}$ এবং $Cu^{2+}$। জলযোজিত (অষ্টতলকীয়) অবস্থায় এই সকল আয়নগুলোর 3d-কক্ষকের পাঁচটি কক্ষ কিভাবে ইলেকট্রন দ্বারা পূর্ণ থাকবে তা নির্দেশ করো।

8.37 'উচ্চতর আণবিকগুরুত্ব বিশিষ্ট সন্ধিগত মৌলগুলোর তুলনায় প্রথম সারির সন্ধিগত মৌলসমূহের ধর্মাবলি বহুক্ষেত্রেই ভিন্ন হয়'–বিবৃতিটির ওপর মন্তব্য প্রকাশ করো।

8.38 নিম্নলিখিত জটিল যৌগ/আয়নগুলোর প্রদত্ত চৌম্বক ভ্রামকের মানগুলো থেকে কীরূপ সিদ্ধান্ত গ্রহণ করা সম্ভব।

| জটিল আয়ন/যৌগ | চৌম্বক ভ্রামক (BM) |
|---|---|
| $K_4[Mn(CN)_6]$ | 2.2 |
| $[Fe(H_2O)_6]^{2+}$ | 5.3 |
| $K_2[MnCl_4]$ | 5.9 |

## কিছুসংখ্যক বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলির উত্তরমালা

8.1 সিলভার (Z = 47) +2 জারণ অবস্থায় অসম্পূর্ণ $d$ ($4d$) -কক্ষক থাকে। তাই এটি সন্ধিগত মৌল।

8.2 জিঙ্কের ক্ষেত্রে $3d$-কক্ষকের কোন ইলেকট্রন ধাতব বন্ধন তৈরিতে অংশগ্রহণ করে না, কিন্তু $3d$ -সারির অন্যান্য মৌলগুলোর $d$--কক্ষকের ইলেকট্রন ধাতব বন্ধন তৈরিতে অংশগ্রহণ করে।

8.3 ম্যাঙ্গানিজ (Z = 25), কারণ এর পরমাণুতেই সর্বোচ্চ সংখ্যায় অযুগ্ম ইলেকট্রন উপস্থিত থাকে।

8.5 বিভিন্ন $3d$- বিন্যাসগুলোর স্থায়ীত্বের মাত্রা ভিন্ন ভিন্ন হয় বলেই (যেমন, $d^0$, $d^5$, $d^{10}$ বিন্যাসগুলোর ব্যতিক্রমীভাবে সুস্থিত হয়) আয়নায়ন এনথ্যালপির অসমঞ্জস্যতা লক্ষ্য করা যায়।

8.6 অক্সিজেন বা ফ্লুরিনের আকার ছোট এবং তড়িৎঋণাত্মকতার মান উচ্চ হয় বলে ধাতুসমূহকে এদের সর্বোচ্চ জারণস্তরে উন্নীত করতে পারে।

8.7 $Fe^{2+}$ থেকে $Cr^{2+}$ অধিকতর শক্তিশালী বিজারক দ্রব্য।

কারণ ঃ $Cr^{2+}$ থেকে $Cr^{3+}$ রূপান্তরের ক্ষেত্রে $d^4 \rightarrow d^3$ পরিবর্তিত হয়।

কিন্তু $Fe^{2+}$ থেকে $Fe^{3+}$ তে রূপান্তরের ক্ষেত্রে $d^6 \rightarrow d^5$ পরিবর্তিত হয়।

কোন মাধ্যমে (জলের মত) $d^5$ বিন্যাস তুলনায় $d^3$ বিন্যাসের স্থায়ীত্ব অধিক হয় (ক্রিস্টাল ফিল্ড স্টেবিলাইজেশন এনারর্জি অংশটি দেখ)।

8.9 $Cu^+$ জলীয় দ্রবণে অসমঞ্জস্য বিক্রিয়া প্রদর্শন করে। অর্থাৎ

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

বিক্রিয়াটির $E^0$ মান গ্রহণযোগ্য হয়।

8.10 নিউক্লীয়ার আধান থেকে $5f$ ইলেকট্রনগুলো অধিক কার্যকারীতার আবৃত থাকে। অন্যভাবে বলতে গেলে সারিগুলোতে $5f$ ইলেকট্রন নিজেরাই এক মৌল থেকে অন্যমৌলের প্রতি দুর্বল আবরণী প্রভাব প্রদর্শন করে।

অধ্যায়

# 9

# সবর্গীয় যৌগ

## উদ্দেশ্য

এই অধ্যায়টি অধ্যয়নের পর তোমরা সক্ষম হবে

- সবর্গীয় যৌগ সংক্রান্ত ভার্ণারের তত্ত্বের স্বীকার্যগুলোর গুরুত্ব বুঝতে।
- কোঅর্ডিনেশন এন্‌টিটি, কেন্দ্রীয় পরমাণু/আয়ন, সংলগ্নক/লিগ্যান্ড, সবর্গাঙ্ক সংখ্যা, সবর্গীয় স্তর, সবর্গীয় পলিহেড্রন/বহুতলক, জারণ সংখ্যা, হোমোলেপটিক এবং হেটেরোলেপটিক পদগুলোর অর্থ জানতে।
- সবর্গীয় যৌগের নামকরণের নিয়মাবলী শিখতে।
- এককেন্দ্রিক সবর্গীয় যৌগের সংকেত এবং নাম লিখতে।
- সবর্গীয় যৌগের বিভিন্ন ধরনের সমাবয়বতা সংজ্ঞায়িত করতে।
- যোজ্যতা বন্ধন তত্ত্ব এবং ক্রিস্টাল ফিল্ড তত্ত্বের সাহায্যে সবর্গীয় যৌগে উপস্থিত বন্ধনসমূহের প্রকৃতি বুঝতে।
- সবর্গীয় যৌগের স্থায়িত্ব সমন্ধে জানতে।
- আমাদের দৈনন্দিন জীবনে সবর্গীয় যৌগের গুরুত্ব এবং প্রয়োগ সমন্ধে জানতে।

*সবর্গীয় যৌগগুলো আধুনিক অজৈব এবং জীবজ-অজৈব রসায়ন (bio-inorganic chemistry) এবং রসায়ন শিল্পের মেরুদন্ড স্বরূপ।*

পূর্ববর্তী অধ্যায়ে আমরা জেনেছি যে, সন্ধিগত ধাতুগুলো বহু সংখ্যক জটিল যৌগ গঠন করে, যেগুলোতে ধাতব পরমাণুগুলো ইলেকট্রন ভাগাভাগির মাধ্যমে অনেকগুলো অ্যানায়ন বা প্রশম অনুর সঙ্গে যুক্ত থাকে। আধুনিক পরিভাষায় এরূপ যৌগগুলোকে সবর্গীয় যৌগ (coordination compounds) বলা হয়। সবর্গীয় যৌগের রসায়ন আধুনিক অজৈব রসায়নের একটি গুরুত্বপূর্ণ এবং চ্যালেঞ্জিং ক্ষেত্র। রাসায়নিক বন্ধন এবং আণবিক গঠন সম্পর্কিত নতুন তত্ত্বসমূহ জৈবিক তন্ত্রসমূহের অত্যাবশ্যক উপাদানরূপে এই যৌগগুলোর কার্য্যকারীতার উপর দৃষ্টি আরোপ করেছে। ক্লোরোফিল, হিমোগ্লোবিন এবং ভিটামিন $B_{12}$ হল যথাক্রমে ম্যাগনেসিয়াম, আয়রণ এবং কোবাল্ট এর সবর্গীয় যৌগ। ধাতুবিদ্যা সম্পর্কিত বিভিন্ন প্রক্রিয়ায়, শিল্পে ব্যবহৃত অনুঘটক এবং বৈশ্লেষিক বিকারক রূপে সবর্গীয় যৌগ ব্যবহৃত হয়। তড়িৎ লেপন, বস্ত্ররঞ্জন এবং ঔষধসম্বন্ধীয় রসায়নেও সবর্গীয় যৌগের অনেক প্রয়োগ রয়েছে।

## 9.1 সবর্গীয় যৌগ সংক্রান্ত ভার্ণারের তত্ত্ব

সুইজারল্যান্ডের রসায়নবিদ অ্যালফ্রেড ভার্ণার **Alfred Werner** (1866-1919) ছিলেন প্রথম বিজ্ঞানী যিনি উনার সবর্গীয় যৌগের গঠন সংক্রান্ত ধারণাসমূহকে সূত্রাকার স্পষ্টভাবে ব্যক্ত করেছিলেন। তিনি বহু সংখ্যক সবর্গীয় যৌগ প্রস্তুত করেছিলেন এবং এদেরকে চিহ্নিত করেছিলেন এবং সহজ পরীক্ষামূলক পদ্ধতিতে তাদের ভৌত ও রাসায়নিক ধর্মাবলী অধ্যয়ন করেছিলেন। কোনো ধাতব আয়নের ক্ষেত্রে ভার্ণার মুখ্য যোজ্যতা (**primary valence**) এবং গৌণ যোজ্যতার (**secondary valence**) ধারণা প্রস্তাব করেছিলেন। বাইনারী যৌগ (দুই ধরনের পরমাণু নিয়ে গঠিত যৌগ) যেমন- $CrCl_3$, $CoCl_2$ অথবা $PdCl_2$ এর মুখ্য যোজ্যতা যথাক্রমে 3, 2 এবং 2। অ্যামোনিয়া এবং কোবাল্ট (III) ক্লোরাইডের বিভিন্ন যৌগের শ্রেণীর ক্ষেত্রে দেখা গেছে যে, ঠান্ডা অবস্থায় উক্ত যৌগগুলোর দ্রবণে অতিরিক্ত সিলভার নাইট্রেট দ্রবণ যোগ করলে কিছু ক্লোরাইড আয়ন AgCl রূপে অধঃক্ষিপ্ত হয় কিন্তু কিছু ক্লোরাইড আয়ন দ্রবণে থেকে যায়।

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 মোল | $CoCl_3.6NH_3$ (হলুদ) | 3 মোল AgCl | উৎপন্ন করে |
| 1 মোল | $CoCl_3.5NH_3$ (নীলাভ বেগুনী) | 2 মোল AgCl | উৎপন্ন করে |
| 1 মোল | $CoCl_3.4NH_3$ (সবুজ) | 1 mol AgCl | উৎপন্ন করে |
| 1 মোল | $CoCl_3.4NH_3$ (বেগুনী) | 1 মোল AgCl | উৎপন্ন করে |

এই পর্যবেক্ষণগুলোর সাথে সাথে দ্রবণে পরিবাহিতা সংক্রান্ত পরিমাপের ফলাফলগুলো ব্যাখ্যা করা যেতে পারে যদি (i) মোট ছয়টি গ্রুপ, হয় ক্লোরাইড আয়ন অথবা অ্যামোনিয়া অণু অথবা উভয়ই বিক্রিয়া চলাকালীন কোবাল্ট আয়নের সঙ্গে যুক্ত থাকে এবং (ii) সারণি 9.1-তে যৌগগুলোর সংকেত দেওয়া হয়েছে, যেখানে তৃতীয় বন্ধনীর অন্তর্গত পরমাণুগুলো একটি একক এন্‌টিটি গঠন করে যেটি বিক্রিয়া মাধ্যমে বিয়োজিত হয় না। ধাতব আয়নের সাথে সরাসরি যুক্ত গ্রুপের জন্য ভার্ণার গৌণ যোজ্যতা পদটি প্রস্তাব করেছিলেন, এক্ষেত্রে প্রতিটি উদাহরণের ক্ষেত্রে গৌণ যোজ্যতা হল ছয়।

**সারণি 9.1 ঃ কোবাল্ট (III) ক্লোরাইড- অ্যামোনিয়া জটিল যৌগের সংকেত গঠন**

| বর্ণ | সংকেত | দ্রবণের পরিবাহিতা নির্দেশ করে |
|---|---|---|
| হলুদ | $[Co(NH_3)_6]^{3+}3Cl^-$ | 1:3 তড়িৎ বিশ্লেষ্য |
| নীলাভ বেগুণী | $[CoCl(NH_3)_5]^{2+}2Cl^-$ | 1:2 তড়িৎ বিশ্লেষ্য |
| সবুজ | $[CoCl_2(NH_3)_4]^+Cl^-$ | 1:1 তড়িৎ বিশ্লেষ্য |
| বেগুণী | $[CoCl_2(NH_3)_4]^+Cl^-$ | 1:1 তড়িৎ বিশ্লেষ্য |

লক্ষ্য করো, সারণি 9.1-এর শেষ দুটি যৌগের স্থূল সংকেত একই, $CoCl_3.4NH_3$, কিন্তু এদের ধর্মাবলী ভিন্ন। এরূপ যৌগগুলোকে সমাবয়বী (isomers) বলা হয়। 1898 খ্রীষ্টাব্দে ভার্ণার সবর্গীয় যৌগ সংক্রান্ত তাঁর তত্ত্বটি উপস্থাপনা করেছিলেন। এর মূল স্বীকার্যগুলো হল ঃ

1. সবর্গীয় যৌগে ধাতুগুলো দুই ধরনের লিঙ্কেজ (যোজ্যতা) প্রদর্শণ করে– মুখ্য এবং গৌণ।
2. মুখ্য যোজ্যতাগুলো সাধারণত আয়নীয় প্রকৃতির হয় এবং ঋণাত্মক আয়ন দ্বারা পরিপৃক্ত হয়।
3. গৌণ যোজ্যতাগুলো অনায়নীয় প্রকৃতির হয়। এগুলো প্রশম অণু অথবা ঋণাত্মক আয়ন দ্বারা পরিপৃক্ত হয়। গৌণ যোজ্যতা সবর্গাঙ্ক সংখ্যার সমান হয় এবং কোনো ধাতুর ক্ষেত্রে এর মান নির্দিষ্ট হয়।
4. যে আয়নগুলো/ গ্রুপগুলো গৌণ যোজ্যতা মাধ্যমে ধাতুর সাথে যুক্ত, বিভিন্ন সবর্গাঙ্ক সংখ্যা অনুযায়ী সেগুলির বৈশিষ্ট্যমূলক জ্যামিতিক গঠনাকৃতি রয়েছে।

সংকেত লেখার আধুনিক নিয়মানুযায়ী এরূপ জ্যামিতিক বিন্যাসকে সবর্গীয় বহুতলক (coordination *polyhedra*) বলা হয়। তৃতীয় বন্ধনীর ভিতরের কণাগুলোকে (species) কো-অর্ডিনেশন এন্‌টিটি বা জটিল আয়ন এবং তৃতীয় বন্ধনীর বাইরের আয়নগুলোকে কাউন্টার আয়ন বলে।

তিনি উপরন্তু প্রস্তাব করেন যে, সন্ধিগত ধাতুর সবর্গীয় যৌগগুলোতে অষ্টতলকীয়, চতুস্তলকীয় এবং সামতলিক বর্গাকার জ্যামিতিক আকৃতিই বেশী দেখা যায়। এইভাবে $[Co(NH_3)_6]^{3+}$, $[CoCl(NH_3)_5]^{2+}$ এবং $[CoCl_2(NH_3)_4]^+$ হল অষ্টতলকীয় এন্‌টিটি, অপরদিকে $[Ni(CO)_4]$ এবং $[PtCl_4]^{2-}$ হল যথাক্রমে চতুস্তলকীয় এবং সমতলিক বর্গাকার আকৃতি বিশিষ্ট।

জলীয় দ্রবণে সংঘটিত নিম্নলিখিত পর্যবেক্ষণগুলোর উপর ভিত্তি করে নীচে প্রদত্ত যৌগগুলোতে উপস্থিত ধাতুগুলোর গৌণ যোজ্যতা নির্ণয় করো ঃ

***নমুনা প্রশ্ন 9.1***

| সংকেত | অতিরিক্ত $AgNO_3$ এর দ্বারা প্রতি মোল যৌগ থেকে অধঃক্ষিপ্ত AgCl এর মোল সংখ্যা |
|---|---|
| (i) $PdCl_2.4NH_3$ | 2 |
| (ii) $NiCl_2.6H_2O$ | 2 |
| (iii) $PtCl_4.2HCl$ | 0 |
| (iv) $CoCl_3.4NH_3$ | 1 |
| (v) $PtCl_2.2NH_3$ | 0 |

**সমাধান**

(i) গৌণ যোজ্যতা 4 (ii) গৌণ যোজ্যতা 6
(iii) গৌণ যোজ্যতা 6 (iv) গৌণ যোজ্যতা 6 (v) গৌণ যোজ্যতা 4

*যুগ্ম লবণ এবং জটিল যৌগের মধ্যে পার্থক্য*

দুই বা ততোধিক স্থায়ী যৌগের স্টয়সিওমেট্রিক অনুপাতে যুক্ত হওয়ার ফলে যুগ্ম লবণ এবং জটিল যৌগ উভয়ই গঠিত হয়। যদিও তাদের পার্থক্য এই যে, যুগ্ম লবণগুলো যেমন- কার্ণালাইট, $KCl.MgCl_2.6H_2O$, মোর লবণ, $FeSO_4.(NH_4)_2SO_4.6H_2O$, পটাশ অ্যালাম, $KAl(SO_4)_2.12H_2O$ ইত্যাদি জলে দ্রবীভূত হয়ে সম্পূর্ণভাবে স্বতন্ত্র আয়নে বিয়োজিত হয়। যদিও $K_4[Fe(CN)_6]$ থেকে উৎপন্ন জটিল আয়ন $[Fe(CN)_6]^{4-}$, $Fe^{2+}$ এবং $CN^-$ আয়নে বিয়োজিত হয় না।

(1866-1919)

1866 খ্রীষ্টাব্দের 12 ই ডিসেম্বর ফ্রান্সের আল্‌জাস (Alsace) প্রদেশের মূলহাউস (Mülhouse) নামক একটি ছোট্ট সম্প্রদায়ে ভার্ণার জন্ম গ্রহণ করেছিলেন। রাসায়ন বিষয়ে তাঁর অধ্যয়ন কার্লস্রোহীতে (জার্মানী) শুরু হয়েছিল এবং পরে জুরিখ (সুইজারল্যান্ড)-এ অব্যাহত ছিল, যেখানে 1890 খ্রীষ্টাব্দে তাঁর গবেষণামূলক প্রবন্ধে তিনি সমাবয়বতার উপর ভিত্তি করে কিছু নাইট্রোজেনযুক্ত জৈব যৌগের ধর্মাবলীর পার্থক্য ব্যাখ্যা করেছিলেন। তিনি চতুস্তলকীয় কার্বন পরমাণু সংক্রান্ত ভ্যান্টহফের তত্ত্বটিকে সম্প্রসারিত করেছিলেন এবং নাইট্রোজেন পরমাণুর জন্য এটিকে পরিবর্তিত করেছিলেন। ভৌত পরিমাণের উপর ভিত্তি করে ভার্ণার জটিল যৌগগুলোর মধ্যে আলোকীয় এবং তড়িৎ ধর্মের পার্থক্য দেখিয়েছিলেন। প্রকৃতপক্ষে, ভার্ণারই ছিলেন প্রথম বিজ্ঞানী যিনি কিছু সবর্গীয় যৌগে আলোকীয় সক্রিয়তা আবিষ্কার করেছিলেন।

1895 খ্রীস্টাব্দের 29 বছর বয়সে জুরিখের টেকনিশী হকস্কুলিতে (Technische Hochschule) পূর্ণ সময়ের অধ্যাপক হয়েছিলেন। অ্যালফ্রেড ভার্ণার ছিলেন একজন রসায়নবিদ এবং শিক্ষাবিদ। তাঁর সম্পাদিত কাজগুলোরমধ্যে সবর্গীয় যৌগ সংক্রান্ত তত্ত্বের বিকাশ অন্যতম। এই তত্ত্বটি, যাতে ভার্ণার পরমাণু এবং অণুসমূহ কিভাবে পরস্পর যুক্ত থাকে এ সম্পর্কে একটি বৈপ্লবিক ধারণার প্রস্তাব করেছিলেন, কেবলমাত্র তিনবছরের মধ্যে অর্থাৎ 1890 থেকে 1893 সালের মধ্যে সেগুলো প্রণীত হয়েছিল। তাঁর কর্ম জীবনের বাকি সময় তাঁর নতুন নতুন ধারণাগুলোর সত্যতা যাচাইয়ের জন্য পরীক্ষামূলক তথ্যের সহায়তা সংগ্রহ করতেই ব্যয় হয়েছিল। ভার্ণার হলেন সুইজ্যারল্যান্ডের প্রথম রসায়নবিদ যিনি 1913 খ্রীষ্টাব্দে পরমাণু সমূহের সংযুতি এবং সবর্গীয় তত্ত্ব সংক্রান্ত গবেষণার জন্য নোবেল পুরস্কারে ভূষিত হয়েছিলেন।

## 9.2 সবর্গীয় যৌগ সংক্রান্ত কয়েকটি গুরুত্বপূর্ণ পদের সংজ্ঞা

*(a) সবর্গীয় বা কো অর্ডিনেশন এন্‌টিটি*

একটি কেন্দ্রীয় ধাতব পরমাণু বা আয়নের সঙ্গে নির্দিষ্ট সংখক আয়ন বা অণু বন্ধনে আবদ্ধ হলে একটি সবর্গীয় বা কো-অর্ডিনেশন এন্‌টিটি গঠিত হয়। উদাহরণস্বরূপ, $[CoCl_3(NH_3)_3]$ একটি সবর্গীয় এন্‌টিটি যার মধ্যে কোবাল্ট আয়ন তিনটি অ্যামোনিয়া অণু এবং তিনটি ক্লোরাইড আয়ন দ্বারা পরিবেষ্টিত থাকে। অন্যান্য উদাহরণগুলো হল $[Ni(CO)_4]$, $[PtCl_2(NH_3)_2]$, $[Fe(CN)_6]^{4-}$, $[Co(NH_3)_6]^{3+}$।

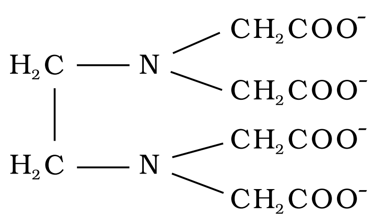
*(b) কেন্দ্রীয় পরমাণু / আয়ন*

কোনো সবর্গীয় বা কো অর্ডিনেশন এন্‌টিটিতে যে পরমাণু/আয়ন -এর চর্তুদিকে নির্দিষ্ট সংখ্যক আয়ন/গ্রুপ সুনির্দিষ্ট জ্যামিতিক বিন্যাসে যুক্ত থাকে তাকে কেন্দ্রীয় পরমাণু বা আয়ন বলে। উদাহরণস্বরুপ, $[NiCl_2(H_2O)_4]$, $[CoCl(NH_3)_5]^{2+}$ এবং $[Fe(CN)_6]^{3-}$ এর সবর্গীয় এন্‌টিটিগুলোতে কেন্দ্রীয় পরমাণু/আয়নগুলো হল যথাক্রমে $Ni^{2+}$, $Co^{3+}$ এবং $Fe^{3+}$, এই কেন্দ্রীয় পরমাণু /আয়নগুলোকে লুইস অ্যাসিডও বলা হয়।

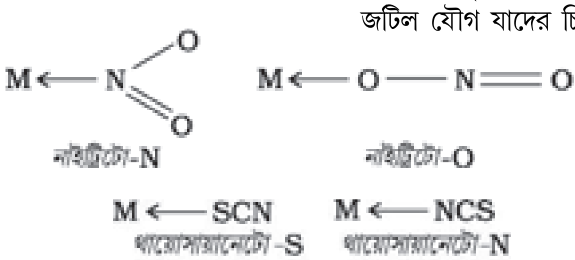
*(c) সংলগ্নক বা লিগ্যাড*

সবর্গীয় এন্‌টিটিতে কেন্দ্রীয় পরমাণু/আয়নের সঙ্গে যুক্ত আয়ন/অণুগুলোকে সংলগ্নক বা লিগ্যান্ড বলা হয়। এগুলো সরল আয়ন যেমন– $Cl^-$, ছোট আকৃতির অণু যেমন $H_2O$ বা $NH_3$, বড় আকৃতির অণু যেমন $H_2NCH_2CH_2NH_2$ বা $N(CH_2CH_2NH_2)_3$ অথবা বৃহদাকৃতি অণু যেমন প্রোটিনও হতে পারে।

যখন একটি সংলগ্নক বা লিগ্যান্ড একটি মাত্র দাতা পরমাণুর (যেমন $Cl^-$, $H_2O$ বা $NH_3$ এর ক্ষেত্রে দেখা যায়)। দ্বারা ধাতব আয়নের সাথে যুক্ত হয়, তখন লিগ্যান্ডটিকে একযোজী (**unidentate**) লিগ্যান্ড বলা হয়। যখন একটি লিগ্যান্ড লিগ্যান্ডে উপস্থিত দুইটি দাতা পরমাণুর দ্বারা কেন্দ্রীয় পরমাণু/আয়নের সঙ্গে যুক্ত হয় যেমনটি $H_2NCH_2CH_2NH_2$ (ইথেন –1,2–ডাইঅ্যামিন) বা $C_2O_4^{2-}$ (অক্সালেট) এর ক্ষেত্রে দেখা যায় তখন লিগ্যান্ডটিকে দ্বি-যোজী লিগ্যান্ড (**didentate**) বলা হয় এবং যখন একটি লিগ্যান্ড যেমন– $N(CH_2CH_2NH_2)_3$ -এ কয়েকটি দাতা পরমাণু উপস্থিত থাকে, তখন লিগ্যান্ডটিকে বহুযোজী (**didentate**) লিগ্যান্ড বলা হয়। ইথিলিনডাই অ্যামিনটেট্রা অ্যাসিটেট আয়ন (**polydentate**) একটি গুরুত্বপূর্ণ ষড়যোজী লিগ্যান্ড। এটি দুইটি নাইট্রোজেন এবং চারটি অক্সিজেন পরমাণুর দ্বারা একটি কেন্দ্রীয় ধাতব আয়নের সঙ্গে যুক্ত হতে পারে।



যখন একটি দ্বি বা বহুযোজী লিগ্যান্ড এর দুই বা ততোধিক দাতা পরমাণুগুলোকে একটি ধাতব আয়নের সঙ্গে যুক্ত হওয়ার সময় একইসঙ্গে ব্যবহার করে, তখন লিগ্যান্ডটিকে চিলেট লিগ্যান্ড বলে। এইরূপ সংযোজিত গ্রুপের সংখ্যাকে লিগ্যান্ডের ডেন্‌টিসিটি (**denticity**) বলে। এইরূপ জটিল যৌগ যাদের চিলেট জটিল যৌগ বলা হয়, একযোজী লিগ্যান্ড সমন্বিত অনুরূপ জটিল যৌগের চেয়ে অধিক সুস্থিত হয়। 9.8 অনুচ্ছেদে-এর কারণ বর্ণিত হয়েছে। যে লিগ্যান্ডে দুইটি ভিন্ন দাতা পরমাণু থাকে এবং জটিল যৌগে যে কোনো একটিদাতা পরমাণুরূপে যুক্ত থাকে, তবে এই ধরনের লিগ্যান্ডকে অ্যাম্বিডেন্টেট লিগ্যান্ড বলে। এইরূপ লিগ্যান্ডের উদাহরণ হল $NO_2^-$ এবং $SCN^-$ আয়ন। $NO_2^-$ আয়ন একটি কেন্দ্রীয় ধাতব পরমাণু/আয়নের সঙ্গে নাইট্রোজেন বা অক্সিজেন পরমাণুর দ্বারা যুক্ত হতে পারে।




অনুরূপভাবে, $SCN^-$ আয়ন সালফার বা নাইট্রোজেন পরমাণুর মাধ্যমে যুক্ত হতে পারে।

*(d) সবর্গাঙ্ক সংখ্যা*

কোনো জটিল যৌগে একটি ধাতব আয়নের সবর্গাঙ্ক সংখ্যাকে (CN) ধাতুর সঙ্গে সরাসরি যুক্ত লিগ্যান্ডের দাতা পরমাণুর সংখ্যার দ্বারা সংজ্ঞায়িত করা যেতে পারে। উদাহরণস্বরূপ, $[PtCl_6]^{2-}$ এবং $[Ni(NH_3)_4]^{2+}$ জটিল আয়নে Pt এবং Ni এর সবর্গাঙ্ক সংখ্যা যথাক্রমে 6 এবং 4. অনুরূপভাবে, $[Fe(C_2O_4)_3]^{3-}$ এবং $[Co(en)_3]^{3+}$ জটিল আয়নে Fe এবং Co উভয়ের সবর্গাঙ্ক সংখ্যা হল 6, কারণ, $C_2O_4^{2-}$ এবং en (ইথেন-1, 2-ডাইঅ্যামিন) হল দ্বি-যোজী লিগ্যান্ড।

এখানে এটি লক্ষ করা গুরুত্বপূর্ণ যে, কেন্দ্রীয় পরমাণু/আয়ন এবং লিগ্যান্ডের মধ্যে গঠিত শুধুমাত্র সিগ্‌মা বন্ধনের সংখ্যার দ্বারা কেন্দ্রীয় পরমাণু/আয়নের সবর্গাঙ্ক সংখ্যা নির্ণয় করা হয়। যদি লিগ্যান্ড এবং কেন্দ্রীয় পরমাণু/আয়নের মধ্যে পাই বন্ধন গঠিত হয়, তবে সেগুলো এক্ষেত্রে গণ্য করা হয় না।

*(e) সবর্গীয় স্তর বা কোঅর্ডিনেশন স্তর বা অঞ্চল*

কেন্দ্রীয় পরমাণু/আয়ন এবং এর সঙ্গে যুক্ত লিগ্যান্ডগুলোকে একটি তৃতীয় বন্ধনীর মধ্যে লেখা হয় এবং একসঙ্গে এদেরকে বলা হয় সবর্গীয় স্তর বা কো-অর্ডিনেশন স্তর। আয়নীয় গ্রুপগুলোকে তৃতীয় বন্ধনীর বাইরে লেখা হয় এবং এদেরকে কাউন্টার আয়ন বলে। উদাহরণস্বরূপ, $K_4[Fe(CN)_6]$ জটিল যৌগে, $[Fe(CN)_6]^{4-}$ হল সবর্গীয় স্তর এবং $K^+$ হল কাউন্টার আয়ন।

*(f) সবর্গীয় বহুতল*

কেন্দ্রীয় পরমাণুর চর্তুদিকে কেন্দ্রীয় পরমাণু/আয়নের সঙ্গে সরাসরি যুক্ত লিগ্যান্ড পরমাণুগুলোর ত্রিমাত্রিক বিন্যাসকে সবর্গীয় বহুতলক বলা হয়। সর্বাধিক প্রাপ্ত সবর্গীয় বহুতলকগুলো হল অষ্টতলকীয়, সামতলিক বর্গাকার এবং চতুস্তলকীয় বিন্যাস বিশিষ্ট। উদাহরণস্বরূপ, $[Co(NH_3)_6]^{3+}$ হল অষ্টতলকীয়, $[Ni(CO)_4]$ হল চতুস্তলকীয় এবং $[PtCl_4]^{2-}$ হল সামতলিক বর্গাকার। চিত্র 9.1 বিভিন্ন সবর্গীয় বহুতলকের আকৃতি প্রদর্শণ করে।

*চিত্র 9.1 ঃ বিভিন্ন সবর্গীয় বহুতলকের আকৃতি M কেন্দ্রীয় পরমাণু/আয়ন এবং L একযোজী লিগ্যান্ড নির্দেশ করে।*

*(g) কেন্দ্রীয় পরমাণুর জারণ সংখ্যা*

কেন্দ্রীয় পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত লিগ্যান্ডগুলোকে নিজ নিজ ইলেকট্রন জোড় সহ অপসারিত করলে কেন্দ্রীয় পরমাণু যে আধান বহন করবে তাকে জটিল যৌগে কেন্দ্রীয় পরমাণুর জারণ সংখ্যা বলে। সবর্গীয় এন্‌টিটির নামের পরে প্রথম বন্ধনীতে রোমান সংখ্যা দ্বারা জারণ সংখ্যা প্রকাশ করা হয়। উদারহণস্বরূপ, $[Cu(CN)_4]^{3-}$ এ কপারের জারণ সংখ্যা হল +1 এবং একে Cu(I) রূপে লেখা হয়।

*(h) হোমোলেপটিক এবং হেটেরোলেপটিক জটিল যৌগ*

যে সকল জটিল যৌগে ধাতব পরমাণু শুধুমাত্র এক প্রকারের দাতা গ্রুপ যেমন– $[Co(NH_3)_6]^{3+}$ -এর সাথে যুক্ত সেগুলো হোমোলেপটিক জটিল যৌগ হিসেবে পরিচিত। যে সকল জটিল যৌগে ধাতব পরমাণু একাধিক প্রকারের দাতা গ্রুপ যেমন– $[Co(NH_3)_4Cl_2]^+$-এর সাথে যুক্ত, সেগুলো হেটেরোলেপটিক জটিল যৌগ হিসেবে পরিচিত।

## 9.3 সবর্গীয় যৌগের নামকরণ

সবর্গীয় যৌগের রসায়নে নামকরণ একটি গুরুত্বপূর্ণ বিষয় কারণ সবর্গীয় যৌগের সংকেত ব্যাখা করতে এবং নিয়ম অনুসারে নাম লিখতে বিশেষ করে সমবায়গুলোর ক্ষেত্রে একটি সার্বজনিন পদ্ধতির প্রয়োজন। International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) এর সুপারিশের উপর ভিত্তি করেই সবর্গীয় এন্‌টিটির সংকেত এবং নামগুলো গ্রহণ করা হয়েছে।

## 9.3.1 এক কেন্দ্রীক সবর্গীয় এন্‌টিটির সংকেত সমূহ

কোনো যৌগের সংকেত হল ঐ যৌগের গঠন সম্পর্কিত প্রাথমিক তথ্যসমূহকে সংক্ষিপ্তরূপে এবং সুবিধাজনক ভাবে প্রকাশ করার সংক্ষিপ্ত পদ্ধতি (শর্টহ্যান্ডটুল)। এক কেন্দ্রীয় সবর্গীয় এন্‌টিটিতে একটি মাত্র কেন্দ্রীয় ধাতব পরমাণু থাকে। সংকেত লেখার ক্ষেত্রে নিম্নলিখিত নিয়মগুলো প্রয়োগ করা হয়ে থাকে ঃ

(i) কেন্দ্রীয় পরমাণুটিকে প্রথমে লেখা হয়।

(ii) এরপর লিগ্যান্ডগুলিকে তাদের নামের ইংরেজী বর্ণমালার ক্রমানুযায়ী লেখা হয়। লিগ্যান্ডের অবস্থান এর আধানের উপর নির্ভর করে না।

(iii) বহুযোজী লিগ্যান্ডগুলোকেও তাদের নামের ইংরেজী বর্ণমালার ক্রমানুযায়ী লেখা হয়। সংক্ষিপ্ত আকারে প্রকাশিত লিগ্যান্ডের ক্ষেত্রে সংক্ষিপ্ত রূপটি ইংরেজী বর্ণমালার প্রথম অক্ষরটি লিগ্যান্ডের অবস্থান নির্ণয়ে ব্যবহৃত হয়।

(iv) আধানযুক্ত বা আধানবিহীন সবর্গীয় এন্‌টিটির সম্পূর্ণ সংকেতকে তৃতীয় বন্ধনীর ভিতরে লেখা হয়। বহুপরমাণুক লিগ্যান্ডের ক্ষেত্রে এদের সংকেতকে প্রথম বন্ধনীর ভিতরে রাখা হয়। লিগ্যান্ডের সংক্ষিপ্ত রূপটিকেও প্রথম বন্ধনীর ভিতরে লেখা হয়।

*বিঃ দ্রঃ IUPAC খসড়া 2004 এর সুপারিশ অনুসারে আধানের ওপর নির্ভর না করে লিগ্যান্ডগুলোকে ইংরেজী বর্ণমালার ক্রমানুযায়ী সাজাতে হবে।*

(v) একটি সবর্গীয় স্তরে লিগ্যান্ড এবং ধাতুর মাঝখানে কোনো ফাঁকাস্থান থাকবে না।

(vi) কাউন্টার আয়নবিহীন আধানযুক্ত সবর্গীয় এন্‌টিটির সংকেত লেখার সময় তৃতীয় বন্ধনীর বাইরে ডানদিকে সুপারস্ক্রিপ্টে আধানের চিহ্নের পূর্বে সংখ্যা লিখে আধানটিকে চিহ্নিত করা হয়। উদারহরণস্বরূপ, $[Co(CN)_6]^{3-}$, $[Cr(H_2O)_6]^{3+}$ ইত্যাদি।

(vii) ক্যাটায়নের (সমূহের) আধান অ্যানায়নের (সমূহের) আধানের দ্বারা প্রশমিত হয়।

## 9.3.2 এক কেন্দ্রীক সবর্গীয় যৌগের নামকরণ

সমষ্টিগত নামকরণের (additive nomenclature) নীতিগুলো অনুসরণ করে সবর্গীয় যৌগের নামকরণ করা হয়েছে। এইভাবে, যে গ্রুপগুলো কেন্দ্রীয় পরমাণুটিকে ঘিরে থাকে নামের মধ্যে সেগুলোকে অবশ্যই চিহ্নিত করতে হবে। এগুলোকে উপযুক্ত গুণকসহ কেন্দ্রীয় পরমাণুর নামের পূর্বে (উপসর্গ হিসাবে) লেখা হয়। সবর্গীয় যৌগের নামকরণের সময় নিম্নলিখিত নিয়মগুলো প্রয়োগ করা হয় ঃ

(i) ধনাত্বক বা ঋণাত্মক উভয় আধানযুক্ত সবর্গীয় এন্‌টিটির ক্ষেত্রে প্রথমে ক্যাটায়নের নাম লেখা হয়।

(ii) কেন্দ্রীয় পরমাণু/আয়নের নামের পূর্বে ইংরেজী বর্ণমালার ক্রমানুযায়ী লিগ্যান্ডগুলোর নামকরণ করা হয়। (এই পদ্ধতিটি সংকেত লেখার নিয়মের বিপরীত)।

(iii) অ্যানায়নিক লিগ্যান্ডের নামের শেষে '–o' যোগ করা হয়, প্রশম এবং ক্যাটায়নিক লিগ্যান্ডের নাম একই থাকে, ব্যতিক্রমগুলো হল $H_2O$ হলে অ্যাকোয়া (aqua), $NH_3$ হলে অ্যামাইন (ammine), CO হলে কার্বনিল (carbonyl) এবং NO হলে নাইট্রোসিল (nitrosyl) লেখা হয়। সবর্গীয় এন্‌টিটির সংকেত লেখার সময় এগুলোকে প্রথম বন্ধনী ( ) -তে রাখা হয়।

(iv) সবর্গীয় এন্‌টিটিতে স্বতন্ত্র্য লিগ্যান্ডের বা লিগ্যান্ডসমূহের সংখ্যা নির্দেশ করার জন্য মনো, ডাই, ট্রাই ইত্যাদি উপসর্গ (Prefix) ব্যবহার করা হয়। লিগ্যান্ডের নামের মধ্যে কোনো সংখ্যাসূচক উপসর্গ থাকলে বিস্ (*bis*), ট্রিস (*tris*), টেট্রাকিস্ (*tetrakis*) ইত্যাদি পদগুলো ব্যবহৃত হয়, যে লিগ্যান্ডগুলোর জন্য এই পদগুলো প্রযোজ্য সেগুলোকে প্রথম বন্ধনীতে রাখা হয়। উদারহণস্বরূপ, $[NiCl_2(PPh_3)_2]$ এর নাম হল
ডাইক্লোরিডোবিস (ট্রাইফিনাইলফসফিন) নিকেল (II)।

(v) ক্যাটায়ন, অ্যানায়ন বা প্রশম সবর্গীয় এন্‌টিটিতে ধাতুর জারণ অবস্থাকে রোমান সংখ্যা দ্বারা প্রথম বন্ধনীতে নির্দেশ করা হয়।

*বিঃদ্রঃ IUPAC খসড়া 2004 এর সুপারিশ অনুসারে অ্যানায়নিক লিগ্যান্ডগুলোর নাম -ইডো (–ido) দিয়ে শেষ হবে যেমন ক্লোরো হবে ক্লোরিডো ইত্যাদি।*

(vi) জটিল আয়নটি ক্যাটায়ন হলে মৌলের নামের মতোই ধাতুটির নামকরণ করা হয়। উদারহণস্বরূপ, জটিল ক্যাটায়নে Co কে কোবাল্ট এবং Pt কে প্লাটিনাম বলা হয়। জটিল আয়নটি অ্যানায়ন হলে, ধাতুর নাম '-এট' (– ate) প্রত্যয় দিয়ে শেষ হয়। উদাহরণস্বরূপ, জটিল অ্যানায়ন $[Co(SCN)_4]^{2-}$ এর Co কে কোবাল্টেট বলা হয়। কিছু ধাতুর ক্ষেত্রে জটিল অ্যানায়নে ধাতুর ল্যাটিন নাম ব্যবহৃত হয়। যেমন, Fe এর জন্য ফেরেট ব্যবহৃত হয়।

(vii) প্রশম জটিল অণুর নামকরণ জটিল ক্যাটায়নের মতোই করা হয়।

নীচের উদারহণগুলোতে সবর্গীয় যৌগের নামকরণকে স্পষ্টভাবে বুঝানো হয়েছে—

1. $[Cr(NH_3)_3(H_2O)_3]Cl_3$ এর নাম হল ঃ

ট্রাইঅ্যামিনট্রাই অ্যাকোয়া ক্রোমিয়াম (III) ক্লোরাইড

*ব্যাখ্যা ঃ* জটিল আয়নটি তৃতীয় বন্ধনীর ভিতরে রয়েছে, যেটি একটি ক্যাটায়ন। ইংরেজী বর্ণমালার ক্রমানুযায়ী অ্যাকোয়া (aqua) লিগ্যান্ডের পূর্বে অ্যামিন (amine) লিগ্যান্ডের নামকরণ করা হয়েছে। যেহেতু, যৌগটিতে তিনটি ক্লোরাইড আয়ন বর্তমান, তাই জটিল আয়নের আধান অবশ্যই +3 হবে (যেহেতু যৌগটি তড়িৎ নিরপেক্ষ)। জটিল আয়ন এবং লিগ্যান্ডুলোর আধান থেকে আমরা ধাতুর জারণ সংখ্যা গণনা করতে পারি। এই উদাহরণে সবুগলো লিগ্যান্ডই প্রশম অণু। সুতরাং, ক্রোমিয়ামের জারণ সংখ্যা অবশ্যই জটিল আয়নের আধানের ( +3) সমান হবে।

2. $[Co(H_2NCH_2CH_2NH_2)_3]_2(SO_4)_3$ এর নাম হল ঃ

ট্রিস (ইথেন-1,2– ডাইঅ্যামিন) কোবাল্ট (III) সালফেট

*ব্যাখ্যা ঃ* এই অণুতে সালফেট হল কাউন্টার অ্যানায়ন। যেহেতু ৩টি সালফেট দুইটি জটিল ক্যাটায়নের সঙ্গো যুক্ত, তাই প্রতিটি জটিল ক্যাটায়নের আধান অবশ্যই '+3' হবে। আবার, ইথেন -1,2–ডাইঅ্যামিন হল একটি প্রশম অণু, সুতরাং, জটিল আয়নটিতে কোবাল্ট পরমাণুর জারণ সংখ্যা অবশ্যই '+3' হবে। মনে রাখা প্রয়োজন যে, কোনো আয়নীর যৌগের নামকরণে ক্যাটায়ন এবং অ্যানায়নের সংখ্যার উল্লেখ করতে হয় না।

*লক্ষ্য করো, একই ধাতব আয়ন সমন্বিত হলেও ক্যাটায়ন ও অ্যানায়নে কিভাবে ধাতুর নামের পার্থক্য হয়।*

3. $[Ag(NH_3)_2][Ag(CN)_2]$ এর নাম হল ঃ

ডাইঅ্যামিনসিলভার (I) ডাইসায়নিডোআর্জেন্টেট (I)

**নমুনা প্রশ্ন 9.2** নিম্নলিখিত সবর্গীয় যৌগগুলোর সংকেত লিখ ঃ

(a) টেট্রাঅ্যামিনঅ্যাকোয়াক্লোরিডোকোবাল্ট (III) ক্লোরাইড
(b) পটাসিয়াম টেট্রাহাইড্রোক্সিডোজিঙ্কেট (II)
(c) পটাসিয়াম ট্রাইঅক্সালেটো অ্যালুমিনেট (III)
(d) ডাইক্লোরিডোবিস (ইথেন-1,2- ডাইঅ্যামিন) কোবাল্ট (III)
(e) টেট্রাকার্বনিলনিকেল (0)

**সমাধান** (a) $[Co(NH_3)_4(H_2O)Cl]Cl_2$ (b) $K_2[Zn(OH)_4]$ (c) $K_3[Al(C_2O_4)_3]$
(d) $[CoCl_2(en)_2]^+$ (e) $[Ni(CO)_4]$

**নমুনা প্রশ্ন 9.3** নিম্নলিখিত সবর্গীয় যৌগগুলোর IUPAC নাম লিখ।

(a) $[Pt(NH_3)_2Cl(NO_2)]$ (b) $K_3[Cr(C_2O_4)_3]$ (c) $[CoCl_2(en)_2]Cl$
(d) $[Co(NH_3)_5(CO_3)]Cl$ (e) $Hg[Co(SCN)_4]$

**সমাধান** (a) ডাইঅ্যামিন ক্লোরিডোনাইট্রিটো-N-প্লাটিনাম (II)
(b) পটাসিয়াম ট্রাইঅক্সালেটোক্রোমেট (III)
(c) ডাইক্লোরিডোবিস (ইথেন-1,2-ডাইঅ্যামিন) কোবাল্ট (III) ক্লোরাইড
(d) পেন্টাঅ্যামিনকার্বোনেটোকোবাল্ট (III) ক্লোরাইড
(e) মার্কারি (I) টেট্রাথায়োসায়ানেটো-S-কোবাল্টেট (III)

## বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলী

**9.1** নিম্নলিখিত সবর্গীয় যৌগগুলোর সংকেত লিখ ঃ

(i) টেট্রাঅ্যামিনডাই অ্যাকোয়া কোবাল্ট (III) ক্লোরাইড

(ii) পটাসিয়াম টেট্রাসায়ানিডোনিকেলেট (II)

(iii) ট্রিস (ইথেন–1,2–ডাই অ্যামিন) ক্রোমিয়াম (III) ক্লোরাইড

(iv) অ্যামিন ব্রোমিডো ক্লোরিডোনাইট্রিটো -N- প্লাটিনেট (II)

(v) ডাইক্লোরিডোবিস (ইথেন–1,2–ডাইঅ্যামিন) প্লাটিনাম (IV) নাইট্রেট

(vi) আয়রণ (III) হেক্সাসায়ানিডোফেরেট (II)

**9.2** নিম্নলিখিত সবর্গীয় যৌগগুলোর IUPAC নাম লিখ ঃ

(i) $[Co(NH_3)_6]Cl_3$ (ii) $[Co(NH_3)_5Cl]Cl_2$ (iii) $K_3[Fe(CN)_6]$

(iv) $K_3[Fe(C_2O_4)_3]$ (v) $K_2[PdCl_4]$ (vi) $[Pt(NH_3)_2Cl(NH_2CH_3)]Cl$

## 9.4 সবর্গীয় যৌগের সমাবয়বতা

দুই বা ততোধিক যৌগের রাসায়নিক সংকেত একই কিন্তু পরমাণুগুলোর বিন্যাস ভিন্ন হলে তাদেরকে সমাবয়বী বা আইসোমার বলা হয়। পরমাণুগুলোর বিন্যাস ভিন্ন হওয়ার ফলে তাদের এক বা একাধিক ভৌত অথবা রাসায়নিক ধর্মের মধ্যে পার্থক্য দেখা যায়। সবর্গীয় যৌগের মধ্যে প্রধানত দুই ধরনের সমাবয়বতা দেখা যায়। যেগুলোর প্রতিটিকে আবার বিভিন্ন উপবিভাগে ভাগ করা হয়।

*(a) ত্রিমাত্রিক সমাবয়বতা*

(i) জ্যামিতিক সমাবয়বতা (ii) আলোকীয় সমাবয়বতা

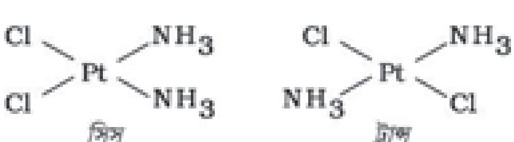
*(b) গঠনগত সমাবয়বতা*

(i) বন্ধন সমাবয়বতা (ii) সবর্গীয় সমাবয়বতা

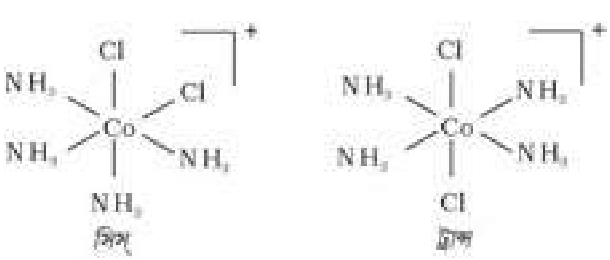
(iii) আয়নায়ন সমাবয়বতা (iv) সলভেট সমাবয়বতা

ত্রিমাত্রিক সমাবয়বীগুলোর একই প্রকার রাসায়নিক সংকেত এবং রাসায়নিক বন্ধন থাকে কিন্তু তাদের ত্রিমাত্রিক বিন্যাস বিভিন্ন হয়। গঠনগত সমাবয়বীগুলোর বন্ধন বিভিন্ন হয়। এই সমাবয়বীগুলোর সম্পর্কে নিচে বিস্তারিতভাবে আলোচনা করা হল।

### 9.4.1 জ্যামিতিক সমাবয়বতা



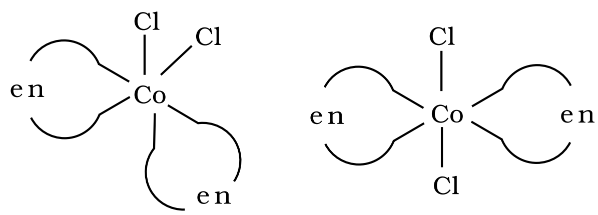

*চিত্র 9.2 ঃ Pt $[NH_3)_2Cl_2]$ এর জ্যামিতিক সমাবয়বী (সিস্ এবং ট্রান্স)*




*চিত্র 9.3 ঃ $[Co(NH_3)_4Cl_2]^+$ এর জ্যামিতিক সমাবয়বী (সিস্ এবং ট্রান্স)*

লিগ্যান্ডগুলোর সম্ভাব্য বিভিন্ন জ্যামিতিক বিন্যাসের ফলে হেটেরোলেপটিক জটিল যৌগে এই ধরনের সমাবয়বতার সৃষ্টি হয়। এই ধরনের সমাবয়বীয় উল্লেখযোগ্য উদাহরণগুলো 4 এবং 6 সবর্গাঙ্ক সংখ্যাবিশিষ্ট সবর্গীয় যৌগে দেখা যায়, $[MX_2L_2]$ সংকেত বিশিষ্ট (X এবং L হল একযোজী)। সামতলিক বর্গাকার জটিল যৌগে দুইটি লিগ্যান্ড চিত্র 9.2 এর ন্যায় পরস্পরের পাশাপাশি সিস্‌সমাবয়বী রূপে অথবা পরস্পরের বিপরীতে ট্রান্সসমাবয়বী রূপে সজ্জিত থাকতে পারে।

MABXL (সেখানে A, B, X, L হল একযোজী) ধরনের অন্যান্য সামতলিক বর্গাকার জটিল যৌগ তিনটি সমাবয়বী -দুইটি সিস্ এবং একটি ট্রান্স, প্রদর্শণ করে। তোমরা এই গঠনগুলি অঙ্কনের চেস্টা করতে পারো। এই ধরনের সমাবয়বতা চতুস্তলকীয় জ্যামিতিক আকৃতির ক্ষেত্রে সম্ভব নয় কিন্তু $[MX_2L_4]$ সংকেত বিশিষ্ট অষ্টতলকীয় জটিল যৌগের ক্ষেত্রে এটি সম্ভব যেখানে দুইটি লিগ্যান্ড X পরস্পরের সাপেক্ষে সিস্ বা ট্রান্স অবস্থানে বিন্যস্ত হতে পারে (চিত্র 9.3)।

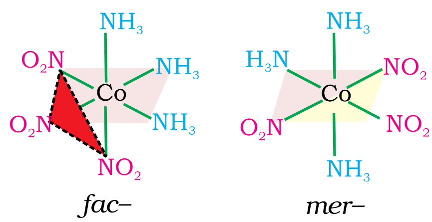



*চিত্র 9.4 ঃ $[CoCl_2(en)_2]$ এর জ্যামিতিক সমাবয়বী (সিস্ এবং ট্রান্স)*

$[MX_2(L-L)_2]$ সংকেত বিশিষ্ট জটিল যৌগে দ্বিযোজী লিগ্যান্ড L – L [যেমন-$NH_2\,CH_2\,CH_2\,NH_2$ (en)] উপস্থিত থাকলেও এই ধরনের সমাবয়বতা দেখা যায়। (চিত্র 9.4)।

$[Ma_3b_3]$ সংকেত বিশিষ্ট অষ্টতলকীয় সবর্গীয় এন্‌টিটিতে যেমন-$[Co(NH_3)_3(NO_2)_3]$ -এ আরেক ধরনের জ্যামিতিক সমাবয়বতা দেখা যায়। যদি একই ধরনের লিগ্যান্ডের তিনটি দাতা পরমাণু একটি অষ্টতলকীয় পৃষ্ঠের কৌণিক বিন্দুগুলোতে পাশাপাশি অবস্থান করে, তখন আমরা ফেসিয়াল **(fac)** সমাবয়বী পাই। যখন লিগ্যান্ডগুলো অষ্টতলকের মেরিডিয়ান **(meridian)** বরাবর অবস্থান করে তখন আমরা মেরিডিওনাল **(mer)** সমাবয়বী পাই। (চিত্র 9.5)

*চিত্র 9.5 ঃ $[Co(NH_3)_3(NO_2)_3]$-এর ফেসিয়াল (fac) এবং মেরিডিওনাল (mer) সমাবয়বী*



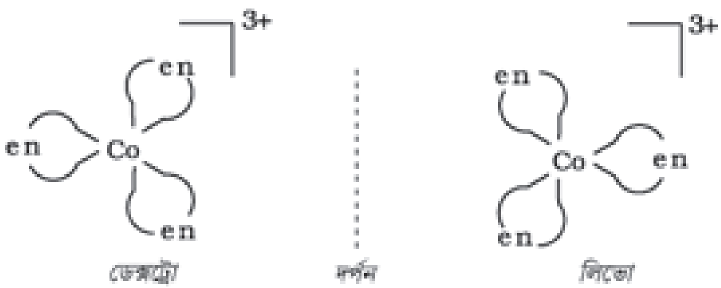

**নমুনা প্রশ্ন 9.4**

কেন্দ্রীয় ধাতব আয়নের সঙ্গে যুক্ত দুইটি ভিন্ন প্রকারের একযোজী লিগ্যান্ড সমন্বিত চতুস্তলকীয় জটিল যৌগে জ্যামিতিক সমাবয়বতা সম্ভব নয় কেন?

**সমাধান**

চতুস্তকীয় জটিল যৌগগুলো জ্যামিতিক সমাবয়বতা প্রদর্শণ করে না কারণ কেন্দ্রীয় ধাতব পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত একযোজী লিগ্যান্ডগুলোর পরস্পরের সাপেক্ষে আপেক্ষিক অবস্থান একই হয়।

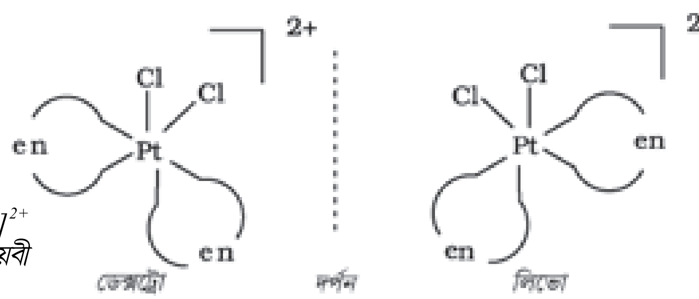
### 9.4.2 আলোকীয় সমাবয়বতা




*চিত্র 9.6 : $[Co(en)_3]^{3+}$ এর আলোকীয় সমাবয়বী (d এবং l)*

আলোকীয় সমাবয়বতী হল দর্পণ প্রতিবিম্ব সম্বন্ধযুক্ত জোড় যেগুলো পরস্পর উপরিপাতযোগ্য নয়। এগুলোকে এনানসিওমার বলা হয়। যে সকল অণু বা আয়নগুলো উপরিপাতযোগ্য নয়, তাদের কাইরাল বলা হয়। পোলারিমিটার যন্ত্রে সমাবর্তিত আলোকের সমতলের ঘূর্ণণের দিকের উপর ভিত্তি করে এরা দুই প্রকারের হয় —ডেক্সট্রো *(d)* এবং লিভো *(l)* (*d* ডানদিকে ঘোরায়, *l* বাঁদিকে ঘোরায়) ! দ্বিযোজী লিগ্যান্ড সমন্বিত অষ্টতলকীয় জটিল যৌগে আলোকীয় সমাবয়বতা বেশী দেখা যায় (চিত্র 9.6)।

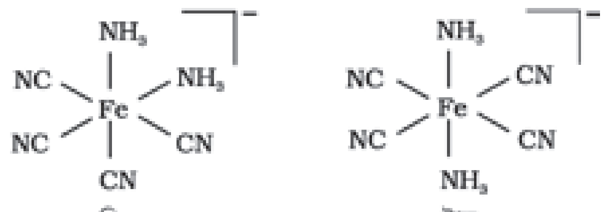
$[PtCl_2(en)_2]^{2+}$ এর মতো সবর্গীয় এন্‌টিটিতে শুধুমাত্র সিস্-সমাবয়বী আলোকীয় সমাবয়বতা প্রদর্শণ করে (চিত্র 9.7)।




*চিত্র 9.7 : সিস্ $[PtCl_2(en)_2]^{2+}$ এর আলোকীয় সমাবয়বী (d এবং l)*

**নমুনা প্রশ্ন 9.5** $[Fe(NH_3)_2(CN)_4]^-$ -এর জ্যামিতিক সমাবয়বীগুলোর গঠন অঙ্কন করো।

**সমাধান**

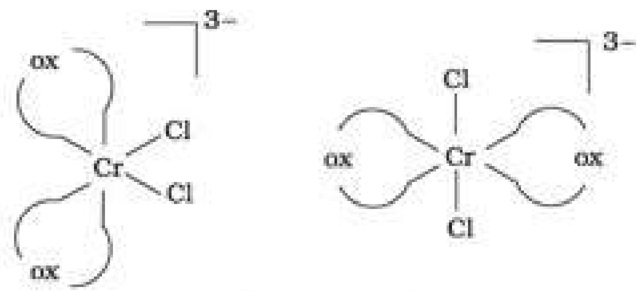



সিস্ ট্রান্স

**নমুনা প্রশ্ন 9.6** নিচের দুইটি সবর্গীয় এন্‌টিটির মধ্যে কোনটি কাইরাল (আলোক সক্রিয়)?

(a) *সিস্*-$[CrCl_2(ox)_2]^{3-}$ (b) *ট্রান্স*-$[CrCl_2(ox)_2]^{3-}$

**সমাধান** দুইটি এন্‌টিটিকে নিম্নলিখিতভাবে প্রকাশ করা যায় :




(a) *সিস্* – $[CrCl_2(ox)_2]^{3-}$ (b) *ট্রান্স* – $[CrCl_2(ox)_2]^{3-}$

দুইটির মধ্যে, (a) *সিস্*- $[CrCl_2(ox)_2]^{3-}$ হল কাইরাল (আলোক সক্রিয়)।

**9.4.3 বন্ধন সমাবয়বতা**

অ্যাম্বিডেন্টেট লিগ্যান্ড সমন্বিত সবর্গীয় যৌগে বন্ধন সমাবয়বতা দেখা যায়। একটি সহজ উদাহরণ হল— থায়োসায়ানেট লিগ্যান্ড $NCS^-$, সমন্বিত জটিল যৌগ, যেখানে লিগ্যান্ডটি নাইট্রোজেন পরমাণুর মাধ্যমে যুক্ত হয়ে M–NCS বন্ধন অথবা সালফার পরমাণুর মাধ্যমে যুক্ত হয়ে M–SCN বন্ধন গঠন করে। জরজেনসেন (Jørgensen) $[Co(NH_3)_5(NO_2)]Cl_2$ জটিল যৌগে এই বৈশিষ্ট্য আবিষ্কার করেছিলেন, যার মধ্যে নাইট্রাইট লিগ্যান্ডটি অক্সিজেন পরমাণুর মাধ্যমে (–ONO) যুক্ত হলে জটিল যৌগটি লাল বর্ণের হয় আর নাইট্রাইট লিগ্যান্ডটি নাইট্রোজেন পরমাণুর মাধ্যমে ($–NO_2$) যুক্ত হলে জটিল যৌগটি হলুদ বর্ণের হয়।

**9.4.4 সবর্গীয় সমাবয়বতা**

কোনো জটিল যৌগে উপস্থিত বিভিন্ন ধাতব আয়নের ক্যাটায়নিক এবং অ্যানায়নিক এন্‌টিটির মধ্যে লিগ্যান্ডের বিনিময়ের ফলে এই ধরনের সমাবয়বতার সৃষ্টি হয়। এর একটি উদাহরণ হল $[Co(NH_3)_6][Cr(CN)_6]$, যেখানে $NH_3$ লিগ্যান্ডগুলো $Co^{3+}$ এর সঙ্গে যুক্ত এবং $CN^-$ লিগ্যান্ডগুলো $Cr^{3+}$ -এর সঙ্গে যুক্ত। এই যৌগটির সর্বর্গীয় সমাবয়বী হল $[Cr(NH_3)_6][Co(CN)_6]$, যেখানে $NH_3$ নিগ্যান্ডগুলো $Cr^{3+}$-এর সঙ্গে যুক্ত এবং $CN^-$ লিগ্যান্ডগুলো $Co^{3+}$ -এর সঙ্গে যুক্ত।

**9.4.5 আয়নায়ন সমাবয়বতা**

যখন কোনো জটিল লবণে কাউন্টার আয়নটি নিজেই একটি শক্তিশালী লিগ্যান্ড এবং অন্য একটি লিগ্যান্ডকে প্রতিস্থাপিত করে কাউন্টার আয়নে পরিণত করতে পারে, তখন এই ধরনের সমাবয়বতার সৃষ্টি হয়। আয়নায়ন সমাবয়বী $[Co(NH_3)_5(SO_4)]Br$ এবং $[Co(NH_3)_5Br]SO_4$ এই সমাবয়হতার উদাহরণ।

**9.4.6 সলভেট সমাবয়বতা**

এই ধরনের সমাবয়বতা 'হাইড্রেট সমাবয়বতা' নামে পরিচিত যেখানে দ্রাবক হিসাবে জল যুক্ত থাকে। দ্রাবক হিসাবে জল যুক্ত থাকলে এই ধরনের সমাবয়বতাকে 'হাইড্রেট সমাবয়বতা' বলে। এটি আয়নায়ন সমাবয়বতার অনুরূপ। দ্রাবক অণু ধাতব আয়নের সঙ্গে সরাসরি যুক্ত আছে নাকি শুধুমাত্র কেলাস জালকে মুক্ত দ্রাবক অণু রূপে উপস্থিত আছে তার উপর নির্ভর সলভেট সমাবয়বীগুলোর মধ্যে পার্থক্য সৃষ্টি হয়। জল যোজিত জটিল যৌগ $[Cr(H_2O)_6]Cl_3$ (বেগুনী) এবং এর সলভেট সমাবয়বী $[Cr(H_2O)_5Cl]Cl_2.H_2O$ (ধূসর-সবুজ) এই ধরনের সমবায়বতার একটি উদাহরণ।

**বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলী**

9.3 নিচের জটিল যৌগগুলো দ্বারা প্রদর্শিত সমাবয়বতার নাম উল্লেখ করো এবং এই সমাবয়বীগুলোর গঠন অঙ্কন করো

(i) $K[Cr(H_2O)_2(C_2O_4)_2]$ (ii) $[Co(en)_3]Cl_3$

(iii) $[Co(NH_3)_5(NO_2)](NO_3)_2$ (iv) $[Pt(NH_3)(H_2O)Cl_2]$

9.4 প্রমাণ করো যে, $[Co(NH_3)_5Cl]SO_4$ এবং $[Co(NH_3)_5(SO_4)]Cl$ হল আয়নায়ন সমাবয়বী।

## 9.5 সবর্গীয় যৌগের বন্ধনের প্রকৃতি

ভার্ণারই সর্বপ্রথম সবর্গীয় যৌগের বন্ধনের বৈশিষ্ট্যগুলো বর্ণনা করেছিলেন। কিন্তু তাঁর তত্ত্ব কিছু প্রাথমিক প্রশ্নাবলীর উত্তর দিতে পারে না, যেমন—

(i) কেবলমাত্র কিছু মৌলই সবর্গীয় যৌগ গঠন করার বিশেষ ধর্ম প্রদর্শণ করে কেন?

(ii) সবর্গীয় যৌগের বন্ধনগুলোর মধ্যে দিক্‌দর্শী ধর্ম থাকে কেন?

(iii) সবর্গীয় যৌগগুলোর মধ্যে বৈশিষ্ট্যমূলক চুম্বকীয় এবং আলোকীয় ধর্ম থাকে কেন?

সবর্গীয় যৌগে বন্ধনের প্রকৃতি ব্যাখ্যা করার জন্য বিভিন্ন তত্ত্বের অবতারণা করা হয়েছে যথা যোজ্যতা বন্ধন তত্ত্ব (VBT), ক্রিস্টাল ফিল্ড তত্ত্ব (CFT), লিগ্যান্ড ফিল্ড তত্ত্ব (LFT) এবং আণবিক কক্ষক তত্ত্ব (MOT)। আমরা সবর্গীয় যৌগে VBT এবং CFT 'র প্রয়োগভিত্তিক প্রাথমিক বিষয়গুলো নিয়ে আলোচনা করব।

**9.5.1 যোজ্যতা -বন্ধন তত্ত্ব**

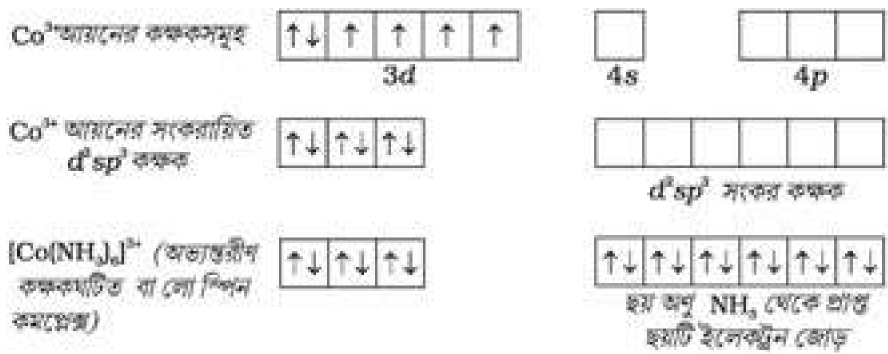
এই তত্ত্ব অনুযায়ী লিগ্যান্ডের প্রভাবে ধাতব পরমাণু বা আয়নগুলো এদের $(n-1)d$, ns, np অথবা ns, np, nd কক্ষকগুলোকে সংকরায়ণের জন্য ব্যবহার করে অষ্টতলকীয়, চতুস্তলকীয়, সামতলিক বর্গাকার ইত্যাদির মতো নির্দিষ্ট জ্যামিতিক আকৃতি বিশিষ্ট সমশক্তিসম্পন্ন সংকর কক্ষকের সেট উৎপন্ন করতে পারে (সারণি 9.2)। এই সংকরায়িত কক্ষকগুলো লিগ্যান্ডের কক্ষকগুলোর সঙ্গে অভিলেপন করতে পারে, যারা বন্ধন গঠনের জন্য ইলেকট্রন জোড় দান করতে পারে। নিচের উদাহরণগুলোর সাহায্যে এই বিষয়টিকে ব্যাখ্যা করা হয়েছে।

সারণি 9.2 : কক্ষকের সংখ্যা এবং বিভিন্ন প্রকার সংকরায়ণ

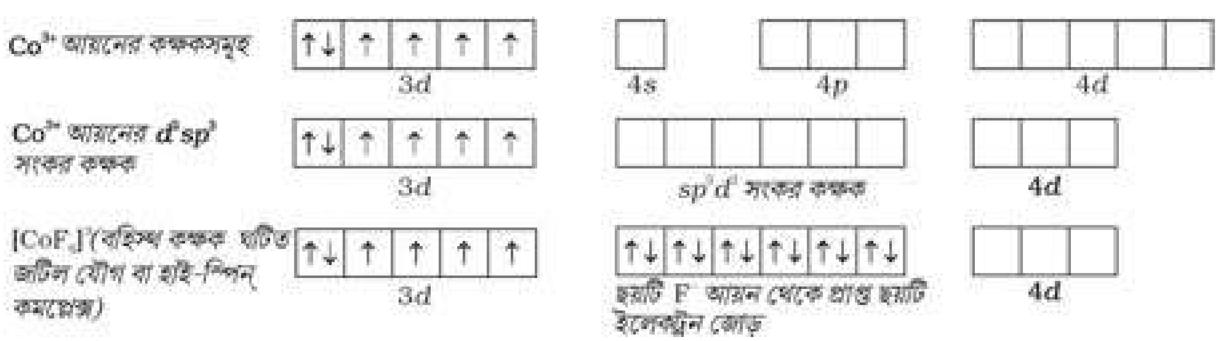
| সবর্গাঙ্ক সংখ্যা | সংকরায়ণের প্রকৃতি | শূন্যে সংকর কক্ষকের বিন্যাস |
|---|---|---|
| 4 | $sp^3$ | চতুস্তলকীয় |
| 4 | $dsp^2$ | সামতলিক বর্গাকার |
| 5 | $sp^3d$ | ত্রিকোণীয় দ্বি-পিরামিডীয় |
| 6 | $sp^3d^2$ | অষ্টতলকীয় |
| 6 | $d^2sp^3$ | অষ্টতলকীয় |

যোজ্যতা বন্ধন তত্ত্বের সাহায্যে কোনো জটিল যৌগের চুম্বকীয় ধর্ম থেকে যৌগটির জ্যামিতিক আকৃতির বিষয়ে ধারণা করা যায়।

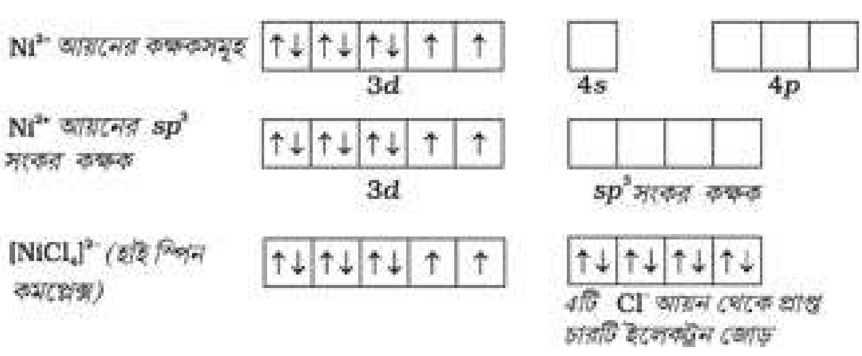
তিরশ্চুম্বকীয় (ডায়াম্যাগনেটিক) অষ্টতলকীয় জটিল আয়ন, $[Co(NH_3)_6]^{3+}$ -এ কোবাল্ট আয়ন '+3' জারণ স্তরে আছে এবং এর ইলেকট্রন বিন্যাস $3d^6$, সংকরায়ন প্রক্রিয়াটি পাশের রেখাচিত্রে দেখানো হয়েছে।




প্রতিটি $NH_3$ অণু থেকে একজোড়া করে, মোট ছয়টি ইলেকট্রনজোড় ছয়টি সংকর কক্ষক অধিকার করে। এইভাবে, জটিল যৌগটি অষ্টতলকীয় জ্যামিতিক আকৃতি বিশিষ্ট এবং যেহেতু কোনো অযুগ্ম ইলেকট্রন নেই সেজন্য এটি তিরশ্চুম্বকীয় (ডায়াম্যাগনেটিক)। এই জটিল যৌগ গঠণে সংকরায়ণের সময় যেহেতু অভ্যন্তরীণ $d$ -কক্ষক ($3d$) ব্যবহৃত হয়েছে সেজন্য জটিলযৌগ $[Co(NH_3)_6]^{3+}$ কে অভ্যন্তরীণ কক্ষকঘটিত বা লো-স্পিন্ কমপ্লেক্স বা স্পিন প্যায়ার্ড কমপ্লেক্স বলে। পরাচুম্বকীয় (প্যারাম্যাগনেটিক) অষ্টতলকীয় জটিলযৌগ $[CoF_6]^{3-}$ সংকরায়নে ($sp^3d^2$) বহিঃস্থ কক্ষক ($4d$ ) ব্যবহার করে। এইজন্য একে বহিস্থ কক্ষকঘটিত জটিল যৌগ বা হাই-স্পিন্ কমপ্লেক্স বা স্পিন্ ফ্রি কমপ্লেক্স বলে।

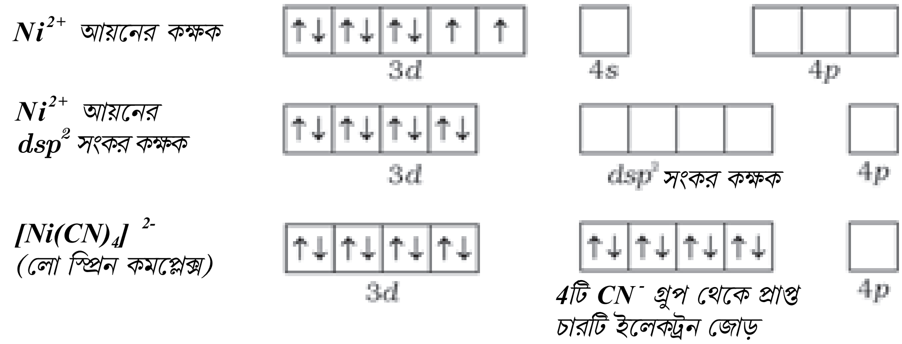



চতুস্তলকীয় জটিল যৌগে একটি $s$ এবং তিনটি $p$ -কক্ষক সংকরায়িত হয়ে চতুস্তলকীয়ভাবে বিন্যস্ত চারটি সমশক্তিসম্পন্ন সংকর কক্ষক গঠন করে। এই বিষয়টি নিচে $[NiCl_4]^{2-}$-এর ক্ষেত্রে বর্ণনা করা হল। এখানে নিকেল '+2' জারণ স্তরে আছে এবং আয়নটির ইলেকট্রন বিন্যাস হল $3d^8$, সংকরায়ণ প্রক্রিয়াটি পাশের রেখাচিত্রে দেখানো হল।




প্রতিটি $Cl^-$ আয়ন একটি করে ইলেকট্রন জোড় দান করে। যৌগটি পরাচুম্বকীয় (প্যারাম্যাগনেটিক), কারণ এতে দুইটি অযুগ্ম ইলেকট্রন বর্তমান। অনুরূপভাবে, $[Ni(CO)_4]$ চতুস্তলকীয় জ্যামিতিক আকৃতি বিশিষ্ট কিন্তু, তিরশ্চুম্বকীয় (ডায়াম্যাগনেটিক) কারণ নিকেল শূণ্য জারণ স্তরে আছে এবং এতে কোনো অযুগ্ম ইলেকট্রন নেই।

সামতলিক বর্গাকার জটিল যৌগে, $dsp^2$ সংকরায়ণ দেখা যায়। উদাহরণস্বরূপ, $[Ni(CN)_4]^{2-}$ এখানে নিকেল '+2' জারণ স্তরে আছে এবং এর ইলেকট্রন বিন্যাস $3d^8$, সংকরায়ণ প্রক্রিয়াটি রেখাচিত্রে দেখানো হল ঃ




প্রতিটি সংকর কক্ষক প্রতিটি সায়ানাইড আয়ন থেকে একটি ইলেকট্রন জোড় গ্রহণ করে। যৌগটি তিরশ্চুম্বকীয় (ডায়াম্যানেটিক) কারণ, এতে কোনো অযুগ্ম ইলেকট্রন নেই।

মনে রাখা দরকার যে, সংকর কক্ষকগুলোর বাস্তবে কোনো অস্তিত্ব নেই। প্রকৃতপক্ষে, সংকরায়ণ হল সংশ্লিষ্ট পারমাণবিক কক্ষকগুলোর তরঙ্গ সমীকরণের উপর গাণিতিক প্রয়োগের ফলাফল।

### 9.5.2 সবর্গীয় যৌগের চৌম্বক ধর্ম

সবর্গীয় যৌগের চৌম্বক ভ্রামকের মান চৌম্বক গ্রাহিতা সম্পর্কিত পরীক্ষা থেকে পরিমাপ করা যেতে পারে। এর ফলাফলগুলো অযুগ্ম ইলেকট্রনের সংখ্যা জানতে (পৃষ্ঠা 228) এবং অতঃপর ধাতব জটিল যৌগের গঠন জানতে ব্যবহার করা যায়।

প্রথম সন্ধিগত সারির ধাতুগুলোর সবর্গীয় যৌগের চৌম্বক ধর্ম সম্পর্কিত তথ্যগুলোর গভীর অধ্যয়নের পর কিছু জটিলতা প্রকাশ পায়। যে সব ধাতব আয়নের $3d$ -কক্ষকে তিনটি পর্যন্ত ইলেকট্রন থাকে, যেমন, $Ti^{3+}$ ($d^1$); $V^{3+}$ ($d^2$); $Cr^{3+}$ ($d^3$); তাদের $4s$ এবং $4p$ -কক্ষকের সঙ্গে অষ্টতলকীয় সংকরায়ণের জন্য দুইটি খালি $3d$-কক্ষক থাকে। এই মুক্ত আয়নগুলোর এবং তাদের সবর্গীয় এন্‌টিটিগুলোর চৌম্বক ধর্ম একই রকম হয়। যখন $3d$ -ইলেকট্রন সংখ্যা 3 -এর বেশী হয় তখন অষ্টতলকীয় সংকরায়ণের জন্য প্রয়োজনীয় সংখ্যক $3d$ -কক্ষক জোড় সরাসরি পাওয়া যায় না (হুন্ডের সূত্রানুযায়ী)। এজন্য $d^4$ ($Cr^{2+}$, $Mn^{3+}$), $d^5$ ($Mn^{2+}$, $Fe^{3+}$), $d^6$ ($Fe^{2+}$, $Co^{3+}$)-এর ক্ষেত্রে $3d$ -ইলেকট্রনগুলো জোড় বন্ধ হলেই খালি $d$ -কক্ষক জোড় তৈরী হবে এবং যার ফলশ্রুতিতে উক্ত ক্ষেত্রে যথাক্রমে দুইটি, একটি এবং শূণ্য সংখ্যক অযুগ্ম ইলেকট্রন থাকবে।

অনেকক্ষেত্রে, বিশেষ করে $d^6$ আয়ন সমন্বিত সবর্গীয় যৌগের ক্ষেত্রে সর্বাধিক সংখ্যক স্পিনজোড় (spin pairing) বা ইলেকট্রন জোড় পাওয়া যায় এবং এই বিষয়টি ঐ যৌগগুলোর চুম্বকীয় তথ্যকেও সমর্থন করে। যদিও $d^4$ এবং $d^5$ আয়ন সমন্বিত সবর্গীয় যৌগের ক্ষেত্রে জটিলতা রয়েছে। $[Mn(CN)_6]^{3-}$ -এর দুইটি অযুগ্ম ইলেকট্রনজনিত চৌম্বক ভ্রামক রয়েছে. আবার, $[MnCl_6]^{3-}$ আয়নের চারটি অযুগ্ম ইলেকট্রন জনিত পরাচুম্বকীয় ভ্রামক রয়েছে। $[Fe(CN)_6]^{3-}$ আয়নের একটি অযুগ্ম ইলেকট্রন জনিত চৌম্বক ভ্রামক রয়েছে, আবার $[FeF_6]^{3-}$ আয়নের পাঁচটি অযুগ্ম ইলেকট্রন জনিত পরাচুম্বকীয় ভ্রামক রয়েছে $[CoF_6]^{3-}$ আয়নটি পরাচুম্বকীয় যাতে চারটি অযুগ্ম ইলেকট্রন রয়েছে, আবার $[Co(C_2O_4)_3]^{3-}$ আয়ন হল তিরশ্চুম্বকীয় (ডায়াম্যাগনেটিক)। এই আপাত বৈসাদৃশ্যটি যোজ্যতা বন্ধন তত্ত্বের সাহায্যে অভ্যন্তরীণ কক্ষকঘটিত এবং বহিস্থ কক্ষকঘটিত সবর্গীয় এন্‌টিটি গঠনের মাধ্যমে ব্যাখ্যা করা যায়। $[Mn(CN)_6]^{3-}$, $[Fe(CN)_6]^{3-}$ এবং $[Co(C_2O_4)_3]^{3-}$ হল $d^2sp^3$ সংকরায়ণেযুক্ত অভ্যন্তরীণ কক্ষক ঘটিত জটিল যৌগ। প্রথম দুইটি জটিল যৌগ হল পরচুম্বকীয় এবং শেষেরটি হল চিরশ্চুম্বকীয়। অপরদিকে, $[MnCl_6]^{3-}$, $[FeF_6]^{3-}$এবং $[CoF_6]^{3-}$ হল $sp^3d^2$ সংকরায়ণযুক্ত বহিস্থ কক্ষকঘটিত জটিল যৌগ। এদের মধ্যে যথাক্রমে চারটি, পাঁচটি এবং চারটি অযুগ্ম ইলেকট্রন থাকার ফলে এরা পরাচুম্বকীয় হয়।

**নমুনা প্রশ্ন 9.7** $[MnBr_4]^{2-}$ আয়নের স্পিন ওনলি (spin only) চৌম্বক ভ্রামকের মান 5.9 BM, জটিল আয়নটির জ্যামিতিক আকৃতি নির্ণয় করো?

**সমাধান** যেহেতু, জটিল আয়নটিতে $Mn^{2+}$ আয়নের সবগাঙ্ক সংখ্যা 4, তাই এটি চতুস্তলকীয় ($sp^3$ সংকরায়ণ) অথবা সামতলিক বর্গাকার ($dsp^2$ সংকরায়ণ) হবে। কিন্তু যেহেতু জটিল আয়নটির চৌম্বক ভ্রামকের মান 5.9 BM এবং এর কেন্দ্রীয় পরমাণুর $d$-কক্ষকে পাঁচটি অযুগ্ম ইলেকট্রন বর্তমান, সেজন্য আয়নটির আকৃতি সামতলিক বার্গাকার না হয়ে চতুস্তলকীয় হবে।

### 9.5.3 যোজ্যতা বন্ধন তত্ত্বের সীমাবদ্ধতা

যোজ্যতা বন্ধন তত্ত্ব, বহুলাংশে সবর্গীয় যৌগ সমূহের গঠন প্রক্রিয়া, গঠণাকৃতি এবং চৌম্বক ধর্ম ইত্যাদি ব্যাখ্যা করতে সমর্থ হলেও এতে নিম্নলিখিত ত্রুটিগুলো বর্তমান ঃ

(i) এই তত্ত্বটি অনেকগুলো ধারণা ভিত্তিক।

(ii) এটি চৌম্বকীয় তথ্যের পরীক্ষামূলকভাবে পরিমাণগত ব্যাখ্যা দিতে পারে না।

(iii) এটি সবর্গীয় যৌগসমূহের প্রদর্শিত বর্ণের (colour) ব্যাখ্যা করতে পারে না।

(iv) এটি সবর্গীয় যৌগের তাপগতীয় অথবা গতীয় স্থায়িত্বের সঠিক ব্যাখ্যা দিতে পারে না।

(v) এটি 4-সবর্গাঙ্ক সংখ্যা বিশিষ্ট জটিল যৌগের চতুস্তলকীয় এবং সামতলিক বর্গাকার গঠন সম্পর্কে সঠিক অনুমান করতে পারে না।

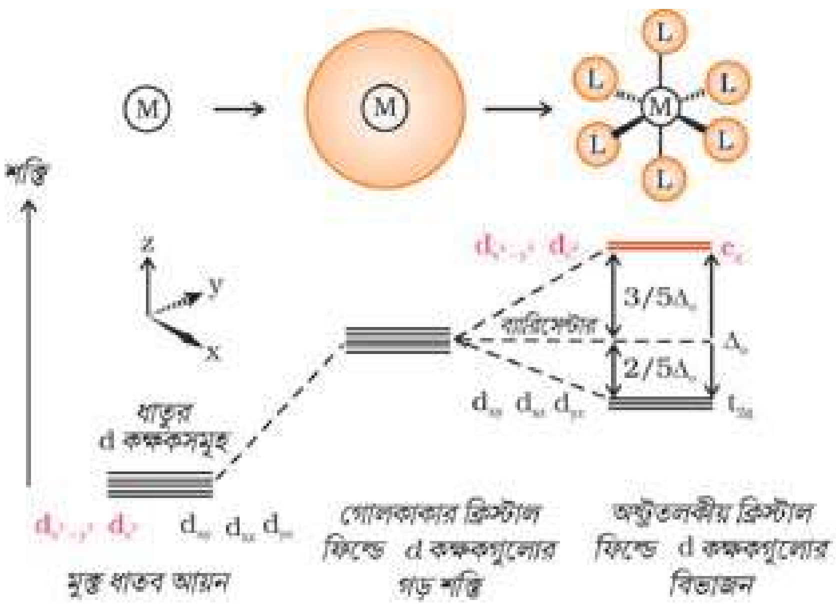
(vi) এটি দুর্বল এবং শক্তিশালী লিগ্যান্ডের মধ্যে কোনোও পার্থক্য করতে পারে না।

### 9.5.4 ক্রিস্টাল ফিল্ড তত্ত্ব

ক্রিস্টাল ফিল্ড তত্ত্বটি হলো একটি স্থির তাড়িতিক মডেল। এই মডেল অনুসারে ধাতু লিগ্যান্ড বন্ধনটি আয়নীয় প্রকৃতির যা ধাতব আয়ন এবং লিগ্যান্ডের মধ্যে স্থির তাড়িতিক মিথোস্ক্রিয়ার ফলে উৎপন্ন হয়। লিগ্যান্ড অ্যানায়নিক হলে এদের বিন্দু আধন হিসেবে এবং লিগ্যান্ড প্রশম অণু হলে এদের বিন্দু দ্বিমেরু (ডাইপোল) হিসেবে ধরা হয়। বিচ্ছিন্ন গ্যাসীয় ধাতব পরমাণু/আয়নের পাঁচটি $d$-কক্ষকের শক্তি সমান হয় অর্থাৎ এগুলো সমশক্তিসম্পন্ন (degenerate) হয়। যদি ধাতব পরমাণু/আয়নকে ঋণাত্বক আধানের গোলকাকার প্রতিসম ক্ষেত্র চারদিকে ঘিরে থাকে তখন এই সমশক্তি সম্পন্ন অবস্থা (degeneracy) বা সমতা বজায় থাকে। কিন্তু লিগ্যান্ডের (অ্যানায়ন বা $NH_3$ এবং $H_2O$ -এর মত দ্বি-মেরু সম্পন্ন অণুর ঋণাত্মক প্রান্তসমূহ) কারণে জটিল যৌগে এই ঋণাত্মক ক্ষেত্র সৃষ্টি হলে এই ক্ষেত্রটি অপ্রতিসম হয়ে যায় এবং $d$-কক্ষকগুলোর এই সমশক্তি সম্পন্ন অবস্থাটি পরিবর্তিত হয়ে যায়। এর ফলে $d$-কক্ষকগুলোর বিভাজন ঘটে। ক্রিস্টাল ফিল্ডের প্রকৃতির উপর বিভাজনের প্যাটার্ন নির্ভর করে। চল আমরা বিভিন্ন ক্রিস্টাল ফিল্ডে এই প্রকার বিভাজন গুলোকে ব্যাখ্যা করি।

*(a) অষ্টতলকীয় সবর্গীয় এন্‌টিটিতে ক্রিস্টাল ফিল্ড বিভাজন*

ধাতব পরমাণু/আয়ন এবং এর চারদিকে ছয়টি লিগ্যান্ড দ্বারা পরিবেষ্টিত অষ্টতলকীয় সবর্গীয় এন্‌টিটিতে ধাতুর $d$-কক্ষকের ইলেকট্রন এবং লিগ্যান্ডের ইলেকট্রনগুলোর (বা ঋণাত্বক আধান) মধ্যে বিকর্ষণ কাজ করে। ধাতুর $d$-কক্ষক সমূহ লিগ্যান্ড থেকে দূরে না থেকে লিগ্যান্ডের দিকে অভিমুখ করে থাকলে এই বিকর্ষণের মান বেশী হয়। এজন্য $d_{x^2-y^2}$ এবং $d_{z^2}$ কক্ষকগুলো লিগ্যান্ডের অভিমুখ বরাবর অক্ষের দিকে নিদের্শিত বা প্রসারিত থাকে সেগুলো অধিক বিকর্ষণ অনুভব করবে এবং এদের শক্তির বৃদ্ধি ঘটবে। আর $d_{xy}$, $d_{yz}$ এবং $d_{xz}$ -কক্ষক যেগুলো অক্ষগুলোর মাঝ বরাবর নিদের্শিত থাকে সেগুলোর শক্তি গোলকাকার ক্রিস্টেল ফিল্ডের গড় শক্তির তুলনায় হ্রাস পাবে। এইভাবে, অষ্টতলকীয় জটিল যৌগে লিগ্যান্ডের ইলেকট্রন ও ধাতুর ইলেকট্রনগুলোর মধ্যে বিকর্ষণের ফলে $d$-কক্ষকগুলোর শক্তিমাত্রর সমতা (degeneracy) বিনষ্ট হয় এবং নিম্নশক্তিসম্পন্ন তিনটি কক্ষক বিশিষ্ট $t_{2g}$ -সেট ও উচ্চশক্তিসম্পন্ন দুইটি কক্ষক বিশিষ্ট $e_g$-সেট গঠন করে। নির্দিষ্ট




চিত্র 9.8 ঃ অষ্টতলকীয় ক্রিস্টাল ফিল্ডে d-কক্ষক সমূহের বিভাজন

একটি জ্যামিতিক বিন্যাসে লিগ্যান্ডের উপস্থিতির ফলে সমশক্তিসম্পন্ন কক্ষকগুলো পৃথক শক্তিস্তরে বিভাজন হওয়াকে ক্রিস্টাল ফিল্ড বিভাজন বলে এবং শক্তির এই পার্থক্যকে $\Delta_o$ (সাবস্ক্রিপ্ট 'o' অষ্টতলকীয় জ্যামিতি নির্দেশ করে) দ্বারা চিহ্নিত করা হয় (চিত্র 9.8) । এইভাবে, দুইটি $e_g$-কক্ষকের শক্তি (3/5) $\Delta_o$ বৃদ্ধি পাবে এবং তিনটি $t_{2g}$ -কক্ষকের শক্তি $(2/5)\Delta_o$ হ্রাস পাবে।

ক্রিস্টাল ফিল্ড বিভাজন $\Delta_o$ ধাতব আয়নের আধান এবং লিগ্যান্ড দ্বারা প্রযুক্ত চৌম্বকীয় ক্ষেত্রের উপর নির্ভর করে। কিছু লিগ্যান্ড শক্তিশালী চুম্বকীয় ক্ষেত্র উৎপন্ন করতে পারে এবং সেইক্ষেত্রে $d$-কক্ষকের বিভাজনের প্রসার অধিক হয়। অপরদিকে, অন্যান্য লিগ্যান্ডগুলো দুর্বল চুম্বকীয় ক্ষেত্র উৎপন্ন করে এবং এর ফলে $d$-কক্ষক সমূহের বিভাজনের প্রসার বা বিস্তৃত কম হয়। সাধারণত, লিগ্যান্ডগুলোকে তাদের চুম্বকীয় ক্ষেত্রের শক্তির ক্রমবর্ধমান মান অনুযায়ী নিম্নলিখিতভাবে একটি শ্রেণিতে সাজানো যেতে পারে ঃ

$$I^- < Br^- < SCN^- < Cl^- < S^{2-} < F^- < OH^- < C_2O_4^{2-} < H_2O < NCS^- < edta^{4-} < NH_3 < en < CN^- < CO$$

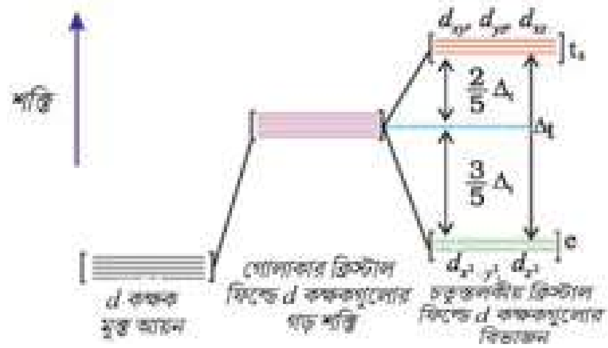
এরূপ শ্রেণিকে স্পেক্ট্রোকেমিকেল শ্রেণি (**spectrochemical series**) বলে। বিভিন্ন লিগ্যান্ড সম্বলিত জটিল যৌগ কর্তৃক শোষিত আলোর তরঙ্গের উপর পরীক্ষালব্ধ ফলাফলের উপর ভিত্তি করে এই শ্রেণিটি নির্মাণ করা হয়েছে। অষ্টতলকীয় সবর্গীয় এন্‌টিটিতে ধাতব আয়নের $d$-কক্ষকে ইলেকট্রন সংখ্যা নির্ধারণ করা যাক। স্পষ্টতই, $d$ -কক্ষকে শুধুমাত্র একটি ইলেকট্রন থাকলে সেটি নিম্নশক্তিসম্পন্ন $t_{2g}$-কক্ষকগুলোর একটিতে প্রবেশ করবে। $d^2$ এবং $d^3$ সবর্গীয় এন্‌টিটিতে, $d$ -ইলেকট্রগুলো হুন্ডের সূত্রানুযায়ী $t_{2g}$-কক্ষকগুলোকে এককভাবে অধিকার করে। $d^4$ আয়নগুলোর ইলেকট্রন বণ্টনের দুইটি সম্ভাব্য প্যাটার্ন দেখা যায়, (i) চতুর্থ ইলেকট্রনটি $t_{2g}$-স্তরে প্রবেশ করতে পারে এবং প্রথম থেকে বিদ্যমান ইলেকট্রনের সঙ্গে জোড় গঠন করতে পারে অথবা (ii) যদি যুগ্মকরণ শক্তির মান অধিক হয় তবে চতুর্থ ইলেকট্রনটি $e_g$ -স্তরে প্রবেশ করতে পারে। এই সম্ভাবনাগুলোর মধ্যে কোন্‌টি ঘটবে, তা ক্রিস্টাল ফিল্ড বিভাজনের বিস্তার $\Delta_o$ এবং যুগ্মকরণ শক্তি, P-এর আপেক্ষিক মানের উপর নির্ভর করে (P-একটি কক্ষকে ইলেকট্রন যুগ্মকরণের জন্য প্রয়োজনীয় শক্তি নির্দেশ করে)। বিকল্প দুইটি হল—

(i) যদি $\Delta_o < P$ হয়, চতুর্থ ইলেকট্রনটি $e_g$-কক্ষকগুলোর একটিতে প্রবেশ করবে এবং বিন্যাস হবে $t_{2g}^3 e_g^1$ , যে লিগ্যান্ডগুলোর ক্ষেত্রে $\Delta_o < P$ সেগুলো দুর্বল চৌম্বকক্ষেত্র বিশিষ্ট লিগ্যান্ড বা উইক্ ফিল্ড লিগ্যান্ড নামে পরিচিত এবং এরা হাইস্পিন কমপ্লেক্স গঠন করে।

(ii) যদি $\Delta_o < P$ হয়, তাহলে চতুর্থ ইলেকট্রনটির ক্ষেত্রে একটি $t_{2g}$ -কক্ষক অধিকার করার মাধ্যমে $t_{2g}^4 e_g^0$ , বিন্যাস লাভ করা শক্তির দিক থেকে অধিক অনুকূল হয়। এই ধরনের প্রভাব সৃষ্টিকারী লিগ্যান্ডগুলো স্ট্রং ফিল্ড লিগ্যান্ড বা শক্তিশালী চৌম্বক-ক্ষেত্র বিশিষ্ট লিগ্যান্ড নামে পরিচিত এবং এরা লো-স্পিন কমপ্লেক্স গঠন করে।

গণনা থেকে দেখা যায়, $d^4$ থেকে $d^7$ সবর্গীয় এন্‌টিটিগুলো দুর্বল ফিল্ডের তুলনায় শক্তিশালী ফিল্ডের ক্ষেত্রে অধিক স্থায়ী হয়।

### (b) চতুস্তলকীয় সবর্গীয় এন্‌টিটিতে ক্রিস্টাল ফিল্ড বিভাজন




*চিত্র 9.9 ঃ চতুস্তলকীয় ক্রিস্টাল ফিল্ডে d-কক্ষকগুলোর বিভাজন*

চতুস্তলকীয় সবর্গীয় এন্‌টিটি গঠনে $d$-কক্ষকসমূহের বিভাজন (চিত্র 9.9) অষ্টতলকীয় ফিল্ড বিভাজনের তুলনায় বিপরীত এবং কম বিস্তারের হয়। নিদিস্ট ধাতু নির্দিষ্ট লিগ্যান্ড এবং নির্দিষ্ট ধাতু লিগ্যান্ড বন্ধন দূরত্বের ক্ষেত্রে দেখানো যেতে পারে যে, $\Delta_t = (4/9)\ \Delta_0$। ফলস্বরূপ কক্ষক বিভাজন শক্তির মান কম হয় এবং এই মান ইলেকট্রনের যুগ্ম করণের জন্য প্রয়োজনীয় শক্তির তুলনায় কম হয় বলে চতুস্তলকীয় সবর্গীয় যৌগে লো-স্পিন বিন্যাস কদাচিৎ পাওয়া যায়। প্রতিসাম্য কেন্দ্র আছে এরূপ অষ্টতলকীয় এবং সামতলিক বর্গাকার জটিল যৌগের ক্ষেত্রে 'g' সাবস্ক্রিপ্ট ব্যবহার করা হয়। যেহেতু, চতুস্তলকীয় জটিল যৌগগুলো প্রতিসাম্যহীন হয়, তাই শক্তিস্তরের সঙ্গে 'g' সাবস্ক্রিপ্ট ব্যবহার করা হয় না।

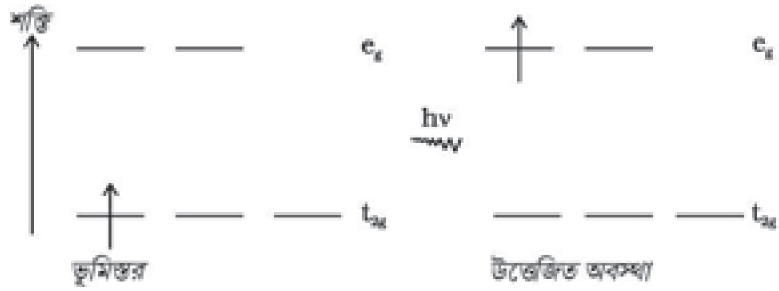
### 9.5.5 সবর্গীয় যৌগের বর্ণ

পূর্ববর্তী অধ্যায়ে আমরা শিখেছি যে, সন্ধিগত ধাতুর জটিল যৌগগুলোর একটি গুরুত্বপূর্ণ পার্থক্য সূচক ধর্ম হল তাদের বর্ণের বিভিন্নতা। এর অর্থ হল, কোনো নমুনার মধ্য দিয়ে সাদা আলোকরশ্মি পাঠানে এর থেকে কিছু দৃশ্যমান বর্ণালী শোষিত হয়, ফলে নির্গত আলোকরশ্মি আর সাদা হয় না। জটিল যৌগের বর্ণ শোষিত বর্ণের পরিপূরক হয়। অবশিষ্ট তরঙ্গ দৈর্ঘ্য থেকে সৃষ্ট বর্ণই হল পরিপূরক বর্ণ। যদি জটিল যৌগের দ্বারা সবুজ বর্ণের আলোকরশ্মি শোষিত হয়, তাহলে এটি লাল বর্ণের দেখায়। সারণি 9.3 শোষিত বিভিন্ন তরঙ্গ দৈর্ঘ্য এবং প্রাপ্ত বর্ণের মধ্যে সম্পর্ক প্রকাশ করে।

সারণি 9.3 ঃ কিছু সবর্গীয় এন্‌টিটিতে শোষিত আলোকরশ্মির তরঙ্গ দৈর্ঘ্য এবং প্রাপ্ত বর্ণের মধ্যে সম্পর্ক

| সবর্গীয় এন্‌টিটি | শোষিত আলোকরশ্মির তরঙ্গ দৈর্ঘ্য (nm) | শোষিত আলোকরশ্মির বর্ণ | | সবর্গীয় এন্‌টিটির বর্ণ | |
|---|---|---|---|---|---|
| $[CoCl(NH_3)_5]^{2+}$ | 535 | হলুদ | | বেগুনী | |
| $[Co(NH_3)_5(H_2O)]^{3+}$ | 500 | নীল সবুজ | | লাল | |
| $[Co(NH_3)_6]^{3+}$ | 475 | নীল | | হলুদ কমলা | |
| $[Co(CN)_6]^{3-}$ | 310 | অতি বেগুনী | দৃশ্যমান অঞ্চলে নয় | ফেকাসে হলুদ | |
| $[Cu(H_2O)_4]^{2+}$ | 600 | লাল | | নীল | |
| $[Ti(H_2O)_6]^{3+}$ | 498 | নীল সবুজ | | বেগুনী | |

সবর্গীয় যৌগের বর্ণ ক্রিস্টাল ফিল্ড তত্ত্বের সাহায্যে সহজেই ব্যাখ্যা করা যেতে পারে। উদাহরণসরূপ, $[Ti(H_2O)_6]^{3+}$ জটিল আয়নটিকে বিবেচনা করা যাক যার বর্ণ বেগুনী। এটি একটি অষ্টতলকীয় জটিল যৌগ, যেখানে ধাতুর $d$ -কক্ষকের ইলেকট্রনটি ($Ti^{3+}$, একটি $3d^1$ সিস্টেম) জটিল যৌগের ভূমিস্তর অবস্থায় $t_{2g}$ স্তরে থাকে। ইলেকট্রনটির জন্য প্রাপ্য পরবর্তী উচ্চতর স্তর খালি $e_g$ স্তর। যদি জটিল যৌগটি আলোক রশ্মির নীল-সবুজ অঞ্চলের শক্তিসম্পন্ন তরঙ্গ শোষণ করে তবে এই শোষিত শক্তি ইলেকট্রনটিকে $t_{2g}$ স্তর থেকে $e_g$ স্তরে ($t_{2g}{}^1e_g{}^0 \rightarrow t_{2g}{}^0e_g{}^1$) উন্নিত করে। ফলে, জটিল যৌগটিকে বেগুনী বর্ণের মনে হয় (চিত্র 9.10)। ক্রিস্টাল ফিল্ড তত্ত্ব অনুসারে সবর্গীয় যৌগের বর্ণের জন্য ইলেকট্রনের $d$-$d$ স্থানান্তরই দায়ী।




*চিত্র .9.10 ঃ $[Ti(H_2O)_6]^{3+}$ আয়নে একটি ইলেকট্রনের স্থানান্তর*

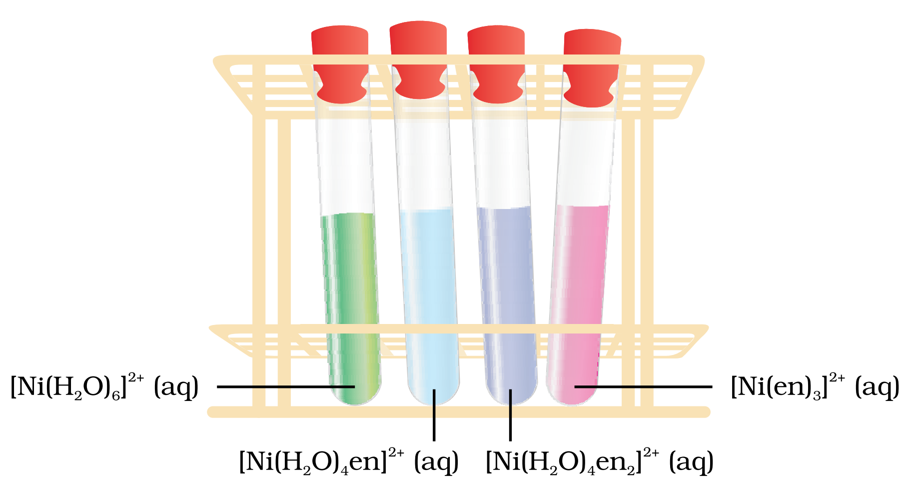
এটি মনে রাখা প্রয়োজনীয় যে, লিগ্যান্ডের অনুপস্থিতিতে ক্রিস্টাল ফিল্ড বিভাজন হয় না, সুতরাং পদার্থটি বর্ণহীন হয়। উদাহরণস্বরূপ, $[Ti(H_2O)_6]Cl_3$ কে উত্তপ্ত করলে এর থেকে জল নির্গত হয় এবং যৌগটিকে বর্ণহীন করে। অনুরূপভাবে, অনার্দ্র $CuSO_4$ সাদা, কিন্তু $CuSO_4.5H_2O$ নীল বর্ণের। জটিল যৌগের বর্ণের উপর লিগ্যান্ডের প্রভাব বর্ণনা করতে $[Ni(H_2O)_6]^{2+}$ আয়নকে বিবেচনা করা যেতে পারে। নিকেল (II) ক্লোরোইডকে জলে দ্রবীভূত করে এটি উৎপন্ন করা হয়। যদি দ্বিযোজী লিগ্যান্ড, ইথেন-1,2-ডাইঅ্যামিনকে (en) মোলার অনুপাত en :Ni, 1:1, 2:1, 3:1 অনুযায়ী ক্রমান্বয়যোগ হয়, তাহলে নিম্নলিখিত বিক্রিয়ার সারি এবং তাদের সংশ্লিষ্ট বর্ণ পরিবর্তন ঘটে।

$[Ni(H_2O)_6]^{2+}$ (aq) + en (aq) = $[Ni(H_2O)_4(en)]^{2+}$(aq) + $2H_2O$
সবুজ ফেঁকাস নীল

$[Ni(H_2O)_4(en)]^{2+}$(aq) + en (aq) = $[Ni(H_2O)_2(en)_2]^{2+}$(aq) + $2H_2O$
নীল (লালাভ বেগুনী)

$[Ni(H_2O)_2(en)_2]^{2+}$(aq) + en (aq) = $[Ni(en)_3]^{2+}$(aq) + $2H_2O$
বেগুনী

এই ক্রমটি চিত্র 9.11-এ দেখানো হল।

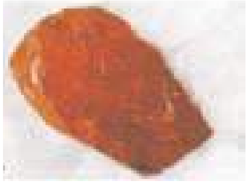



*চিত্র 9.11ঃ নিকেল (II) জটিল যৌগের জলীয় দ্রবণ যেখানে ইথেন -1, 2-ডাইঅ্যামিন লিগ্যান্ডের সংখ্যা ক্রমশ বৃদ্ধি পায়।*

**কিছু রত্ন পাথরের বর্ণ**

*d* -কক্ষকগুলোর মধ্যে ইলেকট্রন স্থানান্তরের ফলে কোনো সন্ধিগত ধাতব আয়নের মধ্যে যে বর্ণের সৃষ্টি হয় তা দৈনন্দিন জীবনে প্রায়শই লক্ষ্য করা যায়। রুবি [চিত্র 9.12(a)] হল অ্যালুমিনিয়াম অক্সাইড ($Al_2O_3$) যার মধ্যে 0.5-1% $Cr^{3+}$ আয়ন থাকে যেগুলো সাধারণত $Al^{3+}$ আয়ন দ্বারা অধিকৃত স্থানগুলোকে এলোমেলোভাবে দখল করে। আমরা এই ক্রোমিয়াম (III) আয়নগুলোকে অ্যালুমিনা জালকে মিশ্রিত অষ্টতলকীয় ক্রোমিয়াম (III) জটিল যৌগ হিসাবে দেখতে পাই, এই কেন্দ্রগুলোতে *d–d* স্থানান্তরনের ফলে বর্ণের সৃষ্টি করে। পান্নাতে [চিত্র 9.12(b)]

বেরিল ($Be_3Al_2Si_6O_{18}$) খনিজের অষ্টতলকীয় স্থানে $Cr^{3+}$ আয়ন অবস্থান করে। রুবিতে যে শোষণ পটি দেখা যায়, তা দীর্ঘতর তরঙ্গ দৈর্ঘ্যে পরিবর্তিত হয় যথা- হলুদ-লাল এবং নীল বর্ণের তরঙ্গাশোষণ করার ফলে পান্না সবুজ অঞ্চলের আলোকরশ্মি বিকিরণ করে।

(a)  (b)

*চিত্র 9.12 ঃ (a) রুবি : এই রত্ন পাথরটি মায়ানমারের মোজক শহরে মার্বেল পাথরে পাওয়া গিয়েছিল; (b) পান্না : এই রত্নপাথরটি কলোম্বিয়ার মোজো শহরে পাওয়া গিয়েছিল।*

### 9.5.5 ক্রিস্টাল ফিল্ড তত্ত্বের সীমাবদ্ধতা

ক্রিস্টাল ফিল্ড মডেল সবর্গীয় যৌগের গঠন প্রক্রিয়া, গঠণাকৃতি, বর্ণ এবং চৌম্বক ধর্ম বহুলাংশে সফলভাবে ব্যাখ্যা করতে পারে। ক্রিস্টাল ফিল্ড তত্ত্বে যেহেতু লিগ্যান্ডগুলোকে বিন্দু আধান হিসেবে ধরা হয়েছে সুতরাং অ্যানায়নিক লিগ্যান্ড গুলোর বিভাজন প্রভাব সর্বাধিক হওয়া উচিত। অ্যানায়নিক লিগ্যান্ডগুলোর প্রকৃতপক্ষে স্পেকট্রোকেমিক্যাল সারির বামদিকে থাকে (নিম্নপ্রান্ত)। তাছাড়া, এটি লিগ্যান্ড ও কেন্দ্রীয় পরমাণুর মধ্যে বন্ধনের সমযোজী চরিত্রকে বিবেচনা করে না। এগুলো হল CFT-এর কয়েকটি দুর্বলতা, যেগুলো লিগ্যান্ড ফিল্ড তত্ত্ব (LFT) এবং আণবিক কক্ষক তত্ত্ব দ্বারা ব্যাখ্যা করা হয়েছে। যেগুলো বর্তমান অধ্যয়নের পরিধির উর্ধ্বে।

### বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলি

**9.5** যোজ্যতা বন্ধন তত্ত্বের সাহায্যে ব্যাখ্যা কর যে, সামতলিক বর্গাকার গঠন বিশিষ্ট $[Ni(CN)_4]^{2-}$ আয়ন তিরশ্চুম্বকীয় (ডায়াম্যাগনেটিক) এবং চতুস্তলকীয় গঠন বিশিষ্ট $[NiCl_4]^{2-}$ আয়ন পরাচুম্বকীয় (প্যারাম্যাগনেটিক)।

**9.6** $[NiCl_4]^{2-}$ পরাচুম্বকীয় (প্যারাম্যাগনেটিক) কিন্তু $[Ni(CO)_4]$ তিরশ্চুম্বকীয় কেন? যদিও উভয়েই চতুস্তলকীয়।

**9.7** $[Fe(H_2O)_6]^{3+}$ শক্তিশালী পরাচুম্বকীয় (প্যারাম্যাগনেটিক) কিন্তু $[Fe(CN)_6]^{3+}$ দুর্বল পরাচুম্বকীয় (প্যারাম্যাগনেটিক) –ব্যাখ্যা করো।

**9.8** ব্যাখ্যা করো, $[Co(NH_3)_6]^{3+}$ একটি অভ্যন্তরীণ কক্ষক ঘটিত জটিল যৌগ কিন্তু $[Ni(NH_3)_6]^{2+}$ একটি বহিস্থ কক্ষকঘটিত জটিল যৌগ।

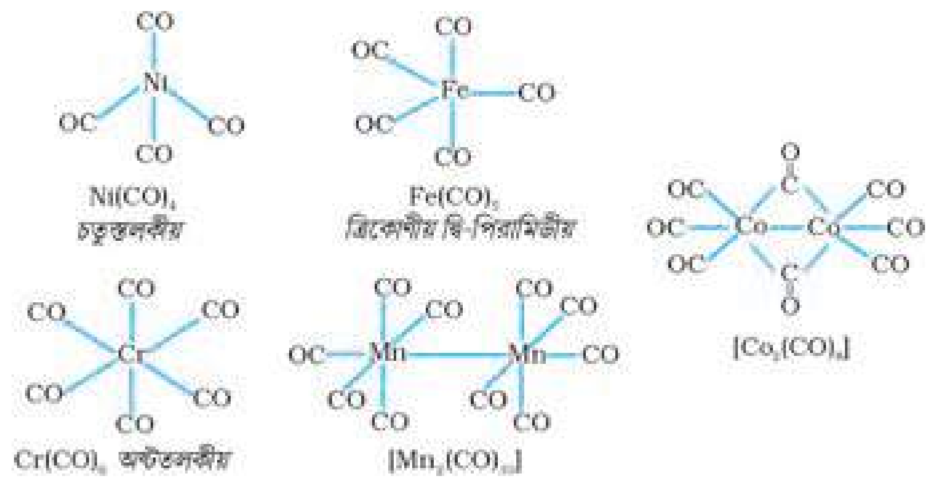
**9.9** সামতলিক বর্গাকার $[Pt(CN)_4]^{2-}$ আয়নে উপস্থিত অযুগ্ম ইলেকট্রনের সংখ্যা নির্ণয় করো।

**9.10** হেক্সাঅ্যাকোয়া ম্যাঙ্গানিজ (II) আয়নে **5** টি অযুগ্ম ইলেকট্রন বর্তমান, কিন্তু হেক্সাসায়ানো আয়নে শুধুমাত্র একটি অযুগ্ম ইলেকট্রন বর্তমান। ক্রিস্টাল ফিল্ড তত্ত্ব প্রয়োগ করে এটি ব্যাখ্যা করো।

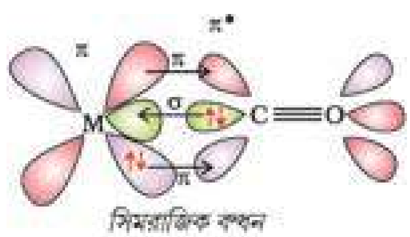
## 9.6 ধাতব কার্বনিল যৌগে বন্ধন

অধিকাংশ সন্ধিগত ধাতু হোমোলেপ্টিক কার্বনিল যৌগ (শুধুমাত্র কার্বনিল লিগ্যান্ড সমন্বিত যৌগ) গঠন করে। এই সকল কার্বনিল যৌগগুলোর সরল এবং সুনির্দিষ্ট গঠনাকৃতি বর্তমান। টেট্রাকার্বনিলনিকেল (0) হল চতুস্তলকীয়, পেন্টাকার্বনিল আয়রন (0) হয় ত্রিকোণীয় দ্বি-পিরামিডীয়, কিন্তু হেক্সাকার্বনিল ক্রোমিয়াম (0) হল অষ্টতলকীয়।

ডেকাকার্বানিল ডাইম্যাঙ্গানিজ (0) যৌগটি গঠিত হয় দুটি বর্গপিরামিডীয় $Mn(CO)_5$ একক পরস্পরের সঙ্গে Mn – Mn বন্ধন সৃষ্টির মাধ্যমে। অক্টাকার্বনিলডাইকোবাল্ট (0) যৌগটিতে একটি Co – Co বন্ধন আছে যা দুটি CO গ্রুপ দ্বারা ব্রিজ বন্ধনে যুক্ত থাকে (চিত্র 9.13)।




*চিত্র 9.13 ঃ কিছু হোমোলেপটিক ধাতব কার্বনিল যৌগের গঠনাকৃতি উপস্থাপিত করা হল।*




*চিত্র 9.14 ঃ একটি জটিল কার্বনিল যৌগে সিনারজিক বন্ধন মিথষ্ক্রিয়ার উদাহরণ।*

ধাতব কার্বনিল যৌগে ধাতু ও কার্বনের মধ্যে সৃষ্টি বন্ধনটিতে σ ও π উভয় চরিত্রই বর্তমান। ধাতুর খালি কক্ষকে কার্বনিল কার্বন পরমাণুর নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন জোড় প্রদানের মাধ্যমে M–C σ বন্ধনটি গঠিত হয়। কার্বন মনোঅক্সাইডের খালি অ্যান্টিবন্ডিং π* -কক্ষককে, ধাতুর পূর্ণ *d*-কক্ষক থেকে একজোড় ইলেকট্রন প্রদানের মাধ্যমে M–C π বন্ধন গঠিত হয়। ধাতু ও লিগ্যান্ডের বন্ধনটি সিনারজিক প্রভাব সৃষ্টি করে, যা CO এবং ধাতুর মধ্যবর্তী বন্ধনটিকে শক্তিশালী করে (চিত্র 9.14)।

## 9.7 সবর্গীয় যৌগের স্থায়িত্ব

দ্রবণে কোনো জটিল যৌগের স্থায়িত্ব বলতে সাম্যাবস্থায় দ্রবণের মধ্যে ধাতব আয়ন ও লিগ্যান্ডগুলোর সংযোজনের মাত্রাকে বোঝায়। সংযোজনের ক্ষেত্রে সাম্যধ্রুবকের (স্থায়িত্ব বা গঠন) মান পরিমাণগতভাবে স্থায়িত্বকে প্রকাশ করে। সুতরাং যদি আমরা একটি বিক্রিয়া এ ধারনের একটি বিক্রিয়ার কথা ভাবি।

$$M + 4L \rightleftharpoons ML_4$$

তাহলে সুস্থিতি ধ্রুবকের মান যত বেশী হবে, দ্রবণে $ML_4$ -এর পরিমাণ তত বেশী হবে। মুক্ত ধাতব আয়ন দ্রবণে কদাচিৎ থাকে। ফলে স্বাভাবিকভাবে ধাতু M দ্রাবক অণুগুলো দ্বারা বেষ্টিত থাকে যারা লিগ্যান্ড অণু L-এর সঙ্গে প্রতিযোগিতা করে এবং ক্রমান্বয়ে দ্রাবকের অণুগুলো লিগ্যান্ডের অণুগুলো দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়। সরলীকরণের জন্য, আমরা সাধারণত এই দ্রাবক অণুগুলোকে উপেক্ষা করে এবং চারটি সুস্থিতি ধ্রুবককে নিম্নরূপ লেখা যায় ঃ

$$M + L \rightleftharpoons ML \qquad K_1 = [ML]/[M][L]$$
$$ML + L \rightleftharpoons ML_2 \qquad K_2 = [ML_2]/[ML][L]$$
$$ML_2 + L \rightleftharpoons ML_3 \qquad K_3 = [ML_3]/[ML_2][L]$$
— — — — — — — — — — — — — — — — — — — — — —
$$ML_{(n-1)} + L \rightleftharpoons ML_n \qquad K_4 = [ML_n]/[ML_{(n-1)}][L]$$

যেখানে $K_1$, $K_2$, ... $K_n$ ইত্যাদি ক্রমিক সুস্থিতি ধ্রুবক। M এবং L থেকে $ML_n$ গঠনের সামগ্রিক সুস্থিতি ধ্রুবককে (β) লেখা যেতে পারে,

$$M + nL \rightleftharpoons ML_n \qquad \beta = [ML_n]/[M][L]^n$$

সুতরাং, ক্রমিক এবং সামগ্রিক সুস্থিতি ধ্রুবক নিম্নরূপে সম্পর্কিত ঃ

$$\beta_n = K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 \ldots\ldots K_n$$

যদি আমরা কিউপ্রামোনিয়ান আয়নতে উদাহরণ হিসাবে ধরি, তাহলে ধাপে ধাপে এক একটি করে অ্যামোনিয়া অণু যুক্ত হয়ে নিম্নলিখিত আয়নগুলির উৎপন্ন হবে।

$[Cu(NH_3)]^{2+}$, $[Cu(NH_3)_2]^{2+}$, $[Cu(NH_3)_3]^{2+}$ এবং $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$.

যদি $K_1$, $K_2$, $K_3$ এবং $K_4$ যথাক্রমে ধারাবাহিক বিক্রিয়াগুলির সুস্থিতি ধ্রুবক হয়, তাহলে $\beta_4$ কে নিম্নরূপ লেখা যায়,

$$\beta_4 = [Cu(NH_3)_4{}^{2+}]/[Cu^{2+}][NH_3)^4$$

কপারের সঙ্গো চারটি অ্যামিন গ্রুপের সংযুক্তি অধিকাংশ গঠন ধ্রুবকের ক্ষেত্রেই একটি বিন্যাস প্রদর্শণ করে, যাতে ধারাবাহিক সুস্থিতি ধ্রুবকগুলো হ্রাস পায়। এক্ষেত্রে ধ্রুবক চারতি হল ঃ

$$\log K_1 = 4.0,\ \log K_2 = 3.2,\ \log K_3 = 2.7,\ \log K_4 = 2.0 \text{ অথবা } \log b_4 = 11.9$$

সবর্গীয় যৌগের দুঃস্থিতি ধ্রুবক অথবা বিয়োজন ধ্রুবককে, গঠন ধ্রু বকের অনোন্যক হিসাবে সংজ্ঞায়িত করা হয়।

### বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলি

**9.11** $Cu(NH_3)_4{}^{2+}$ আয়নের সামগ্রিক জটিল বিয়োজন সাম্যধ্রুবক গণনা করো, দেওয়া আছে, জটিল আয়নটির $\beta_4$ হল $2.1 \times 10^{13}$।

## 9.8 সবর্গীয় যৌগের গুরুত্ব এবং প্রয়োগ

সবর্গীয় যৌগগুলোর বিশেষ গুরত্ব রয়েছে। এই যৌগগুলো খনিজ পদার্থ, উদ্ভিদ ও প্রাণীজগতে ব্যাপকভাবে উপস্থিত থাকে এবং বিশ্লেষণী রসায়ন, ধাতুবিদ্যা, জৈবিক প্রক্রিয়া, শিল্প ও ঔষধ শিল্পে এরা অনেক গুরত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে। এইগুলো নীচে বর্ণনা করা হল ঃ

- সবর্গীয় যৌগগুলো অনেক গুণগত এবং পরিমাণগত রাসায়নিক বিশ্লেষণ ব্যবহৃত হয়। কিছু সংখ্যক লিগ্যান্ডের (বিশেষত চিলেটিং লিগ্যান্ড) সাথে ধাতব আয়নের বহুল পরিচিত রঙীন বিক্রিয়ার ফলে উৎপন্ন সর্বগীয় এন্‌টিটি, এদের সনাক্তকরণ এবং নির্ণয়, বিশ্লেষণের সনাতন এবং যান্ত্রিক পদ্ধতির উপর ভিত্তি করে গঠিত হয়। এরূপ বিকারকের কয়েকটি উদাহরণ হল EDTA, DMG (ডাইমিথাইলগ্লাইঅক্রিম), $\alpha$–নাইট্রোসো–$\beta$–ন্যাপথল, কিউপ্রন ইত্যাদি।
- $Na_2EDTA$ দ্বারা সহজে টাইট্রেশন মাধ্যমে জলের খরতার মাত্রা নির্ণয় করা যায়। $Ca^{2+}$ এবং $Mg^{2+}$ আয়নগুলো EDTA–এর সঙ্গো স্থায়ী জটিল যৌগ গঠন করে। ক্যালসিয়াম এবং ম্যাগনেসিয়ামের জটিল যৌগগুলোর সুস্থিতি ধ্রুবককে পার্থক্য থেকে এই আয়নগুলোর সুনির্দিষ্ট পরিমাণ নির্ণয় করা যায়।
- যেমন সিলভার এবং গোল্ডের মত, কিছু ধাতুর গুরুত্বপূর্ণ নিষ্কাশন পদ্ধতি, জটিল যৌগ গঠনের মাধ্যমে হয়ে থাকে। উদাহরণস্বরূপ, গোল্ড,অক্সিজেন এবং জলের উপস্থিতিতে সায়ানাইড আয়নের সঙ্গো যুক্ত হয়ে জলীয় দ্রবণে $[Au(CN)_2]^-$ সবর্গীয় এন্‌টিটি গঠন করে। এই দ্রবণে জিঙ্ক যোগ করে গোল্ডকে ধাতুরূপে পৃথক করা যায় (অধ্যায় 6)।
- অনুরূপভাবে ধাতুগলোকে তাদের সবর্গীয় যৌগের গঠন এবং পরবর্তীকালে এদের বিয়োজনের মাধ্যমে বিশুদ্ধিকরণ করা যায়। উদাহরণস্বরূপ, অশুদ্ধ নিকেলকে $[Ni(CO)_4]$-এ পরিবর্তিত করা হয়, যা পরে বিয়োজিত হয়ে বিশুদ্ধ নিকেল উৎপন্ন করে।

- জৈবিক প্রক্রিয়ায় সবর্গীয় যৌগগুলোর বিশেষ গুরত্ব রয়েছে। সালোকসংশ্লেষের জন্য দায়ী পদার্থ, ক্লোরোফিল হল ম্যাগনেসিয়ামের একটি সবর্গীয় যৌগ। রক্তের লাল রঞ্জক পদার্থ, হিমোগ্লোবিন যা অক্সিজেন বাহক হিসাবে কাজ করে, আয়রনের একটি সবর্গীয় যৌগ। ভিটামিন $B_{12}$, সায়ানোকোবাল্যামিন, যা অ্যান্টিপারনিসিয়াস অ্যানিমিয়া ফ্যাক্টর, কোবাল্টের একটি সবর্গীয় যৌগ। সবর্গীয় ধাতব আয়নযুক্ত জৈবিক গুরত্বসম্পন্ন অন্যান্য যৌগগুলোর মধ্যে হল কার্বক্সিপেপটাইডেজ A এবং কার্বনিক অ্যানহাইড্রেজ (জৈবিক প্রক্রিয়ার অনুঘটক) এর মত এনজাইম।
- অনেক শিল্প পদ্ধতিতে সবর্গীয় যৌগগুলোর অনুঘটক হিসাবে ব্যবহৃত হয়। উদাহরণস্বরূপ, উইলকিনসন অনুঘটক, $[(Ph_3P)_3RhCl]$, রোডিয়ামের একটি জটিল যৌগ অ্যালকিনের হাইড্রোজেনেশনে ব্যবহৃত হয়।
- শুধুমাত্র ধাতব আয়নের দ্রবণের তুলনায় $[Ag(CN)_2]^-$ এবং $[Au(CN)_2]^-$ জটিল আয়নের দ্রবণের সাহায্যে বিভিন্ন পদার্থকে অনেক মসৃণভাবে ও সমানভাবে সিলভার ও গোল্ডের তড়িৎলেপন করা যায়।
- সাদা-কালো ফটোগ্রাফিতে পরিস্ফুটিত (developed) ফিল্মকে হাইপো দ্রবণ দ্বারা ধৌত করে ফিক্সিং করা হয় যা অধিকৃত AgBr কে দ্রবীভূত করে $[Ag(S_2O_3)_2]^{3-}$ জটিল আয়ন গঠন করে।
- ঔষধি রসায়নে চিলেট থেরাপীর ব্যবহারের প্রতি উৎসাহ দিন দিন বৃদ্ধি পাচ্ছে। একটি উদাহরণ হল– উদ্ভিদ/প্রাণীর জৈবিক তন্ত্রে ধাতুগুলো অতিরিক্ত অনুপাতে উপস্থিত থাকলে যে সমস্যাগুলো দেখা যায় সেগুলোর চিকিৎসাতে চিলেট থেরাপি ব্যবহৃত হয়। এভাবে অতিরিক্ত কপার এবং আয়রন, চিলেটিং লিগ্যান্ড D–পেনিসিলামিন ও ডেসফেরিঅক্সিম B দ্বারা সবর্গীয় যৌগ গঠনের মাধ্যমে দূর করা হয়। লেড বিষক্রিয়ার চিকিৎসাতে EDTA ব্যবহৃত হয়। প্লাটিনামের কিছু সবর্গীয় যৌগ টিউমারের বৃদ্ধি কার্যকারীভাবে রোধ করে। উদাহরণ–সিস্ প্লাটিন এবং সংশ্লিষ্ট যৌগ সমূহ।

## সারাংশ

আধুনিক অজৈব রসায়নের সবর্গীয় যৌগের রসায়ন একটি গুরুত্বপূর্ণ এবং চ্যালেঞ্জিং ক্ষেত্র। বিগত পঞ্চাশ বছরে, এই ক্ষেত্রের উন্নতি হয়েছে, এর ফলে বন্ধন এবং আনবিক গঠনের নতুন ধারণা এবং মডেলের বিকাশ ঘটিয়েছে, শিল্প রসায়নে নতুন নতুন পদ্ধতির বিকাশ ঘটিয়েছে এবং জৈবিক তন্ত্র সমূহের অত্যাবশ্যকীয় উপাদানগুলোর কার্যকারিতা সম্পর্কে গুরুত্বপূর্ণ দৃষ্টি আরোপ করেছে।

**A. Werner** সর্বপ্রথম সুশৃঙ্খলভাবে সবর্গীয় যৌগের গঠন প্রক্রিয়া, বিক্রিয়া, গঠনাকৃতি এবং বন্ধন ব্যাখ্যার প্রচেষ্টা করেছিলেন। তিনি তাঁর তত্ত্বে সবর্গীয় যৌগে একটি ধাতব পরমাণু /আয়নের দুই ধরনের লিঙ্কেজ (মুখ্য এবং গৌন) থাকার দাবী করেছিলেন। রসায়নের আধুনিক ভাষায় এই লিঙ্কেজগুলোকে যথাক্রমে আয়নীর (তড়িৎযোজী) এবং অ-আয়নীর (সমযোজী) বন্ধনরূপে স্বীকৃতি দেওয়া হয়েছে। সমাবয়বতার ধর্ম প্রয়োগ করে, ভার্ণার অনেক সবর্গীয় এন্‌টিটির জ্যামিতিক আকৃতির পূর্বাভাস দিয়েছিলেন।

যোজ্যতা বন্ধন তত্ত্ব **(VBT)** সবর্গীয় যৌগের গঠন প্রক্রিয়া চৌম্বক ধর্ম এবং জ্যামিতিক আকৃতির যুক্তিসঙ্গত কারণ সাফল্যের সঙ্গে ব্যাখ্যা করেছে। যদিও, ইহা যৌগগুলির চৌম্বক ধর্মের পরিমাণগত ব্যাখ্যা প্রদানে ব্যর্থ হয়েছে এবং এদের আলোকীয় ধর্ম সম্পর্কে কিছুই বলতে পারেনি।

কেন্দ্রীয় ধাতা পরমাণু/আয়নের *d* -কক্ষকগুলোর শক্তির সমতার উপর বিভিন্ন ক্রিস্টাল ফিল্ডের (বিন্দু আধান হিসাবে ধরা লিগ্যান্ডগুলোর দ্বারা প্রদানকৃত) প্রভাব-এর উপর ভিত্তি করে সবর্গীয় যৌগের ক্রিস্টাল ফিল্ড তত্ত্ব **CFT)** প্রতিষ্ঠিত হয়েছে। শক্তিশালী এবং দুর্বল ক্রিস্টালফিল্ডে *d* -কক্ষকগুলোর বিভাজন, বিভিন্ন ধরনের ইলেকট্রন বিন্যাস প্রদান করে। ইহা কক্ষক পৃথকীকরণ শক্তি, চৌম্বক ভ্রামক এবং বর্ণালীগত ও স্থায়িত্বের পরিমাপকগুলোর পরিমাণগত পরিমাপ প্রদান করে।

যদিও, লিগ্যান্ডগুলো বিন্দু আধানযুক্ত এই ধারণা বহু তাত্ত্বিক অসুবিধার সৃষ্টি করে। ধাতব কার্বনিল যৌগগুলোতে ধাতু-কার্বন বন্ধনের σ এবং π উভয় চরিত্রের হয়। লিগ্যান্ড ধাতু বন্ধনটি হল σ বন্ধন এবং ধাতু লিগ্যান্ড বন্ধনটি হল π বন্ধন। সিনারজিক বন্ধনটি ধাতব কার্বনিল যৌগগুলিকে স্থায়িত্ব প্রদান করে।

সবর্গীয় যৌগের স্থায়িত্ব ক্রমিক সুস্থিতি (বা গঠন) ধ্রুবক ((K)) অথবা সামগ্রিক সুস্থিতি ধ্রুবক (β) দ্বারা পরিমাপ করা হয়। চিলেশনের (chelation) ফলে সবর্গীয় যৌগের স্থায়িত্বকে চিলেট প্রভাব বলে। সবর্গীয় যৌগের স্থায়িত্ব গিবস্ শক্তি, এনথ্যালপি এবং এনট্রপি পদগুলোর সাথে সম্পর্কিত।

সবর্গীয় যৌগগুলোর বিশেষ গুরুত্ব রয়েছে। এই যৌগগুলো জৈবিক প্রক্রিয়ার গুরুত্বপূর্ণ উপাদানগুলোর কার্যকারিতা ও গঠনে বিশেষ ভূমিকা পালন করে। ধাতুবিদ্যার পদ্ধতিতে, বিশ্লেষণাত্মক কাজে এবং ঔষধিয় রসায়নে সবর্গীয় যৌগের ব্যাপক ব্যবহারে পরিলক্ষিত হয়।

# অনুশীলনী

**9.1** ভার্ণারের স্বীকার্যের সাহায্যে সবর্গীয় যৌগের বন্ধন ব্যাখ্যা করো।

**9.2** $FeSO_4$ দ্রবণ, $(NH_4)_2SO_4$ দ্রবণের সঙ্গে 1:1 মোলার অনুপাতে মিশ্রিত করলে $Fe^{2+}$ আয়নের পরীক্ষা দেখায় কিন্তু $CuSO_4$ দ্রবণ জলীয় অ্যামোনিয়ার সঙ্গে 1:4 মোলার অনুপাতে মিশ্রিত করলে $Cu^{2+}$ আয়নের পরীক্ষা দেখায় না কেন, ব্যাখ্যা করো?

**9.3** দুইটি উদাহরণসহ নিচের প্রতিটি পদ ব্যাখ্যা করো। সবর্গীয় এন্‌টিটি, লিগ্যান্ড, সবর্গাঙ্ক সংখ্যা, সবর্গীয় পলিহেড্রন হোমোলেপটিক এবং হেটেরোলেপটিক।

**9.4** একযোজী, দ্বিযোজী, এবং অ্যাম্বিডেন্টেট লিগ্যান্ড বলতে কি বোঝায়? প্রতিটির দুইটি করে উদাহরণ দাও।

**9.5** নিচের সবর্গীয় এন্‌টিটিগুলোতে ধাতুর জারণ সংখ্যা উল্লেখ করো।

(i) $[Co(H_2O)(CN)(en)_2]^{2+}$ (ii) $[CoBr_2(en)_2]^{+}$ (iii) $[PtCl_4]^{2-}$ (iv) $K_3[Fe(CN)_6]$ (v) $[Cr(NH_3)_3Cl_3]$

**9.6** IUPAC নিয়ম প্রয়োগ করে নিম্নলিখিতগুলোর সংকেত লিখ।

(i) টেট্রাহাইড্রোক্সিডোজিঙ্কেট (II)
(ii) পটাসিয়াম টেট্রাক্লোরিডোপ্যালাডেট (II)
(iii) ডাইঅ্যামিনডাইক্লোরিডোপ্লাটিনাম (II)
(iv) পটাসিয়াম টেট্রাসায়নিডোনিকেলেট (II)
(v) পেন্টাঅ্যামিননাইট্রিটো-O-কোবাল্ট (III)
(vi) হেক্সাঅ্যামিনকোবাল্ট (III) সালফেট
(vii) পটাসিয়াম ট্রাই (অক্সালেটো) ক্রোমেট (III)
(viii) হেক্সাঅ্যামিনপ্লাটিনাম (IV)
(ix) টেট্রাব্রোমিডোকিউপ্রেট (II)
(x) পেন্টাঅ্যামিননাইট্রিটো-N-কোবাল্ট (III)

**9.7** IUPAC নিয়ম প্রয়োগ করে নিম্নলিখিত প্রতিটির বিধিবদ্ধ নাম লিখ।

(i) $[Co(NH_3)_6]Cl_3$ (ii) $[Pt(NH_3)_2Cl(NH_2CH_3)]Cl$ (iii) $[Ti(H_2O)_6]^{3+}$ (iv) $[Co(NH_3)_4Cl(NO_2)]Cl$ (v) $[Mn(H_2O)_6]^{2+}$ (vi) $[NiCl_4]^{2-}$ (vii) $[Ni(NH_3)_6]Cl_2$ (viii) $[Co(en)_3]^{3+}$ (ix) $[Ni(CO)_4]$

**9.8** সবর্গীয় যৌগের সম্ভাব্য বিভিন্ন ধরনের সমাবয়বতাগুলো তালিকাভুক্ত করো, প্রতিটি একটি করে উদাহরণ দাও।

**9.9** নিচের সবর্গীয় এন্‌টিটিগুলোতে কতগুলো জ্যামিতিক সমাবয়বী সম্ভব?

(i) $[Cr(C_2O_4)_3]^{3-}$ (ii) $[Co(NH_3)_3Cl_3]$

**9.10** নিচের প্রতিটির আলোকীয় সমাবয়বীগুলোর গঠন অঙ্কন করো ঃ

(i) $[Cr(C_2O_4)_3]^{3-}$ (ii) $[PtCl_2(en)_2]^{2+}$ (iii) $[Cr(NH_3)_2Cl_2(en)]^{+}$

9.11 নিচের প্রতিটির সকল সমাবয়বীগুলো (জ্যামিতিক এবং আলোকীয়) অঙ্কন করো।

(i) $[CoCl_2(en)_2]^+$ (ii) $[Co(NH_3)Cl(en)_2]^{2+}$ (iii) $[Co(NH_3)_2Cl_2(en)]^+$

9.12 $[Pt(NH_3)(Br)(Cl)(py)]$ এর সকল জ্যামিতিক সমাবয়বীগুলো লিখ এবং এগুলোর মধ্যে কতগুলো আলোকীয় সমাবয়বী প্রদর্শণ করে?

9.13 কপার সালফেটের জলীয় দ্রবণ (নীল বর্ণের) ঃ

(i) জলীয় পটাসিয়াম ফ্লুরাইডের সঙ্গো একটি সবুজ বর্ণের অধঃক্ষেপ উৎপন্ন করে এবং

(ii) জলীয় পটাসিয়াম ক্লোরাইডের সঙ্গো একটি উজ্জ্বল সবুজ বর্ণের দ্রবণ উৎপন্ন করে। এই পরীক্ষালব্ধ ফলাফলগুলোর ব্যাখ্যা করো।

9.14 কপার সালফেটের একটি জলীয় দ্রবণে অতিরিক্ত পরিমাণে জলীয় KCN যোগ করলে কোন সবর্গীয় এন্‌টিটি গঠিত হবে? এই দ্রবণের মধ্য দিয়ে $H_2S(g)$ চালনা করলে কপার সালফাইডের কোনো অধঃক্ষেপ পাওয়া যায় না কেন?

9.15 যোজ্যতা বন্ধন তত্ত্বের সাহায্যে নিচের সবর্গীয় এন্‌টিটিগুলোর বন্ধনের প্রকৃতি আলোচনা করো ঃ

(i) $[Fe(CN)_6]^{4-}$ (ii) $[FeF_6]^{3-}$ (iii) $[Co(C_2O_4)_3]^{3-}$ (iv) $[CoF_6]^{3-}$

9.16 অষ্টতলকীয় ক্রিস্টাল ফিল্ডের জন্য $d$ কক্ষকের বিভাজনের চিত্র অঙ্কন করো।

9.17 স্পেকট্রোকেমিক্যাল শ্রেণি কী? উইক ফিল্ড লিগ্যান্ড এবং স্ট্রং ফিল্ড লিগ্যান্ডের মধ্যে পার্থক্য ব্যাখ্যা করো।

9.18 ক্রিস্টাল ফিল্ড বিভাজন শক্তি কী? কিভাবে $\Delta_o$ এর মান একটি সবর্গীয় এন্‌টিটিতে $d$ কক্ষকের প্রকৃত বিন্যাস নির্ধারণ করে।

9.19 $[Cr(NH_3)_6]^{3+}$ পরাচুম্বকীয় (প্যারাম্যাগনেটিক) কিন্তু $[Ni(CN)_4]^{2-}$ তিরশ্চুম্বকীয় (ডায়াম্যাগনেটিক) কেন ব্যাখ্যা করো।

9.20 $[Ni(H_2O)_6]^{2+}$-এর দ্রবণ সবুজ বর্ণের কিন্তু $[Ni(CN)_4]^{2-}$ এর দ্রবণ বর্ণহীন—ব্যাখ্যা করো।

9.21 লঘু দ্রবণে $[Fe(CN)_6]^{4-}$ এবং $[Fe(H_2O)_6]^{2+}$ ভিন্ন বর্ণের কেন, ব্যাখ্যা করো।

9.22 ধাতব কার্বনিল যৌগে বন্ধনের প্রকৃতি আলোচনা করো।

9.23 নিচের জটিল যৌগগুলোতে কেন্দ্রীয় ধাতব আয়নের জারণ স্তর, $d$ -কক্ষকের বিন্যাস এবং সবর্গাঙ্ক সংখ্যা উল্লেখ করো।

(i) $K_3[Co(C_2O_4)_3]$ (iii) $(NH_4)_2[CoF_4]$

(ii) সিস্‌-$[CrCl_2(en)_2]Cl$ (iv) $[Mn(H_2O)_6]SO_4$

9.24 নিচের প্রতিটি জটিল যৌগের IUPAC নাম লিখ এবং জারণ স্তর, ইলেকট্রন বিন্যাস এবং সবর্গাঙ্ক সংখ্যা উল্লেখ করো। তাছাড়া জটিল যৌগের ত্রিমাত্রিক রসায়ন (স্টিরিও কেমিস্ট্রি) এবং চৌম্বক ভ্রামক নির্ণয় করো।

(i) $K[Cr(H_2O)_2(C_2O_4)_2].3H_2O$ (iii) $[CrCl_3(py)_3]$ (v) $K_4[Mn(CN)_6]$

(ii) $[Co(NH_3)_5Cl.]Cl_2$ (iv) $Cs[FeCl_4]$

9.25 দ্রবণে সবর্গীয় যৌগের স্থায়িত্ব বলতে কি বোঝায়? জটিল যৌগের স্থায়িত্ব নির্ধারক বিষয়গুলো উল্লেখ করো।

9.26 চিলেট প্রভাব বলতে কি বোঝায়? একটি উদাহরণ দাও।

9.27 প্রতি ক্ষেত্রে একটি উদাহরণ সহ সবর্গীয় যৌগের ভূমিকা সংক্ষেপে আলোচনা করো ঃ

(i) জৈবিক প্রক্রিয়া (iii) বিশ্লেষণী রসায়ণ

(ii) ঔষধি রসায়ন এবং (iv) ধাতু নিষ্কাশন/ধাতুবিদ্যা

9.28 $Co(NH_3)_6Cl_2$ জটিল যৌগটি দ্রবণে কতগুলো আয়ন উৎপন্ন করে?

(i) 6 (ii) 4 (iii) 3 (iv) 2

9.29 নিচের আয়নগুলির মধ্যে কোনটির চৌম্বক ভ্রামকের মান সর্বোচ্চ?

(i) $[Cr(H_2O)_6]^{3+}$ (ii) $[Fe(H_2O)_6]^{2+}$ (iii) $[Zn(H_2O)_6]^{2+}$

9.30 $K[Co(CO)_4]$ যৌগে কোবাল্টের জারণ সংখ্যা হল—

(i) +1 (ii) +3 (iii) −1 (iv) −3

**9.31** নিম্নলিখিত যৌগগুলোর মধ্যে সর্বাধিক স্থায়ী জটিল আয়নটি হল—

(i) $[Fe(H_2O)_6]^{3+}$ (ii) $[Fe(NH_3)_6]^{3+}$ (iii) $[Fe(C_2O_4)_3]^{3-}$ (iv) $[FeCl_6]^{3-}$

**9.32** নিম্নলিখিত আয়নগুলোর জন্য, দৃশ্যমান অঞ্চলে শোষনের তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের সঠিক ক্রম কি হবে?

$[Ni(NO_2)_6]^{4-}$, $[Ni(NH_3)_6]^{2+}$, $[Ni(H_2O)_6]^{2+}$ ?

## কিছু বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নের উত্তরমালা ঃ

**9.1** (i) $[Co(NH_3)_4(H_2O)_2]Cl_3$

(ii) $K_2[Ni(CN)_4]$

(iii) $[Cr(en)_3]Cl_3$

(iv) $[Pt(NH_3)BrCl(NO_2)]^-$

(v) $[PtCl_2(en)_2](NO_3)_2$

(vi) $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$

**9.2** (i) হেক্সাঅ্যামিনকোবাল্ট (III) ক্লোরাইড

(ii) পেন্টাঅ্যামিনক্লোরিডোকোবাল্ট (III) ক্লোরাইড

(iii) পটাসিয়াম হেক্সাসায়ানিডোফেরেট (III)

(iv) পটাসিয়াম ট্রাইঅক্সালেটোফেরেট (III)

(v) পটাসিয়াম টেট্রাক্লোরিডোপ্যালাডেট (II)

(vi) ডাইঅ্যামিনক্লোরিডো (মিথান্যামিন) প্লাটিনাম (II) ক্লোরাইড

**9.3** (i) জ্যামিতিক (সিস্, ট্রান্স) এবং আলোকীয় সমাবয়বী (সিস্ এর ক্ষেত্রে) উভয়ই প্রদর্শণ করবে।

(ii) দুইটি আলোকীয় সমাবয়বী প্রদর্শণ করবে।

(iii) 10 টি সমাবয়বী সম্ভব। (ইঙ্গিত ঃ জ্যামিতিক, আয়নায়ন এবং লিঙ্কেজ (বন্ধন) সমাবয়বী সম্ভব)

(iv) জ্যামিতিক (সিস্, ট্রান্স) সমাবয়বী প্রদর্শণ করবে।

**9.4** আয়নায়ন সমবয়বীগুলো জলে দ্রবীভূত হয়ে ভিন্ন ভিন্ন আয়ন উৎপন্ন করে এবং তাই বিভিন্ন বিকারকের সঙ্গে ভিন্নভাবে বিক্রিয়া করে।

$[Co(NH_3)_5Br]SO_4 + Ba^{2+} \rightarrow BaSO_4\ (s)$

$[Co(NH_3)_5SO_4]Br + Ba^{2+} \rightarrow$ বিক্রিয়া হয়না

$[Co(NH_3)_5Br]SO_4 + Ag^{+} \rightarrow$ বিক্রিয়া হয়না

$[Co(NH_3)_5SO_4]Br + Ag^{+} \rightarrow AgBr\ (s)$

**9.6** $Ni(CO)_4$,-এ Ni শূণ্য জারণ স্তরে আছে, কিন্তু $NiCl_4^{2-}$ আয়নে ইহা +2 জারণস্তরে আছে। CO লিগ্যান্ডের উপস্থিতিতে Ni এর অযুগ্ম $d$-ইলেকট্রনগুলো যুগ্ম হয় কিন্তু $Cl^-$ দুর্বল লিগ্যান্ড হওয়ায় অযুগ্ম ইলেকট্রনগুলো যুগ্ম বা জোড়বদ্ধ হতে পারে না।

**9.7** $CN^-$ (শক্তিশালী লিগ্যান্ড) এর উপস্থিতিতে $3d$ ইলেকট্রনগুলো জোড়বদ্ধ হয় এবং শুধুমাত্র একটি অযুগ্ম ইলেকট্রন থাকে। এর সংকরায়ণ হল $d^2sp^3$ এবং অভ্যান্তরীণ কক্ষক ঘটিত জটিল যৌগ গঠন করে। জলের (দুর্বল লিগ্যান্ড) উপস্থিতিতে $3d$ ইলেকট্রগুলো জোড়বদ্ধ হয় না। এর সংকরায়ন হল $sp^3d^2$ এবং বহিস্ত কক্ষক ঘটিত জটিল যৌগ গঠন করে যার মধ্যে 5 টি অযুগ্ম ইলেকট্রন থাকে, ইহা অধিক পরাচুম্বকীয়।

**9.8** $NH_3$ এর উপস্থিতিতে, $3d$ ইলেকট্রনগুলো জোড়বন্ধ হয়, যার ফলে দুইটি $d$ -কক্ষক খালি হয় এবং $[Co(NH_3)_6]^{3+}$, $d^2sp^3$ সংকরায়নের মাধ্যমে অভ্যন্তরীণ কক্ষকঘটিত জটিল যৌগ গঠন করে।
$Ni(NH_3)_6^{2+}$ আয়নে Ni, +2 জারণ স্তরে আছে এবং এর বিন্যাস $d^8$, এক্ষেত্রে সংকরায়ন হল $sp^3d^2$ এবং ইহা বহিস্থ কক্ষকঘটিত জটিল যৌগ গঠন করে।

**9.9** সামতলিক বর্গাকার গঠনাকৃতির জন্য সংকরায়ন হল $dsp^2$ । তাই $5d$ -কক্ষকের অযুগ্ম ইলেকট্রনগুলো যুগ্ম হয় এবং $dsp^2$ সংকরায়নের জন্য একটি $sp^3d^2$ কক্ষককে খালি করে। এজন্য এক্ষেত্রে কোনো অযুগ্ম ইলেট্রন নেই।

**9.11** সামগ্রিক বিয়োজন ধ্রুবক, সামগ্রিক সুস্থিতি ধ্রুবকের (stability constant) অনোন্যক অর্থাৎ
$1/\ \beta_4 = 4.7 \times 10^{-14}$

# মৌলসমূহ, এদের পরমাণু ক্রমাঙ্ক বা পারমাণবিক সংখ্যা আণব ভর।

| মৌল | চিহ্ন | পরমাণু ক্রমাঙ্ক | আনব শক্তি/ (g mol$^{-1}$) |
|---|---|---|---|
| অ্যাক্টিনিয়াম | Ac | 89 | 227.03 |
| অ্যালুমিনিয়াম | Al | 13 | 26.98 |
| অ্যামেরিশিয়াম | Am | 95 | (243) |
| অ্যান্টিমনি | Sb | 51 | 121.75 |
| আর্গন | Ar | 18 | 39.95 |
| আর্সেনিক | As | 33 | 74.92 |
| অ্যাস্টাটিন | At | 85 | 210 |
| বেরিয়াম | Ba | 56 | 137.34 |
| বার্কেলিয়াম | Bk | 97 | (247) |
| বেরিলিয়াম | Be | 4 | 9.01 |
| বিসমাথ | Bi | 83 | 208.98 |
| বোরিয়াম | Bh | 107 | (264) |
| বোরন | B | 5 | 10.81 |
| ব্রোমিন | Br | 35 | 79.91 |
| ক্যাডমিয়াম | Cd | 48 | 112.40 |
| সিজিয়াম | Cs | 55 | 132.91 |
| ক্যালসিয়াম | Ca | 20 | 40.08 |
| ক্যালিফোর্নিয়াম | Cf | 98 | 251.08 |
| কার্বন | C | 6 | 12.01 |
| সিরিয়াম | Ce | 58 | 140.12 |
| ক্লোরিন | Cl | 17 | 35.45 |
| ক্রোমিয়াম | Cr | 24 | 52.00 |
| কোবাল্ট | Co | 27 | 58.93 |
| কপার | Cu | 29 | 63.54 |
| কুরিয়াম | Cm | 96 | 247.07 |
| ডোবনিয়াম | Db | 105 | (263) |
| ডিসপ্রোসিয়াম | Dy | 66 | 162.50 |
| আইনস্টেনিয়াম | Es | 99 | (252) |
| ইরবিয়াম | Er | 68 | 167.26 |
| ইউরোপিয়াম | Eu | 63 | 151.96 |
| ফার্মিয়াম | Fm | 100 | (257.10) |
| ফ্লোরিন | F | 9 | 19.00 |
| ফ্রান্সিয়াম | Fr | 87 | (223) |
| গ্যাডোলিনিয়াম | Gd | 64 | 157.25 |
| গ্যালিয়াম | Ga | 31 | 69.72 |
| জার্মেনিয়াম | Ge | 32 | 72.61 |
| গোল্ড | Au | 79 | 196.97 |
| হাফ্নিয়াম | Hf | 72 | 178.49 |
| হ্যাসিয়াম | Hs | 108 | (269) |
| হিলিয়াম | He | 2 | 4.00 |
| হোলসিয়াম | Ho | 67 | 164.93 |
| হাইড্রোজেন | H | 1 | 1.0079 |
| ইনডিয়াম | In | 49 | 114.82 |
| আয়োডিন | I | 53 | 126.90 |
| ইরিডিয়াম | Ir | 77 | 192.2 |
| আয়রন | Fe | 26 | 55.85 |
| ক্রিপ্টন | Kr | 36 | 83.80 |
| ল্যান্থেনাম | La | 57 | 138.91 |
| লরেন্সসিয়াম | Lr | 103 | (262.1) |
| লেড | Pb | 82 | 207.19 |
| লিথিয়াম | Li | 3 | 6.94 |
| লুটেশিয়াম | Lu | 71 | 174.96 |
| ম্যাগনেসিয়াম | Mg | 12 | 24.31 |
| ম্যাঙ্গানিজ | Mn | 25 | 54.94 |
| মেটনিয়াম | Mt | 109 | (268) |
| মেন্ডেলিভিয়াম | Md | 101 | 258.10 |

| মৌল | চিহ্ন | পরমাণু ক্রমাঙ্ক | আনব শক্তি/ (g mol$^{-1}$) |
|---|---|---|---|
| মারকারি | Hg | 80 | 200.59 |
| মলিবডেনাম | Mo | 42 | 95.94 |
| নিওডিমিয়াম | Nd | 60 | 144.24 |
| নিয়ন | Ne | 10 | 20.18 |
| নেপচুন | Np | 93 | (237.05) |
| নিকেল | Ni | 28 | 58.71 |
| নিউবিয়াম | Nb | 41 | 92.91 |
| নাইট্রোজেন | N | 7 | 14.0067 |
| নোবেলিয়াম | No | 102 | (259) |
| অস্মিয়াম | Os | 76 | 190.2 |
| অক্সিজেন | O | 8 | 16.00 |
| প্যালাডিয়াম | Pd | 46 | 106.4 |
| ফসফরাস | P | 15 | 30.97 |
| প্লাটিনাম | Pt | 78 | 195.09 |
| প্লুটোনিয়াম | Pu | 94 | (244) |
| পলোনিয়াম | Po | 84 | 210 |
| পটাসিয়াম | K | 19 | 39.10 |
| প্রাসিওডাইমিয়াম | Pr | 59 | 140.91 |
| প্রোমেথিয়াম | Pm | 61 | (145) |
| প্রোটাঅ্যাক্টিনিয়াম | Pa | 91 | 231.04 |
| রেডিয়াম | Ra | 88 | (226) |
| রেডন | Rn | 86 | (222) |
| রেহেনিয়াম | Re | 75 | 186.2 |
| রোডিয়াম | Rh | 45 | 102.91 |
| রোবিডিয়াম | Rb | 37 | 85.47 |
| রোথেনিয়াম | Ru | 44 | 101.07 |
| রাদারফর্ডিয়াম | Rf | 104 | (261) |
| সমারিয়াম | Sm | 62 | 150.35 |
| স্ক্যানডিয়াম | Sc | 21 | 44.96 |
| সিবর্গিয়াম | Sg | 106 | (266) |
| সেলনিয়াম | Se | 34 | 78.96 |
| সিলিকন | Si | 14 | 28.08 |
| সিলভার | Ag | 47 | 107.87 |
| সোডিয়াম | Na | 11 | 22.99 |
| স্ট্রনশিয়াম | Sr | 38 | 87.62 |
| সালফার | S | 16 | 32.06 |
| টেনটালাম | Ta | 73 | 180.95 |
| টেক্নেসিয়াম | Tc | 43 | (98.91) |
| টেলুরিয়াম | Te | 52 | 127.60 |
| টারবিয়াম | Tb | 65 | 158.92 |
| থ্যালিয়াম | Tl | 81 | 204.37 |
| থোরিয়াম | Th | 90 | 232.04 |
| থুলিয়াম | Tm | 69 | 168.93 |
| টিন | Sn | 50 | 118.69 |
| টাইটানিয়াম | Ti | 22 | 47.88 |
| টাংস্টেন | W | 74 | 183.85 |
| আনআনবিয়াম | Uub | 112 | (277) |
| আনআননিলিয়াম | Uun | 110 | (269) |
| আনআনআনিয়াম | Uuu | 111 | (272) |
| ইউরেনিয়াম | U | 92 | 238.03 |
| ভেনাডিয়াম | V | 23 | 50.94 |
| জেনন | Xe | 54 | 131.30 |
| ইটারবিয়াম | Yb | 70 | 173.04 |
| ইট্রিয়াম | Y | 39 | 88.91 |
| জিঙ্ক | Zn | 30 | 65.37 |
| জারকোনিয়াম | Zr | 40 | 91.22 |

বন্ধনীতে প্রদত্ত মানগুলো জ্ঞাত সর্বোচ্চ অর্ধজীবন সম্পন্ন আইসোটোপের আণব ভর প্রকাশ করছে

পরিশিষ্ট II

# এককে রূপান্তরের জন্য প্রয়োজনীয় কিছু গুণক

### ভর ও ওজনের প্রচলিত একক সমূহ

**1 pound = 453.59 grams**

1 pound = 453.59 grams = 0.45359 kilogram
1 kilogram = 1000 grams = 2.205 pounds
1 gram = 10 decigrams = 100 centigrams
= 1000 milligrams
1 gram = 6.022 ´ $10^{23}$ atomic mass units or u
1 atomic mass unit = 1.6606 ´ $10^{-24}$ gram
1 metric tonne = 1000 kilograms
= 2205 pounds

### আয়তনের প্রচলিত একক সমূহ

**1 quart = 0.9463 litre**
**1 litre = 1.056 quarts**

1 litre = 1 cubic decimetre = 1000 cubic centimetres = 0.001 cubic metre
1 millilitre = 1 cubic centimetre = 0.001 litre
= 1.056 ´ $10^{-3}$ quart
1 cubic foot = 28.316 litres = 29.902 quarts
= 7.475 gallons

### শক্তির প্রচলিত একক সমূহ

**1 joule = 1 ´ $10^{7}$ ergs**

1 thermochemical calorie**
= 4.184 joules
= 4.184 ´ $10^{7}$ ergs
= 4.129 ´ $10^{-2}$ litre-atmospheres
= 2.612 ´ $10^{19}$ electron volts
1 ergs = 1 ´ $10^{-7}$ joule = 2.3901 ´ $10^{-8}$ calorie
1 electron volt = 1.6022 ´ $10^{-19}$ joule
= 1.6022 ´ $10^{-12}$ erg
= 96.487 kJ/mol†
1 litre-atmosphere = 24.217 calories
= 101.32 joules
= 1.0132 ´$10^{9}$ ergs
1 British thermal unit = 1055.06 joules
= 1.05506 ´$10^{10}$ ergs
= 252.2 calories

### দৈর্ঘ্যের প্রচলিত একক সমূহ

**1 inch = 2.54 centimetres (exactly)**

1 mile = 5280 feet = 1.609 kilometres
1 yard = 36 inches = 0.9144 metre
1 metre = 100 centimetres = 39.37 inches
= 3.281 feet
= 1.094 yards
1 kilometre = 1000 metres = 1094 yards
= 0.6215 mile
1 Angstrom = 1.0 ´ $10^{-8}$ centimetre
= 0.10 nanometre
= 1.0 ´ $10^{-10}$ metre
= 3.937 ´ $10^{-9}$ inch

### বল এবং চাপের* প্রচলিত একক সমূহ

1 atmosphere = 760 millimetres of mercury
= 1.013 ´ $10^{5}$ pascals
= 14.70 pounds per square inch
1 bar = $10^{5}$ pascals
1 torr = 1 millimetre of mercury
1 pascal = 1 $kg/ms^2$ = 1 $N/m^2$

### উষ্ণতা
**আন্তর্জাতিক পদ্ধতিতে একক : (K)**

K = -273.15°C
K = °C + 273.15
°F = 1.8(°C) + 32

$$°C = \frac{°F - 32}{1.8}$$

---

* *বল : 1 নিউটন (N) = 1 kg m/s$^2$, অর্থাৎ 1 kg ভরের কোনো বস্তুর উপর যে বল 1 সেকেন্ড ধরে প্রয়োগ করলে প্রতি সেকেন্ডে 1 m বেগ সৃষ্টি হয়।*

** *1 g জলের উষ্ণতা 14.5$^0$C হতে 15.5$^0$C পর্যন্ত বৃদ্ধি করতে যে তাপের প্রয়োজন হয়।*

† *মনে রাখো, প্রতি কণিকার অন্যান্য এককসমূহ এবং অবশ্যই 6.022 ×$10^{23}$ এর গুণিতক যথাযতভাবে তুলনীয়।*

পরিশিষ্ট III

# 298 উষ্ণতায় তড়িৎরাসায়নিক শ্রেণির ক্রমানুসারে প্রমাণ বিভব সমূহের মান

| বিজারণ অর্ধ-বিক্রিয়া | $E^{\ominus}/V$ |
|---|---|
| $H_4XeO_6 + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow XeO_3 + 3H_2O$ | +3.0 |
| $F_2 + 2e^- \longrightarrow 2F–$ | +2.87 |
| $O_3 + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow O_2 + H_2O$ | +2.07 |
| $S_2O_8^{2-} + 2e^- \longrightarrow 2SO_4^{2-}$ | +2.05 |
| $Ag^+ + e^- \longrightarrow Ag^+$ | +1.98 |
| $Co^{3+} + e^- \longrightarrow Co^{2+}$ | +1.81 |
| $H_2O_2 + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow 2H_2O$ | +1.78 |
| $Au^+ + e^- \longrightarrow Au$ | +1.69 |
| $Pb^{4+} + 2e^- \longrightarrow Pb^{2+}$ | +1.67 |
| $2HClO + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow Cl_2 + 2H_2O$ | +1.63 |
| $Ce^{4+} + e^- \longrightarrow Ce^{3+}$ | +1.61 |
| $2HBrO + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow Br_2 + 2H_2O$ | +1.60 |
| $MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \longrightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$ | +1.51 |
| $Mn^{3+} + e^- \longrightarrow Mn^{2+}$ | +1.51 |
| $Au^{3+} + 3e^- \longrightarrow Au$ | +1.40 |
| $Cl_2 + 2e^- \longrightarrow 2Cl^-$ | +1.36 |
| $Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \longrightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$ | +1.33 |
| $O_3 + H_2O + 2e^- \longrightarrow O_2 + 2OH^-$ | +1.24 |
| $O_2 + 4H^+ + 4e^- \longrightarrow 2H_2O$ | +1.23 |
| $ClO_4^- + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow ClO_3^- + 2H_2O$ | +1.23 |
| $MnO_2 + 4H^+ + 2e^- \longrightarrow Mn^{2+} + 2H_2O$ | +1.23 |
| $Pt^{2+} + 2e^- \longrightarrow Pt$ | +1.20 |
| $Br_2 + 2e^- \longrightarrow 2Br^-$ | +1.09 |
| $Pu^{4+} + e^- \longrightarrow Pu^{3+}$ | +0.97 |
| $NO_3^- + 4H^+ + 3e^- \longrightarrow NO + 2H_2O$ | +0.96 |
| $2Hg^{2+} + 2e^- \longrightarrow Hg_2^{2+}$ | +0.92 |
| $ClO^- + H_2O + 2e^- \longrightarrow Cl^- + 2OH^-$ | +0.89 |
| $Hg^{2+} + 2e^- \longrightarrow Hg$ | +0.86 |
| $NO_3^- + 2H^+ + e^- \longrightarrow NO_2 + H_2O$ | +0.80 |
| $Ag^+ + e^- \longrightarrow Ag$ | +0.80 |
| $Hg_2^{2+} + 2e^- \longrightarrow 2Hg$ | +0.79 |
| $Fe^{3+} + e^- \longrightarrow Fe^{2+}$ | +0.77 |
| $BrO^- + H_2O + 2e^- \longrightarrow Br^- + 2OH^-$ | +0.76 |
| $Hg_2SO_4 + 2e^- \longrightarrow 2Hg + SO_4^{2-}$ | +0.62 |
| $MnO_4^{2-} + 2H_2O + 2e^- \longrightarrow MnO_2 + 4OH^-$ | +0.60 |
| $MnO_4^- + e^- \longrightarrow MnO_4^{2-}$ | +0.56 |
| $I_2 + 2e^- \longrightarrow 2I^-$ | +0.54 |
| $I_3^- + 2e^- \longrightarrow 3I^-$ | +0.53 |

| বিজারণ অর্ধ-বিক্রিয়া | $E^{\ominus}/V$ |
|---|---|
| $Cu^+ + e^- \longrightarrow Cu$ | +0.52 |
| $NiOOH + H_2O + e^- \longrightarrow Ni(OH)_2 + OH^-$ | +0.49 |
| $Ag_2CrO_4 + 2e^- \longrightarrow 2Ag + CrO_4^{2-}$ | +0.45 |
| $O_2 + 2H_2O + 4e^- \longrightarrow 4OH^-$ | +0.40 |
| $ClO_4^- + H_2O + 2e^- \longrightarrow ClO_3^- + 2OH^-$ | +0.36 |
| $[Fe(CN)_6]^{3-} + e^- \longrightarrow [Fe(CN)_6]^{4-}$ | +0.36 |
| $Cu^{2+} + 2e^- \longrightarrow Cu$ | +0.34 |
| $Hg_2Cl_2 + 2e^- \longrightarrow 2Hg + 2Cl^-$ | +0.27 |
| $AgCl + e^- \longrightarrow Ag + Cl^-$ | +0.27 |
| $Bi^{3+} + 3e^- \longrightarrow Bi$ | +0.20 |
| $SO_4^{2-} + 4H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2SO_3 + H_2O$ | +0.17 |
| $Cu^{2+} + e^- \longrightarrow Cu^+$ | +0.16 |
| $Sn^{4+} + 2e^- \longrightarrow Sn^{2+}$ | +0.15 |
| $AgBr + e^- \longrightarrow Ag + Br^-$ | +0.07 |
| $Ti^{4+} + e^- \longrightarrow Ti^{3+}$ | 0.00 |
| $2H^+ + 2e– \longrightarrow H_2$ | 0.0 by definition |
| $Fe^{3+} + 3e^- \longrightarrow Fe$ | –0.04 |
| $O_2 + H_2O + 2e^- \longrightarrow HO_2^- + OH^-$ | –0.08 |
| $Pb^{2+} + 2e^- \longrightarrow Pb$ | –0.13 |
| $In^+ + e^- \longrightarrow In$ | –0.14 |
| $Sn^{2+} + 2e^- \longrightarrow Sn$ | –0.14 |
| $AgI + e^- \longrightarrow Ag + I^-$ | –0.15 |
| $Ni^{2+} + 2e^- \longrightarrow Ni$ | –0.23 |
| $V^{3+} + e^- \longrightarrow V^{2+}$ | –0.26 |
| $Co^{2+} + 2e^- \longrightarrow Co$ | –0.28 |
| $In^{3+} + 3e^- \longrightarrow In$ | –0.34 |
| $Tl^+ + e^- \longrightarrow Tl$ | –0.34 |
| $PbSO_4 + 2e^- \longrightarrow Pb + SO_4^{2-}$ | –0.36 |
| $Ti^{3+} + e^- \longrightarrow Ti^{2+}$ | –0.37 |
| $Cd^{2+} + 2e^- \longrightarrow Cd$ | –0.40 |
| $In^{2+} + e^- \longrightarrow In^+$ | –0.40 |
| $Cr^{3+} + e^- \longrightarrow Cr^{2+}$ | –0.41 |
| $Fe^{2+} + 2e^- \longrightarrow Fe$ | –0.44 |
| $In^{3+} + 2e^- \longrightarrow In^+$ | –0.44 |
| $S + 2e^- \longrightarrow S^{2-}$ | –0.48 |
| $In^{3+} + e^- \longrightarrow In^{2+}$ | –0.49 |
| $U^{4+} + e^- \longrightarrow U^{3+}$ | –0.61 |
| $Cr^{3+} + 3e^- \longrightarrow Cr$ | –0.74 |
| $Zn^{2+} + 2e^- \longrightarrow Zn$ | –0.76 |

(ক্রমশ)

## পরিশিষ্ট III ক্রমশ

| বিজারণ অর্ধ-বিক্রিয়া | $E^{J}/V$ | বিজারণ অর্ধ-বিক্রিয়া | $E^{J}/V$ |
|---|---|---|---|
| $Cd(OH)_2 + 2e^- \longrightarrow Cd + 2OH^-$ | –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 | | |

# লগারিদম

কখনও কখনও, একটি সংখ্যাগত রাশি গুণ, ভাগ অথবা সহ একটি বৃহৎ সংখ্যার মাধ্যমে প্রকাশিত হতে পারে। এই ধরনের গণনার ক্ষেত্রে লগারিদম খুবই উপযোগী। এটি জটিল গণনাগুলোকে সহজ করতে সাহায্য করে। রসায়নে রসায়নিক গতি বিদ্যা, তাপ গতি বিদ্যা, তড়িৎ রসায়নিক ইত্যাদি বিষয় সংক্রান্ত সমস্যা সমাধানে লগারিদম ভিত্তিক মানের প্রয়োজন হয়। আমরা প্রথমে এই ধারণাটিকে উপস্থাপিত করব এবং এর সূত্রগুলো আলোচনা করব, যেগুলোকে লগারিদম নিয়ে কাজ করার সময় অনুসরণ করতে হবে এবং তারপর এটি কীভাবে জটিল গণনাগুলো সহজ করে তোলে তা দেখানোর জন্য এই কৌশলটি কিছু সংখ্যক সমস্যায় প্রয়োগ করব।

আমরা জানি যে,

$2^3 = 8,\ 3^2 = 9,\ 5^3 = 125,\ 7^0 = 1$

সাধারণভাবে, এটি ধনাত্মক বাস্তব সংখ্যা a এবং একটি মূলদ সংখ্যা m এর জন্য, মনে করো $a^m = b$

যেখানে b হলো একটি বাস্তব সংখ্যা।

অন্যভাবে, নিধান a এর m-তম ঘাত হল b.

একই ঘটনাকে অন্য উপায়েও বিকৃতি করা যায়

নিধান a এর সাপেক্ষে b এর লগারিদম হল m.

যদি একটি ধনাত্মক বাস্তব সংখ্যা a এর জন্য, $a \neq 1$ $a^m = b$ হয়।

আমরা বলতে পারি যে, নিধান a এর সাপেক্ষে b এর লগারিদম হল m.

আমরা এটিকে $\log_a^b = m$ আকারে লিখতে পারি।

“log” হল “logarithm” শব্দের সংক্ষিপ্ত আকার।

অতএব, আমরা পাই

$\log_2 8 = 3,$ Since $2^3 = 8$

$\log_3 9 = 2,$ Since $3^2 = 9$

$\log_5 125 = 3,$ Since $5^3 = 125$

$\log_7 1 = 0,$ Since $7^0 = 1$

**লগারিদমের সূত্রাবলী (Laws of Logarithms)**

নিম্নলিখিত আলোচনার ক্ষেত্রে, আমরা যে কোন নিধান a, ($a > 0$ এবং $a \neq 1$) এর সাপেক্ষে লগারিদম নেব।

**প্রথম সূত্র :** $\log_a (mn) = \log_a m + \log_a n$

**প্রমাণ :** মনে করো যে, $\log_a m = x$ এবং $\log_a n = y$

তবে $a^x = m,\ a^y = n$

অতএব, $mn = a^x . a^y = a^{x+y}$

এখন লগারিদমের সংজ্ঞা হতে পাওয়া যায় যে,

$\log_a (mn) = x + y = \log_a m - \log_a n$

**দ্বিতীয় সূত্র :** $\log_a \left(\frac{m}{n}\right) = \log_a m - \log_a n$

**প্রমাণ : ধরো** $\log_a m = x,\ \log_a n = y$

তবে, $a^x = m,\ a^y = n$

অতএব, $\frac{m}{n} = \frac{a^x}{a^y} = a^{x-y}$

তারপর,

$$\log_a\left(\frac{m}{n}\right) = x - y = \log_a m - \log_a n$$

**তৃতীয় সূত্র :** $\log_a(m^n) = n \log_a m$

**প্রমাণ :** As before, if $\log_a m = x$, then $a^x = m$

অর্থাৎ $m^n = \left(a^x\right)^n = a^{nx}$

উভয়পক্ষে log নিয়ে পাই

$\log_a(m^n) = nx = n \log_a m$

প্রথম সূত্রানুসারে, দুটি সংখ্যার গুণফলের log হল তাদের log এর যোগফলের সমান। অনুরূপভাবে, দ্বিতীয় সূত্র হতে : দুটি সংখ্যার অনুপাতের log হল তাদের log এর অন্তরফল। সুতরাং এই সূত্রগুলো ব্যবহার করে গুণ/ভাগের সমস্যাকে যোগ/বিয়োগের সমস্যাতে পরিনত করা হয় যাতে গুণ/ভাগ প্রক্রিয়ায় সমাধান করা চেয়ে অধিক সহজ হয়। এই কারণেই সকল সংখ্যাগত হিসাবের জন্য লগারিদম খুবই ব্যবহার্য্য।

**10 নিধান বিশিষ্ট লগারিদম (Logarithms to Base 10)**

যেহেতু লিখিত সংখ্যাগুলোর নিধান হল 10 তাই 10 নিধানের সাপেক্ষে লগারিদম এর ব্যবহার খুবই সুবিধাজন। কিছু উদাহরণ হলো :

$\log_{10} 10 = 1$, যেহেতু $10^1 = 10$

$\log_{10} 100 = 2$, যেহেতু $10^2 = 100$

$\log_{10} 10000 = 4$, যেহেতু $10^4 = 10000$

$\log_{10} 0.01 = -2$, যেহেতু $10^{-2} = 0.01$

$\log_{10} 0.001 = -3$, যেহেতু $10^{-3} = 0.001$

এবং $\log_{10} 1 = 0$ যেহেতু $10^0 = 1$

উপরোক্ত ফলাফলগুলো নির্দেশ করছে যে যদি 10 এর একটি অখন্ড ঘাত n হয় অর্থাৎ 1 এর পরে বিভিন্ন শূন্য অথবা দশমিক বিন্দুর ঠিক ডান দিকে 1 এর আগে বিভিন্ন শূন্য থাকে তখন log n সহজভাবে নির্ণয় করা যেতে পারে।

যদি n, 10 এর একটি অখন্ড ঘাত না হয় তখন log n মান গণনা করা সহজ হয় না। কিন্তু গণিতজ্ঞরা সারণি তৈরী করেছেন যা হতে আমরা 1 থেকে 10 এর মধ্যবর্তী যে কোনো ধনাত্মক সংখ্যার লগারিদমের আসন্ন মান পড়তে পারি। এগুলো থেকে আমরা সহজে দশমিকের আকারে প্রকাশিত যে কোনো সংখ্যার লগারিদমের মান গণনা করতে। এই কারণেই, আমরা সবসময় প্রদত্ত দশমিক সংখ্যাকে 10 এর অখন্ড ঘাত এবং 1 থেকে 10 এর মধ্যবর্তী একটি সংখ্যার গুণফলের আকারে প্রকাশ করি।

**দশমিক সংখ্যার আদর্শ আকার (Standard Form of Decimal)**

আমরা যে কোনো সংখ্যাকে (i) 10 এর অখন্ড ঘাত এবং (ii) 1 থেকে 10 এর মধ্যবর্তী একটি সংখ্যার গুনফলের মাধ্যমে যে কোনো সংখ্যাকে দশমিক আকারে প্রকাশ করতে পরি।

(i) 25.2 সংখ্যাটি 10 এবং 100

$$25.2 = \frac{25.2}{10} \times 10 = 2.52 \times 10^1$$

(ii) 1038.4 সংখ্যাটি 1000 এবং 10000 এর মধ্যে অবস্থিত

$$\therefore 1038.4 = \frac{1038.4}{1000} \times 10^3 = 1.0384 \times 10^3$$

(iii) 0.005 সংখ্যাটি 0.001 এবং 0.01 এর মধ্যে অবস্থিত

$\therefore\ 0.005 = (0.005 \times 1000) \times 10^{-3} = 5.0 \times 10^{-3}$

(iv) 0.00025 সংখ্যাটি 0.0001 এবং 0.001 এর মধ্যে অবস্থিত

$\therefore\ 0.00025 = (0.00025 \times 10000) \times 10^{-4} = 2.5 \times 10^{-4}$

প্রতিটি ক্ষেত্রে, আমরা দশমিক সংখ্যাকে 10 এর একটি ঘাত দিয়ে ভাগ অথবা গুণ করবো যাতে দশমিক বিন্দুর বা দিকে একটি অশূন্য অঙ্ক আসে এবং10 এর একই ঘাত দিয়ে বিপরীত প্রক্রিয়াটি করবো, যা আলাদাভাবে দেখানো হয়েছে।

অতএব, যে কোনো ধনাত্মক দশমিক সংখ্যাকে

$n = m \times 10^p$ আকারে লেখা যেতে পারে

যেখানে p হল একটি অখন্ড সংখ্যা (ধনাত্মক, শূন্য অথবা ঋণাত্মক) এবং $1 \leq m < 10$ একে n এর "আদর্শ আকার" বলা হয়।

**কার্যকরী নিয়ম (Working Rule)**

1. দশমিক বিন্দুর বা দিকে একটি অশূন্য অঙ্ক আনার জন্য প্রয়োজন অনুসারে দশমিক বিন্দুকে বাম দিকে অথবা ডান দিকে নিয়ে যাও।
2. (i) যদি তুমি বাম দিকে p ঘর পর্যন্ত নিয়ে যাও তবে $10^p$ দিয়ে গুণ কর।
   (ii) যদি তুমি ডান দিকে p ঘর পর্যন্ত নিয়ে যাও তবে $10^{-p}$ নিয়ে গুণ কর।
   (iii) যদি তুমি দশমিক বিন্দুকে কখনোই না সরাও তবে $10^0$ দিয়ে গুণ কর।
   (iv) (ধাপ 2 এর) 10 এর ঘাত দ্বারা প্রাপ্ত নতুন দশমিক সংখ্যাটি লিখো যা হবে প্রদত্ত দশমিক সংখ্যার আদর্শ আকার।

**পূর্ণক এবং অংশক (Characteristic and Mantissa)**

n এর আদর্শ আকার, $n = m \times 10^p$ বিবেচনা করো,

যেখানে, $1 \leq m < 10$

10 নিধনের সাপেক্ষে লগারিদম নিয়ে এবং লগারিদমের সূত্রসমূহ প্রয়োগ করে পাই

$$\log n = \log m + \log 10^p$$
$$= \log m + p \log 10$$
$$= p + \log m$$

এখানে, p হল একটি অখন্ড সংখ্যা এবং যেহেতু $1 \leq m < 10$ তাই $0 \leq \log m < 1$ অর্থাৎ log m, 0 এবং 1 এর মধ্যে অবস্থিত। যখন log n কে p + log m আকারে প্রকাশ করা যায়, যেখানে p হল একটি অখন্ড সংখ্যা এবং $0 \leq \log m < 1$, তখন আমরা p কে log n এর পূর্ণক এবং log m কে log n এর অংশক বলি। লক্ষ করো যে পূর্ণক হলো সব সময় একটি অখন্ড সংখ্যা— ধনাত্মক, ঋণাত্মক অথবা শূন্য এবং অংশক কখনোই ঋণাত্মক হবে না এবং এটি সবসময় 1 থেকে ছোট হবে। যদি আমরা log এর পূর্ণক এবং অংশক নির্ণয় করতে পারি, তাহলে আমরা শুধুমাত্র এদেরকে যোগ করে log পাব।

অতএব, আমরা সকলেই নিম্নলিখিতভাবে log n এর মান নির্ণয় করবো :

1. ধরো, n এর আদর্শ আকার হলো

   $n = m \times 10^p$, $1 \leq m < 10$
2. এই রাশি হতে log n এর পূর্ণক p কে পড়ো (10 এর ঘাত)
3. সারণি হতে log m কে লেখো, যা নিচে ব্যাখ্যা করা হলো।
4. log n = p + log m লেখো।

যদি একটি সংখ্যা n এর পূর্ণক p, ধরো 2 এবং অংশক হলো .4133, তবে আমরা log n = 2 + .4133 পাই, যাকে আমরা 2.4133 লিখতে পারি। আবার যদি, একটি সংখ্যা m এর পূর্ণক p, ধরো –2 এবং অংশক হলো .4123 তখন আমরা log m = –2 + .4123 পাই, যাকে আমরা –2.4123 লিখতে পারি না (কেন?)। এই ধরনের সন্দেহ দূর করার জন্য আমরা –2 এর পরিবর্তে $\bar{2}$ লিখবো এবং তাই আমরা লিখতে পারি $\log m = \bar{2}.4123$ ।

চলো, এখন আমরা অংশক নির্ণয় করতে লগারিদমের সারণি কিভাবে ব্যবহার করা হয় তা আলোচনা করি। একটি সারণি এই পরিশিষ্টের শেষে যোগ করা হয়েছে।

লক্ষ করো যে সারণিটিতে, প্রতিটি সারি শুরু হয়েছে একটি দুই অঙ্ক বিশিষ্ট সংখ্যা যথা, 0, 11, 12,... 97, 98, 99 দিয়ে। প্রতিটি স্তম্ভের উপরের সংখ্যা হলো একটি এক অঙ্কের সংখ্যা যথা-0, 1, 2, ...9। সারণির ডান দিকে আমরা একটি অংশ পাই যাকে "গড় পার্থক্য (Mean differences)" বলা হয়, যার 9 টি স্তম্ভের উপরের সংখ্যা হলো 1, 2...9.

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| 61 | 7853 | 7860 | 7868 | 7875 | 7882 | 7889 | 7896 | 7803 | 7810 | 7817 | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 | 6 |
| 62 | 7924 | 7931 | 7935 | 7945 | 7954 | 7959 | 7966 | 7973 | 7980 | 7987 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 6 | 6 |
| 63 | 7993 | 8000 | 8007 | 8014 | 8021 | 8028 | 8035 | 8041 | 8048 | 8055 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 6 | 6 |
| .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. |

এখন মনে করো আমরা log (6.234) এর মান নির্ণয় করতে চাই। তাহলে 62 দ্বারা শুরু সারিটি লক্ষ করো। এই সারি বরাবর দেখো 3 দিয়ে শুরু স্তম্ভের সংখ্যাটি হলো 7945। এর অর্থ হলো এই যে,

log (6.230) = 0.7945*

কিন্তু আমরা log (6.234) এর মান নির্ণয় করতে চাই। তাই আমাদের উত্তর 0.7945 থেকে কিছুটা বড় হবে। কত বেশী বড় হবে? এখন আমরা গড় পার্থক্য অংশের দিকে লক্ষ করবো। যেহেতু আমাদের চতুর্থ অঙ্কটি হলো 4। 4 দিয়ে শুরু, গড় পার্থক্য অংশের স্তম্ভের (62 সারি বরাবর) দিকে তাকাও। আমরা দেখি সেখানে 3 সংখ্যাটি আছে। তাই 3 এর সাথে 7945 যোগ করে আমরা পাই 7948। সুতরাং, সবশেষে আমরা পাই,

log (6.234) = 0.7948.

আরেকটি উদাহরণ নেই। log (8.127) এর মান নির্ণয় করার জন্য, আমরা 81 সংখ্যা বিশিষ্ট সারি বরাবর 2 সংখ্যা বিশিষ্ট স্তম্ভের সংখ্যাটি পাই 9096। আমরা এই একই সারি বরাবর গড় পার্থক্য অংশে দেখতে পাই যে 7 অঙ্ক বিশিষ্ট স্তম্ভের সংখ্যাটি হল 4। এটিকে 9096 এর সাথে যোগ করে আমরা পাই 9100। সুতরাং, log (8.127) = 0.9100.

***log N প্রদত্ত হলে N এর মান নির্ণয় করো***

আমরা এখন পর্যন্ত একটি প্রদত্ত ধনাত্মক সংখ্যা n এর জন্য log n নির্ণয় করার পদ্ধতি আলোচনা করেছি। এখন আমরা এটি বিপরীত ফলাফল অর্থাৎ যখন log n দেওয়া থাকবে তখন n এর মান নির্ণয় পদ্ধতি আলোচনা করবো। যদি log n = t হয় তখন আমরা কখনো কখনো বলি, n = antilog t। তারপর আমাদের কাজ হলো প্রদত্ত t এর জন্য ইহার n = antilog নির্ণয় করা। এজন্য আমরা প্রদত্ত n = antilog সারণি ব্যবহার করবো।

ধরা যাক, log n = 2.5372.

n নির্ণয়ের জন্য, প্রথমে log n এর অংশক নেই। এই ক্ষেত্রে, ইহা হল .5372 (এটি যে ধনাত্মক তা নিশ্চিত করো)। এখন লগ সারণিটি যে ভাবে ব্যবহৃত হয়েছে ঠিক সেই রকম ভাবে antilog সারণি হতে এই সংখ্যাটির antilog নাও। antilog সারণিতে, .53 সারি বরাবর 7 লেখা স্তম্ভের সংখ্যাটি হলো 3443 এবং একই সারি বরাবর শেষ অঙ্ক 2 এর গড় পার্থক্য হলো 2। সুতরাং সারণিটি থেকে 3445 পাওয়া যায়।

অতএব, antilog (.5372) = 3.445

এখন যেহেতু log n = 2.5372, log n এর পূর্ণক হলো 2। সুতরাং n এর আদর্শ আকার হতে পাই,

$n = 3.445 \times 10^2$

বা, n = 344.5

**দৃষ্টান্ত 1:**

যদি log x = 1.0712, হয় তবে x এর মান নির্ণয় কর।

**সমাধান:** আমরা দেখতে পাই যে, 0712 এর অনুরূপ সংখ্যা হলো 1179। যেহেতু log $x$ এর পূর্ণক হলো 1, তাই আমরা পাই,

$x = 1.179 \times 10^1$

$= 11.79$

**দৃষ্টান্ত 2:**

যদি $\log_{10} x = \bar{2}.1352$, হয় তবে x এর মান নির্ণয় কর।

**সমাধান :** antilog সারণি হতে, আমরা দেখতে পাই যে, 1352 এর অনুরূপ সংখ্যা হলো 1366। যেহেতু এর পূর্ণক হলো $\bar{2}$ অর্থাৎ –2, তাই

$x = 1.366 \times 10^{-2} = 0.01366$

**গাণিতিক গণনার ক্ষেত্রে লগারিদমের ব্যবহার**

**দৃষ্টান্ত 1:**

6.3 × 1.29 নির্ণয় করো।

**সমাধান :** ধরো, x = 6.3 × 1.29

তবে $\log_{10} x = \log (6.3 \times 1.29) = \log 6.3 + \log 1.29$

এখন,

log 6.3 = 0.7993

log 1.29 = 0.1106

$\therefore \log_{10} x = 0.9099,$

* *এটি অবশ্যই লক্ষ করা উচিত যে সারণিতে দেওয়া প্রদত্ত মানগুলো যথাযথ নয়। এগুলো হল শুধুমাত্র আসন্ন মান। যদিও আমরা সমতা চিহ্ন ব্যবহার করি যা থেকে ধারণা জন্মায় যে এগুলো হল সঠিক মান। একটি সংখ্যার antilogarithm এর ক্ষেত্রেও একই নিয়মনীতি অনুসরণ করা হবে।*

antilog নিয়ে,

x = 8.127

**দৃষ্টান্ত 2:**

$\dfrac{(1.23)^{1.5}}{11.2 \times 23.5}$ এর মান নির্ণয় কর।

**সমাধান :** ধরো, $x = \dfrac{(1.23)^{\frac{3}{2}}}{11.2 \times 23.5}$

তবে, $\log x = \log \dfrac{(1.23)^{\frac{3}{2}}}{11.2 \times 23.5}$

$= \dfrac{3}{2} \log 1.23 - \log (11.2 \times 23.5)$

$= \dfrac{3}{2} \log 1.23 - \log 11.2 - 23.5$

এখন,

$\log 1.23 = 0.0899$

$\dfrac{3}{2} \log 1.23 = 0.13485$

$\log 11.2 = 1.0492$

$\log 23.5 = 1.3711$

$\log x = 0.13485 - 1.0492 - 1.3711$

$= \overline{3}.71455$

$\therefore x = 0.005183$

**দৃষ্টান্ত 3:**

Find $\sqrt{\dfrac{(71.24)^5 \times \sqrt{56}}{(2.3)^7 \times \sqrt{21}}}$

**সমাধান :** ধরো, $x = \sqrt{\dfrac{(71.24)^5 \times \sqrt{56}}{(2.3)^7 \times \sqrt{21}}}$

তবে, $\log x = \dfrac{1}{2} \log \left[\dfrac{(71.24)^5 \times \sqrt{56}}{(2.3)^7 \times \sqrt{21}}\right]$

$= \dfrac{1}{2} [\log (71.24)^5 + \log \sqrt{56} - \log (2.3)^7 - \log \sqrt{21}]$

$= \dfrac{5}{2} \log 71.24 + \dfrac{1}{4} \log 56 - \dfrac{7}{2} \log 2.3 - \dfrac{1}{4} \log 21$

এখন লগ সারণি ব্যবহার করে,

$\log 71.24 = 1.8527$

$\log 56 = 1.7482$

$\log 2.3 = 0.3617$

$\log 21 = 1.3222$

$\therefore \log x = \dfrac{5}{2} \log (1.8527) + \dfrac{1}{4} (1.7482) - \dfrac{7}{2} (0.3617) - \dfrac{1}{4} (1.3222)$

$= 3.4723$

$\therefore x = 2967$

# লগারিদম

## সারণি I

| N | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 | 0000 | 0043 | 0086 | 0128 | 0170 | | | | | | 5 | 9 | 13 | 17 | 21 | 26 | 30 | 34 | 38 |
| | | | | | | 0212 | 0253 | 0294 | 0334 | 0374 | 4 | 8 | 12 | 16 | 20 | 24 | 28 | 32 | 36 |
| 11 | 0414 | 0453 | 0492 | 0531 | 0569 | | | | | | 4 | 8 | 12 | 16 | 20 | 23 | 27 | 31 | 35 |
| | | | | | | 0607 | 0645 | 0682 | 0719 | 0755 | 4 | 7 | 11 | 15 | 18 | 22 | 26 | 29 | 33 |
| 12 | 0792 | 0828 | 0864 | 0899 | 0934 | | | | | | 3 | 7 | 11 | 14 | 18 | 21 | 25 | 28 | 32 |
| | | | | | | 0969 | 1004 | 1038 | 1072 | 1106 | 3 | 7 | 10 | 14 | 17 | 20 | 24 | 27 | 31 |
| 13 | 1139 | 1173 | 1206 | 1239 | 1271 | | | | | | 3 | 6 | 10 | 13 | 16 | 19 | 23 | 26 | 29 |
| | | | | | | 1303 | 1335 | 1367 | 1399 | 1430 | 3 | 7 | 10 | 13 | 16 | 19 | 22 | 25 | 29 |
| 14 | 1461 | 1492 | 1523 | 1553 | 1584 | | | | | | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 19 | 22 | 25 | 28 |
| | | | | | | 1614 | 1644 | 1673 | 1703 | 1732 | 3 | 6 | 9 | 12 | 14 | 17 | 20 | 23 | 26 |
| 15 | 1761 | 1790 | 1818 | 1847 | 1875 | | | | | | 3 | 6 | 9 | 11 | 14 | 17 | 20 | 23 | 26 |
| | | | | | | 1903 | 1931 | 1959 | 1987 | 2014 | 3 | 6 | 8 | 11 | 14 | 17 | 19 | 22 | 25 |
| 16 | 2041 | 2068 | 2095 | 2122 | 2148 | | | | | | 3 | 6 | 8 | 11 | 14 | 16 | 19 | 22 | 24 |
| | | | | | | 2175 | 2201 | 2227 | 2253 | 2279 | 3 | 5 | 8 | 10 | 13 | 16 | 18 | 21 | 23 |
| 17 | 2304 | 2330 | 2355 | 2380 | 2405 | | | | | | 3 | 5 | 8 | 10 | 13 | 15 | 18 | 20 | 23 |
| | | | | | | 2430 | 2455 | 2480 | 2504 | 2529 | 3 | 5 | 8 | 10 | 12 | 15 | 17 | 20 | 22 |
| 18 | 2553 | 2577 | 2601 | 2625 | 2648 | | | | | | 2 | 5 | 7 | 9 | 12 | 14 | 17 | 19 | 21 |
| | | | | | | 2672 | 2695 | 2718 | 2742 | 2765 | 2 | 4 | 7 | 9 | 11 | 14 | 16 | 18 | 21 |
| 19 | 2788 | 2810 | 2833 | 2856 | 2878 | | | | | | 2 | 4 | 7 | 9 | 11 | 13 | 16 | 18 | 20 |
| | | | | | | 2900 | 2923 | 2945 | 2967 | 2989 | 2 | 4 | 6 | 8 | 11 | 13 | 15 | 17 | 19 |
| **20** | 3010 | 3032 | 3054 | 3075 | 3096 | 3118 | 3139 | 3160 | 3181 | 3201 | 2 | 4 | 6 | 8 | 11 | 13 | 15 | 17 | 19 |
| 21 | 3222 | 3243 | 3263 | 3284 | 3304 | 3324 | 3345 | 3365 | 3385 | 3404 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 |
| 22 | 3424 | 3444 | 3464 | 3483 | 3502 | 3522 | 3541 | 3560 | 3579 | 3598 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 15 | 17 |
| 23 | 3617 | 3636 | 3655 | 3674 | 3692 | 3711 | 3729 | 3747 | 3766 | 3784 | 2 | 4 | 6 | 7 | 9 | 11 | 13 | 15 | 17 |
| 24 | 3802 | 3820 | 3838 | 3856 | 3874 | 3892 | 3909 | 3927 | 3945 | 3962 | 2 | 4 | 5 | 7 | 9 | 11 | 12 | 14 | 16 |
| **25** | 3979 | 3997 | 4014 | 4031 | 4048 | 4065 | 4082 | 4099 | 4116 | 4133 | 2 | 3 | 5 | 7 | 9 | 10 | 12 | 14 | 15 |
| 26 | 4150 | 4166 | 4183 | 4200 | 4216 | 4232 | 4249 | 4265 | 4281 | 4298 | 2 | 3 | 5 | 7 | 8 | 10 | 11 | 13 | 15 |
| 27 | 4314 | 4330 | 4346 | 4362 | 4378 | 4393 | 4409 | 4425 | 4440 | 4456 | 2 | 3 | 5 | 6 | 8 | 9 | 11 | 13 | 14 |
| 28 | 4472 | 4487 | 4502 | 4518 | 4533 | 4548 | 4564 | 4579 | 4594 | 4609 | 2 | 3 | 5 | 6 | 8 | 9 | 11 | 12 | 14 |
| 29 | 4624 | 4639 | 4654 | 4669 | 4683 | 4698 | 4713 | 4728 | 4742 | 4757 | 1 | 3 | 4 | 6 | 7 | 9 | 10 | 12 | 13 |
| **30** | 4771 | 4786 | 4800 | 4814 | 4829 | 4843 | 4857 | 4871 | 4886 | 4900 | 1 | 3 | 4 | 6 | 7 | 9 | 10 | 11 | 13 |
| 31 | 4914 | 4928 | 4942 | 4955 | 4969 | 4983 | 4997 | 5011 | 5024 | 5038 | 1 | 3 | 4 | 6 | 7 | 8 | 10 | 11 | 12 |
| 32 | 5051 | 5065 | 5079 | 5092 | 5105 | 5119 | 5132 | 5145 | 5159 | 5172 | 1 | 3 | 4 | 5 | 7 | 8 | 9 | 11 | 12 |
| 33 | 5185 | 5198 | 5211 | 5224 | 5237 | 5250 | 5263 | 5276 | 5289 | 5302 | 1 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 9 | 10 | 12 |
| 34 | 5315 | 5328 | 5340 | 5353 | 5366 | 5378 | 5391 | 5403 | 5416 | 5428 | 1 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| **35** | 5441 | 5453 | 5465 | 5478 | 5490 | 5502 | 5514 | 5527 | 5539 | 5551 | 1 | 2 | 4 | 5 | 6 | 7 | 9 | 10 | 11 |
| 36 | 5563 | 5575 | 5587 | 5599 | 5611 | 5623 | 5635 | 5647 | 5658 | 5670 | 1 | 2 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 10 | 11 |
| 37 | 5682 | 5694 | 5705 | 5717 | 5729 | 5740 | 5752 | 5763 | 5775 | 5786 | 1 | 2 | 3 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 38 | 5798 | 5809 | 5821 | 5832 | 5843 | 5855 | 5866 | 5877 | 5888 | 5899 | 1 | 2 | 3 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 39 | 5911 | 5922 | 5933 | 5944 | 5955 | 5966 | 5977 | 5988 | 5999 | 6010 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| **40** | 6021 | 6031 | 6042 | 6053 | 6064 | 6075 | 6085 | 6096 | 6107 | 6117 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 9 | 10 |
| 41 | 6128 | 6138 | 6149 | 6160 | 6170 | 6180 | 6191 | 6201 | 6212 | 6222 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 42 | 6232 | 6243 | 6253 | 6263 | 6274 | 6284 | 6294 | 6304 | 6314 | 6325 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 43 | 6335 | 6345 | 6355 | 6365 | 6375 | 6385 | 6395 | 6405 | 6415 | 6425 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 44 | 6435 | 6444 | 6454 | 6464 | 6474 | 6484 | 6493 | 6503 | 6513 | 6522 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| **45** | 6532 | 6542 | 6551 | 6561 | 6471 | 6580 | 6590 | 6599 | 6609 | 6618 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 46 | 6628 | 6637 | 6646 | 6656 | 6665 | 6675 | 6684 | 6693 | 6702 | 6712 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 7 | 8 |
| 47 | 6721 | 6730 | 6739 | 6749 | 6758 | 6767 | 6776 | 6785 | 6794 | 6803 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 48 | 6812 | 6821 | 6830 | 6839 | 6848 | 6857 | 6866 | 6875 | 6884 | 6893 | 1 | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 49 | 6902 | 6911 | 6920 | 6928 | 6937 | 6946 | 6955 | 6964 | 6972 | 6981 | 1 | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |

# লগারিদম

**সারণি I (ক্রমশ)**

| N | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **50** | 6990 | 6998 | 7007 | 7016 | 7024 | 7033 | 7042 | 7050 | 7059 | 7067 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 51 | 7076 | 7084 | 7093 | 7101 | 7110 | 7118 | 7126 | 7135 | 7143 | 7152 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 52 | 7160 | 7168 | 7177 | 7185 | 7193 | 7202 | 7210 | 7218 | 7226 | 7235 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 7 |
| 53 | 7243 | 7251 | 7259 | 7267 | 7275 | 7284 | 7292 | 7300 | 7308 | 7316 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 6 | 7 |
| 54 | 7324 | 7332 | 7340 | 7348 | 7356 | 7364 | 7372 | 7380 | 7388 | 7396 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 6 | 7 |
| **55** | 7404 | 7412 | 7419 | 7427 | 7435 | 7443 | 7451 | 7459 | 7466 | 7474 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 | 5 | 6 | 7 |
| 56 | 7482 | 7490 | 7497 | 7505 | 7513 | 7520 | 7528 | 7536 | 7543 | 7551 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 | 5 | 6 | 7 |
| 57 | 7559 | 7566 | 7574 | 7582 | 7589 | 7597 | 7604 | 7612 | 7619 | 7627 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 | 5 | 6 | 7 |
| 58 | 7634 | 7642 | 7649 | 7657 | 7664 | 7672 | 7679 | 7686 | 7694 | 7701 | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 59 | 7709 | 7716 | 7723 | 7731 | 7738 | 7745 | 7752 | 7760 | 7767 | 7774 | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| **60** | 7782 | 7789 | 7796 | 7803 | 7810 | 7818 | 7825 | 7832 | 7839 | 7846 | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 | 6 |
| 61 | 7853 | 7860 | 7768 | 7875 | 7882 | 7889 | 7896 | 7903 | 7910 | 7917 | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 | 6 |
| 62 | 7924 | 7931 | 7938 | 7945 | 7952 | 7959 | 7966 | 7973 | 7980 | 7987 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 6 | 6 |
| 63 | 7993 | 8000 | 8007 | 8014 | 8021 | 8028 | 8035 | 8041 | 8048 | 8055 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 5 | 6 |
| 64 | 8062 | 8069 | 8075 | 8082 | 8089 | 8096 | 8102 | 8109 | 8116 | 8122 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 5 | 6 |
| **65** | 8129 | 8136 | 8142 | 8149 | 8156 | 8162 | 8169 | 8176 | 8182 | 8189 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 5 | 6 |
| 66 | 8195 | 8202 | 8209 | 8215 | 8222 | 8228 | 8235 | 8241 | 8248 | 8254 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 5 | 6 |
| 67 | 8261 | 8267 | 8274 | 8280 | 8287 | 8293 | 8299 | 8306 | 8312 | 8319 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 5 | 6 |
| 68 | 8325 | 8331 | 8338 | 8344 | 8351 | 8357 | 8363 | 8370 | 8376 | 8382 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 |
| 69 | 8388 | 8395 | 8401 | 8407 | 8414 | 8420 | 8426 | 8432 | 8439 | 8445 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 |
| **70** | 8451 | 8457 | 8463 | 8470 | 8476 | 8482 | 8488 | 8494 | 8500 | 8506 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 |
| 71 | 8513 | 8519 | 8525 | 8531 | 8537 | 8543 | 8549 | 8555 | 8561 | 8567 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 | 5 |
| 72 | 8573 | 8579 | 8585 | 8591 | 8597 | 8603 | 8609 | 8615 | 8621 | 8627 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 | 5 |
| 73 | 8633 | 8639 | 8645 | 8651 | 8657 | 8663 | 8669 | 8675 | 8681 | 8686 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 | 5 |
| 74 | 8692 | 8698 | 8704 | 8710 | 8716 | 8722 | 8727 | 8733 | 8739 | 8745 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 | 5 |
| **75** | 8751 | 8756 | 8762 | 8768 | 8774 | 8779 | 8785 | 8791 | 8797 | 8802 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 5 |
| 76 | 8808 | 8814 | 8820 | 8825 | 8831 | 8837 | 8842 | 8848 | 8854 | 8859 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 5 |
| 77 | 8865 | 8871 | 8876 | 8882 | 8887 | 8893 | 8899 | 8904 | 8910 | 8915 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 |
| 78 | 8921 | 8927 | 8932 | 8938 | 8943 | 8949 | 8954 | 8960 | 8965 | 8971 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 |
| 79 | 8976 | 8982 | 8987 | 8993 | 8998 | 9004 | 9009 | 9015 | 9020 | 9025 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 |
| **80** | 9031 | 9036 | 9042 | 9047 | 9053 | 9058 | 9063 | 9069 | 9074 | 9079 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 |
| 81 | 9085 | 9090 | 9096 | 9101 | 9106 | 9112 | 9117 | 9122 | 9128 | 9133 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 |
| 82 | 9138 | 9143 | 9149 | 9154 | 9159 | 9165 | 9170 | 9175 | 9180 | 9186 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 |
| 83 | 9191 | 9196 | 9201 | 9206 | 9212 | 9217 | 9222 | 9227 | 9232 | 9238 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 |
| 84 | 9243 | 9248 | 9253 | 9258 | 9263 | 9269 | 9274 | 9279 | 9284 | 9289 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 |
| **85** | 9294 | 9299 | 9304 | 9309 | 9315 | 9320 | 9325 | 9330 | 9335 | 9340 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 |
| 86 | 9345 | 9350 | 9355 | 9360 | 9365 | 9370 | 9375 | 9380 | 9385 | 9390 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 |
| 87 | 9395 | 9400 | 9405 | 9410 | 9415 | 9420 | 9425 | 9430 | 9435 | 9440 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| 88 | 9445 | 9450 | 9455 | 9460 | 9465 | 9469 | 9474 | 9479 | 9484 | 9489 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| 89 | 9494 | 9499 | 9504 | 9509 | 9513 | 9518 | 9523 | 9528 | 9533 | 9538 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| **90** | 9542 | 9547 | 9552 | 9557 | 9562 | 9566 | 9571 | 9576 | 9581 | 9586 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| 91 | 9590 | 9595 | 9600 | 9605 | 9609 | 9614 | 9619 | 9624 | 9628 | 9633 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| 92 | 9638 | 9643 | 9647 | 9652 | 9657 | 9661 | 9666 | 9671 | 9675 | 9680 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| 93 | 9685 | 9689 | 9694 | 9699 | 9703 | 9708 | 9713 | 9717 | 9722 | 9727 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| 94 | 9731 | 9736 | 9741 | 9745 | 9750 | 9754 | 9759 | 9763 | 9768 | 9773 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| **95** | 9777 | 9782 | 9786 | 9791 | 9795 | 9800 | 9805 | 9809 | 9814 | 9818 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| 96 | 9823 | 9827 | 9832 | 9836 | 9841 | 9845 | 9850 | 9854 | 9859 | 9863 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| 97 | 9868 | 9872 | 9877 | 9881 | 9886 | 9890 | 9894 | 9899 | 9903 | 9908 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| 98 | 9912 | 9917 | 9921 | 9926 | 9930 | 9934 | 9939 | 9943 | 9948 | 9952 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| 99 | 9956 | 9961 | 9965 | 9969 | 9974 | 9978 | 9983 | 9987 | 9997 | 9996 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 |

# অ্যান্টিলগারিদম

**সারণি II**

| N | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **00** | 1000 | 1002 | 1005 | 1007 | 1009 | 1012 | 1014 | 1016 | 1019 | 1021 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| .01 | 1023 | 1026 | 1028 | 1030 | 1033 | 1035 | 1038 | 1040 | 1042 | 1045 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| .02 | 1047 | 1050 | 1052 | 1054 | 1057 | 1059 | 1062 | 1064 | 1067 | 1069 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| .03 | 1072 | 1074 | 1076 | 1079 | 1081 | 1084 | 1086 | 1089 | 1091 | 1094 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| .04 | 1096 | 1099 | 1102 | 1104 | 1107 | 1109 | 1112 | 1114 | 1117 | 1119 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| .05 | 1122 | 1125 | 1127 | 1130 | 1132 | 1135 | 1138 | 1140 | 1143 | 1146 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| .06 | 1148 | 1151 | 1153 | 1156 | 1159 | 1161 | 1164 | 1167 | 1169 | 1172 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| .07 | 1175 | 1178 | 1180 | 1183 | 1186 | 1189 | 1191 | 1194 | 1197 | 1199 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| .08 | 1202 | 1205 | 1208 | 1211 | 1213 | 1216 | 1219 | 1222 | 1225 | 1227 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| .09 | 1230 | 1233 | 1236 | 1239 | 1242 | 1245 | 1247 | 1250 | 1253 | 1256 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| **.10** | 1259 | 1262 | 1265 | 1268 | 1271 | 1274 | 1276 | 1279 | 1282 | 1285 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| .11 | 1288 | 1291 | 1294 | 1297 | 1300 | 1303 | 1306 | 1309 | 1312 | 1315 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| .12 | 1318 | 1321 | 1324 | 1327 | 1330 | 1334 | 1337 | 1340 | 1343 | 1346 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| .13 | 1349 | 1352 | 1355 | 1358 | 1361 | 1365 | 1368 | 1371 | 1374 | 1377 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| .14 | 1380 | 1384 | 1387 | 1390 | 1393 | 1396 | 1400 | 1403 | 1406 | 1409 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| .15 | 1413 | 1416 | 1419 | 1422 | 1426 | 1429 | 1432 | 1435 | 1439 | 1442 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| .16 | 1445 | 1449 | 1452 | 1455 | 1459 | 1462 | 1466 | 1469 | 1472 | 1476 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| .17 | 1479 | 1483 | 1486 | 1489 | 1493 | 1496 | 1500 | 1503 | 1507 | 1510 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| .18 | 1514 | 1517 | 1521 | 1524 | 1528 | 1531 | 1535 | 1538 | 1542 | 1545 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| .19 | 1549 | 1552 | 1556 | 1560 | 1563 | 1567 | 1570 | 1574 | 1578 | 1581 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 |
| **.20** | 1585 | 1589 | 1592 | 1596 | 1600 | 1603 | 1607 | 1611 | 1614 | 1618 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 |
| .21 | 1622 | 1626 | 1629 | 1633 | 1637 | 1641 | 1644 | 1648 | 1652 | 1656 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 |
| .22 | 1660 | 1663 | 1667 | 1671 | 1675 | 1679 | 1683 | 1687 | 1690 | 1694 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 |
| .23 | 1698 | 1702 | 1706 | 1710 | 1714 | 1718 | 1722 | 1726 | 1730 | 1734 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 |
| .24 | 1738 | 1742 | 1746 | 1750 | 1754 | 1758 | 1762 | 1766 | 1770 | 1774 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 |
| **.25** | 1778 | 1782 | 1786 | 1791 | 1795 | 1799 | 1803 | 1807 | 1811 | 1816 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 |
| .26 | 1820 | 1824 | 1828 | 1832 | 1837 | 1841 | 1845 | 1849 | 1854 | 1858 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 |
| .27 | 1862 | 1866 | 1871 | 1875 | 1879 | 1884 | 1888 | 1892 | 1897 | 1901 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 |
| .28 | 1905 | 1910 | 1914 | 1919 | 1923 | 1928 | 1932 | 1936 | 1941 | 1945 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| .29 | 1950 | 1954 | 1959 | 1963 | 1968 | 1972 | 1977 | 1982 | 1986 | 1991 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| **.30** | 1995 | 2000 | 2004 | 2009 | 2014 | 2018 | 2023 | 2028 | 2032 | 2037 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| .31 | 2042 | 2046 | 2051 | 2056 | 2061 | 2065 | 2070 | 2075 | 2080 | 2084 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| .32 | 2089 | 2094 | 2099 | 2104 | 2109 | 2113 | 2118 | 2123 | 2128 | 2133 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| .33 | 2138 | 2143 | 2148 | 2153 | 2158 | 2163 | 2168 | 2173 | 2178 | 2183 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| .34 | 2188 | 2193 | 2198 | 2203 | 2208 | 2213 | 2218 | 2223 | 2228 | 2234 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 |
| .35 | 2239 | 2244 | 2249 | 2254 | 2259 | 2265 | 2270 | 2275 | 2280 | 2286 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 |
| .36 | 2291 | 2296 | 2301 | 2307 | 2312 | 2317 | 2323 | 2328 | 2333 | 2339 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 |
| .37 | 2344 | 2350 | 2355 | 2360 | 2366 | 2371 | 2377 | 2382 | 2388 | 2393 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 |
| .38 | 2399 | 2404 | 2410 | 2415 | 2421 | 2427 | 2432 | 2438 | 2443 | 2449 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 |
| .39 | 2455 | 2460 | 2466 | 2472 | 2477 | 2483 | 2489 | 2495 | 2500 | 2506 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 5 |
| **.40** | 2512 | 2518 | 2523 | 2529 | 2535 | 2541 | 2547 | 2553 | 2559 | 2564 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 | 5 |
| .41 | 2570 | 2576 | 2582 | 2588 | 2594 | 2600 | 2606 | 2612 | 2618 | 2624 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 | 5 |
| .42 | 2630 | 2636 | 2642 | 2649 | 2655 | 2661 | 2667 | 2673 | 2679 | 2685 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 |
| .43 | 2692 | 2698 | 2704 | 2710 | 2716 | 2723 | 2729 | 2735 | 2742 | 2748 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 |
| .44 | 2754 | 2761 | 2767 | 2773 | 2780 | 2786 | 2793 | 2799 | 2805 | 2812 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 |
| .45 | 2818 | 2825 | 2831 | 2838 | 2844 | 2851 | 2858 | 2864 | 2871 | 2877 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 5 | 6 |
| .46 | 2884 | 2891 | 2897 | 2904 | 2911 | 2917 | 2924 | 2931 | 2938 | 2944 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 5 | 6 |
| .47 | 2951 | 2958 | 2965 | 2972 | 2979 | 2985 | 2992 | 2999 | 3006 | 3013 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 5 | 6 |
| .48 | 3020 | 3027 | 3034 | 3041 | 3048 | 3055 | 3062 | 3069 | 3076 | 3083 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 6 | 6 |
| .49 | 3090 | 3097 | 3105 | 3112 | 3119 | 3126 | 3133 | 3141 | 3148 | 3155 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 6 | 6 |

# অ্যান্টিলগারিদম

**সারণি II (ক্রমশ)**

| N | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **.50** | 3162 | 3170 | 3177 | 3184 | 3192 | 3199 | 3206 | 3214 | 3221 | 3228 | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| .51 | 3236 | 3243 | 3251 | 3258 | 3266 | 3273 | 3281 | 3289 | 3296 | 3304 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 | 5 | 6 | 7 |
| .52 | 3311 | 3319 | 3327 | 3334 | 3342 | 3350 | 3357 | 3365 | 3373 | 3381 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 | 5 | 6 | 7 |
| .53 | 3388 | 3396 | 3404 | 3412 | 3420 | 3428 | 3436 | 3443 | 3451 | 3459 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 6 | 7 |
| .54 | 3467 | 3475 | 3483 | 3491 | 3499 | 3508 | 3516 | 3524 | 3532 | 3540 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 6 | 7 |
| .55 | 3548 | 3556 | 3565 | 3573 | 3581 | 3589 | 3597 | 3606 | 3614 | 3622 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 7 |
| .56 | 3631 | 3639 | 3648 | 3656 | 3664 | 3673 | 3681 | 3690 | 3698 | 3707 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| .57 | 3715 | 3724 | 3733 | 3741 | 3750 | 3758 | 3767 | 3776 | 3784 | 3793 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| .58 | 3802 | 3811 | 3819 | 3828 | 3837 | 3846 | 3855 | 3864 | 3873 | 3882 | 1 | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| .59 | 3890 | 3899 | 3908 | 3917 | 3926 | 3936 | 3945 | 3954 | 3963 | 3972 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| **.60** | 3981 | 3990 | 3999 | 4009 | 4018 | 4027 | 4036 | 4046 | 4055 | 4064 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 6 | 7 | 8 |
| .61 | 4074 | 4083 | 4093 | 4102 | 4111 | 4121 | 4130 | 4140 | 4150 | 4159 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| .62 | 4169 | 4178 | 4188 | 4198 | 4207 | 4217 | 4227 | 4236 | 4246 | 42S6 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| .63 | 4266 | 4276 | 4285 | 4295 | 4305 | 4315 | 4325 | 4335 | 4345 | 4355 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| .64 | 4365 | 4375 | 4385 | 4395 | 4406 | 4416 | 4426 | 4436 | 4446 | 4457 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| .65 | 4467 | 4477 | 4487 | 4498 | 4508 | 4519 | 4529 | 4539 | 4550 | 4560 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| .66 | 4571 | 4581 | 4592 | 4603 | 4613 | 4624 | 4634 | 4645 | 4656 | 4667 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 9 | 10 |
| .67 | 4677 | 4688 | 4699 | 4710 | 4721 | 4732 | 4742 | 4753 | 4764 | 4775 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| .68 | 4786 | 4797 | 4808 | 4819 | 4831 | 4842 | 4853 | 4864 | 4875 | 4887 | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| .69 | 4898 | 4909 | 4920 | 4932 | 4943 | 4955 | 4966 | 4977 | 4989 | 5000 | 1 | 2 | 3 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| **.70** | 5012 | 5023 | 5035 | 5047 | 5058 | 5070 | 5082 | 5093 | 5105 | 5117 | 1 | 2 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 11 |
| .71 | 5129 | 5140 | 5152 | 5164 | 5176 | 5188 | 5200 | 5212 | 5224 | 5236 | 1 | 2 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 10 | 11 |
| .72 | 5248 | 5260 | 5272 | 5284 | 5297 | 5309 | 5321 | 5333 | 5346 | 5358 | 1 | 2 | 4 | 5 | 6 | 7 | 9 | 10 | 11 |
| .73 | 5370 | 5383 | 5395 | 5408 | 5420 | 5433 | 5445 | 5458 | 5470 | 5483 | 1 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| .74 | 5495 | 5508 | 5521 | 5534 | 5546 | 5559 | 5572 | 5585 | 5598 | 5610 | 1 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 9 | 10 | 12 |
| .75 | 5623 | 5636 | 5649 | 5662 | 5675 | 5689 | 5702 | 5715 | 5728 | 5741 | 1 | 3 | 4 | 5 | 7 | 8 | 9 | 10 | 12 |
| .76 | 5754 | 5768 | 5781 | 5794 | 5808 | 5821 | 5834 | 5848 | 5861 | 5875 | 1 | 3 | 4 | 5 | 7 | 8 | 9 | 11 | 12 |
| .77 | 5888 | 5902 | 5916 | 5929 | 5943 | 5957 | 5970 | 5984 | 5998 | 6012 | 1 | 3 | 4 | 5 | 7 | 8 | 10 | 11 | 12 |
| .78 | 6026 | 6039 | 6053 | 6067 | 6081 | 6095 | 6109 | 6124 | 6138 | 6152 | 1 | 3 | 4 | 6 | 7 | 8 | 10 | 11 | 13 |
| .79 | 6166 | 6180 | 6194 | 6209 | 6223 | 6237 | 6252 | 6266 | 6281 | 6295 | 1 | 3 | 4 | 6 | 7 | 9 | 10 | 11 | 13 |
| **.80** | 6310 | 6324 | 6339 | 6353 | 6368 | 6383 | 6397 | 6412 | 6427 | 6442 | 1 | 3 | 4 | 6 | 7 | 9 | 10 | 12 | 13 |
| .81 | 6457 | 6471 | 6486 | 6501 | 6516 | 6531 | 6546 | 6561 | 6577 | 6592 | 2 | 3 | 5 | 6 | 8 | 9 | 11 | 12 | 14 |
| .82 | 6607 | 6622 | 6637 | 6653 | 6668 | 6683 | 6699 | 6714 | 6730 | 6745 | 2 | 3 | 5 | 6 | 8 | 9 | 11 | 12 | 14 |
| .83 | 6761 | 6776 | 6792 | 6808 | 6823 | 6839 | 6855 | 6871 | 6887 | 6902 | 2 | 3 | 5 | 6 | 8 | 9 | 11 | 13 | 14 |
| .84 | 6918 | 6934 | 6950 | 6966 | 6982 | 6998 | 7015 | 7031 | 7047 | 7063 | 2 | 3 | 5 | 6 | 8 | 10 | 11 | 13 | 15 |
| **.85** | 7079 | 7096 | 7112 | 7129 | 7145 | 7161 | 7178 | 7194 | 7211 | 7228 | 2 | 3 | 5 | 7 | 8 | 10 | 12 | 13 | 15 |
| .86 | 7244 | 7261 | 7278 | 7295 | 7311 | 7328 | 7345 | 7362 | 7379 | 7396 | 2 | 3 | 5 | 7 | 8 | 10 | 12 | 13 | 15 |
| .87 | 7413 | 7430 | 7447 | 7464 | 7482 | 7499 | 7516 | 7534 | 7551 | 7568 | 2 | 3 | 5 | 7 | 9 | 10 | 12 | 14 | 16 |
| .88 | 7586 | 7603 | 7621 | 7638 | 7656 | 7674 | 7691 | 7709 | 7727 | 7745 | 2 | 4 | 5 | 7 | 9 | 11 | 12 | 14 | 16 |
| .89 | 7762 | 7780 | 7798 | 7816 | 7834 | 7852 | 7870 | 7889 | 7907 | 7925 | 2 | 4 | 5 | 7 | 9 | 11 | 13 | 14 | 16 |
| **.90** | 7943 | 7962 | 7980 | 7998 | 8017 | 8035 | 8054 | 8072 | 8091 | 8110 | 2 | 4 | 6 | 7 | 9 | 11 | 13 | 15 | 17 |
| .91 | 8128 | 8147 | 8166 | 8185 | 8204 | 8222 | 8241 | 8260 | 8279 | 8299 | 2 | 4 | 6 | 8 | 9 | 11 | 13 | 15 | 17 |
| .92 | 8318 | 8337 | 8356 | 8375 | 8395 | 8414 | 8433 | 8453 | 8472 | 8492 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 15 | 17 |
| .93 | 8511 | 8531 | 8551 | 8570 | 8590 | 8610 | 8630 | 8650 | 8670 | 8690 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 |
| .94 | 8710 | 8730 | 8750 | 8770 | 8790 | 8810 | 8831 | 8851 | 8872 | 8892 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 |
| **.95** | 8913 | 8933 | 8954 | 8974 | 8995 | 9016 | 9036 | 9057 | 9078 | 9099 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 15 | 17 | 19 |
| .96 | 9120 | 9141 | 9162 | 9183 | 9204 | 9226 | 9247 | 9268 | 9290 | 9311 | 2 | 4 | 6 | 8 | 11 | 13 | 15 | 17 | 19 |
| .97 | 9333 | 9354 | 9376 | 9397 | 9419 | 9441 | 9462 | 9484 | 9506 | 9528 | 2 | 4 | 7 | 9 | 11 | 13 | 15 | 17 | 20 |
| .98 | 9550 | 9572 | 9594 | 9616 | 9638 | 9661 | 9683 | 9705 | 9727 | 9750 | 2 | 4 | 7 | 9 | 11 | 13 | 16 | 18 | 20 |
| .99 | 9772 | 9795 | 9817 | 9840 | 9863 | 9886 | 9908 | 9931 | 9954 | 9977 | 2 | 5 | 7 | 9 | 11 | 14 | 16 | 18 | 20 |

# অনুশীলনীর কিছু প্রশ্নের উত্তরমালা

## অধ্যায় 1

**1.11** 106.57 u
**1.13** 143.1 pm
**1.15** 8.97 g $cm^{-3}$
**1.16** $Ni^{2+}$ = 96% এবং $Ni^{3+}$ = 4%
**1.24** (i) 354 pm (ii) $2.26\times10^{22}$ সংখ্যা কোশ
**1.25** প্রতি মোলে $6.02 \times 10^{18}$ সংখ্যক ক্যাটায়ন শূন্যতা।

## অধ্যায় 2

**2.4** 16.23 M
**2.5** 0.617 m, 0.01 এবং 0.99, 0.67
**2.6** 157.8 mL
**2.7** 33.5%
**2.8** 17.95 m এবং 9.10 M
**2.9** $1.5\times10^{-3}$%, $1.25\times10^{-4}$ m
**2.15** 40.907 g $mol^{-1}$
**2.16** 73.58 *k*Pa
**2.17** 12.08 *k*Pa
**2.18** 10 g
**2.19** 23 g $mol^{-1}$, 3.53 kPa
**2.20** 269.07 *K*
**2.21** A = 25.58 u এবং B = 42.64 u
**2.22** 0.061 M
**2.24** KCl, $CH_3OH$, $CH_3CN$, সাইক্লোহেক্সেন
**2.25** টলুইন, ক্লোরোফর্ম; ফেনল, পেন্টানল; ফর্মিক অ্যাসিড, ইলিলিন গ্লাইকল;
**2.26** 5 m
**2.27** $2.45\times10^{-8}$ M
**2.28** 1.424%
**2.29** 3.2 g জল
**2.30** 4.575 g
**2.32** $0.65^0$
**2.33** i = 1.0753, $K_a = 3.07\times10^{-3}$
**2.34** 17.44 mm পারদ
**2.35** $178\times10^{-5}$
**2.36** 280.7 টর (torr), 32 টর (torr)
**2.38** 0.6 এবং 0.4
**2.39** $x(O_2)$ $4.6\times10^{-5}$, $x(N_2)$ $9.22\times10^{-5}$
**2.40** $CaCl_2$ এর 0.03 মোল
**2.41** $5.27\times10^{-3}$ atm.

## অধ্যায় 3

**3.4** (i) $E^\ominus$ = 0.34V, $\Delta_r G^\ominus$ = – 196.86 kJ $mol^{-1}$, $K = 3.124 \times 10^{34}$
(ii) $E^\ominus$ = 0.03V, $\Delta_r G^\ominus$ = – 2.895 kJ $mol^{-1}$, $K$ = 3.2
**3.5** (i) 2.68 V, (ii) 0.53 V, (iii) 0.08 V, (iv) –1.298 V
**3.6** 1.56 V
**3.8** 124.0 S $cm^2$ $mol^{-1}$
**3.9** 0.219 $cm^{-1}$
**3.11** $1.85 \times 10^{-5}$
**3.12** 3F, 2F, 5F
**3.13** 1F, 4.44F
**3.14** 2F, 1F
**3.15** 1.8258g
**3.16** 14.40 min, কপার Copper 0.427g, জিঙ্ক 0.437 g

## অধ্যায় 4

**4.2** (i) $8.0 \times 10^{-9}$ mol $L^{-1}$ $s^{-1}$; $3.89 \times 10^{-9}$ mol $L^{-1}$ $s^{-1}$

**4.4** $bar^{-1/2}s^{-1}$

**4.6** (i) 4 গুণ (ii) ¼ গুণ

**4.8** (i) $4.67 \times 10^{-3}$ mol $L^{-1}s^{-1}$ (ii) $1.98 \times 10^{-2}$ $s^{-1}$

**4.9** (i) হার = $k[A][B]^2$ (ii) 9 গুণ

**4.10** A সাপেক্ষে ক্রম হল 1.5 এবং B এর সাপেক্ষে ক্রম হল শূন্য।

**4.11** হার সূত্র = $k[A][B]^2$; হার ধ্রুবক = 6.0 $M^{-2}min^{-1}$

**4.13** (i) $3.47 \times 10^{-3}$ সেকেন্ড (ii) 0.35 মিনিট (iii) 0.173 বৎসর

**4.14** 1845 বৎসর

**4.16** $4.6 \times 10^{-2}$ s

**4.17** 0.7814 μg এবং 0.227 μg.

**4.19** 77.7 মিনিট

**4.20** $2.20 \times 10^{-3}$ $s^{-1}$

**4.21** $2.23 \times 10^{-3}$ $s^{-1}$, $7.8 \times 10^{-4}$ atm $s^{-1}$

**4.23** $3.9 \times 10^{12}$ $s^{-1}$

**4.24** 0.135 M

**4.25** 0.158 M

**4.26** 232.79 kJ $mol^{-1}$

**4.27** 239.339 kJ $mol^{-1}$

**4.28** 24°C

**4.29** $E_a$ = 76.750 kJ $mol^{-1}$, $k = 0.9965 \times 10^{-2}$ $s^{-1}$

**4.30** 52.8 kJ $mol^{-1}$

## অধ্যায় 6

**6.1** জিঙ্ক হল অত্যধিক সক্রিয় ধাতু, একে জিঙ্ক সালফেটের দ্রবণ থেকে সহজেই অপসারিত করা সম্ভব নয়।

**6.2** জটিল যৌগ উৎপাদনের মাধ্যমে এটি একটি উপাদানকে ফেনা উৎপাদনে বাধা দেয়।

**6.3** অধিকাংশ সালফাইড যৌগের ক্ষেত্রে গিব্স্ গঠন শক্তি $CS_2$ এর চেয়ে বেশি হয়। প্রকৃতপক্ষে, $CS_2$ হল একটি তাপগ্রাহী যৌগ। সেজন্য বিজারণের পূর্বে সালফাইড আকরিককে তাপজারিত করে তাদের অক্সাইডে পরিণত করা হচ্ছে একটি সাধারণ প্রচলিত রীতি।

**6.5** CO

**6.6** অ্যানোড কাদার মধ্যে সেলেনিয়াম, টেলুরিয়াম, সিলভার, গোল্ড ধাতুগুলো বর্তমান থাকে। এর কারণ হলো, এইগুলো হচ্ছে কপারের চেয়ে কম সক্রিয়।

**6.9** ম্যাটে বর্তমান অবশিষ্ট $Fe_2O_3$ কে সিলিকা, সিলিকেট ($FeSiO_3$) যৌগে পরিনত করে অপসারিত করে।

**6.15** পিগ্ আয়রনের সঙ্গে স্ক্র্যাপ আয়রন এবং কোককে গলিয়ে কাস্ট আয়রন তৈরি করা হয়। পিগ্ আয়রন (» 4% C) থেকে এতে কার্বনের পরিমাণ সামান্য কম (» 3%) থাকে।

**6.17** $Fe_2O_3$ এর মত ক্ষারকীয় অশুদ্ধি অপসারণ করতে।

**6.18** মিশ্রনটির গলনাঙ্ক হ্রাস করতে।

**6.20** এই ক্ষেত্রে যদি CO বিজারক দ্রব্য হিসাবে ব্যবহার করা হয়, তখন বিজারণ প্রক্রিয়াটি সম্পন্ন হতে খুব উচ্চ উষ্ণতার প্রয়োজন হতে পারে।

**6.21** হ্যাঁ,

$$2Al + \frac{3}{2}O_2 \rightarrow Al_2O_3 \qquad \Delta G^\ominus = -827 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$2Cr + \frac{3}{2}O_2 \rightarrow Cr_2O_3 \qquad \Delta G^\ominus = -540 \text{ kJ mol}^{-1}$$

সুতরাং, $Cr_2O_3 + 2Al \rightarrow Al_2O_3 + 2Cr \qquad -827 - (-540) = -287$ kJ $mol^{-1}$

**6.22** কার্বন হল উৎকৃষ্ট বিজারক দ্রব্য।

**6.25** গ্রাফাইট দণ্ড অ্যানোডরূপে এবং তড়িৎ বিশ্লেষণ প্রক্রিয়া চলাকালীন সময়ে CO এবং $CO_2$ হিসাবে জ্বলে উঠে।

**6.28** 1600K এর অধিক উষ্ণতায় Al, MgO কে বিজারিত করতে পারে।

## অধ্যায় 7

**7.10** নাইট্রোজেনের সমযোজ্যতা 4 এর অধিক করার অক্ষমতার কারণে।

**7.20** ফ্রেওন সমূহ।

**7.22** এটি বৃষ্টির জলের মধ্যে দ্রবীভূত হয় এবং অম্লবৃষ্টি উৎপন্ন করে।

**7.23** ইলেকট্রন গ্রহণ করার অধিক প্রবণতার জন্য হ্যালোজেনগুলো শক্তিশালী জারক দ্রব্য রূপে আচরণ করে।

**7.24** উচ্চ তড়িৎঋণাত্মকতা এবং ক্ষুদ্র আকৃতির জন্য এটি উচ্চতর অক্সোঅ্যাসিডগুলোতে কেন্দ্রীয় পরমাণু রূপে কাজ করতে পারে না।

**7.25** ক্লোরিনের চেয়ে নাইট্রোজেনের আকার ছোট। ক্ষুদ্রতর আকার হাইড্রোজেন বন্ধনের জন্য অধিক উপযোগী।

**7.30** যেহেতু, Xe এবং অক্সিজেনের আয়নায়ন এন্থ্যালপির মান প্রায় সমান সেইজন্য, $O_2PtF_6$ এর সংশ্লেষণের পর বারলেটকে $XePtF_6$ প্রস্তুত করতে অনুপ্রাণিত করেছিল।

**7.31** (i) +3 (ii) +3 (iii) -3 (iv) +5 (v) +5

**7.34** ClF, হ্যাঁ

**7.36** (i) $I_2 < F_2 < Br_2 < Cl_2$

(ii) HF < HCl < HBr < HI

(iii) $BiH_3 \leq SbH_3 < AsH_3 < PH_3 < NH_3$

**7.37** (ii) $NeF_2$

**7.38** (i) $XeF_4$

(ii) $XeF_2$

(iii) $XeO_3$

## অধ্যায় 8

**8.2** এর কারণ হল $Mn^{2+}$ এর $3d^5$ বিন্যাসের উপস্থিতির জন্য এর স্থায়িত্ব অধিক হয়।

**8.5** স্থায়ী বা সুস্থিত জারণস্তরগুলো:

$3d^3$ (ভেনাডিয়াম): (+2), +3, +4, এবং +5

$3d^5$ (ক্রোমিয়াম): +3, +4, +6

$3d^5$ (ম্যাঙ্গানিজ ): +2, +4, +6, +7

$3d^8$ (নিকেল): +2, +3 (জটিল যৌগে)

$3d^4$ এর ভূমিস্তরে কোনো $d^4$ বিন্যাস নেই

**8.6** ভেনাডেট $VO_3^-$, ক্রোমেট $CrO_4^{2-}$, প্যারাম্যাঙ্গানেট $MnO_4^-$

**8.10** ল্যান্থানয়েডের সাধারণ জারণস্তরটি হল +3

+3 জারণস্তর সহ, কিছু কিছু ল্যান্থানয়েড +2 এবং +4 জারণস্তরও প্রদর্শন করে।

**8.13** সন্ধিগত মৌলগুলোতে, জারণস্তর +1 থেকে এক একক করে পরিবর্তিত হয়ে যে কোনো সর্বোচ্চ জারণস্তরে উন্নীত হয়।

উদাহরণস্বরূপ, ম্যাঙ্গানিজের ক্ষেত্রে এটি +2, +3, +4, +5, +6, +7 -এ পরিবর্তিত হতে পারে। সন্ধিগত নয় এমন মৌলের ক্ষেত্রে, পরিবর্তন হল নির্দিষ্ট, সর্বদা 2 একক করে পরিবর্তিত হয়, যেমন- +2, +4 বা +3, +5 বা +4, +6 প্রভৃতি।

**8.18** $Sc^{3+}$ ছাড়া, অন্য সকলেরই জলীয় দ্রবণ রঙিন হবে। কারণ অসম্পূর্ণভাবে $3d$- কক্ষকের উপস্থিতির জন্য $d$-$d$ স্থানান্তর ঘটবে।

**8.21** (i) $d^3$ বিন্যাসের অধিকতর সুস্থিতির ( $t_{2g}^3$ ) জন্য $Cr^{2+}$ বিজারক আচারণ করে $d^4$ থেকে $d^3$ বিন্যাসে পরিবর্তিত হয়। $3d^5$ বিন্যাসের অধিক সুস্থিতির জন্য Mn(III) বিন্যাস হতে Mn(II) $3d^5$ বিন্যাসে পরিবর্তিত হয়।

(ii) CFSE এর জন্য, যেটি তৃতীয় IE থেকে বেশী।

(iii) জলযোজন (hydration) বা ল্যাটিস শক্তি $d^1$ কক্ষক থেকে ইলেকট্রন অপসারণের জন্য প্রয়োজনীয় আয়নায়ন এন্থ্যালপি থেকে বেশী হয়।

**8.23** কপার (Cu), জারণ +1 জারণস্তরটি $3d^{10}$ বিন্যাস প্রাপ্তির ফলে অতিরিক্ত সুস্থিতি লাভ করে।

**8.24** অযুগ্ম ইলেকট্রন সমূহ $Mn^{3+}$ = 4, $Cr^{3+}$ = 3, $V^{3+}$ = 2, $Ti^{3+}$ = 1, অধিক সুস্থিত $Cr^{3+}$।

**8.28** দ্বিতীয় অংশ 59, 95, 102.

**8.30** লরেনসিয়াম, 103, +3

**8.36** $Ti^{2+} = 2$, $V^{2+} = 3$, $Cr^{3+} = 3$, $Mn^{2+} = 5$, $Fe^{2+} = 6$, $Fe^{3+} = 5$, $CO^{2+} = 7$, $Ni^{2+} = 8$, $Cu^{2+} = 9$

**8.38** $M\sqrt{n(n+2)} = 2.2$, $n \approx 1$, $d^2 sp^3$, $CN^-$ শক্তিশালী লিগান্ড।

$= 5.3$, $n \approx 4$, $sp^3$, $d^2$, $H_2O$ দুর্বল লিগান্ড।

$= 5.9$, $n \approx 5$, $sp^3$, $Cl^-$ দুর্বল লিগান্ড।

## অধ্যায় 9

**9.5** (i) + 3 (ii) +3 (iii) +2 (iv) +3 (v) +3

**9.6** (i) $[Zn(OH)_4]^{2-}$ (ii) $K_2[PdCl_4]$ (iii) $[Pt(NH_3)_2Cl_2]$ (iv) $K_2[Ni(CN)_4]$
(v) $[Co(NH_3)_5(ONO)]^{2+}$ (vi) $[Co(NH_3)_6]_2(SO_4)_3$ (vii) $K_3[Cr(C_2O_4)_3]$ (viii) $[Pt(NH_3)_6]^{4+}$
(ix) $[CuBr_4]^{2-}$ (x) $[Co(NH_3)_5(NO_2)]^{2+}$

**9.9** (i) $[Cr(C_2O_4)_3]^{3-}$ – শূন্য।
(ii) $[Co(NH_3)_3Cl_3]$ – দুটো (ফেসিয়াল এবং মেরিডিওনাল)

**9.12** তিনটি (দুটো সিস্ এবং একটি ট্রান্স)

**9.13** $CuSO_4$ এর জলীয় দ্রবণ $[Cu(H_2O)_4]SO_4$ রূপে অবস্থান করে, $[Cu(H_2O)_4]^{2+}$ আয়নের উপস্থিতির জন্য এটি নীল বর্ণের হয়।

(i) যখন KF যোগ করা হয়, তখন দুর্বল $H_2O$ লিগান্ডগুলো $F^-$ লিগান্ডগুলো দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে $[CuF_4]^{2-}$ আয়ন উৎপন্ন করে যেটি সবুজ বর্ণের অধ:ক্ষেপ।

$[Cu(H_2O)_4]^{2+} + 4F^- \rightarrow [CuF_4]^{2-} + 4H_2O$

(ii) যখন KCl যোগ করা হয়, তখন $Cl^-$ লিগান্ডগুলো দুর্বল $H_2O$ লিগান্ডগুলোকে প্রতিস্থাপিত করে উজ্জ্বল সবুজ বর্ণের $[CuCl_4)^{2-}$ আয়নসমূহ উৎপন্ন করে।

$[Cu(H_2O)_4]^{2+} + 4Cl^- \rightarrow [CuCl_4]^{2-} + 4H_2O$

**9.14** $[Cu(H_2O)_4]^{2+} + 4\ CN^- \rightarrow [Cu(CN)_4]^{2-} + 4H_2O$

যেহেতু $CN^-$ হলো একটি শক্তিশালী লিগান্ড, এটি $Cu^{2+}$ আয়নের সঙ্গে খুবই সুস্থিত জটিল আয়ন উৎপন্ন করে। এর উপর দিয়ে $H_2S$ গ্যাস চালনা করলে $Cu^{2+}$ আয়নের অনুপস্থিতির জন্য CuS এর অধ:ক্ষেপ উৎপন্ন হয় না।

**9.23** (i) জারণ অবস্থা = +3, সবর্গাঙ্ক = 6, d-কক্ষকের বিন্যাস is $t_{2g}^{6}\ e_g^{0}$,
(ii) জারণ অবস্থা = +3, সবর্গাঙ্ক = 6, $d^3$ ($t_{2g}^{3}$),
(iii) জারণ অবস্থা = +2, সবর্গাঙ্ক = 4, $d^7$ ( $t_{2g}^{5}\ e_g^{2}$),
(iv) জারণ অবস্থা = +2, সবর্গাঙ্ক = 6, $d^5$ ($t_{2g}^{3}\ e_g^{2}$).

**9.28** (iii)

**9.29** (ii)

**9.30** (iii)

**9.31** (iii)

**9.32** (i) স্পেকট্রোকেমিকেল শ্রেণিতে লিগান্ডের ক্রম :

$H_2O < NH_3 < NO_2^-$

ফলে নি:সৃত আলোকের শক্তির ক্রম হবে :

$[Ni(H_2O)_6]^{2+} < [Ni(NH_3)_6]^{2+} < [Ni(NO_2)_6]^{4-}$

এইভাবে, শোষিত তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের ($E = hc/\lambda$) ক্রমটি বিপরীত হবে।

# INDEX


| Terms | Page No. |
|---|---|
| Absorption | 124 |
| Actinoid contraction | 238 |
| Actinoids | 215, 238 |
| Activated complex | 114 |
| Activators | 134 |
| Activation energy | 114 |
| Adsorption | 124 |
| Adsorption isotherm | 127 |
| Allotropic forms | 180, 192 |
| Ambidentate ligand | 247 |
| Amorphous solids | 2 |
| Anisotropic | 3 |
| Anomalous behaviour of oxygen | 187 |
| Antiferromagnetism | 30 |
| Aqua regia | 204 |
| Arrhenius equation | 113, 115 |
| Atomic radii | 171, 186, 198, 209 |
| Average rate | 97 |
| Avogadro constant | 22 |
| Azeotrope | 48, 49 |
| Batteries | 88 |
| Binary solutions | 35, 43, 46 |
| Biochemical catalysis | 133 |
| Black phosphorus | 181 |
| Blast furnace | 159, 160, 161 |
| Blister copper | 162 |
| Body-centred unit | 9, 13 |
| Bohr magneton | 29, 228 |
| Bonding in metal carbonyls | 261 |
| Bravais lattices | 10 |
| Bredig's arc | 139 |
| Brown ring test | 180 |
| Brownian movement | 142 |
| Calcination | 155, 159 |
| Cast iron | 160, 161 |
| Catalyst | 116, 130 |
| Cell potential | 68 |
| Chelate | 247 |
| Chemical kinetics | 95 |
| Chemisorption | 125 |
| Chiral | 252 |
| Chromatographic methods | 165 |
| Cis - isomer | 252 |
| Classification of colloids | 136 |
| Close-packed structures | 14 |
| Coagulation | 144 |
| Colligative properties | 49, 58 |

| Terms | Page No. |
|---|---|
| Collision frequency | 117 |
| Collision theory of chemical reactions | 117 |
| Column chromatography | 166 |
| Concentration of ores | 158, 154 |
| Concentration of solutions | 36 |
| Conductivity | 75, 80 |
| Conductors | 26 |
| Coordination compounds | 244 |
| Coordination entity | 247, 249 |
| Coordination isomerism | 251 |
| Coordination number | 14 |
| Coordination polyhedron | 241 |
| Coordination theory | 244 |
| Copper matte | 156, 161 |
| Corrosion | 91 |
| Cryoscopic constant | 53 |
| Crystal defects | 24 |
| Crystal field splitting | 257, 258 |
| Crystal field theory | 257 |
| Crystal lattice | 9 |
| Crystalline solids | 2, 3, 4 |
| Dalton's law | 44 |
| Daniell cell | 66 |
| Denticity | 247 |
| Dependence of rate on concentration | 100 |
| Depressants | 154 |
| Dialyser | 140 |
| Dialysis | 140 |
| Diamagnetism | 30, 227 |
| Didentate | 247 |
| Diode | 29 |
| Dislocation defect | 25 |
| Dispersed phase | 136, 137 |
| Dispersion medium | 136, 137 |
| Dissociation constant | 263 |
| Distillation | 164 |
| Ebullioscopic constant | 51 |
| Electrical conductance | 76 |
| Electro dialysis | 140 |
| Electrochemical cells | 66 |
| Electrochemistry | 65 |
| Electrode potential | 68, 224, 227 |
| Electrolytes | 81 |
| Electrolytic cell | 85 |
| Electrolytic refining | 164 |
| Electromotive force | 68 |
| Electron hole | 28 |

| Terms | Page No. |
|---|---|
| Electron vacancy | 28 |
| Electronegativity | 172, 187, 199 |
| Electronic configuration | 216 |
| Electronic defect | 28 |
| Electroosmosis | 144 |
| Ellingham diagram | 157, 158 |
| Emulsions | 137, 145 |
| Enantiomers | 252 |
| End-centred unit | 9 |
| Enthalpy | 126 |
| Enzyme catalysis | 133, 134 |
| Equilibrium constant | 73 |
| f.- block elements | 234 |
| Face centred unit | 9, 13 |
| Facial isomer | 252 |
| Faraday's law | 85 |
| Ferrimagnetism | 30 |
| Ferromagnetism | 30, 228 |
| First order reaction | 106, 111 |
| Froth floatation | 154 |
| Fractional distillation | 174 |
| Frenkel defect | 24, 25 |
| Frequency factor | 113 |
| Freundlich isotherm | 127 |
| Fuel cells | 90 |
| Galvanic cell | 66, 67, 90 |
| Gangue | 153 |
| Gels | 137 |
| Geometric isomerism | 251 |
| Giant molecules | 5 |
| Gibbs energy | 67, 74, 117 |
| Haber's process | 131 |
| Half-life | 110 |
| Hall heroult process | 163 |
| Halogens | 197 |
| Henry's law | 41 |
| Heterogeneous catalysis | 130 |
| Heteroleptic complex | 248 |
| Holme's signals | 182 |
| Homogeneous catalysis | 130 |
| Homoleptic complex | 248 |
| Hybridisation | 255 |
| Hydrate isomerism | 254 |
| Hydration enthalpy | 224 |
| Hydraulic washing | 153 |
| Hydro metallurgy | 163 |
| Hydrogen bonded molecular solids | 5 |
| Ideal solution | 47 |
| Impurity defect | 25 |

| Terms | Page No. |
|---|---|
| Inhibitors | 134 |
| Inner transition metals | 234 |
| Instability constant | 263 |
| Instantaneous rate of a reaction | 98, 99 |
| Insulators | 27 |
| Inter molecular forces | 2 |
| Interstitial compounds | 230 |
| Interstitial defect | 25 |
| Intrinsic semiconductors | 27 |
| Ionic conductance | 77 |
| Ionic radii | 171, 186, 198 |
| Ionic solids | 5 |
| Ionisation enthalpy | 171, 187, 198, 209 |
| Ionisation isomerism | 253 |
| Isolation of elements | 149 |
| Isomerism | 251 |
| Isotonic solution | 56 |
| Kinetic energy | 115 |
| Kohlrausch law | 83, 84 |
| Kraft temperature | 138 |
| Lanthanide contraction | 219 |
| Lanthanoids | 215 |
| Le Chateliers principle | 40, 43 |
| Leaching | 154 |
| Lewis acids | 247 |
| Ligand field theory | 254 |
| Ligands | 247 |
| Line defects | 24 |
| Linkage isomerism | 253 |
| Liquation | 164 |
| Long range order | 2 |
| Lyophilic colloids | 137 |
| Lyophobic colloids | 137 |
| Magnetic separation | 153 |
| Meridional isomer | 252 |
| Metal carbonyls | 261 |
| Metal excess defect | 26 |
| Metallic solids | 5 |
| Metallurgy | 153, 156 |
| Micelles | 138 |
| Minerals | 152 |
| Mischmetall | 237 |
| Molal elevation constant | 51 |
| Molality | 39 |
| Molar conductivity | 81 |
| Molarity | 38, 55 |
| Mole fraction | 37, 50 |
| Molecularity of a reaction | 103 |
| Mond process | 165 |

| Terms | Page No. |
|---|---|
| Monoclinic sulphur | 192 |
| Mononuclear coordination compounds | 249 |
| Nernst equation | 72, 73 |
| Noble gases | 208 |
| Non-ideal solution | 47 |
| Non-polar molecular solids | 4 |
| Octahedral voids | 17, 19 |
| Optical isomerism | 252 |
| Order of a reaction | 102 |
| Ores | 152 |
| Osmotic pressure | 54 |
| Ostwald's process | 131 |
| Oxidation number | 248 |
| Oxidation state | 199 |
| Oxides of nitrogen | 177 |
| Oxoacids of halogens | 205 |
| Oxoacids of phosphorus | 184, 185 |
| Oxoacids of sulphur | 194 |
| Ozone | 191 |
| Packing efficiency | 20 |
| Paper chromatography | 166 |
| Paramagnetism | 29, 227 |
| p-block elements | 170 |
| Peptization | 140 |
| Physisorption | 125 |
| Pig iron | 161 |
| Point defects | 24 |
| Polar molecular solids | 5 |
| Polydentate | 247 |
| Primary battery | 88 |
| Primary valence | 244 |
| Pseudo first order reaction | 112 |
| Pseudo solids | 3 |
| Purification of metal | 153 |
| Pyrometallurgy | 162 |
| Raoult's law | 43, 46 |
| Rate law | 100, 101 |
| Reaction rate constant | 101 |
| Redox couples | 67 |
| Red phosphorus | 181 |
| Reverberatory furnace | 156 |
| Reverse osmosis | 57 |
| Rhombic sulphur | 192 |
| Roasting | 155, 159 |
| Schottky defect | 24, 25 |

| Terms | Page No. |
|---|---|
| Secondary battery | 89 |
| Secondary valence | 244, 245 |
| Semi conductors | 27 |
| Semipermeable membrane | 55 |
| Shape-selective catalysis | 132 |
| Short range order | 2 |
| Smoke screens | 182 |
| Solid state | 2 |
| Sols | 137 |
| Solubility | 39 |
| Solvate isomerism | 254 |
| Stereo isomerism | 254 |
| Stoichiometric defect | 24 |
| Strong field ligands | 258 |
| Structural isomerism | 251 |
| Super cooled liquids | 3 |
| Surface chemistry | 123 |
| Temperature dependence of rate | 113 |
| Tetrahedral permanganate | 226 |
| Tetrahedral voids | 16, 18 |
| Thermodynamics | 156 |
| Trans isomer | 251 |
| Transition metals | 215 |
| Tyndall cone | 141 |
| Tyndall effect | 141 |
| Ultrafiltration | 140 |
| Unidentate | 247 |
| Unit cells | 7, 9 |
| Units of rate constant | 103 |
| Units of rate of a reaction | 97 |
| Vacancy defect | 25 |
| Valence bond theory | 254, 257 |
| Van arkel method | 165 |
| Vapour phase refining | 165 |
| Vapour pressure | 43, 46 |
| Voltaic cell | 66 |
| Weak field ligands | 254 |
| Werner's theory | 244 |
| Wheatstone bridge | 75, 78 |
| White phosphorus | 181 |
| Wrought iron | 161, 167 |
| Zeolites | 132, 133 |
| Zero order Reaction | 105, 111 |
| Zeta potential | 143 |
| Zone refining | 165 |

# Notes