



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 অর্পণ করছি।”



পদার্থবিদ্যা

ভাগ-২

দ্বাদশ শ্রেণির পাঠ্যবই

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
অনুমোদিত
বাংলা সংস্করণ

প্রথম প্রকাশ :
মার্চ, ২০২০

মূল্য : ১৪০ টাকা

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

© এন সি ই আর টি কর্তৃক সর্বস্বত্ব সংরক্ষিত
পদার্থবিদ্যা (ভাগ-২)
দ্বাদশ শ্রেণির পাঠ্যবই
(এন সি ই আর টি-র **PHYSICS** (PART - II)
পাঠ্যবইয়ের ২০১৮ সালের অনূদিত সংস্করণ)

প্রকাশক : অধিকর্তা,
রাজ্য শিক্ষা গবেষণা
ও প্রশিক্ষণ পর্ষদ
ত্রিপুরা

প্রচ্ছদ ও অক্ষর বিন্যাস
প্রিয়াংকা দেবনাথ
রামু দেব
রীণা দেবনাথ

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

ড. অর্ণব সেন, সহঅধ্যাপক, এন ই আর আই ই, শিলং

ড. অরূপ কুমার সাহা, সহঅধ্যাপক, আর আই ই, ভুবনেশ্বর

পাঠ্যপুস্তকটি যাঁরা অনুবাদ করেছেন :

শ্রী সুবীর কুমার দেবনাথ, অবসরপ্রাপ্ত সহকারী প্রধান শিক্ষক

শ্রী পরিমল মজুমদার, অবসরপ্রাপ্ত সহকারী প্রধান শিক্ষক (ভারপ্রাপ্ত)

শ্রী মলয় ভৌমিক, প্রধান শিক্ষক

শ্রী দিব্যেন্দু বিকাশ সেন, ভারপ্রাপ্ত প্রধান শিক্ষক

শ্রী স্বপন মজুমদার, রাষ্ট্রপতি পুরস্কারপ্রাপ্ত শিক্ষক

শ্রী অমল চন্দ্র নাথ, শিক্ষক

শ্রী সুভাষ গণচৌধুরী, শিক্ষক

শ্রী মৃগাল কান্তি দত্ত, শিক্ষক

শ্রী সঞ্জয় দেবনাথ, শিক্ষক

শ্রী শীর্ষেন্দু চৌধুরী, শিক্ষক

শ্রীমতি জয়তী ভট্টাচার্য, শিক্ষিকা

ভাষা-পরিমার্জনায়

শ্রী গৌতম বুদ্ধ পাল

শ্রীমতী এমেলী নাগ

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 (NPE), 1986.

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

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

The National Council of Educational Research and Training (NCERT) appreciates the hard work done by the textbook development committee responsible for this book. We wish to thank the Chairperson of the advisory group in science and mathematics, Professor J.V. Narlikar and the Chief Advisor for this book, Professor A.W. Joshi for guiding the work of this committee. Several teachers contributed to the development of this textbook; we are grateful to their principals for making this possible. We are indebted to the institutions and organisations which have generously permitted us to draw upon their resources, material and personnel. We are especially grateful to the members of the National Monitoring Committee, appointed by the Department of Secondary and Higher Education, Ministry of Human Resource Development under the Chairpersonship of Professor Mrinal Miri and Professor G.P. Deshpande, for their valuable time and contribution. As an organisation committed to systemic reform and continuous improvement in the quality of its products, NCERT welcomes comments and suggestions which will enable us to undertake further revision and refinement.

New Delhi
20 November 2006

Director
National Council of Educational
Research and Training

PREFACE

It gives me pleasure to place this book in the hands of the students, teachers and the public at large (whose role cannot be overlooked). It is a natural sequel to the Class XI textbook which was brought out in 2006. This book is also a trimmed version of the textbooks which existed so far. The chapter on thermal and chemical effects of current has been cut out. This topic has also been dropped from the CBSE syllabus. Similarly, the chapter on communications has been substantially curtailed. It has been rewritten in an easily comprehensible form.

Although most other chapters have been based on the earlier versions, several parts and sections in them have been rewritten. The Development Team has been guided by the feedback received from innumerable teachers across the country.

In producing these books, Class XI as well as Class XII, there has been a basic change of emphasis. Both the books present physics to students without assuming that they would pursue this subject beyond the higher secondary level. This new view has been prompted by the various observations and suggestions made in the National Curriculum Framework (NCF), 2005. Similarly, in today's educational scenario where students can opt for various combinations of subjects, we cannot assume that a physics student is also studying mathematics. Therefore, physics has to be presented, so to say, in a stand-alone form.

As in Class XI textbook, some interesting box items have been inserted in many chapters. They are not meant for teaching or examinations. Their purpose is to catch the attention of the reader, to show some applications in daily life or in other areas of science and technology, to suggest a simple experiment, to show connection of concepts in different areas of physics, and in general, to break the monotony and enliven the book.

Features like Summary, Points to Ponder, Exercises and Additional Exercises at the end of each chapter, and Examples have been retained. Several concept-based Exercises have been transferred from end-of-chapter Exercises to Examples with Solutions in the text. It is hoped that this will make the concepts discussed in the chapter more comprehensible. Several new examples and exercises have been added. Students wishing to pursue physics further would find Points to Ponder and Additional Exercises very useful and thoughtful. To provide *resources beyond the textbook* and to encourage *eLearning*, each chapter has been provided with some relevant website addresses under the title *ePhysics*. These sites provide additional materials on specific topics and also provide learners the opportunities for interactive demonstrations/experiments.

The intricate concepts of physics must be understood, comprehended and appreciated. Students must learn to ask questions like 'why', 'how', 'how do we know it'. They will find almost always that the question 'why' has no answer within the domain of physics and science in general. But that itself is a learning experience, is it not? On the other hand, the question 'how' has been reasonably well answered by physicists in the case of most natural phenomena. In fact, with the understanding of how things happen, it has been possible to make use of many phenomena to create technological applications for the use of humans.

For example, consider statements in a book, like 'A negatively charged electron is attracted by the positively charged plate', or 'In this experiment, light (or electron) behaves like a wave'. You will realise that it is not possible to answer 'why'. This question belongs to the domain of philosophy or metaphysics. But we can answer 'how', we can find the force acting, we can find the wavelength of the photon (or electron), we can determine how things behave under different conditions, and we can develop instruments which will use these phenomena to our advantage.

It has been a pleasure to work for these books at the higher secondary level, along with a team of members. The Textbook Development Team, the Review Team and Editing Teams involved college and university teachers, teachers from Indian Institutes of Technology, scientists from national institutes and laboratories, as well as higher secondary teachers. The feedback and critical look provided by higher secondary teachers in the various teams are highly laudable. Most box items were generated by members of one or the other team, but three of them were generated by friends and well-wishers not part of any team. We are thankful to Dr P.N. Sen of Pune, Professor Roopmanjari Ghosh of Delhi and Dr Rajesh B Khaparde of Mumbai for allowing us to use their box items, respectively in Chapters 3, 4 (Part I) and 9 (Part II). We are very thankful to the members of the Review and Editing Workshops to discuss and refine the first draft of the textbook. We also express our gratitude to Prof. Krishna Kumar, Director, NCERT, for entrusting us with the task of presenting this textbook as a part of the national effort for improving science education. I also thank Prof. G. Ravindra, Joint Director, NCERT, for his help from time-to-time. Prof. Hukum Singh, Head, Department of Education in Science and Mathematics, NCERT, was always willing to help us in our endeavour in every possible way.

We welcome suggestions and comments from our valued users, especially students and teachers. We wish our young readers a happy journey into the exciting realm of physics.

A. W. JOSHI
Chief Advisor
Textbook Development Committee

TEXTBOOK DEVELOPMENT COMMITTEE

CHAIRPERSON, ADVISORY COMMITTEE FOR TEXTBOOKS IN SCIENCE AND MATHEMATICS

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

CHIEF ADVISOR

A.W. Joshi, *Honorary Visiting Scientist*, National Centre for Radio Astrophysics (NCRA), Pune University Campus, Pune (Formerly *Professor* at Department of Physics, University of Pune)

MEMBERS

A.K. Ghatak, *Emeritus Professor*, Department of Physics, Indian Institute of Technology, New Delhi

Alika Khare, *Professor*, Department of Physics, Indian Institute of Technology, Guwahati

Anjali Kshirsagar, *Reader*, Department of Physics, University of Pune, Pune

Anuradha Mathur, *PGT*, Modern School, Vasant Vihar, New Delhi

Atul Mody, *Lecturer (S.G.)*, VES College of Arts, Science and Commerce, Mumbai

B.K. Sharma, *Professor*, DESM, NCERT, New Delhi

Chitra Goel, *PGT*, Rajkiya Pratibha Vikas Vidyalaya, Tyagraj Nagar, New Delhi

Gagan Gupta, *Reader*, DESM, NCERT, New Delhi

H.C. Pradhan, *Professor*, Homi Bhabha Centre of Science Education (TIFR), Mumbai

N. Panchapakesan, *Professor (Retd.)*, Department of Physics and Astrophysics, University of Delhi, Delhi

R. Joshi, *Lecturer (S.G.)*, DESM, NCERT, New Delhi

S.K. Dash, *Reader*, DESM, NCERT, New Delhi

S. Rai Choudhary, *Professor*, Department of Physics and Astrophysics, University of Delhi, Delhi

S.K. Upadhyay, *PGT*, Jawahar Navodaya Vidyalaya, Muzaffar Nagar

S.N. Prabhakara, *PGT*, DM School, Regional Institute of Education (NCERT), Mysore

V.H. Raybagkar, *Reader*, Nowrosjee Wadia College, Pune

Vishwajeet Kulkarni, *Teacher (Grade I)*, Higher Secondary Section, Smt. Parvatibai Chowgule College, Margao, Goa

MEMBER-COORDINATOR

V.P. Srivastava, *Reader*, DESM, NCERT, New Delhi

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).



ACKNOWLEDGEMENTS

The National Council of Educational Research and Training acknowledges the valuable contribution of the individuals and organisations involved in the development of Physics Textbook for Class XII. The Council also acknowledges the valuable contribution of the following academics for reviewing and refining the manuscripts of this book:

Anu Venugopalan, *Lecturer*, School of Basic and Applied Sciences, GGSIP University, Delhi; A.K. Das, *PGT*, St. Xavier's Senior Secondary School, Delhi; Bharati Kukkal, *PGT*, Kendriya Vidyalaya, Pushp Vihar, New Delhi; D.A. Desai, *Lecturer (Retd.)*, Ruparel College, Mumbai; Devendra Kumar, *PGT*, Rajkiya Pratibha Vikas Vidyalaya, Yamuna Vihar, Delhi; I.K. Gogia, *PGT*, Kendriya Vidyalaya, Gole Market, New Delhi; K.C. Sharma, *Reader*, Regional Institute of Education (NCERT), Ajmer; M.K. Nandy, *Associate Professor*, Department of Physics, Indian Institute of Technology, Guwahati; M.N. Bapat, *Reader*, Regional Institute of Education (NCERT), Mysore; R. Bhattacharjee, *Asstt. Professor*, Department of Electronics and Communication Engineering, Indian Institute of Technology, Guwahati; R.S. Das, *Vice-Principal (Retd.)*, Balwant Ray Mehta Senior Secondary School, Lajpat Nagar, New Delhi; Sangeeta D. Gadre, *Reader*, Kirori Mal College, Delhi; Suresh Kumar, *PGT*, Delhi Public School, Dwarka, New Delhi; Sushma Jaireth, *Reader*, Department of Women's Studies, NCERT, New Delhi; Shyama Rath, *Reader*, Department of Physics and Astrophysics, University of Delhi, Delhi; Yashu Kumar, *PGT*, Kulachi Hans Raj Model School, Ashok Vihar, Delhi.

The Council also gratefully acknowledges the valuable contribution of the following academics for the editing and finalisation of this book: B.B. Tripathi, *Professor (Retd.)*, Department of Physics, Indian Institute of Technology, New Delhi; Dipan K. Ghosh, *Professor*, Department of Physics, Indian Institute of Technology, Mumbai; Dipanjan Mitra, *Scientist*, National Centre for Radio Astrophysics (TIFR), Pune; G.K. Mehta, *Raja Ramanna Fellow*, Inter-University Accelerator Centre, New Delhi; G.S. Visweswaran, *Professor*, Department of Electrical Engineering, Indian Institute of Technology, New Delhi; H.C. Kandpal, *Head*, Optical Radiation Standards, National Physical Laboratory, New Delhi; H.S. Mani, *Raja Ramanna Fellow*, Institute of Mathematical Sciences, Chennai; K. Thyagarajan, *Professor*, Department of Physics, Indian Institute of Technology, New Delhi; P.C. Vinod Kumar, *Professor*, Department of Physics, Sardar Patel University, Vallabh Vidyanagar, Gujarat; S. Annapoorni, *Professor*, Department of Physics and Astrophysics, University of Delhi, Delhi; S.C. Dutta Roy, *Emeritus Professor*, Department of Electrical Engineering, Indian Institute of Technology, New Delhi; S.D. Joglekar, *Professor*, Department of Physics, Indian Institute of Technology, Kanpur; V. Sundara Raja, *Professor*, Sri Venkateswara University, Tirupati.

The Council also acknowledges the valuable contributions of the following academics for refining the text in 2017: A.K. Srivastava, *Assistant Professor*, DESM, NCERT, New Delhi; Arnab Sen, *Assistant Professor*, NERIE, Shillong; L.S. Chauhan, *Assistant Professor*, RIE, Bhopal; O.N. Awasthi, *Professor (Retd.)*, RIE, Bhopal; Rachna Garg, *Professor*, DESM, NCERT, New Delhi; Raman Namboodiri, *Assistant Professor*, RIE, Mysuru; R.R. Koireng, *Assistant Professor*, DCS, NCERT, New Delhi; Shashi Prabha, *Professor*, DESM, NCERT, New Delhi; and S.V. Sharma, *Professor*, RIE, Ajmer.

Special thanks are due to Hukum Singh, *Professor and Head*, DESM, NCERT for his support.

The Council also acknowledges the support provided by the APC office and the administrative staff of the DESM; Deepak Kapoor, *Incharge*, Computer Station; Inder Kumar, *DTP Operator*; Mohd. Qamar Tabrez and Hari Darshan Lodhi *Copy Editor*; Rishi Pal Singh, *Sr. Proof Reader*, NCERT and Ashima Srivastava, *Proof Reader* in shaping this book.

The contributions of the Publication Department in bringing out this book are also duly acknowledged.

পদার্থবিদ্যা (ভাগ-১)-এর সূচিপত্র
দ্বাদশ শ্রেণি

প্রথম অধ্যায়	
তড়িৎ আধান এবং ক্ষেত্র	1
দ্বিতীয় অধ্যায়	
স্থির তড়িৎ বিভব এবং ধারকত্ব	51
তৃতীয় অধ্যায়	
প্রবাহী তড়িৎ	93
চতুর্থ অধ্যায়	
প্রবাহী আধান ও চুম্বকত্ব	132
পঞ্চম অধ্যায়	
চুম্বকত্ব এবং পদার্থ	173
ষষ্ঠ অধ্যায়	
তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশ	204
সপ্তম অধ্যায়	
পরিবর্তী প্রবাহ	233
অষ্টম অধ্যায়	
তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ	269
উত্তরমালা	288

সূচিপত্র

নবম অধ্যায়

রশ্মি আলোক বিজ্ঞান এবং আলোকীয় যন্ত্রাদি

9.1	ভূমিকা	309
9.2	গোলীয় দর্পণ দ্বারা আলোর প্রতিফলন	310
9.3	প্রতিসরণ	316
9.4	অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন	319
9.5	গোলীয় তলে এবং লেন্সে প্রতিসরণ	323
9.6	প্রিজমের মধ্য দিয়ে প্রতিসরণ	330
9.7	প্রিজম দ্বারা বিচ্ছুরণ	332
9.8	সূর্যালোক জনিত কয়েকটি প্রাকৃতিক ঘটনা	333
9.9	আলোকীয় যন্ত্রসমূহ	335

দশম অধ্যায়

তরঙ্গ আলোক বিজ্ঞান

10.1	ভূমিকা	351
10.2	হাইগেন্সের নীতি	353
10.3	হাইগেন্সের নীতি প্রয়োগে সমতল তরঙ্গের প্রতিসরণ এবং প্রতিফলন	355
10.4	সুসংগত এবং অসংগত তরঙ্গের সংযোজন	360
10.5	আলোক তরঙ্গের ব্যতিচার এবং ইয়ং-এর পরীক্ষা	362
10.6	অপবর্তন	367
10.7	সমবর্তন	376

একাদশ অধ্যায়

বিকিরণ এবং পদার্থের দ্বৈত প্রকৃতি

11.1	ভূমিকা	386
11.2	ইলেকট্রন নিঃসরণ	387
11.3	আলোকতড়িৎ ক্রিয়া	388

11.4	আলোক তড়িৎক্রিয়ার পরীক্ষামূলক অধ্যয়ন	389
11.5	আলোক তড়িৎ ক্রিয়া এবং আলোর তরঙ্গ তত্ত্ব	393
11.6	আইনস্টাইনের আলো তড়িৎ সমীকরণ	393
11.7	আলোর কণা প্রকৃতি : ফোটন	395
11.8	পদার্থের তরঙ্গ প্রকৃতি	398
11.9	ডেভিসন এবং গার্মার পরীক্ষা	403

দ্বাদশ অধ্যায়

পরমাণুসমূহ

12.1	ভূমিকা	414
12.2	আলফা-কণার বিক্ষেপণ এবং পরমাণুর রাদারফোর্ডের নিউক্লিয় মডেল	415
12.3	পারমাণবিক বর্ণালি	420
12.4	হাইড্রোজেন পরমাণু সম্পর্কিত বোর মডেল	422
12.5	হাইড্রোজেন পরমাণুর রেখা বর্ণালি	428
12.6	ডি-ব্রগলি দ্বারা কোয়ান্টায়ন সংক্রান্ত বোরের দ্বিতীয় স্বীকার্যের ব্যাখ্যা	430

ত্রয়োদশ অধ্যায়

নিউক্লিয়াস বা কেন্দ্রক

13.1	ভূমিকা	438
13.2	পরমাণুর ভর এবং নিউক্লিয়াসের গঠন	439
13.3	নিউক্লিয়াসের আকার	441
13.4	ভর-শক্তি এবং নিউক্লিয় বন্ধন শক্তি	442
13.5	নিউক্লিয় বল	445
13.6	তেজস্ক্রিয়তা	446
13.7	নিউক্লিয় শক্তি	451

চতুর্দশ অধ্যায়

অর্ধপরিবাহী ইলেকট্রনিক্স : উপাদান পদার্থ, যন্ত্রাদি এবং সরল বর্তনীসমূহ

14.1	ভূমিকা	467
14.2	ধাতু, পরিবাহী এবং অর্ধপরিবাহীর শ্রেণিবিন্যাস	468
14.3	বিশুদ্ধ বা স্বকীয় অর্ধপরিবাহী	472
14.4	অবিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহী	474

14.5	p-n সংযোগ	478
14.6	অর্ধপরিবাহী ডায়োড	479
14.7	একমুখীকারক হিসেবে সংযোগ ডায়োডের ব্যবহার	483
14.8	বিশেষ উদ্দেশ্যসম্পন্ন p-n সংযোগ ডায়োড	485
14.9	সংযোগ ট্রানজিস্টার	490
14.10	ডিজিটাল ইলেকট্রনিক্স-এবং লজিক গেট	501
14.11	সমন্বিত বর্তনী	505
পঞ্চদশ অধ্যায়		
যোগাযোগ ব্যবস্থা		
15.1	ভূমিকা	513
15.2	যোগাযোগ ব্যবস্থাপনার উপাদানসমূহ	513
15.3	বৈদ্যুতিন যোগাযোগ ব্যবস্থাপনায় ব্যবহৃত প্রাথমিক রাশিগুলো	515
15.4	সংকেতের পটিবেধ	517
15.5	সঞ্চার মাধ্যমের পটিবেধ	518
15.6	তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গসমূহের বিস্তার	519
15.7	মডুলেশন এবং এর প্রয়োজনীয়তা	522
15.8	বিস্তার মডুলেশন	524
15.9	বিস্তার মডুলেশনযুক্ত তরঙ্গের উৎপাদন	525
15.10	বিস্তার মডুলেশনযুক্ত তরঙ্গের মূল সংকেত সন্ধান	526
পরিশিষ্ট		532
উত্তরমালা		534
BIBLIOGRAPHY		552
INDEX		554

নবম অধ্যায়

রশ্মি আলোক বিজ্ঞান এবং আলোকীয় যন্ত্রাদি

(RAY OPTICS AND OPTICAL INSTRUMENTS)



9.1 ভূমিকা

প্রকৃতি মানুষের চোখে (রেটিনা) তড়িৎ চুম্বকীয় বর্ণালীর এক ক্ষুদ্র পাল্লার মধ্যে থাকা তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গগুলোকে সহজেই শনাক্ত করার ক্ষমতা প্রদান করেছে। তড়িৎচুম্বকীয় বর্ণালীর এই অঞ্চলের (যাদের তরঙ্গদৈর্ঘ্য প্রায় 400 nm থেকে 750 nm) সংশ্লিষ্ট বিকিরণকে ‘আলোক’ বলে। মূলত আলো ও দর্শনের অনুভূতির মাধ্যমেই আমরা চারপাশের বিশ্বকে জানতে ও ব্যাখ্যা করতে পারি।

সাধারণ অভিজ্ঞতা থেকে জ্ঞানত আমরা আলোক সম্পর্কে দুটি বিষয় উল্লেখ করতে পারি। প্রথমত, আলো তীব্র দ্রুতিতে গতিশীল এবং দ্বিতীয়ত, এটি সরলরেখায় চলাচল করে। আলোর দ্রুতি সসীম ও পরিমাপযোগ্য, তা বুঝতে বেশ কিছু সময় লেগেছিল। বর্তমানে শূন্য মাধ্যমে এর গ্রহণযোগ্য মান $c = 2.99792458 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ । অধিকাংশ ক্ষেত্রে এর সার্থক মান $c = 3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ ধরা হয়। শূন্য মাধ্যমে আলোর দ্রুতিই হল প্রকৃতিতে প্রাপ্ত সর্বোচ্চ দ্রুতি।

অষ্টম অধ্যায়ে আমরা যেমনটা শিখেছি যে, আলো একটি তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ যার তরঙ্গদৈর্ঘ্য বর্ণালীর দৃশ্যমান অংশে অবস্থিত, এই তত্ত্বটির সাথে আলোর সরলরেখিক গতির উপলব্ধি ধারণাটি দ্বিমত পোষণ করে। কীভাবে এ দুটির মধ্যে সামঞ্জস্য বিধান করা যায়? উত্তরটি হল, আমাদের সচরাচর দেখা সাধারণ বস্তুসমূহের আকারের (সাধারণত কয়েক সেমি বা তার চেয়েও বড়ো) তুলনায় আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য খুবই ছোটো। এমতাবস্থায় তোমরা দশম অধ্যায়ে জানবে যে, আলোক তরঙ্গ এক বিন্দু থেকে অন্য বিন্দুতে এদের সংযোজক সরলরেখা বরাবর গমন করে, এ রকম বিবেচনা করা যেতে পারে। এই পথটিকে আলোকরশ্মি বলে এবং এইরূপ বহুসংখ্যক রশ্মি একটি আলোকগুচ্ছ তৈরি করে।

পদার্থবিদ্যা

এই অধ্যায়ে আমরা আলোর রশ্মি চিত্র ব্যবহার করে আলোর প্রতিফলন, প্রতিসরণ ও বিচ্ছুরণের ঘটনাগুলোকে বিবেচনা করবো। প্রতিফলন ও প্রতিসরণের মৌলিক সূত্রগুলোকে ব্যবহার করে সমতল এবং গোলায় প্রতিফলক বা প্রতিসারক তল দ্বারা প্রতিবিশ্ব গঠনের বিষয়টি আমরা অধ্যয়ন করবো। এরপর আমরা মানুষের চোখ সহ কিছু গুরুত্বপূর্ণ আলোকীয় যন্ত্রাদির গঠন ও কার্যনীতি সম্পর্কে বর্ণনা করবো।

আলোর কণিকারূপ (PARTICLE MODEL OF LIGHT)

গণিত, বলবিদ্যা ও মহাকর্ষ বিষয়ক নিউটনের মৌলিক অবদানগুলো, আলোর ক্ষেত্রে তাঁর পরীক্ষামূলক ও তাত্ত্বিক গভীর অধ্যয়নগুলো থেকে আমাদেরকে প্রায় অশঙ্কিত রেখেছে। আলোকের ক্ষেত্রে উনি অগ্রনী ভূমিকা পালন করেছিলেন। নিউটন, ডেকার্তে (Descartes) দ্বারা প্রস্তাবিত আলোর কণিকারূপের আরও উন্নতি সাধন করেন। এটি ধরে নেওয়া হয় যে, আলোক শক্তি কতকগুলো ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণার সমন্বয়ে গঠিত, যাদের আলোক কণিকা (corpuscular) বলে। তিনি আরও বিবেচনা করেছিলেন যে, আলোর কণিকাগুলো ভরহীন স্থিতিস্থাপক কণা। বলবিদ্যার ধারণা থেকে তিনি প্রতিফলন ও প্রতিসরণের একটি সরল মডেল তৈরি করেন। সাধারণ পর্যবেক্ষণ থেকে বলা যায় যে, কোনো মসৃণ সমতল থেকে একটি বল-এর লাফিয়ে ওঠা, প্রতিফলনের সূত্রগুলো মেনে চলে। যখন সংঘর্ষ স্থিতিস্থাপক হয় ও তখন বেগের মান একই থাকে। যেহেতু তলটি মসৃণ, তাই এর সমান্তরালে কোনো বল ক্রিয়া করে না। তাই এই অভিমুখে ভরবেগের উপাংশটি একই থাকে। প্রতিফলনে শুধুমাত্র তলের লম্ব উপাংশটি অর্থাৎ ভরবেগের উল্লম্ব উপাংশটি বিপরীত অভিমুখী হয়। নিউটন অভিমত ব্যক্ত করেন যে, সমতল দর্পণের মতো মসৃণ তলগুলো আলোক কণিকাগুলোকে একইভাবে প্রতিফলিত করে।

আলোর প্রতিসরণের ঘটনাটি ব্যাখ্যা করতে গিয়ে নিউটন ধরে নেন যে, বায়ুর চেয়ে জল অথবা কাঁচে আলোক কণিকাগুলোর বেগ অধিক হয়। যদিও, পরবর্তিতে আবিষ্কৃত হয় যে, বায়ুর চেয়ে জলে অথবা কাঁচে আলোর দ্রুতি কম।

আলোকবিজ্ঞানে, পরীক্ষাবিদ নিউটন, তাত্ত্বিক নিউটন অপেক্ষা মহিয়ান। তিনি অনেক ঘটনা নিজেই প্রত্যক্ষ করেছিলেন, যেগুলো আলোর কণিকা ধর্মের সাহায্যে বোঝা কষ্টসাধ্য ছিল। উদাহরণস্বরূপ, জলের উপর তেলের একটি পাতলা স্তরের দরুন বিভিন্ন বর্ণের আলো দেখা যায়। আলোর আংশিক প্রতিফলনের বৈশিষ্ট্যও এমন আর একটি উদাহরণ। কেউ জলাশয়ের জলের দিকে তাকালে নিজ মুখের প্রতিবিশ্ব দেখতে পায়, আবার সঙ্গে জলাশয়ের তলদেশও দেখতে পায়। নিউটন অভিমত ব্যক্ত করেন যে, জলের উপর আপতিত আলোক কণিকাগুলোর কিছু প্রতিফলিত হয় এবং কিছু জলের মধ্য দিয়ে সঞ্চারিত হয়। কিন্তু কোন্ বৈশিষ্ট্য আলোক কণিকাগুলোকে দুটি ভাগে বিভক্ত করেছে? নিউটনকে কিছু অনিশ্চিত সম্ভাব্য ঘটনাকে স্বীকার করে নিতে হয়েছিল, যা কোনো একটি আলোক কণিকা প্রতিফলিত হবে কি হবে না, তা স্থির হয়। যা হোক, অন্য ঘটনাগুলো ব্যাখ্যা করতে গিয়ে আলোক কণিকাগুলোর আচরণ একইরকম হবে, এমন ধরে নিয়েছিলেন। এইরূপ দ্বিচারিতা আলোর তরঙ্গ তত্ত্বে দেখা যায় না। বায়ু ও জলের বিভেদতলে আপতিত তরঙ্গকে দুটি দুর্বলতর তরঙ্গে বিভক্ত করা যেতে পারে।

9.2 গোলায় দর্পণ দ্বারা আলোর প্রতিফলন

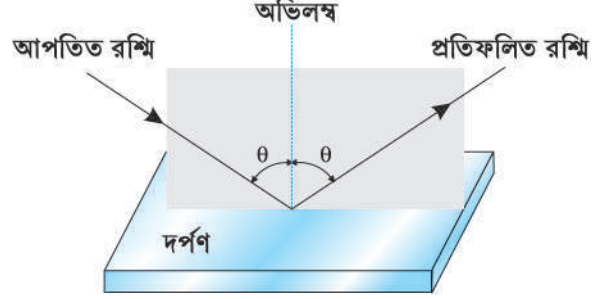
(REFLECTION OF LIGHT BY SPHERICAL MIRRORS)

প্রতিফলনের সূত্রগুলোর সহিত আমরা পরিচিত। প্রতিফলন কোণ (প্রতিফলিত রশ্মি ও প্রতিফলক তল বা দর্পণের উপর অভিলম্বের মধ্যবর্তী কোণ) আপাতন কোণ (আপতিত রশ্মি ও অভিলম্বের মধ্যবর্তী কোণ) পরস্পর সমান হয়। এছাড়া, আপতিত রশ্মি, প্রতিফলিত রশ্মি এবং আপাতন বিন্দুতে প্রতিফলক তলের উপর অঙ্কিত অভিলম্ব একই সমতলে অবস্থান করে (চিত্র 9.1)। সমতল বা বক্র যে-কোনো প্রতিফলক তলের উপর প্রতিটি বিন্দুতে সূত্রগুলো প্রযোজ্য। যদিও আমরা আমাদের আলোচনা কতকগুলো বিশেষ

রশ্মি আলোক বিজ্ঞান এবং আলোকীয় যন্ত্রাদি

বক্রতল অর্থাৎ গোলীয় তলের ক্ষেত্রের সীমাবদ্ধ রাখবো। এক্ষেত্রে অভিলম্বটিকে আপতন বিন্দুতে বক্রতলের স্পর্শকের উপর লম্ব ধরে নেওয়া হয়। অর্থাৎ অভিলম্বটি ব্যাসার্ধ বরাবর হয়, যা দর্পণের বক্রতা কেন্দ্র ও আপতন বিন্দুর সংযোজক সরলরেখা।

আমরা ইতোমধ্যেই জেনেছি যে, গোলীয় দর্পণের জ্যামিতিক মধ্যবিন্দুকে এর মেরু (pole) বলে এবং গোলীয় লেন্সের উক্ত বিন্দুটিকে আলোক কেন্দ্র (optical centre) বলে। গোলীয় দর্পণের মেরু ও বক্রতা কেন্দ্রের সংযোজক রেখাকে প্রধান অক্ষ (principal axis) বলে। গোলীয় লেন্সের ক্ষেত্রে আলোক কেন্দ্র এবং মুখ্য ফোকাসের সংযোজক রেখাকে প্রধান অক্ষ বলে, যা তোমরা পরে দেখবে।

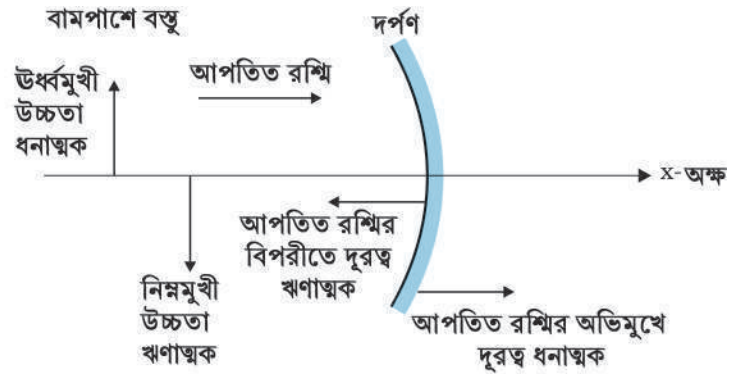


চিত্র 9.1 প্রতিফলক তলের উপর আপতিত রশ্মি, প্রতিফলিত রশ্মি এবং অভিলম্বটি একই তলে অবস্থান করে।

9.2.1 চিহ্নের রীতি (Sign convention)

গোলীয় দর্পণে প্রতিফলন ও গোলীয় লেন্সে প্রতিসরণের প্রাসঙ্গিক সূত্রাবলি নির্ণয়ে, দূরত্ব পরিমাপের জন্য আমাদের প্রথমে অবশ্যই চিহ্নের রীতি গ্রহণ করতে হবে। এই পুস্তকে, আমরা ‘কার্তেসীয় চিহ্ন রীতি’ অনুসরণ করবো। এই রীতি অনুসারে, সব দূরত্ব দর্পণের মেরু বা লেন্সের আলোক কেন্দ্র থেকে পরিমাপ করা হয়। আপতিত রশ্মির অভিমুখে পরিমিত দূরত্বগুলোকে ধনাত্মক এবং আপতিত রশ্মির বিপরীত অভিমুখে পরিমিত দূরত্বগুলোকে ঋণাত্মক ধরা হয় (চিত্র 9.2)। দর্পন বা লেন্সের প্রধান অক্ষের (x-অক্ষ) উপর লম্ব এবং উর্ধ্বমুখী পরিমিত দৈর্ঘ্যগুলোকে ধনাত্মক ধরা হয় (চিত্র 9.2) এবং নিম্নমুখী পরিমিত দৈর্ঘ্যগুলোকে ঋণাত্মক ধরা হয়।

সাধারণ রীতি মেনে, গোলীয় দর্পণের জন্য একটি সূত্র ও গোলীয় লেন্সের জন্য একটি সূত্র নির্ণয় করা হয়, যা বিভিন্ন ক্ষেত্রে প্রয়োগ করা যেতে পারে।

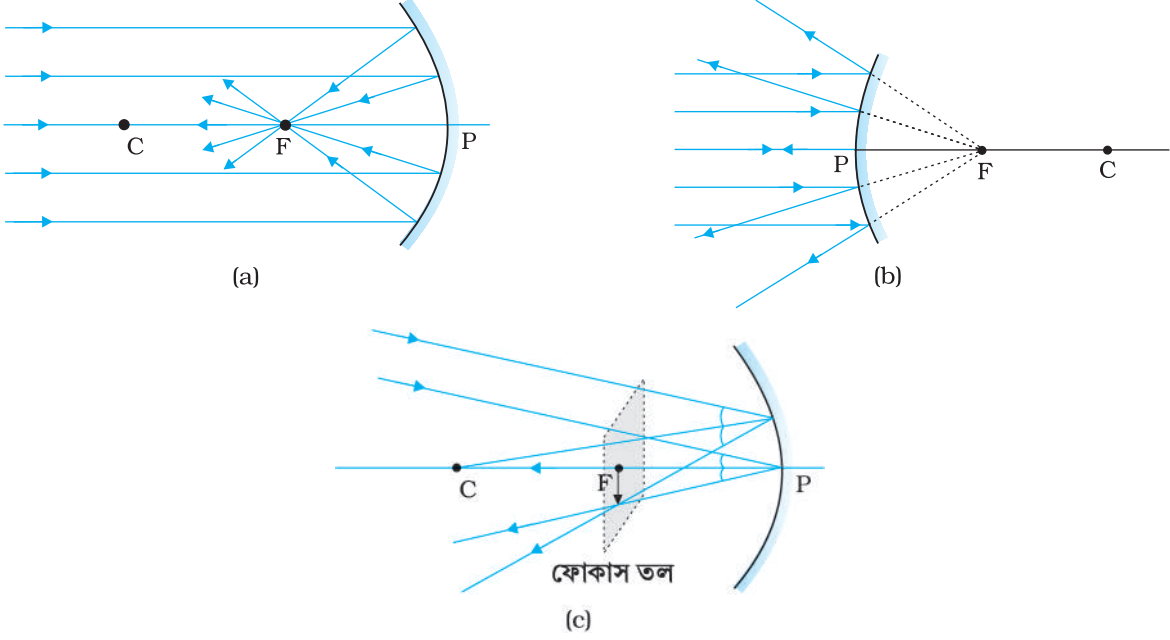


চিত্র 9.2 কার্তেসীয় চিহ্নের রীতি।

9.2.2 গোলীয় দর্পণের ফোকাস দৈর্ঘ্য (Focal length of spherical mirrors)

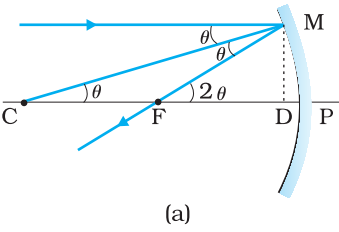
যখন সমান্তরাল আলোকরশ্মিগুচ্ছ (a) একটি অবতল দর্পণ এবং (b) একটি উত্তল দর্পণে আপতিত হয়, তখন কী ঘটে তা 9.3 নং চিত্রে দেখানো হয়েছে। আমরা ধরে নেই যে, রশ্মিগুলো সমাক্ষীয় (paraxial) অর্থাৎ এরা দর্পণের মেরু P-এর নিকটবর্তী বিন্দুগুলোতে আপতিত হয় এবং প্রধান অক্ষের সহিত ক্ষুদ্র কোণ উৎপন্ন করে। প্রতিফলিত রশ্মিগুলো অবতল দর্পণের প্রধান অক্ষের উপরিস্থ F বিন্দুতে অভিসারী হয় [চিত্র 9.3(a)]। উত্তল দর্পণের ক্ষেত্রে প্রতিফলিত রশ্মিগুলো প্রধান অক্ষের উপরিস্থ F বিন্দু থেকে অপসৃত হচ্ছে বলে মনে হয় [চিত্র 9.3(b)]। F বিন্দুটিকে দর্পণের মুখ্য ফোকাস (Principal focus) বলে। যদি সমাক্ষীয় সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ প্রধান অক্ষের সহিত কোনো একটি কোণে আপতিত হয়, তবে প্রতিফলিত রশ্মিগুলো প্রধান অক্ষের উপর F বিন্দুতে একটি অভিলম্ব তলের উপর কোনো একটি বিন্দুতে মিলিত হয় (অবতল দর্পণ) বা বিন্দু থেকে অপসৃত হচ্ছে বলে মনে হয় (উত্তল দর্পণ)। এই তলকে দর্পণটির ফোকাস তল (focal plane) বলে [চিত্র 9.3(c)]।

কোনো দর্পণের ফোকাস বিন্দু এবং মেরু P-এর মধ্যবর্তী দূরত্বকে দর্পণের ফোকাস দৈর্ঘ্য বলে, যাকে

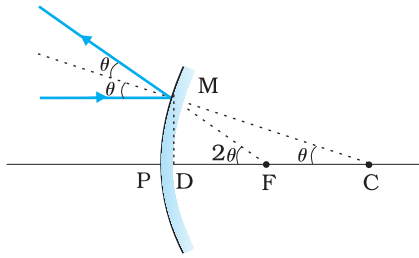


চিত্র 9.3 অবতল ও উত্তল দর্পণে ফোকাস বিন্দু

f দ্বারা প্রকাশ করা হয়। এখন আমরা দেখবো যে, $f = R/2$, যেখানে R দর্পণের বক্রতা ব্যাসার্ধ। একটি আপতিত রশ্মির প্রতিফলনের জ্যামিতিক রূপ 9.4 চিত্রে দেখানো হল।



(a)



(b)

ধরো C হল দর্পণের বক্রতা কেন্দ্র। ধরো নাও, প্রধান অক্ষের সমান্তরাল একটি রশ্মি দর্পণের M বিন্দুতে আপতিত হয়েছে। তখন CM দর্পণের উপর M বিন্দুতে লম্ব হবে।

ধরো আপতন কোণ θ এবং MD , M বিন্দু থেকে প্রধান অক্ষের উপর লম্ব। তখন,
 $\angle MCP = \theta$ এবং $\angle MFP = 2\theta$

এখন,

$$\tan \theta = \frac{MD}{CD} \text{ এবং } \tan 2\theta = \frac{MD}{FD} \quad (9.1)$$

সমান্বীয় রশ্মির ক্ষেত্রে θ ক্ষুদ্র হয় এবং $\tan \theta \approx \theta$, $\tan 2\theta \approx 2\theta$ । অতএব, (9.1) সমীকরণ থেকে পাই

$$\frac{MD}{FD} = 2 \frac{MD}{CD}$$

$$\text{বা, } FD = \frac{CD}{2} \quad (9.2)$$

এখন, θ ক্ষুদ্র হলে, D বিন্দু, P বিন্দুর খুব কাছাকাছি হবে। অতএব, $FD = f$ এবং $CD = R$ । তখন সমীকরণ (9.2) থেকে লেখা যায়

$$f = R/2 \quad (9.3)$$

চিত্র 9.4 (a) গোলীয় অবতল দর্পণ, এবং (b) গোলীয় উত্তল দর্পণের ক্ষেত্রে একটি আপতিত রশ্মির প্রতিফলনের জ্যামিতিকরূপ।

9.2.3 দর্পণের সমীকরণ (The mirror equation)

যদি কোনো বিন্দু থেকে নির্গত রশ্মিগুলো প্রতিফলন বা প্রতিসরণের পর অপর কোনো বিন্দুতে মিলিত হয়, তবে সেই বিন্দুটিকে প্রথম বিন্দুর প্রতিবিশ্ব বলে। যদি রশ্মিগুলো বস্তুত কোনো বিন্দুতে অভিসারী হয় তবে

রশ্মি আলোক বিজ্ঞান এবং আলোকীয় যন্ত্রাদি

প্রতিবিশ্ব হবে সদ (real); যদি রশ্মিগুলো মিলিত না হয়ে কোনো বিন্দু থেকে অপসৃত হচ্ছে বলে মনে হয়, তবে প্রতিবিশ্ব হবে অসদ (virtual)। কাজেই প্রতিবিশ্ব হল প্রতিফলন বা প্রতিসরণ দ্বারা সৃষ্ট কোনো বস্তুর বিন্দু থেকে বিন্দুর সদৃশতা।

নীতিগতভাবে, কোনো বস্তুর একটি বিন্দু থেকে নির্গত দুটি রশ্মি পথকে রেখাংকিত করে এদের ছেদবিন্দু নির্ণয়ের মাধ্যমেই গোলায় দর্পণে প্রতিফলন দ্বারা কোনো বিন্দুর প্রতিবিশ্ব পাওয়া যায়। যদিও ব্যবহারিক ক্ষেত্রে নিম্নের রশ্মিগুলোর মধ্যে যে-কোনো দুটিকে বেছে নেওয়াই সুবিধাজনক:

- কোনো বিন্দু থেকে নির্গত রশ্মি যা প্রধান অক্ষের সমান্তরাল, প্রতিফলিত রশ্মিটি দর্পণের ফোকাস দিয়ে গমন করে।
- রশ্মিটি অবতল দর্পণের বক্রতা কেন্দ্রগামী বা উত্তল দর্পণের বক্রতা কেন্দ্র দিয়ে যাচ্ছে বলে মনে হয়। তখন প্রতিফলিত রশ্মিটি একই পথে প্রত্যাবর্তন করে।

(iii) রশ্মিটি অবতল দর্পণের ফোকাস দিয়ে গমন করে (বা বিন্দুর অভিমুখী) বা উত্তল দর্পণের ফোকাস দিয়ে গমন করছে বলে (বা বিন্দুর অভিমুখী) মনে হয়। প্রতিফলিত রশ্মিটি প্রধান অক্ষের সমান্তরাল হয়।

(iv) রশ্মিটি যে-কোনো কোণে মেরুতে আপতিত হলে প্রতিফলিত রশ্মিটি প্রতিফলনের সূত্র মেনে চলে।

9.5 চিত্রে তিনটি রশ্মির রেখাচিত্র দেখানো হল। এখানে একটি অবতল দর্পণ দ্বারা AB বস্তুর A'B' প্রতিবিশ্ব (এইক্ষেত্রে, সদ) গঠিত হয়। এ কথার অর্থ এই নয় যে A বিন্দু থেকে শুধুমাত্র তিনটি রশ্মিই নির্গত হয়। যে-কোনো উৎস থেকে অসীম সংখ্যক রশ্মি সবদিকে নির্গত হয়। অতএব A বিন্দু থেকে উৎপন্ন প্রতিটি রশ্মি অবতল দর্পণে প্রতিফলনের পর A' বিন্দু দিয়ে গমন করলে A' হবে A বিন্দুর প্রতিবিশ্ব।

এখন আমরা দর্পণের সমীকরণ অর্থাৎ বস্তু দূরত্ব (u), প্রতিবিশ্ব দূরত্ব (v) এবং ফোকাস দৈর্ঘ্যের (f) মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করবো।

9.5 চিত্র অনুসারে, A'B'F এবং MPF সমকোণী ত্রিভুজ দুটি সদৃশ। (সমাক্ষীয় রশ্মির জন্য, MP কে সরলরেখা হিসেবে ধরে নেওয়া হল, যা CP-এর উপর লম্ব)। অতএব,

$$\frac{B'A'}{PM} = \frac{B'F}{FP}$$

$$\text{বা } \frac{B'A'}{BA} = \frac{B'F}{FP} \quad (\because PM = AB) \quad (9.4)$$

$\angle APB = \angle A'PB'$ হওয়ায় A'B'P এবং ABP সমকোণী ত্রিভুজদ্বয়ও সদৃশ। অতএব,

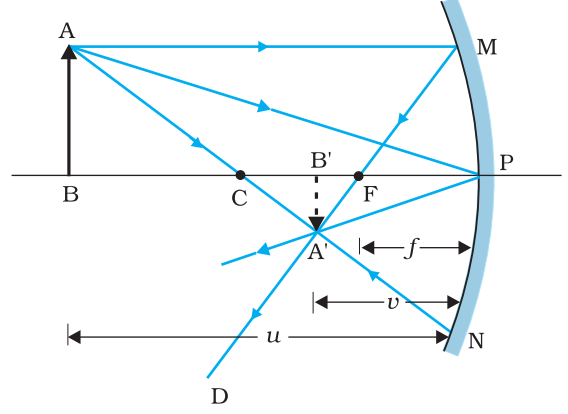
$$\frac{B'A'}{BA} = \frac{B'P}{BP} \quad (9.5)$$

(9.4) এবং (9.5) সমীকরণগুলো তুলনা করে পাই,

$$\frac{B'F}{FP} = \frac{B'P - FP}{FP} = \frac{B'P}{BP} \quad (9.6)$$

(9.6) সমীকরণটি হল দূরত্বগুলোর মধ্যে একটি সম্পর্ক। এখন আমরা চিহ্নের রীতি প্রয়োগ করবো। মনে রাখতে হবে যে, বস্তু থেকে নির্গত আলো MPN দর্পণটির দিকে যাচ্ছে। এজন্য এটিকে ধনাত্মক দিক ধরে নেওয়া হয়। মেরু P থেকে বস্তু AB, প্রতিবিশ্ব A'B' ও ফোকাস F-এ পৌঁছাতে আমাদের আপতিত রশ্মির বিপরীত দিকে যেতে হয়। অতএব তিনটিই ঋণাত্মক চিহ্নযুক্ত হবে। অতএব,

$$B'P = -v, FP = -f, BP = -u$$



চিত্র 9.5 অবতল দর্পণ দ্বারা প্রতিবিশ্ব গঠনের রশ্মি চিত্র।

(9.6) সমীকরণে মানগুলো বসিয়ে পাই,

$$\frac{-v+f}{-f} = \frac{-v}{-u}$$

বা, $\frac{v-f}{f} = \frac{v}{u}$

$$\frac{v}{f} = 1 + \frac{v}{u}$$

v দিয়ে ভাগ করে পাই,

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

(9.7)

এই সম্পর্কটি *দর্পণের সমীকরণ* নামে পরিচিত।

বস্তুর আকারের তুলনায় প্রতিবিশ্বের আকারের তুলনাকে একটি গুরুত্বপূর্ণ রাশি হিসেবে বিবেচনা করা হয়। রৈখিক বিবর্ধন (m)-কে আমরা প্রতিবিশ্ব উচ্চতা (h') এবং বস্তু উচ্চতা (h)-এর অনুপাতের দ্বারা সংজ্ঞায়িত করি :

$$m = \frac{h'}{h}$$

(9.8)

h এবং h' কে গৃহীত চিহ্নের রীতি অনুসারে ধনাত্মক বা ঋণাত্মক ধরা হবে। $A'B'P$ এবং ABP ত্রিভুজ থেকে আমরা পাই,

$$\frac{B'A'}{BA} = \frac{B'P}{BP}$$

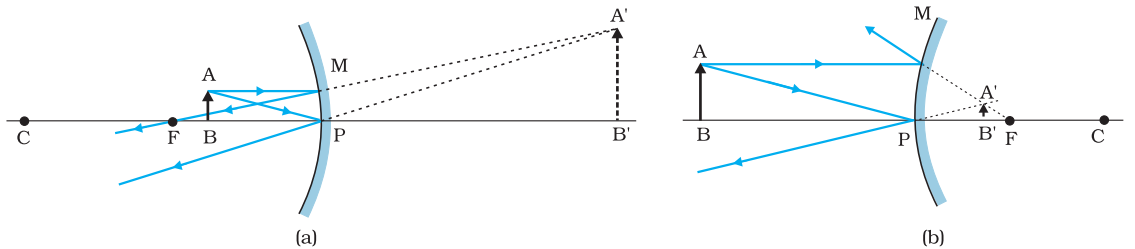
চিহ্নের রীতি অনুসারে এটি হবে, $\frac{-h'}{h} = \frac{-v}{-u}$

সুতরাং,

$$m = \frac{h'}{h} = -\frac{v}{u}$$

(9.9)

এক্ষেত্রে আমরা অবতল দর্পণ দ্বারা সদৃশ ও অবশীর্ষ প্রতিবিশ্ব গঠনের ক্ষেত্রে দর্পণের সমীকরণ (9.7) এবং বিবর্ধন সূত্র (9.9) প্রতিষ্ঠা করেছি। চিহ্নের রীতি যথাযথ প্রয়োগ করে দেখা যায়, প্রতিবিশ্ব সদৃশ বা অসদৃশ হোক না কেন যে-কোনো গোলীয় দর্পণে (অবতল বা উত্তল) প্রতিফলনের প্রতিটি ক্ষেত্রে এই সূত্রগুলো প্রযোজ্য। 9.6 চিত্রে একটি অবতল ও একটি উত্তল দর্পণের দ্বারা অসদৃশ প্রতিবিশ্বের গঠন রশ্মি চিত্রের সাহায্যে দেখানো হয়েছে। তোমাদের যাচাই করতে হবে যে, এসকল ক্ষেত্রেও (9.7) এবং (9.9) সমীকরণগুলো প্রযোজ্য হয় কিনা।



চিত্র 9.6 (a) বস্তুকে একটি অবতল দর্পণের P এবং F-এর মধ্যবর্তী অবস্থানে রেখে, এবং (b) একটি উত্তল দর্পণ দ্বারা প্রতিবিশ্ব গঠন।

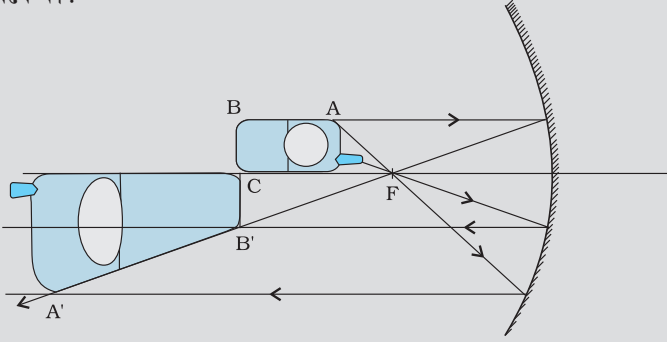
রশ্মি আলোক বিজ্ঞান এবং আলোকীয় যন্ত্রাদি

উদাহরণ 9.1 9.5 চিত্রে একটি অবতল দর্পণের প্রতিফলক তলটির নীচের অর্ধাংশ অস্বচ্ছ (প্রতিফলন হয় না) পদার্থ দ্বারা আবৃত রয়েছে। দর্পণটির সম্মুখে রাখা একটি বস্তুর প্রতিবিশ্বের উপর কী প্রভাব পড়বে?

সমাধান তুমি হয়তো বা ভাববে যে, এইক্ষেত্রে বস্তুর কেবলমাত্র অর্ধেক প্রতিবিশ্বই দেখা যাবে, কিন্তু প্রতিফলনের সূত্রাবলি দর্পণের অবশিষ্ট অংশের প্রতিটি বিন্দুর ক্ষেত্রেই সত্য হওয়াতে, সম্পূর্ণ বস্তুরই প্রতিবিশ্ব গঠিত হবে। যা হোক, প্রতিফলক তলের ক্ষেত্রফল কমে যাওয়াতে প্রতিবিশ্বের প্রাবল্য কমে যাবে (এক্ষেত্রে, অর্ধেক)।

উদাহরণ 9.1

উদাহরণ 9.2 9.7 চিত্র অনুযায়ী একটি মোবাইল ফোনকে একটি অবতল দর্পণের প্রধান অক্ষ বরাবর রাখা হয়েছে। উপযুক্ত চিত্রাঙ্কনের মাধ্যমে এর প্রতিবিশ্ব গঠন দেখাও। বিবর্ধনটি কেন সুস্বম হবে না, তা ব্যাখ্যা করো। দর্পণটির সাপেক্ষে ফোনের অবস্থানের উপর প্রতিবিশ্বের বিকৃতি নির্ভর করবে কী?



চিত্র 9.7

সমাধান

9.7 চিত্রে ফোনটির প্রতিবিশ্ব গঠনের রশ্মিচিত্র দেখানো হয়েছে। প্রধান অক্ষের উপর লম্ব তলটিতে বস্তু ও এর প্রতিবিশ্বটি সমতলীয় হয় এবং এক্ষেত্রে প্রতিবিশ্বটি সম আকৃতির হবে, অর্থাৎ $B'C = BC$ । প্রতিবিশ্বটি কেন বিকৃত হল, তা তুমি নিজে থেকেই অনুভব করার চেষ্টা করো।

উদাহরণ 9.2

উদাহরণ 9.3 15 cm বক্রতা ব্যাসার্ধের একটি অবতল দর্পণের সামনে যথাক্রমে (i) 10 cm, (ii) 5 cm দূরত্বে একটি বস্তু বসানো হল। প্রতিক্ষেত্রে প্রতিবিশ্বের অবস্থান, প্রকৃতি এবং বিবর্ধন নির্ণয় করো।

সমাধান

ফোকাস দৈর্ঘ্য $f = -15/2 \text{ cm} = -7.5 \text{ cm}$

(i) বস্তু দূরত্ব $u = -10 \text{ cm}$ । (9.7) সমীকরণ অনুসারে,

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{-10} = \frac{1}{-7.5}$$

$$\text{বা, } v = \frac{10 \times 7.5}{-2.5} = -30 \text{ cm}$$

প্রতিবিশ্বটি বস্তুর একই পাশে দর্পণ থেকে 30 cm দূরে গঠিত হয়।

$$\text{এছাড়া, বিবর্ধন } m = -\frac{v}{u} = -\frac{(-30)}{(-10)} = -3$$

প্রতিবিশ্বটি বিবর্ধিত, সদ এবং অবশীর্ষ।

উদাহরণ 9.3

(ii) বস্তু দূরত্ব $u = -5 \text{ cm}$ । (9.7) সমীকরণ অনুসারে,

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{-5} = \frac{1}{-7.5}$$

$$\text{বা, } v = \frac{5 \times 7.5}{(7.5 - 5)} = 15 \text{ cm}$$

প্রতিবিম্বটি দর্পণের পেছনে 15 cm দূরে গঠিত হয়। এটি অসদ প্রতিবিম্ব।

$$\text{বিবর্ধন } m = -\frac{v}{u} = -\frac{15}{(-5)} = 3$$

প্রতিবিম্বটি বিবর্ধিত, অসদ এবং সমশীর্ষ।

উদাহরণ 9.4 একটি পার্ক করা (parked) গাড়িতে বসে থাকা অবস্থায়, $R = 2 \text{ m}$ বক্রতা ব্যাসার্ধের পশ্চাতদর্শী (rear view) দর্পণের মাধ্যমে তুমি দেখতে পেলে যে, একজন জগার (Jogger) তোমার দিকে এগিয়ে আসছে। যদি উক্ত জগার 5 m s^{-1} দ্রুতিতে দৌড়াতে থাকে, জগারের প্রতিবিম্ব কত দ্রুতিতে অগ্রসর হচ্ছে বলে মনে হবে, যখন ওই জগার দর্পণ থেকে (a) 39 m, (b) 29 m, (c) 19 m, এবং (d) 9 m দূরে থাকে?

সমাধান

(9.7) সমীকরণ থেকে, আমরা পাই

$$v = \frac{fu}{u - f}$$

উত্তল দর্পণের, $R = 2 \text{ m}$, $f = 1 \text{ m}$ ।

$$u = -39 \text{ m এর জন্য, } v = \frac{(-39) \times 1}{-39 - 1} = \frac{39}{40} \text{ m}$$

জগারের 5 m s^{-1} দ্রুতিতে দৌড়াবার ক্ষেত্রে 1 s পর প্রতিবিম্বের অবস্থান v ($u = -39 + 5 = -34$ এর জন্য) হয় $(34/35) \text{ m}$ ।

1 s-এ প্রতিবিম্বের অবস্থানের সরণ হয়

$$\frac{39}{40} - \frac{34}{35} = \frac{1365 - 1360}{1400} = \frac{5}{1400} = \frac{1}{280} \text{ m}$$

অতএব, যখন জগার দর্পণ থেকে 39 m এবং 34 m-এর মধ্যে থাকে, তখন প্রতিবিম্বের গড় দ্রুতি $(1/280) \text{ m s}^{-1}$ ।

একইভাবে, $u = -29 \text{ m}$, -19 m এবং -9 m -এর ক্ষেত্রে প্রতিবিম্বটি যথাক্রমে $\frac{1}{150} \text{ m s}^{-1}$,

$\frac{1}{60} \text{ m s}^{-1}$ এবং $\frac{1}{10} \text{ m s}^{-1}$ দ্রুতি নিয়ে গতিশীল হচ্ছে বলে মনে হবে।

জগার সমদ্রুতি নিয়ে গতিশীল হলেও, সে দর্পণটির যত কাছাকাছি যেতে থাকবে, তার প্রতিবিম্বের দ্রুতি ক্রমানুসারে বাড়তে থাকবে বলে মনে হবে। একটি স্থির গাড়ি বা বাসে বসে থাকা যে-কোনো ব্যক্তি এই ঘটনাটি লক্ষ করবে। গতিশীল যানবাহনের ক্ষেত্রে, পেছনের যানবাহনটি যদি সমদ্রুতি নিয়ে অগ্রসর হতে থাকে, তবে একইরকম ঘটনা দেখা যাবে।

9.3 প্রতিসরণ (REFRACTION)

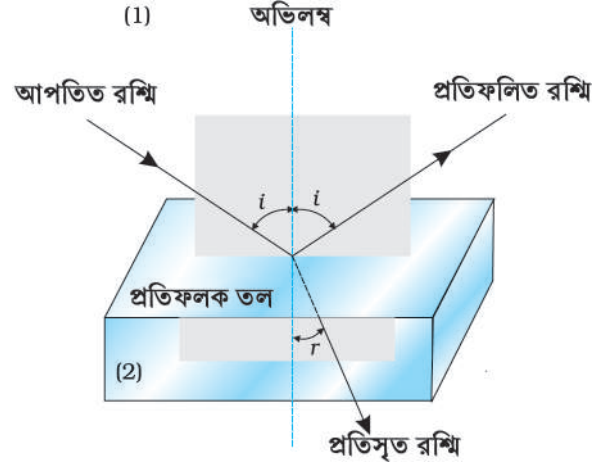
যখন একগুচ্ছ আলোকরশ্মি অন্য একটি স্বচ্ছ মাধ্যমে আপতিত হয়, তখন এর একাংশ প্রতিফলিত হয়ে প্রথম মাধ্যমে ফিরে আসে এবং অবশিষ্টাংশ দ্বিতীয় মাধ্যমে প্রবেশ করে। একটি আলোকরশ্মি একগুচ্ছ

রশ্মি আলোক বিজ্ঞান এবং আলোকীয় যন্ত্রাদি

আলোকরশ্মিকে সূচিত করে। দুটি মাধ্যমের বিভেদতলে তির্যকভাবে আপতিত হওয়া আলোক রশ্মি ($0^\circ < i < 90^\circ$) অভিমুখ পরিবর্তন করে অপর মাধ্যমটিতে প্রবেশ করে। এই ঘটনাকে আলোকের প্রতিসরণ বলে। স্নেল পরীক্ষামূলকভাবে নিম্নলিখিত প্রতিসরণের সূত্রগুলো পেয়েছিলেন:

- আপতিত রশ্মি, প্রতিসৃত রশ্মি এবং আপতন বিন্দুতে দুই মাধ্যমের বিভেদতলের উপর অভিলম্ব একই সমতলে অবস্থান করে।
- আপতন কোণের সাইন ও প্রতিসরণ কোণের সাইনের অনুপাত ধ্রুবক হয়। মনে রাখতে হবে যে, আপতিত রশ্মি ও প্রতিসৃত রশ্মি অভিলম্বের সঙ্গে যথাক্রমে আপতন কোণ ও প্রতিসরণ কোণ উৎপন্ন করে। আমরা পাই,

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n_{21} \quad (9.10)$$



চিত্র 9.8 আলোর প্রতিসরণ এবং প্রতিফলন

যেখানে n_{21} একটি ধ্রুবক, যাকে প্রথম মাধ্যমের সাপেক্ষে দ্বিতীয় মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক (refractive index) বলে। (9.10) সমীকরণটি প্রতিসরণ সম্পর্কিত স্নেলের সূত্র (Snell's law) নামে অতি পরিচিত। আমরা লক্ষ্য করবো যে, n_{21} মাধ্যমদ্বয়ের বৈশিষ্ট্যবাহী (এবং আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের উপরও নির্ভর করে), কিন্তু আপতন কোণের উপর নির্ভর করে না।

(9.10) সমীকরণ অনুসারে $n_{21} > 1$ হলে $r < i$, অর্থাৎ প্রতিসৃত রশ্মিটি অভিলম্বের দিকে বেঁকে যায়। এক্ষেত্রে 1 নং মাধ্যমের চেয়ে 2 নং মাধ্যমকে আলোকীয় ঘনতর (optically denser) মাধ্যম বলা হয় (বা সংক্ষেপে ঘনতর)। অপরপক্ষে, $n_{21} < 1$ হলে $r > i$ হয়, অর্থাৎ প্রতিসৃত রশ্মিটি অভিলম্ব থেকে দূরে সরে যায়। এক্ষেত্রে আপতিত রশ্মি ঘনতর মাধ্যম থেকে লঘুতর মাধ্যমে প্রতিসৃত হয়।

দ্রষ্টব্য : আলোকীয় ঘনত্বকে ভর ঘনত্বের (একক আয়তনের ভর) সাথে গুলিয়ে ফেলা ঠিক হবে না। কোনো একটি আলোকীয় ঘন মাধ্যমের ভর ঘনত্ব অপর একটি আলোকীয় লঘু মাধ্যম অপেক্ষা কমও হতে পারে (আলোকীয় ঘনত্ব হল দুটি মাধ্যমের আলোকের গতিবেগের অনুপাত)। উদাহরণস্বরূপ, তার্পিন তেল এবং জল; তার্পিন তেলের ভর ঘনত্ব জলের চেয়ে কম হলেও এর আলোকীয় ঘনত্ব বেশি হয়।

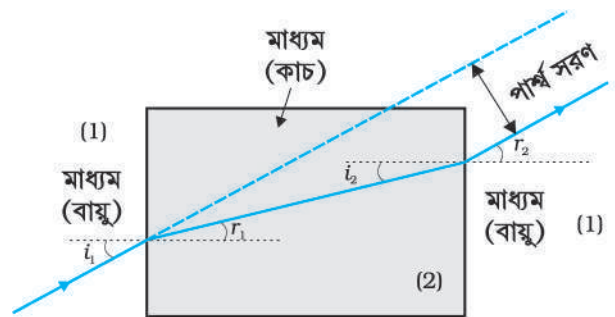
যদি মাধ্যম-1 এর সাপেক্ষে মাধ্যম-2 এর প্রতিসরাঙ্ক n_{21} এবং মাধ্যম-2 এর সাপেক্ষে মাধ্যম-1 এর প্রতিসরাঙ্ক n_{12} হয়, তবে স্পষ্টতই

$$n_{12} = \frac{1}{n_{21}} \quad (9.11)$$

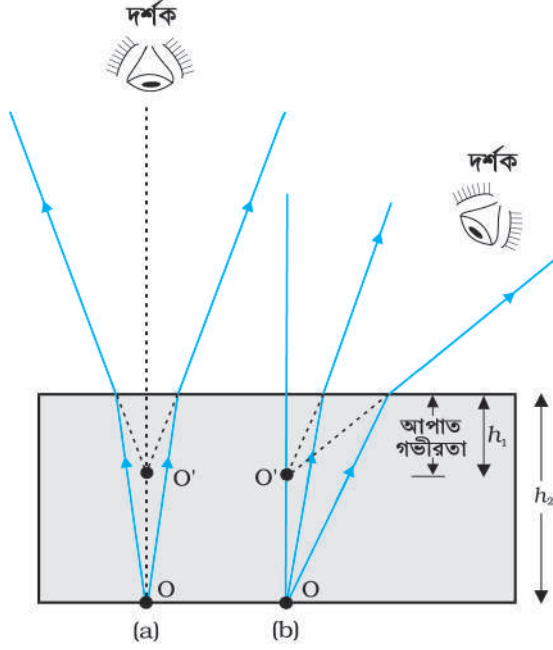
এটাও দেখানো যায় যে, মাধ্যম-2 এর সাপেক্ষে মাধ্যম-3 এর প্রতিসরাঙ্ক n_{32} হয় তবে স্পষ্টতই $n_{32} = n_{31} \times n_{12}$, যেখানে n_{31} হল মাধ্যম-1 এর সাপেক্ষে মাধ্যম-3 এর প্রতিসরাঙ্ক।

প্রতিসরণের সূত্র থেকে কিছু প্রাথমিক ফলাফল খুব সহজেই পাওয়া যায়। একটি আয়তাকার ফলকের দুটি বিভেদতলে (interfaces) (বায়ু-কাচ এবং কাচ-বায়ু) আলোর প্রতিসরণ ঘটে।

9.9 চিত্র থেকে সহজেই দেখা যায় যে, $r_2 = i_1$, অর্থাৎ নির্গমন রশ্মি আপতিত রশ্মির সমান্তরাল হয়।



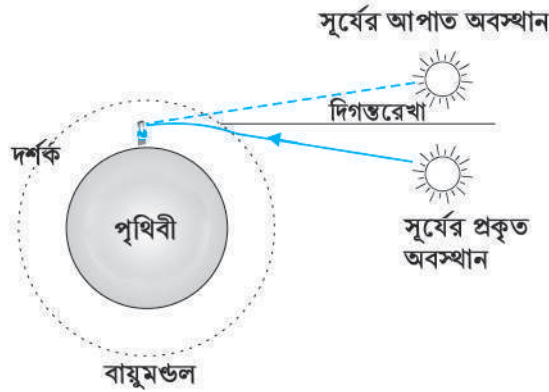
চিত্র 9.9 সমান্তরাল পার্শ্বযুক্ত একটি ফলকের মধ্য দিয়ে প্রতিসৃত রশ্মির পার্শ্বসরণ।



চিত্র 9.10 (a) অভিলম্বভাবে দেখার ক্ষেত্রে, এবং (b) তির্যকভাবে দেখার ক্ষেত্রে আপাত গভীরতা।

এক্ষেত্রে রশ্মির কোনো বিচ্যুতি না ঘটলেও আপতিত রশ্মির সাপেক্ষে নিগম রশ্মিটির পার্শ্বীয় সরণ ঘটে। অনুবৃত্ত আর একটি পরিচিত পর্যবেক্ষণ হল, একটি জলপূর্ণ জলাধারের তলদেশ কিছুটা উপরে উঠে এসেছে বলে মনে হয় (চিত্র 9.10)। অভিলম্বের কাছ থেকে দেখার ক্ষেত্রে এটা দেখানো যেতে পারে যে প্রকৃত গভীরতা (h_2) কে মাধ্যমের (জল) প্রতিসরাঙ্ক দিয়ে ভাগ করলে আপাত গভীরতা (h_1) পাওয়া যায়।

বায়ুমণ্ডলের মধ্য দিয়ে আলোর প্রতিসরণের ফলে অনেকগুলো চিত্তাকর্ষক ঘটনাই ঘটে। উদাহরণস্বরূপ, বায়ুমণ্ডলের মধ্য দিয়ে আলোর প্রতিসরণের জন্য প্রকৃত সূর্যোদয়ের পূর্বেই এবং প্রকৃত সূর্যাস্তের কিছু পরেও সূর্যকে দেখা যায় (চিত্র 9.11)। প্রকৃত সূর্যোদয় বলতে আমরা বুঝি সূর্যের দিগন্তরেখাকে অতিক্রম করা। 9.11 চিত্রে দিগন্তরেখার সাপেক্ষে সূর্যের প্রকৃত ও আপাত অবস্থান দেখানো হয়েছে। ঘটনাটিকে চিত্রে সুস্পষ্টভাবে দেখানো হয়েছে। শূন্য মাধ্যমের সাপেক্ষে বায়ুর প্রতিসরাঙ্ক 1.00029। এ কারণে সূর্যের অভিমুখের আপাত সরণ প্রায় $(1/2)^0$ হয় এবং এর সংশ্লিষ্ট প্রকৃত সূর্যাস্ত ও আপাত সূর্যাস্তের মধ্যে প্রায় 2 মিনিটের পার্থক্য হয় (উদাহরণ 9.5 দেখো)। একই কারণে সূর্যোদয় ও সূর্যাস্তের সময় সূর্যকে আপাত দৃষ্টিতে কিছুটা চ্যাপ্টা (ডিম্বাকার) বলে মনে হয়।



চিত্র 9.11 বায়ুমণ্ডলে প্রতিসরণের জন্য অগ্রিম সূর্যোদয় এবং বিলম্বিত সূর্যাস্ত।

উদাহরণ 9.5 পৃথিবী নিজ অক্ষের সাপেক্ষে একবার ঘুরতে 24 ঘণ্টা সময় নেয়। পৃথিবী থেকে সূর্যকে দেখলে, সূর্যের 1° সরণের জন্য কত সময় লাগবে?

সমাধান

360° সরণের জন্য সময় লাগে = 24 ঘণ্টা।

1° সরণের জন্য সময় লাগে = $24/360$ ঘণ্টা = 4 মিনিট।

রশ্মি আলোক বিজ্ঞান এবং আলোকীয় যন্ত্রাদি

ডুবন্ত শিশু, জীবনরক্ষী এবং স্নেলের সূত্র

এখানে চিত্রে প্রদর্শিত PQSR একটি আয়তাকার সুইমিং পুলের কথা বিবেচনা করা হল। পুলের বাইরে G বিন্দুতে বসে থাকা একজন জীবনরক্ষী, সুইমিং পুলের C বিন্দুতে ডুবন্ত এক শিশুকে দেখতে পেল। রক্ষীটি যথাসম্ভব ন্যূনতম সময়ে শিশুটির কাছে পৌঁছতে চাইল। ধরো, G এবং C বিন্দুর মধ্যে পুলের ধারটি হল SR। তাকে G এবং C-এর সংযোজক সরলরৈখিক পথ GAC দিয়ে অথবা GBC পথ বরাবর, যেখানে জলের মধ্যে ন্যূনতম দৈর্ঘ্যের পথটি হল BC বা অন্য কোনো পথ GXC দিয়ে যেতে হবে। রক্ষীর জানা আছে যে, ভূমিতে তার দৌড়ানোর বেগ v_1 , জলে সাঁতারের বেগ v_2 অপেক্ষা অধিক।

ধরে নাও, রক্ষী X বিন্দু দিয়ে জলে প্রবেশ করল। ধরো, $GX = l_1$ এবং $XC = l_2$ । অতএব, G থেকে C বিন্দুতে পৌঁছতে তার সময় লাগবে,

$$t = \frac{l_1}{v_1} + \frac{l_2}{v_2}$$

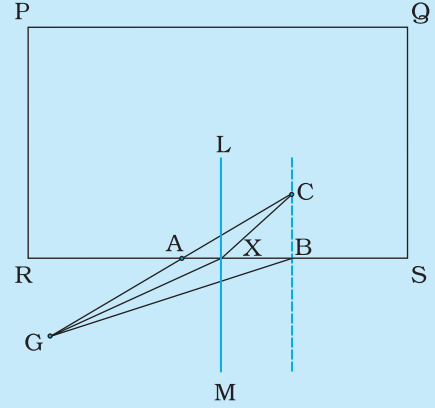
এই সময়টি ন্যূনতম করার জন্য এটিকে (X-স্থানাংকের সাপেক্ষে)

অবকলন করতে হবে এবং t-এর ন্যূনতম মানের জন্য X বিন্দুটি নির্ণয় করতে হবে। এইসব বীজগাণিতিক পদ্ধতি প্রয়োগ করার পর (যা এখানে দেখানো হয়নি), আমরা দেখতে পাই যে, রক্ষীকে সেই বিন্দু দিয়েই জলে প্রবেশ করা উচিত যেখানে স্নেলের সূত্রটি সিদ্ধ হয়। এটি বোঝার জন্য, SR বাহুর উপর X বিন্দুতে LM লম্ব অংকন করো। ধরো, $\angle GXM = i$ এবং $\angle CXL = r$ । এক্ষেত্রে দেখা যায় যে, t ন্যূনতম হবে যখন,

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2}$$

আলোর ক্ষেত্রে v_1/v_2 অর্থাৎ শূন্য মাধ্যমে আলোর গতিবেগ ও অন্য কোনো মাধ্যমে আলোর গতিবেগের অনুপাত হল মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক n।

সংক্ষেপে বলা যায়, তরঙ্গ বা কণা বা মানুষ যে-কোনো ক্ষেত্রে যখনই দুটি মাধ্যম এবং দুটি বেগ সংশ্লিষ্ট থাকে, তখন কেউ যদি ন্যূনতম সময় নিতে চায়, তাকে অবশ্যই স্নেলের সূত্র অনুসরণ করতে হবে।

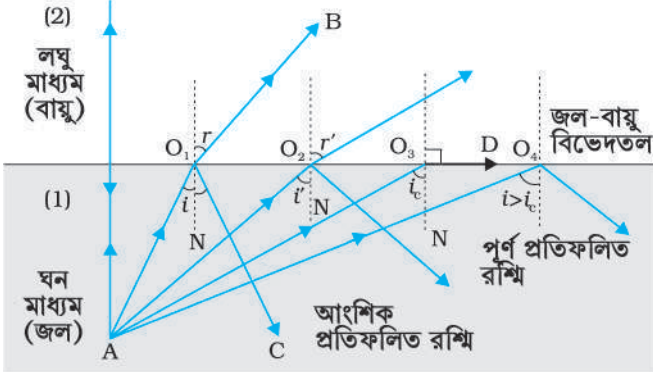


9.4 অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন (TOTAL INTERNAL REFLECTION)

যখন আলো আলোকীয় ঘন মাধ্যম থেকে আলোকীয় লঘু মাধ্যমে গমন করে, তখন দুটি মাধ্যমের বিভেদতলে আলো আংশিকভাবে প্রথম মাধ্যমে প্রতিফলিত হয় এবং আংশিকভাবে দ্বিতীয় মাধ্যমে প্রতিসৃত হয়। এই প্রতিফলনকে *অভ্যন্তরীণ প্রতিফলন* বলে।

যখন আলোকরশ্মি ঘন মাধ্যম থেকে লঘু মাধ্যমে প্রবেশ করে, রশ্মি তখন বেঁকে অভিলম্ব থেকে দূরে সরে যায়, উদাহরণস্বরূপ, 9.12 চিত্রে রশ্মি AO_1B । আপতিত রশ্মি AO_1 আংশিক প্রতিফলিত (O_1C) এবং আংশিক সঞ্চারিত বা প্রতিসৃত (O_1B) হয়। এইক্ষেত্রে প্রতিসরণ কোণ (r) আপতন কোণ (i) অপেক্ষা বড়ো হয়। আপতন কোণ বৃদ্ধির সাথে সাথে প্রতিসরণ কোণও বৃদ্ধি পায়, যতক্ষণ পর্যন্ত না AO_3 রশ্মির জন্য প্রতিসরণ কোণ $\pi/2$ হচ্ছে। তখন প্রতিসৃত রশ্মিটি বেঁকে অভিলম্ব থেকে এতোটাই দূরে সরে যায় যে, তা দুই মাধ্যমের বিভেদতল ঘেষে যায়। 9.12 চিত্রে AO_3D রশ্মি দ্বারা এটি দেখানো হয়েছে।

পদার্থবিদ্যা



চিত্র 9.12 ঘনমাধ্যমে (জল) একটি বিন্দু A থেকে, ঘন এবং লঘু মাধ্যমের (বায়ু) বিভেদতলের উপর বিভিন্ন কোণে আপতনের জন্য আলোর প্রতিসরণ এবং অভ্যন্তরীণ প্রতিফলন।

যদি আপতন কোণ আরও বৃদ্ধি করা হয় (যেমন AO_4 রশ্মি), তখন প্রতিসরণ সম্ভব হয় না। এক্ষেত্রে আপতিত রশ্মি সম্পূর্ণভাবে প্রতিফলিত হয়। এ ঘটনাকে অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন বলে। যখন আলো কোনো তল থেকে প্রতিফলিত হয়, সাধারণত এর কিছুটা অংশ প্রতিসৃত হয়। প্রতিফলক তলটি যতই মসৃণ হোক না কেন, প্রতিফলিত রশ্মির প্রাবল্য সততই আপতিত রশ্মির প্রাবল্য অপেক্ষা কম হয়। অপরদিকে, অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলনের ক্ষেত্রে আলোর কোনো প্রতিসরণ হয় না।

যে আপতন কোণের জন্য প্রতিসরণ কোণ 90° হয়, অর্থাৎ $\angle AO_3N$, এই আপতন কোণকে (i_c) প্রদত্ত মাধ্যম যুগলের সংকট কোণ বলে। স্নেলের সূত্র (সমীকরণ 9.10) থেকে আমরা দেখতে পাই যে, যদি আপেক্ষিক প্রতিসরাঙ্ক 1 অপেক্ষা কম হয় (যেহেতু $\sin r$ -এর সর্বোচ্চ মান 1) তবে $\sin i$ -এর

একটি উর্ধ্বসীমা থাকবে, যার ফলে এই সূত্রটি সিদ্ধ হতে পারে, অর্থাৎ $i = i_c$ । এক্ষেত্রে,

$$\sin i_c = n_{21} \quad (9.12)$$

i_c অপেক্ষা বৃহত্তর i -এর মানের জন্য স্নেলের প্রতিসরণের সূত্রটি খাটে না এবং তাই কোনো প্রতিসরণ সম্ভব হয় না।

লঘু মাধ্যম 2-এর সাপেক্ষে ঘন মাধ্যম 1-এর প্রতিসরাঙ্ক, $n_{12} = 1/\sin i_c$ । 9.1 সারণিতে বিশেষ কিছু সংকট কোণের মান লিপিবদ্ধ করা হল :

সারণি 9.1 বায়ুর সাপেক্ষে কিছু স্বচ্ছ মাধ্যমের সংকট কোণ

মাধ্যমের উপাদান	প্রতিসরাঙ্ক	সংকট কোণ
জল	1.33	48.75
ক্রাউন কাঁচ	1.52	41.14
আলোকীয় ফ্লিন্ট কাঁচ	1.62	37.31
হীরক	2.42	24.41

অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলনের একটি প্রদর্শন (A demonstration for total internal reflection)

একটি লেজার টর্চ বা পয়েন্টার (যা আজকাল সহজলভ্য) ব্যবহারের মাধ্যমে সব আলোকীয় ঘটনাই অতি সহজে প্রদর্শন করা যেতে পারে। পরিষ্কার জলসহ একটি কাচের বিকার নাও। কয়েক ফোঁটা দুধ বা অন্য যে-কোনো প্রলম্বন জলে ঢেলে দিয়ে এমনভাবে আলোড়িত করা হল যেন জল কিছুটা ঘোলাটে হয়। একটি লেজার পয়েন্টার নাও এবং ঘোলাটে জলের মধ্য দিয়ে এর রশ্মিগুচ্ছকে পাঠাও। তুমি দেখবে যে, জলের অভ্যন্তরস্থ আলোক রশ্মির পথটি চক্চকে উজ্জ্বল।

বিকারের তলদেশ দিয়ে রশ্মিগুচ্ছকে এমনভাবে পাঠাও যেন অন্যপ্রান্তে জলের উপরিতলে আপতিত হয়। এক্ষেত্রে, রশ্মির আংশিক প্রতিফলন (যার জন্য নীচের টেবিলে একটি আলোক বিন্দু দেখা যাচ্ছে) এবং আংশিক প্রতিসরণ [যার জন্য বায়ুতে বেরিয়ে আসা আলো, ছাদে একটি আলোক বিন্দু হিসাবে দেখা যাচ্ছে; চিত্র 9.13(a)] হচ্ছে, তা কী তুমি দেখতে পাচ্ছ? এখন বিকারের একপাশ দিয়ে লেজার রশ্মিগুলোকে

রশ্মি আলোক বিজ্ঞান এবং আলোকীয় যন্ত্রাদি

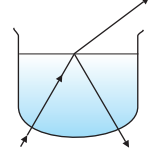
সরাসরি এমনভাবে পাঠাতে হবে যাতে জলের উপরিতলে অধিকতর তীর্যকভাবে আপতিত হয় [চিত্র 9.13(b)]। এখন লেজার রশ্মিগুচ্ছের অভিমুখ এমনভাবে পরিবর্তন করো, যতক্ষণ পর্যন্ত না তুমি এমন একটি আপতন কোণ পাচ্ছে যাঁর জন্যে জলতলের উপরে কোনো প্রতিসরণ হয় না এবং রশ্মিগুচ্ছ পূর্ণ প্রতিফলিত হয়ে জলে ফিরে আসে। এটিই সবচেয়ে সহজ অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলনের ঘটনা।

এই জলকে একটি লম্বা টেষ্ট টিউবে ঢালো এবং 9.13(c) চিত্রের মতো উপর থেকে লেজার রশ্মিগুচ্ছ পাঠাও। লেজার রশ্মিগুচ্ছের অভিমুখ পরিবর্তন করো যাতে একটি নির্দিষ্ট অভিমুখের জন্যে টিউবের দেওয়ালে আপতনে প্রতিবারই রশ্মির অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন ঘটে। আলোকীয় তন্তুতে যেমনটা ঘটে এটি তার অনুরূপ।

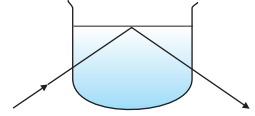
কখনো লেজার রশ্মিগুচ্ছকে সরাসরি দেখবে না এবং কারো মুখে ফেলবে না, এই বিষয় যত্নবান থাকবে।

9.4.1 প্রকৃতিতে অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন এবং তার প্রযুক্তিগত প্রয়োগসমূহ (Total internal reflection in nature and its technological applications)

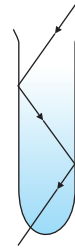
(i) মরীচিকা (Mirage) : প্রখর গ্রীষ্মের দিনে, উপরের বায়ু স্তরগুলো অপেক্ষা ভূপৃষ্ঠের নিকটবর্তী বায়ুস্তরগুলো অধিকতর উষ্ণ হয়। ঘনত্বের সাথে বায়ুর প্রতিসরাঙ্ক বৃদ্ধি পায়। উষ্ণ বায়ু কম ঘনত্ব যুক্ত এবং ইহা শীতলতর বায়ু অপেক্ষা কম প্রতিসরাঙ্ক বিশিষ্ট। যদি বায়ু প্রবাহ কম হয়, অর্থাৎ বায়ু স্থির থাকে, বায়ুর বিভিন্ন স্তরের আলোকীয় ঘনত্ব উচ্চতর সাথে বৃদ্ধি পায়। ফলস্বরূপ, গাছের মতো সুদীর্ঘ বস্তু থেকে আলো, ক্রমক্রমে প্রতিসরাঙ্ক বিশিষ্ট বায়ু মাধ্যমের মধ্য দিয়ে ভূমির দিকে গমন করে। অতএব, এইরূপ কোনো বস্তু থেকে আগত আলোকরশ্মি অভিলম্ব থেকে বারবার বেঁকে দূরে সরতে থাকে। যদি ভূপৃষ্ঠের নিকটবর্তী বায়ুতে আপতন কোণ সংকট কোণ অপেক্ষা বেশি হয়, তখন অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন ঘটে। 9.14(b) চিত্রে এটি দেখানো হল। দূরবর্তী কোনো দর্শকের নিকট এই আলো ভূপৃষ্ঠের নীচের কোনো বিন্দু থেকে আসছে বলে মনে হবে। স্বাভাবিকভাবেই দর্শক মনে করে যে, কোনো সুদীর্ঘ বস্তুর নিকটবর্তী জলাশয়ের মতো ভূমি থেকে আলো প্রতিফলিত হচ্ছে। দূরবর্তী স্থানে থাকা দীর্ঘ বস্তুর এইরূপ উল্টো প্রতিবিম্ব দর্শকের দৃষ্টিভ্রম সৃষ্টি করে। এই ঘটনাকে মরীচিকা বলে। বিশেষ করে উষ্ণ মরুভূমিতে এই ধরনের মরীচিকা একটি স্বাভাবিক ঘটনা। তোমাদের কেউ কেউ হয়তো লক্ষ করেছে, উত্তপ্ত গ্রীষ্মের দিনে পিচের তৈরি বিস্তীর্ণ রাস্তায়, বিশেষত জাতীয় সড়কে, বাস বা



(a)

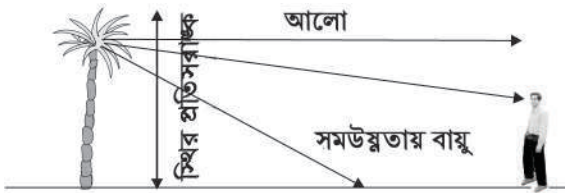


(b)

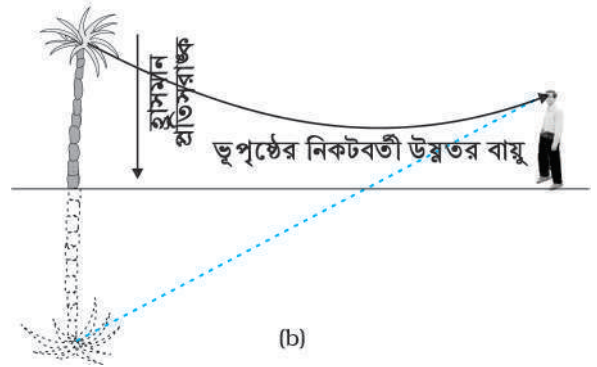


(c)

চিত্র 9.13 লেজার রশ্মিগুচ্ছের সাহায্যে জলে অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলনের পর্যবেক্ষণ (বিকারের কাচ খুব পাতলা হওয়ার জন্য এর দ্বারা প্রতিসরণকে অগ্রাহ্য করা হল)।

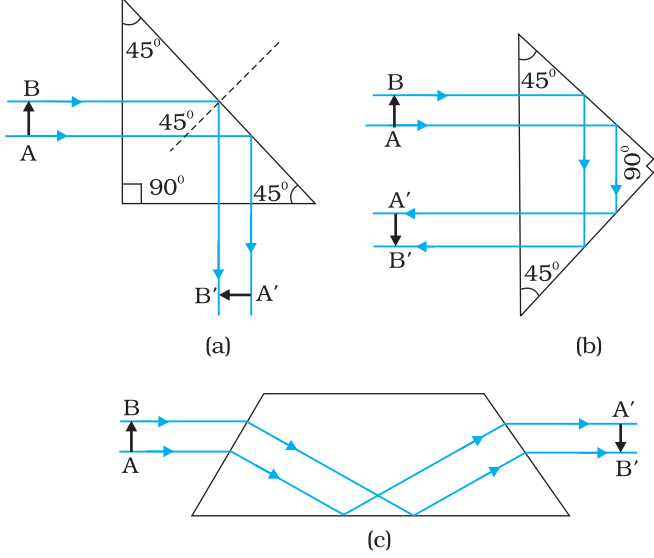


(a)



(b)

চিত্র 9.14 (a) ভূপৃষ্ঠের উপরের বায়ু সমউষ্ণতায় থাকলে কোনো দর্শক একটি গাছকে এর অবস্থানে যেমন দেখে, (b) যখন ভূপৃষ্ঠ সংলগ্ন উষ্ণতর বায়ুস্তরগুলোর সাথে ভূপৃষ্ঠের কাছাকাছি বায়ুস্তরগুলোর উষ্ণতা পরিবর্তনশীল, দূরবর্তী কোনো গাছ থেকে আগত আলোর পূর্ণ প্রতিফলন ঘটতে পারে এবং পর্যবেক্ষকের নিকট গাছটির আপাত প্রতিবিম্ব, গাছটি জলাশয়ের কাছাকাছি আছে এমন দৃষ্টিভ্রমের সৃষ্টি করতে পারে।



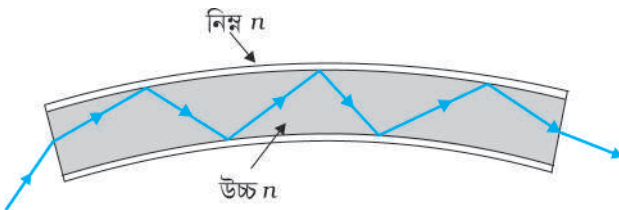
চিত্র 9.15 রশ্মির 90° এবং 180° কোণে বিচ্যুতির জন্য অথবা অপরিবর্তিত আকারের অবশীর্ষ প্রতিবিন্দু পাওয়ার জন্য বিশেষভাবে প্রস্তুত করা প্রিজমে আলোর অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলনের ঘটনাটি ব্যবহার করা হয়।

কোনো গাড়িতে করে চলার সময় রাস্তাকে ভিজা বলে মনে হয়। কিন্তু, যখন তুমি ওই জায়গায় পৌঁছাও, তখন ভিজা রাস্তার কোনো নিদর্শন পাওয়া যায় না। এটাও মরীচিকার জন্যে ঘটছে।
(ii) হীরক (Diamond): চমকপ্রদ উজ্জ্বল্যের জন্য হীরক পরিচিত। হীরকের ভিতরে আলোর অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলনই মূলত এর উজ্জ্বলতার কারণ। হীরক-বায়ু বিভেদেতে সংকট কোণ ($\approx 24.4^\circ$) খুবই ক্ষুদ্র। তাই আলোক যখন হীরকে প্রবেশ করে তখন এর ভিতরে অধিকাংশ ক্ষেত্রেই আলোর অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন ঘটে। প্রকৃতিতে প্রাপ্ত হীরক কদাচিতই এর সর্বজন বিদিত উজ্জ্বলতা প্রদর্শন করে। হীরক কাটার কারিগরদের প্রযুক্তিগত দক্ষতাই হীরকের উজ্জ্বল জ্যোতির মূল চাবিকাঠি। হীরক খণ্ডকে উপযুক্তভাবে কেটে এর ভিতরে আলোর পুনঃপুনঃ অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন ঘটানো যায়।

(iii) প্রিজম (Prism): আলোর 90° বা 180° বিচ্যুতির জন্য বিশেষভাবে প্রস্তুত করা (designed) প্রিজমে অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলনের ঘটনাটি ব্যবহার করা হয় [চিত্র 9.15(a) এবং (b)]। আকার অপরিবর্তিত রেখে অবশীর্ষ প্রতিবিন্দু পাওয়ার ক্ষেত্রেও এইরূপ প্রিজম ব্যবহার করা হয় [চিত্র 9.15(c)]।

প্রথম দুটি ক্ষেত্রে, প্রিজমের উপাদানের সংকট কোণ অবশ্যই 45° অপেক্ষা কম হতে হবে। সারণি 9.1 থেকে আমরা দেখি যে, ক্রাউন কাচ এবং আলোকীয় ঘন ফ্লিন্ট কাচ উভয়ের ক্ষেত্রেই এটি সত্য।

(iv) আলোকীয় তন্তু (Optical fibres): অডিও এবং ভিডিও সংকেত বহুদূর পর্যন্ত প্রেরণ করার জন্য আজকাল আলোকীয় তন্তু ব্যাপকভাবে ব্যবহৃত হয়। আলোকীয় তন্তুতেও অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলনের ঘটনাটি ব্যবহার করা হয়। উন্নতমানের বিমিশ্রিত কাঁচ/কোয়ার্টজ তন্তু দ্বারা আলোকীয় তন্তু তৈরি করা হয়। প্রতিটি তন্তু একটি মজ্জা (core) এবং আবরণ (cladding) দিয়ে গঠিত। মজ্জার উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক আবরণের উপাদানের প্রতিসরাঙ্কের তুলনায় অপেক্ষাকৃত বেশি হয়।



চিত্র 9.16 আলো আলোকীয় তন্তুর মধ্য দিয়ে গমনে পরপর অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন।

যখন কোনো সংকেত আলোক সংকেতরূপে উপযুক্ত কোণে তন্তুর কোনো এক প্রান্তে ফেলা হয়, তখন তন্তুর দৈর্ঘ্য বরাবর পুনঃ পুনঃ অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন ঘটে এবং অবশেষে অপর প্রান্ত দিয়ে বেরিয়ে আসে (চিত্র 9.16)। যেহেতু প্রতিক্ষেত্রে আলোর পূর্ণ প্রতিফলন ঘটে, তাই আলোক সংকেতের প্রাবল্যের উল্লেখযোগ্য

কোনো অপচয় হবে না। আলোকীয় তন্তু এভাবে তৈরি করা হয় যেন আলো অভ্যন্তরীণ তলের একটি পাশ থেকে প্রতিফলিত হয়ে অপর পাশে সংকট কোণ অপেক্ষা বৃহৎ কোণে আপতিত হয়। তন্তুটি বাঁকা হলেও, আলো ইহার দৈর্ঘ্য বরাবর সহজে গমন করতে পারে। অতএব, আলোকীয় তন্তুকে আলোকীয় নল হিসেবে ব্যবহার করা যায়।

একটি আলোকীয় তন্তুগুচ্ছ বিভিন্ন কাজে ব্যবহার করা যায়। উপযুক্ত ট্রান্সমিউটার ব্যবহার করে তড়িৎ সংকেতকে আলোক সংকেতে রূপান্তরিত করে, এদের প্রেরণ ও গ্রহণ করার জন্যে ব্যাপকভাবে আলোকীয়

রশ্মি আলোক বিজ্ঞান এবং আলোকীয় যন্ত্রাদি

তত্ত্ব ব্যবহার করা হয়। স্পষ্টত, আলোকীয় তত্ত্ব আলোকীয় সংকেত প্রেরণের জন্যেই ব্যবহার করা যায়। উদাহরণস্বরূপ, খাদ্যনালী, পাকস্থলী এবং অস্ত্রের মতো দেহের অভ্যন্তরীণ অঙ্গগুলোর চাক্ষুস নিরীক্ষণের সুবিধার্থে ‘আলোকীয় নল’ (light pipe) ব্যবহার করা হয়। সূক্ষ্ম প্লাস্টিক তত্ত্ব যাদের মুক্ত প্রান্ত ফোয়ারার মতো দেখতে, এমন তত্ত্ব দ্বারা গঠিত সহজলভ্য ও সুসজ্জিত আলোকীয় ল্যাম্প তোমরা সচরাচর দেখে থাকবে। তত্ত্ব সমূহের অপর প্রান্তগুলো একটি বৈদ্যুতিক ল্যাম্পের উপর স্থায়ীভাবে যুক্ত। যখন ল্যাম্পের সুইচ অন করা হয়, আলো প্রতিটি তত্ত্বের নিম্নপ্রান্ত থেকে তত্ত্বের মধ্য দিয়ে গমন করে। তত্ত্বের মুক্ত প্রান্তে আলোক বিন্দুরূপে উদ্ভাসিত হয়। এধরনের সুসজ্জিত ল্যাম্পের তত্ত্বগুলো আলোকীয় তত্ত্ব।

আলোকীয় তত্ত্ব তৈরি করার ক্ষেত্রে মূল বিষয়টি হল আলোর শোষণ খুবই কম হওয়া প্রয়োজন, যেহেতু তত্ত্বের মধ্য দিয়ে আলোকরশ্মিগুলোকে অনেক দূর পর্যন্ত যেতে হয়। কোয়ার্টের মতো উপাদানগুলোর শুদ্ধিকরণ এবং বিশেষভাবে প্রস্তুতিকরণের মাধ্যমে এটা পাওয়া সম্ভব। সিলিকা-কাচ তত্ত্বের এক কিমি দৈর্ঘ্যের মধ্য দিয়ে 95%-এর বেশি আলো প্রেরণ সম্ভব (1 কিমি পুরু একটি সাধারণ জানালার কাচ-এর ব্লকের মধ্য দিয়ে প্রত্যাশিত অতিক্রান্ত আলোর সাথে তুলনা করো।)

9.5 গোলীয় তলে এবং লেন্সে প্রতিসরণ (REFRACTION AT SPHERICAL SURFACES AND BY LENSES)

এ পর্যন্ত আমরা সামতলিক বিভেদতলে প্রতিসরণ বিবেচনা করেছি। এখন আমরা দুটি স্বচ্ছ মাধ্যমের মধ্যবর্তী গোলীয় বিভেদতলে প্রতিসরণ বিবেচনা করবো। গোলীয় তলের ক্ষুদ্র একটি অংশকে সমতল হিসেবে ধরে নিতে পারি এবং তলটির প্রতিটি বিন্দুতে প্রতিসরণের সূত্রগুলো প্রয়োগ করতে পারি। গোলীয় দর্পণে প্রতিফলনের মতো এইক্ষেত্রেও আপতন বিন্দুতে অভিলম্ব গোলীয়তলের ওই বিন্দুতে স্পর্শতলের উপর লম্ব হয় এবং তাই অভিলম্বটি বক্রতাকেন্দ্রগামী। আমরা প্রথমে একটি গোলীয় তলে প্রতিসরণ বিবেচনা করবো এবং পাতলা লেন্সের ক্ষেত্রে তা অনুসরণ করবো। পাতলা লেন্স হল দুটি তলদ্বারা সীমাবদ্ধ স্বচ্ছ আলোকীয় মাধ্যম; কমপক্ষে যার একটি তল গোলীয় হতে হবে। লেন্সের দুইটি গোলীয় তলের প্রতিটির ক্ষেত্রে প্রতিবিম্ব গঠনের সূত্র পরপর প্রয়োগ করে আমরা লেন্স নির্মাতার সূত্রটি (lens maker's formula) পাব এবং তারপর লেন্সের সূত্র পাবো।

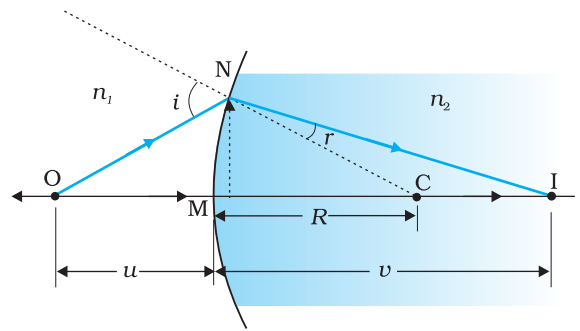
9.5.1 গোলীয় তলে প্রতিসরণ (Refraction at a spherical surface)

C বক্রতা কেন্দ্র ও R বক্রতা ব্যাসার্ধ বিশিষ্ট কোনো একটি গোলীয় তলের প্রধান অক্ষের উপর O বস্তুটির I প্রতিবিম্ব গঠনের জ্যামিতিকরূপ 9.17 চিত্রে দেখানো হল। n_1 প্রতিসরাংক বিশিষ্ট একটি মাধ্যম থেকে n_2 প্রতিসরাংক বিশিষ্ট অপর একটি মাধ্যমে রশ্মিগুলো আপতিত হয়। পূর্বের মতো, আমরা সংশ্লিষ্ট অন্যান্য দূরত্বগুলোর তুলনায় গোলীয় তলটির উন্মেষ (বা পার্শ্বীয় আকার) ক্ষুদ্রাকার নিই, যাতে সংশ্লিষ্ট কোণগুলো ক্ষুদ্র বিবেচনা করা যায়। বিশেষত, NM দৈর্ঘ্যকে N বিন্দু থেকে প্রধান অক্ষের উপর অঙ্কিত অভিলম্বের দৈর্ঘ্যের প্রায় সমান ধরা হয়। ক্ষুদ্র কোণগুলোর জন্যে আমরা পাই,

$$\tan \angle NOM = \frac{MN}{OM}$$

$$\tan \angle NCM = \frac{MN}{MC}$$

$$\tan \angle NIM = \frac{MN}{MI}$$



চিত্র 9.17 দুটি মাধ্যমের গোলীয় বিভেদ তলে প্রতিসরণ।

আলোক উৎস এবং ফটোমিতি

আমরা জানি যে-কোনো বস্তুর তাপমাত্রা পরম শূন্য অপেক্ষা অধিক হলে তা তড়িৎচুম্বকীয় বিকিরণ নিঃসরণ করে। বস্তু কর্তৃক নিঃসৃত বিকিরণের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বিস্তৃতি বস্তুর পরম তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে। উদাহরণস্বরূপ, 2850 K তাপমাত্রায় টাংস্টেন ফিলামেন্টযুক্ত বাতির মতো উষ্ণ বস্তু কর্তৃক নিঃসৃত বিকিরণের কিছুটা অংশ অদৃশ্য এবং বেশিরভাগ অংশই অবলোহিত (বা তাপ) অঞ্চলভুক্ত হয়। বস্তুর তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে সাথে নিঃসৃত বিকিরণটি দৃশ্যমান অঞ্চলভুক্ত হয়। প্রায় 5500 K তাপমাত্রায় উত্তপ্ত সূর্য যে বিকিরণ নিঃসরণ করে এর শক্তি বনাম তরঙ্গদৈর্ঘ্য লেখচিত্রে প্রায় 550 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্য সংশ্লিষ্ট শীর্ষমানটি সবুজ আলো নির্দেশ করে এটি দৃশ্যমান অঞ্চলের প্রায় মধ্যবর্তী হয়। কোনো নির্দিষ্ট বস্তুর শক্তি বনাম তরঙ্গদৈর্ঘ্য বণ্টন লেখচিত্রে শীর্ষমান সংশ্লিষ্ট তরঙ্গদৈর্ঘ্য বস্তুর পরম তাপমাত্রার ব্যস্তানুপাতিক।

মানুষের চোখ দ্বারা অনুভূত আলোর পরিমাপকে ফটোমিতি বলে। ফটোমিতি হল এমন একটি শারীরবৃত্তীয় ক্রিয়ার পরিমাপ, যেখানে মানুষের চোখ দ্বারা গৃহীত আলো স্পষ্ট উদ্দীপনা অপটিক নার্ভ দ্বারা সংগৃহীত হয়ে ব্রেইন দ্বারা বিশ্লেষিত হয়। ফটোমিতির মূল ভৌত রাশিগুলো হল — (i) উৎসের দীপন প্রাবল্য (ii) দীপন ফ্লাক্স বা উৎস থেকে আলোক প্রবাহ এবং (iii) তলের দীপনমাত্রা। দীপন প্রাবল্যের (I) SI একক হল ক্যান্ডেলা (cd)। ক্যান্ডেলা হল একটি নির্দেশিত দিকে একটি উৎসের দীপন প্রাবল্য, যা 540×10^{12} Hz কম্পাঙ্কের একবর্ণী বিকিরণ নির্গত করে এবং ওইদিকে এর বিকিরণ প্রাবল্য $1/683$ ওয়াট প্রতি স্টেরেডিয়ান। যদি কোনো আলোক উৎস এক স্টেরেডিয়ান ঘন কোণের মধ্য দিয়ে এক ক্যান্ডেলা দীপন প্রাবল্য নির্গত করে, তখন এক ঘনকোণের মধ্য দিয়ে নির্গত মোট দীপন ফ্লাক্সকে এক লুমেন (lm) বলে। একটি প্রমাণ 100 watt ক্ষমতাসম্পন্ন ভাস্কর বাস্ক প্রায় 1700 লুমেন আলো নির্গত করে।

ফটোমিতিতে কেবলমাত্র যে প্রাচলটি সরাসরি পরিমাপ করা হয় তা হল দীপনমাত্রা। কোনো তলের প্রতি একক ক্ষেত্রফলে আপতিত দীপন ফ্লাক্স (lm/m^2 বা lux)-এর সাহায্যে একে সংজ্ঞায়িত করা হয়। অধিকাংশ লাইট-মিটার এই রাশিটি পরিমাপ করতে পারে। I দীপন প্রাবল্য বিশিষ্ট কোনো একটি উৎস দ্বারা সৃষ্ট দীপনমাত্রা E -কে, $E = I/r^2$, রাশিমালা দ্বারা প্রকাশ করা হয়, যেখানে r হল উৎস থেকে তলের লম্বদূরত্ব। উজ্জ্বলতা (L) নামক রাশিটি কোনো নিঃসারক বা প্রতিফলক সমতলের উজ্জ্বলতাকে প্রকাশ করে। ইহার একক হল cd/m^2 (শিল্পক্ষেত্রে একে কখনো কখনো 'nit' বলে)। একটি উত্তম LCD কম্পিউটার মনিটরের উজ্জ্বলতা প্রায় 250 nits।

এখন, ΔNOC -এর জন্য i হল বহিঃস্থ কোণ। অতএব, $i = \angle NOM + \angle NCM$

$$i = \frac{MN}{OM} + \frac{MN}{MC} \quad (9.13)$$

অনুবৃত্তভাবে,

$$r = \angle NCM - \angle NIM$$

$$\text{অর্থাৎ, } r = \frac{MN}{MC} - \frac{MN}{MI} \quad (9.14)$$

এখন, স্নেলের সূত্র থেকে পাই

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r$$

অথবা, ক্ষুদ্র কোণের জন্যে

$$n_1 i = n_2 r$$

সমীকরণ (9.13) এবং (9.14) থেকে প্রাপ্ত i এবং r -এর মান উপরোক্ত সমীকরণে বসিয়ে আমরা পাই

$$\frac{n_1}{OM} + \frac{n_2}{MI} = \frac{n_2 - n_1}{MC} \quad (9.15)$$

এখানে OM, MI এবং MC সংশ্লিষ্ট দূরত্বগুলোর মানকে প্রকাশ করে। কার্টেসিয়ান চিহ্ন প্রথা প্রয়োগ করে পাই,

$$OM = -u, MI = +v, MC = +R$$

এই মানগুলো (9.15) সমীকরণে বসিয়ে আমরা পাই

$$\frac{n_2}{v} - \frac{n_1}{u} = \frac{n_2 - n_1}{R} \quad (9.16)$$

মাধ্যমের প্রতিসরাংক এবং বক্র গোলীয় তলের বক্রতা ব্যাসার্ধ সংশ্লিষ্ট বস্তু দূরত্ব ও প্রতিবিম্ব দূরত্বের মধ্যে সম্পর্কটি আমরা (9.16) সমীকরণ থেকে পাই। এই সম্পর্কটি যে-কোনো বক্র গোলীয় তলের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য।

উদাহরণ 9.6 একটি বিন্দু উৎস থেকে আলো বায়ু মাধ্যমে একটি গোলীয় কাচতলে ($n = 1.5$ এবং বক্রতা ব্যাসার্ধ = 20 cm) আপতিত হল। কাচতল থেকে আলোক উৎসের দূরত্ব 100 cm। প্রতিবিম্বটি কোথায় গঠিত হবে?

সমাধান

(9.16) সমীকরণের সম্পর্কটি আমরা ব্যবহার করবো। এখানে

$$u = -100 \text{ cm}, v = ?, R = +20 \text{ cm}, n_1 = 1, \text{ এবং } n_2 = 1.5$$

আমরা পাই,

$$\frac{1.5}{v} + \frac{1}{100} = \frac{0.5}{20}$$

$$\text{বা } v = +100 \text{ cm}$$

কাচতল থেকে 100 cm দূরত্বে আপতিত আলোর অভিমুখে প্রতিবিম্ব গঠিত হয়।

9.5.2 লেন্স কর্তৃক আলোর প্রতিসরণ (Refraction by a lens)

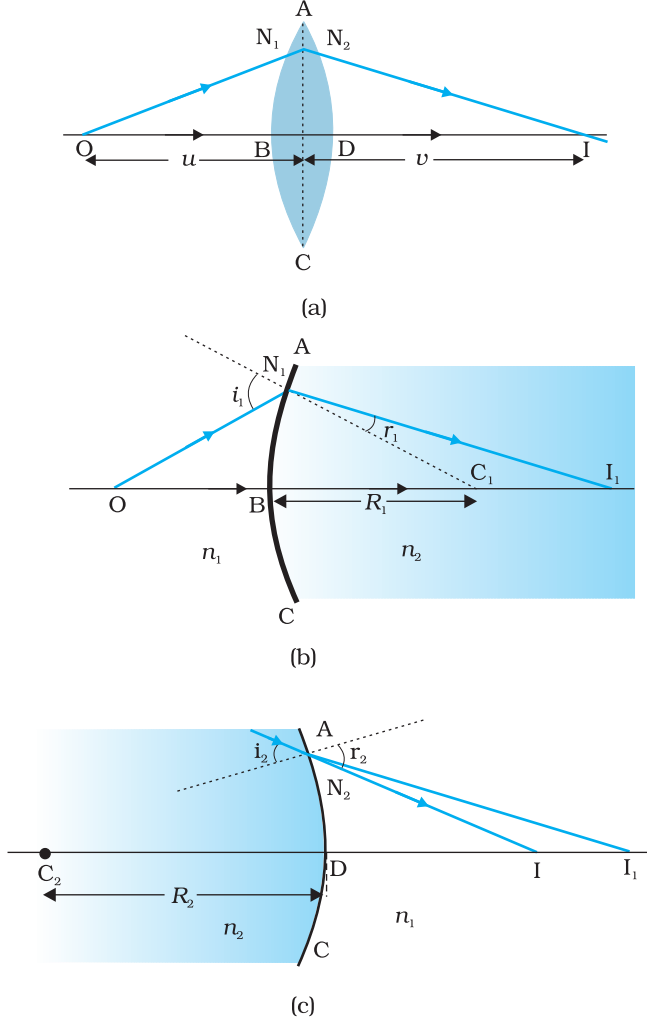
একটি উভোত্তল লেন্স দ্বারা প্রতিবিম্ব সৃষ্টির জ্যামিতিক রূপ 9.18(a) চিত্রে দেখানো হল। প্রতিবিম্ব গঠনের বিষয়টি দুটি ধাপে দেখানো যায় : (i) প্রথম প্রতিসারক তলটি O বস্তুটির I_1 প্রতিবিম্ব গঠন করে [চিত্র 9.18(b)]। I_1 প্রতিবিম্বটি দ্বিতীয় তলের ক্ষেত্রে অসদ্বস্তু হিসাবে কাজ করে এবং যার I প্রতিবিম্ব গঠিত হয় [চিত্র 9.18(c)]। প্রথম বিভেদতল ABC-এর ক্ষেত্রে (9.15) সমীকরণ প্রয়োগ করে আমরা পাই,

$$\frac{n_1}{OB} + \frac{n_2}{BI_1} = \frac{n_2 - n_1}{BC_1} \quad (9.17)$$

অনুরূপ পদ্ধতি দ্বিতীয় বিভেদতল * ADC-এর ক্ষেত্রে প্রয়োগ করে পাই,

$$-\frac{n_2}{DI_1} + \frac{n_1}{DI} = \frac{n_2 - n_1}{DC_2} \quad (9.18)$$

* এখন লক্ষ করো, ADC-এর ডান পাশের মাধ্যমের প্রতিসরাংক n_1 , যেখানে আবার বাম পাশের মাধ্যমের প্রতিসরাংক n_2 । উপরন্তু, আপতিত আলোর বিপরীত অভিমুখে দূরত্বটি পরিমাপ করা হয় বলে DI_1 দূরত্বটি ঋণাত্মক হয়।



চিত্র 9.18 (a) বস্তুর অবস্থান এবং একটি উভোত্তল লেন্স দ্বারা প্রতিবিম্ব গঠন,
(b) প্রথম গোলীয় তলে প্রতিসরণ এবং
(c) দ্বিতীয় গোলীয় তলে প্রতিসরণ।

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

(9.23)

(9.23) সমীকরণটি ‘পাতলা লেন্সের সূত্র’ হিসেবে পরিচিত। যদিও আমরা উত্তল লেন্স কর্তৃক সদ প্রতিবিম্ব গঠনের ক্ষেত্রে এই সূত্রটি প্রতিষ্ঠা করেছি, তথাপি উত্তল এবং অবতল উভয় লেন্স কর্তৃক সদ এবং অসদ প্রতিবিম্ব গঠনের ক্ষেত্রেও এই সূত্র প্রযোজ্য।

এটি উল্লেখযোগ্য যে, কোনো উভোত্তল বা উভাবতল লেন্সের ফোকাস বিন্দুদ্বয় F এবং F', আলোক কেন্দ্র থেকে সমদূরবর্তী হয়। মূল আলোক উৎসের দিকের ফোকাসকে প্রথম ফোকাস বিন্দু বলে, যেখানে অপরটিকে দ্বিতীয় ফোকাস বিন্দু বলে।

লেন্স কর্তৃক কোনো বস্তুর প্রতিবিম্ব গঠনের ক্ষেত্রে বস্তুর উপরিস্থ একটি বিন্দু থেকে মূলত যে-কোনো দুটি নির্গত রশ্মিকে আমরা ধরে নিতে পারি। প্রতিসরণের সূত্র ব্যবহার করে রশ্মির গতিপথ অংকন করি

পাতলা লেন্সের জন্য, $BI_1 = DI_1$ । সমীকরণ (9.17) এবং (9.18) যোগ করে আমরা পাই,

$$\frac{n_1}{OB} + \frac{n_1}{DI} = (n_2 - n_1) \left(\frac{1}{BC_1} + \frac{1}{DC_2} \right) \quad (9.19)$$

ধরো, বস্তুটি অসীমে অবস্থিত, অর্থাৎ $OB \rightarrow \infty$ এবং $DI = f$, (9.19) সমীকরণ থেকে পাই,

$$\frac{n_1}{f} = (n_2 - n_1) \left(\frac{1}{BC_1} + \frac{1}{DC_2} \right) \quad (9.20)$$

বস্তুর অসীম অবস্থানের জন্য যে বিন্দুতে প্রতিবিম্ব সৃষ্টি হয় তাকে লেন্সের ফোকাস F বলে এবং f দূরত্বকে লেন্সের ফোকাস দূরত্ব বলে। লেন্সের উভয় পাশে দুটি ফোকাস বিন্দু F এবং F' থাকে (চিত্র 9.19)। চিহ্নের নিয়ম অনুসারে,

$$BC_1 = +R_1,$$

$$DC_2 = -R_2$$

সুতরাং, (9.20) সমীকরণকে লেখা যায়,

$$\frac{1}{f} = (n_{21} - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \left(\because n_{21} = \frac{n_2}{n_1} \right) \quad (9.21)$$

(9.21) সমীকরণটি ‘লেন্স নির্মাতার সূত্র’ নামে পরিচিত। উপযুক্ত বক্রতা ব্যাসার্ধের গোলীয় তল ব্যবহার করে প্রয়োজন অনুযায়ী নির্দিষ্ট ফোকাস দূরত্বের লেন্স তৈরিতে এই সূত্র উপযোগী হয়। লক্ষণীয় যে, এই সূত্রটি অবতল লেন্সের ক্ষেত্রেও প্রযোজ্য। এক্ষেত্রে R_1 ঋণাত্মক, R_2 ধনাত্মক এবং তাই f ঋণাত্মক হয়। সমীকরণ (9.19) এবং (9.20) থেকে আমরা পাই

$$\frac{n_1}{OB} + \frac{n_1}{DI} = \frac{n_1}{f} \quad (9.22)$$

আবার, পাতলা লেন্সের ধারণা অনুযায়ী, B এবং D উভয়েই লেন্সের আলোক কেন্দ্র সংলগ্ন হয়। চিহ্নের নিয়ম অনুযায়ী

$BO = -u$, $DI = +v$ সেক্ষেত্রে আমরা পাই,

রশ্মি আলোক বিজ্ঞান এবং আলোকীয় যন্ত্রাদি

এবং প্রতিসৃত রশ্মি যে বিন্দুতে মিলিত হয় (অথবা মিলিত হচ্ছে বলে মনে হয়) তা নির্ণয় করি। যাই হোক, ব্যবহারিক ক্ষেত্রে নিম্নলিখিত যে-কোনো দুটি রশ্মির গতিপথ বেছে নেওয়া সুবিধাজনক :

- বস্তু থেকে নির্গত লেন্সের প্রধান অক্ষের সঙ্গে সমান্তরাল একটি রশ্মি প্রতিসরণের পর লেন্সের দ্বিতীয় মুখ্য ফোকাস F' (উত্তল লেন্সের ক্ষেত্রে) বিন্দুগামী হয় বা লেন্সের প্রথম মুখ্য ফোকাস F থেকে অপসৃত হচ্ছে বলে (অবতল লেন্সের ক্ষেত্রে) মনে হয়।
- লেন্সের আলোক কেন্দ্রগামী একটি আলোকরশ্মি প্রতিসরণের পর কোনো বিচ্যুতি ছাড়াই নির্গত হয়।
- প্রথম মুখ্য ফোকাস থেকে নির্গত (উত্তল লেন্সের ক্ষেত্রে) অথবা প্রথম মুখ্য ফোকাসে মিলিত হচ্ছে বলে মনে হয় (অবতল লেন্সের ক্ষেত্রে), এমন একটি রশ্মি লেন্স কর্তৃক প্রতিসৃত হয়ে প্রধান অক্ষের সমান্তরালে নির্গত হয়।

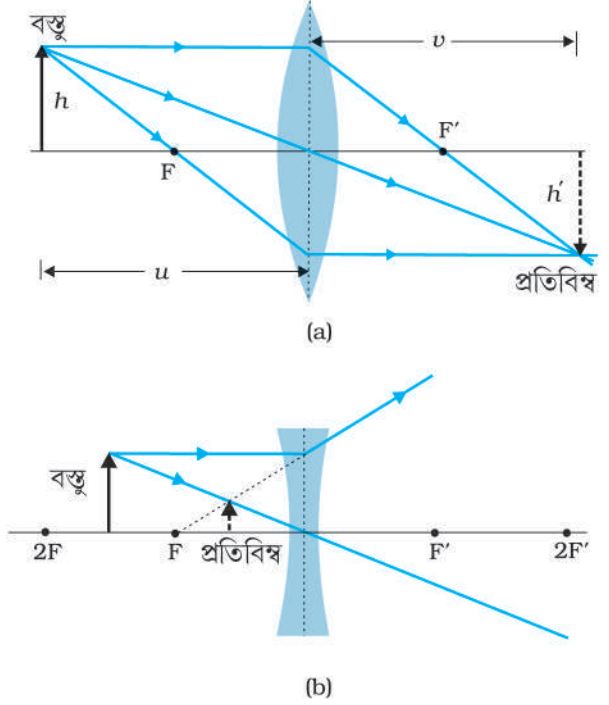
উত্তল এবং অবতল লেন্সের ক্ষেত্রে যথাক্রমে চিত্র 9.19(a) এবং (b)-এর দ্বারা এই নিয়মগুলো ব্যাখ্যা করা হয়েছে। লেন্সের সাপেক্ষে বস্তুকে বিভিন্ন অবস্থানে রেখে এইরূপ রশ্মিচিত্র অংকন করার অভ্যাস তোমাকে করতে হবে এবং সবক্ষেত্রে (9.23) সমীকরণ দ্বারা সূচিত লেন্সের সূত্রটি প্রযোজ্য হচ্ছে কিনা তাও যাচাই করতে হবে।

এখানে অবশ্যই মনে রাখতে হবে যে, বস্তুর উপরিস্থ প্রতিটি বিন্দু থেকে অসংখ্য রশ্মি নির্গত হয়। লেন্স কর্তৃক প্রতিসরণের পর সব রশ্মিগুলো একই প্রতিবিম্ব বিন্দু দিয়ে গমন করবে।

দর্পণের মতোই একটি লেন্স কর্তৃক বিবর্ধন (m) বলতে প্রতিবিম্বের আকার এবং বস্তুর আকারের অনুপাতকে বোঝায়। গোলায় দর্পণের মতো অনুরূপভাবে লেন্সের ক্ষেত্রেও সহজে দেখানো যায়,

$$m = \frac{h'}{h} = \frac{v}{u} \quad (9.24)$$

চিত্রের নিয়ম প্রয়োগ করে আমরা দেখি যে, উত্তল বা অবতল লেন্স দ্বারা সৃষ্ট সমশীর্ষ (এবং অসদ) প্রতিবিম্বের জন্যে m ধনাত্মক হয়, যেখানে অবশীর্ষ (এবং সদ) প্রতিবিম্বের জন্যে m ঋণাত্মক হয়।



চিত্র 9.19 (a) উত্তল লেন্স (b) অবতল লেন্স-এর মধ্য দিয়ে রশ্মির গতিপথ

উদাহরণ 9.7 একজন জাদুকর জাদু প্রদর্শনের সময় কোনো তরল পাত্রে $n = 1.47$ প্রতিসরাংক বিশিষ্ট একটি কাচের তৈরি লেন্সকে অদৃশ্য করে দেয়। তরলের প্রতিসরাঙ্ক কত? তরলটি কী জল হতে পারে?

সমাধান

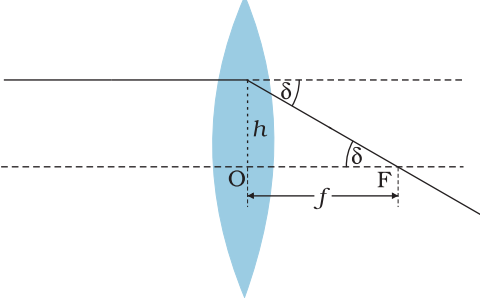
লেন্সকে অদৃশ্য করার জন্য তরলের প্রতিসরাংক অবশ্যই 1.47 হতে হবে। এর অর্থ হল $n_1 = n_2$ । এর থেকে পাই $1/f = 0$ অথবা $f \rightarrow \infty$ । লেন্সটি তরলে একটি সমতল কাচের পাতের ন্যায় কাজ করে। না, তরলটি জল হবে না। এটি গ্লিসারিন হতে পারে।

উদাহরণ 9.7

9.5.3 লেন্সের ক্ষমতা (Power of a lens)

লেন্সের উপর আপতিত আলোক রশ্মিগুচ্ছকে লেন্স কর্তৃক অভিসারী বা অপসারী করার পরিমাপই হল লেন্সের ক্ষমতা। স্পষ্টতই, উত্তল লেন্সের অভিসারী ক্রিয়া এবং অবতল লেন্সের অপসারী ক্রিয়ার ক্ষেত্রে ক্ষুদ্রতর ফোকাস দৈর্ঘ্যের একটি লেন্স আপতিত আলোকরশ্মিকে অধিকতর বিচ্যুত করে। একটি আলোক

পদার্থবিদ্যা



চিত্র 9.20 লেন্সের ক্ষমতা।

কেন্দ্র থেকে একক দূরত্বে লেন্সের উপর কোনো বিন্দুতে আপতিত রশ্মিগুচ্ছ অভিসারী বা অপসারী হয়ে যে কোণ উৎপন্ন করে, এর ট্যানজেন্টের দ্বারাই লেন্সের ক্ষমতা সংজ্ঞায়িত হয় (চিত্র 9.20)।

$$\tan \delta = \frac{h}{f}; \text{ যদি } h = 1 \text{ হয়, } \tan \delta = \frac{1}{f} \text{ বা, } \delta \text{ ক্ষুদ্র হলে } \delta = \frac{1}{f}।$$

অতএব,

$$P = \frac{1}{f} \quad (9.25)$$

লেন্সের ক্ষমতার SI একক হল ডায়প্টার (D) : $1D = 1\text{m}^{-1}$ । 1 মিটার ফোকাস দৈর্ঘ্যের একটি লেন্সের ক্ষমতাকে এক ডায়প্টার (diopetre) বলে। অভিসারী লেন্সের ক্ষেত্রে লেন্সের ক্ষমতা ধনাত্মক এবং অপসারী লেন্সের ক্ষেত্রে ঋণাত্মক হয়।

তাই, যখন কোনো চক্ষুরোগ বিশেষজ্ঞ + 2.5 D ক্ষমতা সম্পন্ন সংশোধক (corrective) লেন্স ব্যবহারের পরামর্শ দেন। তখন প্রয়োজনীয় লেন্সটি হবে + 40 cm ফোকাস দৈর্ঘ্যের একটি উত্তল লেন্স। কোনো লেন্সের ক্ষমতা - 4.0 D বলতে - 25 cm ফোকাস দৈর্ঘ্যের একটি অবতল লেন্সকে বোঝায়।

উদাহরণ 9.8 (i) যদি কাচের তৈরি একটি লেন্সের $f = 0.5 \text{ m}$ হয়, তবে লেন্সটির ক্ষমতা কত হবে? (ii) একটি উভোত্তল লেন্সের গোলাীয় তলগুলোর বক্রতা ব্যাসার্ধ 10 cm এবং 15 cm। এর ফোকাস দৈর্ঘ্য 12 cm। কাচের প্রতিসরাংক কত হবে? (iii) বায়ুতে একটি উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব 20 cm। জলে এর ফোকাস দৈর্ঘ্য কত হবে? (বায়ু-জলের প্রতিসরাংক = 1.33, বায়ু-কাচের প্রতিসরাংক = 1.5।)

সমাধান

(i) ক্ষমতা = +2 ডায়প্টার।

(ii) এখানে, $f = +12 \text{ cm}$, $R_1 = +10 \text{ cm}$, $R_2 = -15 \text{ cm}$ ।

বায়ুর প্রতিসরাংক 1 ধরা হল।

আমরা লেন্সের সূত্র, সমীকরণ 9.22 ব্যবহার করি। f , R_1 এবং R_2 -এর জন্যে চিহ্নের নিয়ম প্রয়োগ করতে হবে।

$$\text{মানগুলো বসিয়ে আমরা পাই } \frac{1}{12} = (n-1) \left(\frac{1}{10} - \frac{1}{-15} \right)$$

এর থেকে পাই $n = 1.5$ ।

(iii) বায়ুতে কাচের তৈরি লেন্সের ক্ষেত্রে, $n_2 = 1.5$, $n_1 = 1$, $f = +20 \text{ cm}$ । অতএব, লেন্সের

$$\text{সূত্র থেকে পাই } \frac{1}{20} = 0.5 \left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right]$$

জলে একই কাচ লেন্সের জন্যে, $n_2 = 1.5$, $n_1 = 1.33$ । অতএব,

$$\frac{1.33}{f} = (1.5 - 1.33) \left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right] \quad (9.26)$$

দুটি সমীকরণকে সমন্বিত করে আমরা পাই, $f = + 78.2 \text{ cm}$ ।

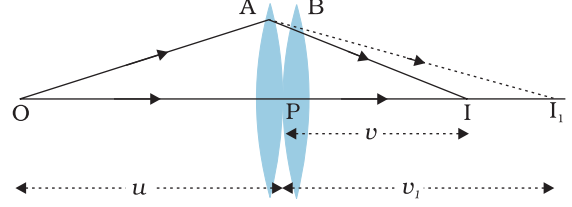
উদাহরণ 9.8

9.5.4 পরস্পরের সংস্পর্শে থাকা পাতলা লেন্সের সমবায় (Combination of thin lenses in contact)

ধরো, f_1 এবং f_2 ফোকাস দৈর্ঘ্যের দুটি লেন্স A এবং B পরস্পরের সংস্পর্শে রাখা আছে। ধরো, প্রথম লেন্স A-এর ফোকাসের বাইরে একটি বিন্দু O তে বস্তুটি রাখা আছে (চিত্র 9.21)। প্রথম লেন্সটি I_1 বিন্দুতে প্রতিবিম্ব সৃষ্টি করে। যেহেতু I_1 প্রতিবিম্ব সদ, তাই দ্বিতীয় লেন্স B-এর ক্ষেত্রে এটি অসদ বস্তু

রশ্মি আলোক বিজ্ঞান এবং আলোকীয় যন্ত্রাদি

হিসাবে কাজ করে এবং I বিন্দুতে চূড়ান্ত প্রতিবিশ্ব সৃষ্টি করে। এক্ষেত্রে অবশ্যই মনে রাখতে হবে যে, কেবলমাত্র চূড়ান্ত প্রতিবিশ্বের অবস্থান সহজভাবে নির্ণয় করার সুবিধার্থে প্রথম লেন্স দ্বারা প্রতিবিশ্ব গঠনের বিষয়টি ধারণা করা হয়। বস্তুত, প্রথম লেন্স দ্বারা নিঃসৃত রশ্মির অভিমুখ, দ্বিতীয় লেন্সে এদের আপাতন কোণ অনুসারে পরিবর্তিত হয়। যেহেতু লেন্সগুলো পাতলা, তাই আমরা লেন্সগুলোর আলোক কেন্দ্রগুলোকে সমাপতিত ধরে নিতে পারি। ধরো এই কেন্দ্রীয় বিন্দুকে P দ্বারা সূচিত করা হল।



চিত্র 9.21 পরস্পর সংস্পর্শে থাকা দুইটি পাতলা লেন্সের সমবায় দ্বারা প্রতিবিশ্ব গঠন।

প্রথম লেন্স A দ্বারা সৃষ্ট প্রতিবিশ্বের ক্ষেত্রে,

$$\frac{1}{v_1} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f_1} \quad (9.27)$$

দ্বিতীয় লেন্স B দ্বারা সৃষ্ট প্রতিবিশ্বের ক্ষেত্রে,

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{v_1} = \frac{1}{f_2} \quad (9.28)$$

সমীকরণ (9.27) এবং (9.28) যোগ করে আমরা পাই,

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \quad (9.29)$$

যদি দুটি লেন্স দ্বারা গঠিত সমবায়টিকে f ফোকাস দৈর্ঘ্য বিশিষ্ট একটি লেন্সের সমতুল্য ধরে নেওয়া হয় তবে

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

অতএব,

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \quad (9.30)$$

পরস্পর সংস্পর্শে থাকা যে-কোনো সংখ্যক পাতলা লেন্সের জন্য এই সূত্রটি প্রযোজ্য। যদি f_1, f_2, f_3, \dots ফোকাস দৈর্ঘ্যের কতকগুলো পাতলা লেন্স পরস্পরের সংস্পর্শে থাকে, তবে সমবায়টির কার্যকর ফোকাস দৈর্ঘ্য হবে,

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} + \frac{1}{f_3} + \dots \quad (9.31)$$

(9.31) সমীকরণটিকে ক্ষমতায় প্রকাশ করে লেখা যায়

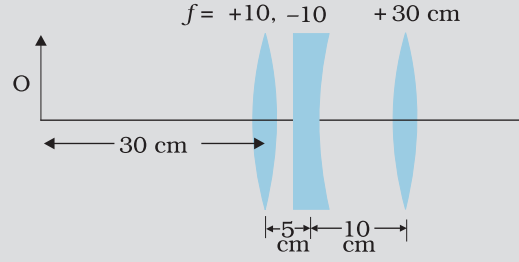
$$P = P_1 + P_2 + P_3 + \dots \quad (9.32)$$

যেখানে P হল লেন্স সমবায়ের মোট ক্ষমতা। লক্ষণীয় যে, (9.32) সমীকরণে প্রকাশিত সমষ্টিটি হল প্রতিটি লেন্সের ক্ষমতার বীজগাণিতিক যোগফল, যেখানে ডানদিকের কিছু পদ ধনাত্মক (উত্তল লেন্সের ক্ষেত্রে) এবং কিছু পদ ঋণাত্মক (অবতল লেন্সের ক্ষেত্রে) হতে পারে। আমাদের প্রয়োজন মতো বিবর্ধন ক্ষমতার অভিসারী বা অপসারী লেন্স পাওয়ার ক্ষেত্রে লেন্স সমবায় সহায়তা করে। এটি প্রতিবিশ্বের তীক্ষ্ণতাও বৃদ্ধি করে। যেহেতু প্রথম লেন্স দ্বারা সৃষ্ট প্রতিবিশ্বটি দ্বিতীয় লেন্সের ক্ষেত্রে বস্তু হিসেবে কাজ করে, তাই (9.24) সমীকরণটি নির্দেশ করে যে সমবায়টি মোট বিবর্ধন m প্রতিটি লেন্সের বিবর্ধনগুলোর (m_1, m_2, m_3, \dots) গুণফলের সমান,

$$m = m_1 m_2 m_3 \dots \quad (9.33)$$

ক্যামেরা, অণুবীক্ষণ, দূরবীক্ষণ এবং অন্যান্য আলোকীয় যন্ত্রাদির প্রস্তুতিকরণে সাধারণত এইরূপ লেন্স সমবায় ব্যবস্থা ব্যবহার করা হয়।

উদাহরণ 9.9 (9.22) চিত্রে প্রদর্শিত লেন্স সমবায় দ্বারা সৃষ্ট প্রতিবিশ্বের অবস্থান নির্ণয় করো।



চিত্র 9.22

সমাধান প্রথম লেন্স দ্বারা সৃষ্ট প্রতিবিশ্বের ক্ষেত্রে,

$$\frac{1}{v_1} - \frac{1}{u_1} = \frac{1}{f_1}$$

$$\frac{1}{v_1} - \frac{1}{-30} = \frac{1}{10}$$

বা $v_1 = 15 \text{ cm}$

প্রথম লেন্স দ্বারা সৃষ্ট প্রতিবিশ্ব দ্বিতীয় লেন্সের ক্ষেত্রে বস্তু হিসেবে কাজ করে। এটি দ্বিতীয় লেন্সের ডানদিকে $(15 - 5) \text{ cm} = 10 \text{ cm}$ দূরে হয়। যদিও প্রতিবিশ্বটি সদ, তবু এটি দ্বিতীয় লেন্সের ক্ষেত্রে অসদ বস্তু হিসাবে কাজ করবে, এর অর্থ হল দ্বিতীয় লেন্সের ক্ষেত্রে রশ্মিগুলো এই বিন্দু থেকে অপসৃত হচ্ছে বলে মনে হবে।

$$\frac{1}{v_2} - \frac{1}{10} = \frac{1}{-10}$$

বা $v_2 = \infty$

দ্বিতীয় লেন্সের বামদিকে অসীম দূরত্বে অসদ প্রতিবিশ্বটি সৃষ্টি হয়। তৃতীয় লেন্সের ক্ষেত্রে এটি বস্তু হিসাবে কাজ করবে।

$$\frac{1}{v_3} - \frac{1}{u_3} = \frac{1}{f_3}$$

বা, $\frac{1}{v_3} = \frac{1}{\infty} + \frac{1}{30}$

বা, $v_3 = 30 \text{ cm}$

চূড়ান্ত প্রতিবিশ্বটি তৃতীয় লেন্সের ডানদিকে 30 cm দূরে গঠিত হয়।

9.6 প্রিজমের মধ্য দিয়ে প্রতিসরণ (REFRACTION THROUGH A PRISM)

9.23 চিত্রে একটি ত্রিভুজাকৃতি প্রিজম ABC-এর মধ্য দিয়ে আলোর গতিপথ দেখানো হয়েছে। প্রথম তল AB তে আপতন কোণ এবং প্রতিসরণ কোণ যথাক্রমে i এবং r_1 , যেখানে দ্বিতীয় তল AC তে আপতন কোণ (কাচ থেকে বায়ুতে) r_2 এবং প্রতিসরণ কোণ বা নির্গমন কোণ e । নির্গত রশ্মি RS এবং আপতিত রশ্মি PQ-এর অভিমুখের মধ্যবর্তী কোণকে বিচ্যুতি কোণ (δ) বলে।

রশ্মি আলোক বিজ্ঞান এবং আলোকীয় যন্ত্রাদি

AQNR চতুর্ভুজে, দুইটি কোণ (Q এবং R শীর্ষবিন্দুতে) সমকোণ হয়। অতএব, চতুর্ভুজের অপর কোণ দুইটির সমষ্টি 180° হয়।

$$\angle A + \angle QNR = 180^\circ$$

ত্রিভুজ QNR থেকে,

$$r_1 + r_2 + \angle QNR = 180^\circ$$

এই দুটি সমীকরণ তুলনা করে আমরা পাই,

$$r_1 + r_2 = A \quad (9.34)$$

মোট বিচ্যুতি δ হল দুটি তলে বিচ্যুতির সমষ্টি,

$$\delta = (i - r_1) + (e - r_2)$$

অর্থাৎ,

$$\delta = i + e - A \quad (9.35)$$

অতবে, বিচ্যুতি কোণ আপতন কোণের উপর নির্ভর করে। বিচ্যুতি কোণ এবং আপতন কোণের মধ্যে অংকিত লেখচিত্র 9.24 চিত্রে দেখানো হয়েছে। তুমি লক্ষ করে দেখবে যে, $i = e$ ব্যতীত, সাধারণত δ -এর যে-কোনো প্রদত্ত মানের জন্যে i এবং e -এর দুটি করে মান পাওয়া যায়। বস্তুত (9.35) সমীকরণে i এবং e -এর প্রতিসাম্যতা থেকে এটি বোঝা যায় যে, যদি i এবং e -এর মান পরস্পরের মধ্যে অদলবদল করা হয়, তবে δ -এর মানের কোনো পরিবর্তন হয় না। এ থেকে বলা যায় যে, বাস্তবে 9.23 চিত্রে প্রদর্শিত রশ্মির পথকে বিপরীত অভিমুখে অংকন করলে একই বিচ্যুতি কোণ পাওয়া যায়। ন্যূনতম বিচ্যুতি D_m -এর জন্যে প্রিজমের ভিতরে প্রতিসৃত রশ্মিটি এর ভূমির সমান্তরাল হয়। আমরা পাই,

$$\delta = D_m \text{ হলে } i = e \text{ অর্থাৎ, } r_1 = r_2 \text{।}$$

(9.34) সমীকরণ থেকে পাই

$$2r = A \text{ বা } r = \frac{A}{2} \quad (9.36)$$

একইভাবে (9.35) সমীকরণ থেকে পাই

$$D_m = 2i - A, \text{ বা, } i = (A + D_m)/2 \quad (9.37)$$

প্রিজমটির উপাদানের প্রতিসরাংক হবে

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin[(A + D_m)/2]}{\sin[A/2]} \quad (9.38)$$

পরীক্ষামূলকভাবে A এবং D_m কোণকে পরিমাপ করা যায়। তাই,

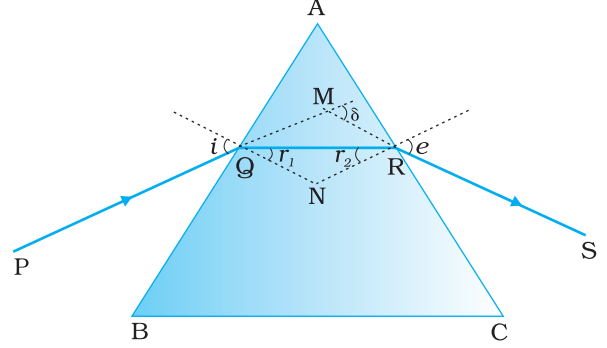
(9.38) সমীকরণটি প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাংক নির্ণয়ের একটি পদ্ধতি প্রদান করে।

ক্ষুদ্র কোণযুক্ত প্রিজম অর্থাৎ পাতলা প্রিজমের ক্ষেত্রে, D_m ও খুব ছোটো হয়, এবং আমরা পাই

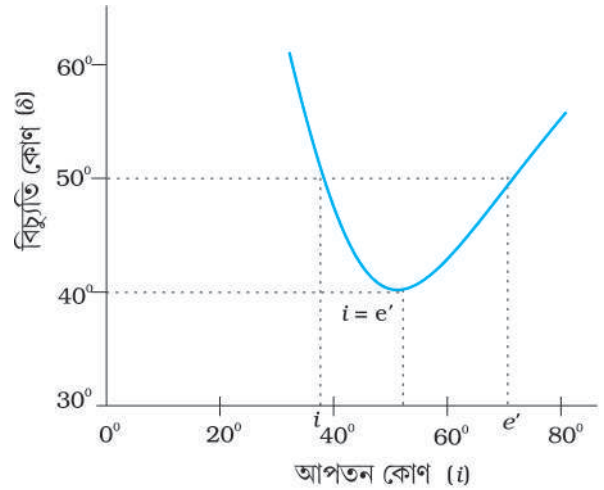
$$n_{21} = \frac{\sin[(A + D_m)/2]}{\sin[A/2]} \simeq \frac{(A + D_m)/2}{A/2}$$

$$D_m = (n_{21} - 1)A$$

এর তাৎপর্য এই যে, পাতলা প্রিজমে আলোর বিচ্যুতি বেশি হয় না।



চিত্র 9.23 ত্রিভুজাকার কাচ প্রিজমের মধ্য দিয়ে একটি আলোকরশ্মির গতিপথ।

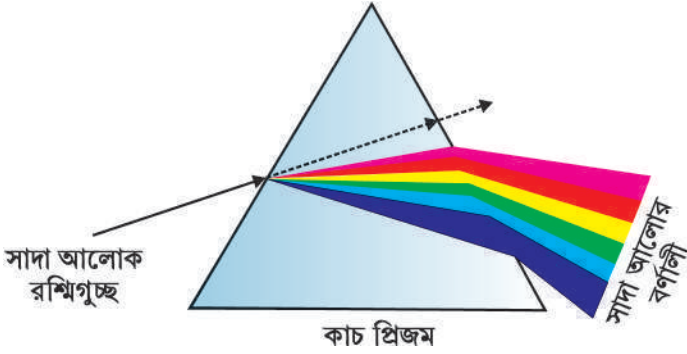


চিত্র 9.24 কোনো ত্রিভুজাকার প্রিজমের ক্ষেত্রে আপতন কোণ (i) এবং বিচ্যুতি কোণ (δ)-এর মধ্যে লেখচিত্র।

9.7 প্রিজম দ্বারা বিচ্ছুরণ (DISPERSION BY A PRISM)

বহু আগে থেকেই এটি জানা ছিল যে, সূর্যের সবু রশ্মিগুচ্ছ তথা সাদা আলো যখন কাচ প্রিজমে আপতিত হয় তখন নির্গত আলো বেশ কিছু বর্ণের সমন্বয়ে গঠিত এমন দেখা যায়। প্রকৃতপক্ষে এখানে বর্ণের ধারাবাহিক পরিবর্তন হয়, বিস্তৃতভাবে বলা যায়, দৃশ্যমান বিভিন্ন বর্ণগুলোর ক্রম হল : বেগুনি, নীল,

আকাশি, সবুজ, হলুদ, কমলা এবং লাল (প্রতিটি রং-এর প্রথম অক্ষরকে ক্রমানুযায়ী সাজালে হয় ‘বেনীআসহকলা’ বা ‘VIBGYOR’)। লাল আলোর চ্যুতি ন্যূনতম, যেখানে বেগুনি আলোর চ্যুতি সর্বাধিক (চিত্র 9.25)।

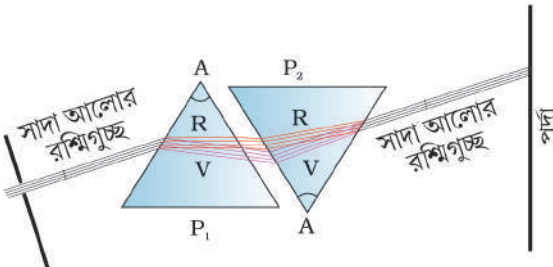


চিত্র 9.25 কাচ প্রিজমের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত সূর্যালোক বা সাদা আলোর বিচ্ছুরণ। বিভিন্ন বর্ণের আপেক্ষিক বিচ্যুতি বিস্তৃতভাবে দেখানো হয়েছে।

আলোর বিভিন্ন বর্ণে বিভাজিত হওয়ার ঘটনাকে আলোর বিচ্ছুরণ (*dispersion*) বলা হয়। আলোর বিভিন্ন বর্ণের বিন্যাসকে আলোক বর্ণালী (*spectrum*) বলে। ‘বর্ণালী’ শব্দটি এখন অধিকতর সাধারণ অর্থে ব্যবহৃত হয় : γ -রশ্মি থেকে রেডিও তরঙ্গ পর্যন্ত দীর্ঘ পাল্লার তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তড়িৎ চুম্বকীয় বর্ণালী আমরা অষ্টম অধ্যায়ে আলোচনা করেছি, যেখানে আলোক বর্ণালীটি (দৃশ্যমান বর্ণালী) এই বর্ণালীর শুধুমাত্র একটি ক্ষুদ্র অংশ। পদার্থবিদ্যার ইতিহাসে এটি ছিল বহুচর্চিত বিষয়, যদিও বর্ণালী সৃষ্টির কারণ এখন একটি সাধারণ

জ্ঞান। প্রিজম কি কোনোভাবে নিজেই বর্ণ তৈরি করে, না কি সাদা আলোতে উপস্থিত বর্ণগুলোকে শুধুমাত্র পৃথক করে?

বিজ্ঞানী আইজ্যাক নিউটন সহজবোধ্য কিন্তু যথেষ্ট তাৎপর্যপূর্ণ একটি আকর্ষণীয় পরীক্ষার মাধ্যমে সর্বকালের জন্যে বিষয়টির নিষ্পত্তি করেছিলেন। তিনি অনুরূপ আরেকটি প্রিজমকে প্রথম প্রিজমের সাপেক্ষে উল্টোভাবে বসালেন, এবং ধরো প্রথম প্রিজম থেকে নির্গত রশ্মি দ্বিতীয় প্রিজমে আপতিত হয় (চিত্র 9.26)। চূড়ান্ত নির্গত রশ্মিগুচ্ছ সাদা আলো হিসেবে দেখা যায়। ব্যাখ্যাটি খুবই স্পষ্ট - প্রথম প্রিজমটি সাদা আলোককে এর বিভিন্ন উপাদান বর্ণে বিশ্লেষিত করে, যেখানে উল্টানো প্রিজমটি এদের পুনঃসংযোজিত করে সাদা আলো সৃষ্টি করে। অতএব, সাদা আলো নিজেই বিভিন্ন বর্ণের আলোর সমাহার, যা প্রিজম দ্বারা পৃথকীকৃত হয়।



চিত্র 9.26 সাদা আলোর বিচ্ছুরণ সংক্রান্ত নিউটনের আকর্ষণীয় পরীক্ষাটির রূপরেখাচিত্র।

এখানে এটি অবশ্যই বোঝা যায় যে, গাণিতিকভাবে সংজ্ঞায়িত আলোক রশ্মির কোনো অস্তিত্ব নেই। বস্তুত একটি প্রকৃত রশ্মি কতগুলো আলোক রশ্মির একটি গুচ্ছ। যখন রশ্মিটি কাচ-প্রিজমে প্রবেশ করে তখন প্রতিটি রশ্মি এর উপাদান বিশ্লিষ্ট হয়। যখন এই বিভিন্ন বর্ণের রশ্মিগুলো পরবর্তী প্রিজমের অপর পার্শ্ব দিয়ে বেরিয়ে আসে, এরা পুনরায় সাদা রশ্মিগুচ্ছ তৈরি করে।

আমরা জানি যে, আলোর বর্ণ এর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের উপর নির্ভর করে। দৃশ্যমান বর্ণালীতে, দীর্ঘ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের প্রান্তে (~700 nm) লাল আলো থাকে, যেখানে ক্ষুদ্র তরঙ্গদৈর্ঘ্যের প্রান্তে (~400 nm) বেগুনি আলো থাকে। বিভিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্যের (বর্ণের) ক্ষেত্রে মাধ্যমের প্রতিসরাংক বিভিন্ন হওয়ায় আলোর বিচ্ছুরণ ঘটে। উদাহরণস্বরূপ, সাদা আলোতে উপস্থিত

লাল বর্ণের আলোর বিচ্যুতি সর্বাপেক্ষা কম যেখানে বেগুনি বর্ণের আলোর বিচ্যুতি সর্বাধিক। একইভাবে, কাচ-প্রিজমে বেগুনি আলো অপেক্ষা লাল আলো দ্রুত গমন করে। 9.2 সারণিতে বিভিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্যে ক্রাউন কাচ এবং ফ্লিন্ট কাচের প্রতিসরাংক দেখানো হয়েছে। পুরু লেন্স অনেকগুলো প্রিজমের সমন্বয়ে

রশ্মি আলোক বিজ্ঞান এবং আলোকীয় যন্ত্রাদি

গঠিত ধরে নেওয়া যায়, তাই আলোর বিচ্ছুরণের জন্য পুরু লেন্স বর্ণাণ্ণেরণ (chromatic aberration) প্রদর্শন করে। যখন সাদা আলো পুরু লেন্সের মধ্য দিয়ে গমন করে, লাল এবং নীল আলো ভিন্ন বিন্দুতে কেন্দ্রীভূত হয়। এই ঘটনাটি বর্ণাণ্ণেরণ নামে পরিচিত।

সারণি 9.2 বিভিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্যের জন্যে প্রতিসরাংক

বর্ণ	তরঙ্গদৈর্ঘ্য (nm)	ক্রাউন কাচ	ফ্লিন্ট কাচ
বেগুনি	396.9	1.533	1.663
আকাশী	486.1	1.523	1.639
হলুদ	589.3	1.517	1.627
লাল	656.3	1.515	1.622

কিছু মাধ্যমে অন্য মাধ্যমের তুলনায়, তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সাথে প্রতিসরাংকের পরিবর্তন অনেকটাই সুস্পষ্ট। শূন্য মাধ্যমে আলোর দ্রুতি অবশ্যই তরঙ্গদৈর্ঘ্য নিরপেক্ষ হয়। অতএব, শূন্য মাধ্যম (অথবা বায়ু) হল একটি বিচ্ছুরণহীন মাধ্যম যার মধ্য দিয়ে সব বর্ণের আলো একই দ্রুতিতে গমন করে। সূর্যালোক আমাদের কাছে সাদা আলো হিসেবে পৌঁছায়, এর উপাদান বর্ণে নয়, এই ঘটনাটি এই বিষয়ের যথার্থতা প্রমাণ করে। অপরপক্ষে কাজ হল একটি বিচ্ছুরক মাধ্যম।

9.8 সূর্যালোক জনিত কয়েকটি প্রাকৃতিক ঘটনা (SOME NATURAL PHENOMENA DUE TO SUNLIGHT)

আমাদের চারপাশের বস্তুসমূহের সাথে আলোর পারস্পরিক ক্রিয়ায় বিভিন্ন দৃষ্টি নন্দন ঘটনা সৃষ্টি হয়। আমাদের চারপাশে সবসময় আমরা যে, বিভিন্ন বর্ণের মনোরম দৃশ্য দেখি তা শুধুমাত্র সূর্যালোকের জন্যই সম্ভব। আকাশের নীলিমা, মেঘের শুভ্রতা, উদীয়মান এবং অস্তগামী সূর্যের রক্তিমতা, রামধনু, পাখিদের ডানা এবং শাঁখ বিনুক ও মুক্তোর চমকপ্রদ বর্ণের দৃশ্যময়তা হল এমন কিছু আশ্চর্যজনক প্রাকৃতিক ঘটনা, যেগুলোর সাথে আমরা খুবই পরিচিত। এদের মধ্যে কিছু ঘটনাকে আমরা পদার্থবিদ্যার দৃষ্টিকোণ দিয়ে ব্যাখ্যা করবো।

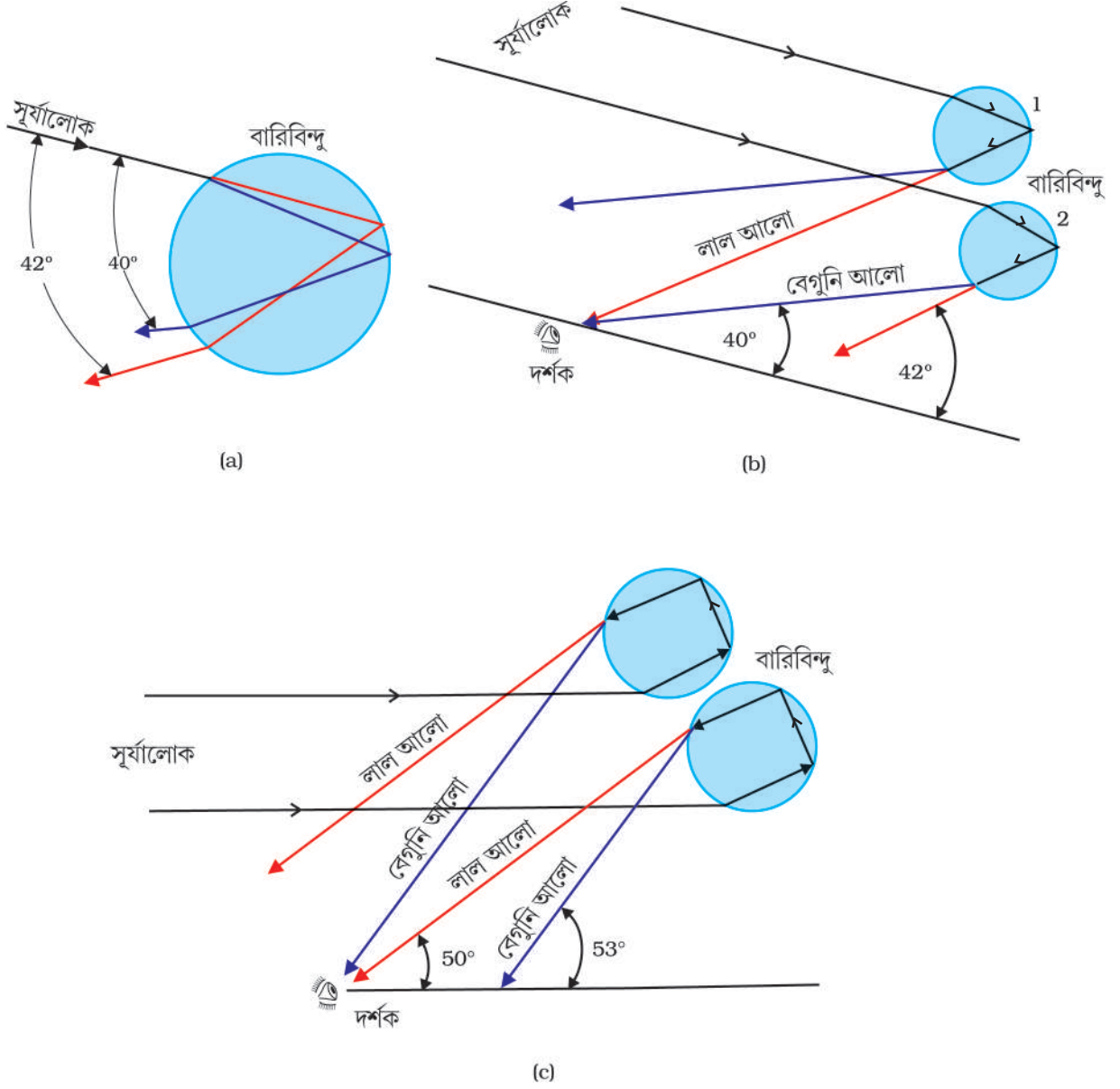
9.8.1 রামধনু (The rainbow)

রামধনু হল বায়ুমণ্ডলে ভাসমান জলবিন্দু দ্বারা সূর্যালোকের বিচ্ছুরণের একটি উদাহরণ। এই ঘটনাটি বৃষ্টির পর বায়ুতে ভাসমান গোলাকার বারিবিন্দুগুলোতে সূর্যালোকের বিচ্ছুরণ, প্রতিসরণ এবং প্রতিফলনের মতো ঘটনাগুলোর সম্মিলিত প্রভাবে ঘটে। রামধনু দেখার শর্তগুলো হল, সূর্য আকাশের একটি অংশে (ধরো পশ্চিম দিগন্তে) কিরণ দিচ্ছে এবং আকাশের বিপরীত অংশে (ধরো পূর্ব দিগন্তে) বৃষ্টি হচ্ছে। কোনো দর্শক কেবলমাত্র তখনই রামধনু দেখবে যখন ওই ব্যক্তির পেছনের দিকে সূর্য থাকবে।

রামধনু সৃষ্টির ঘটনাটি বোঝার জন্য 9.27(a) চিত্রটি বিবেচনা করি। সূর্যালোক বারিবিন্দুতে প্রবেশ করলে প্রথমে প্রতিসৃত হয়, ফলে সাদা আলোর বিভিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্যগুলো (বর্ণগুলো) আলাদা হয়ে যায়। দীর্ঘতর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোর (লাল) ন্যূনতম বিচ্যুতি ঘটে যেখানে ক্ষুদ্রতর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোর (বেগুনি) বিচ্যুতি সর্বাধিক হয়। পরবর্তিতে, এই উপাদান রশ্মিগুলো বারিবিন্দুর অভ্যন্তরীণ তলে আপতিত হয়, যদি প্রতিসৃত রশ্মি এবং বিন্দুতলের অভিলম্বের মধ্যবর্তী কোণটি সংকট কোণ (এক্ষেত্রে 48°) অপেক্ষা বৃহত্তর হয় তবে রশ্মিটির অভ্যন্তরীণ প্রতিফলন ঘটে। যখন প্রতিফলিত রশ্মিটি বারি বিন্দু থেকে বেরিয়ে আসে, তখন আলোক রশ্মিটির পুনরায় প্রতিসরণ ঘটে যা চিত্রে দেখানো হয়েছে। দেখা গেছে যে, আপতিত

PHYSICS

Formation of rainbows
<http://www.eo.ucar.edu/rainbows>
<http://www.atoptics.co.uk/rainbows.htm>



চিত্র 9.27 রামধনু : (a) বারিবিন্দুর উপর আপতিত সূর্য রশ্মির দ্বিপ্রতিসরণ এবং বারিবিন্দু কর্তৃক অভ্যন্তরীণ প্রতিফলন ; (b) প্রাথমিক রামধনু সৃষ্টিতে বারিবিন্দুর অভ্যন্তরে আলোক রশ্মির অভ্যন্তরীণ প্রতিফলন এবং প্রতিসরণ ; এবং (c) গৌণ রামধনু সৃষ্টিতে বারিবিন্দুর অভ্যন্তরে আলোকরশ্মির দুবার অভ্যন্তরীণ প্রতিফলনের বিবর্ধিত চিত্র।

সূর্যালোকের সাপেক্ষে বেগুনি আলো 40° কোণে এবং লাল আলো 42° কোণে নির্গত হয়। অন্যান্য বর্ণগুলোর ক্ষেত্রে এই কোণ, দুটি কোণের মধ্যবর্তী মানের হয়।

9.27(b) চিত্রে প্রাথমিক রামধনু সৃষ্টির ঘটনা বিস্তৃতভাবে দেখানো হয়েছে। আমরা দেখতে পাই যে, 1 নং বারিবিন্দু থেকে নির্গত লাল আলো এবং 2 নং বারিবিন্দু থেকে নির্গত বেগুনি আলো দর্শকের চোখে পৌঁছায়। 1 নং বারিবিন্দু থেকে নির্গত বেগুনি আলো এবং 2 নং বারিবিন্দু থেকে নির্গত লাল আলো, দর্শকের চোখের লেবেলের উপর বা নীচ দিয়ে গমন করে। অতএব উক্ত পর্যবেক্ষক রামধনুর উপরের

রশ্মি আলোক বিজ্ঞান এবং আলোকীয় যন্ত্রাদি

অংশে লাল বর্ণ ও নিম্নাংশে বেগুনি বর্ণ দেখতে পাবে। প্রাথমিক রামধনু হল প্রতিসরণ, প্রতিফলন এবং প্রতিসরণ - এই তিনটি পর্যায়ে সংঘটিত প্রক্রিয়ার ফল।

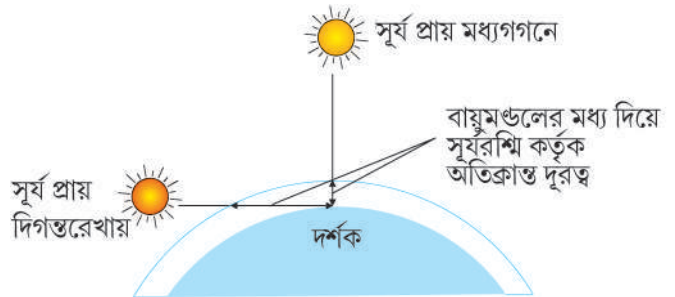
প্রাথমিক রামধনু গঠনের ক্ষেত্রে যেমন আলোকরশ্মির একবার অভ্যন্তরীণ প্রতিফলনের পরিবর্তে গৌণ রামধনু গঠনের ক্ষেত্রে বারিবিন্দুর ভিতর আলোকরশ্মির দুবার অভ্যন্তরীণ প্রতিফলন ঘটে, যা 9.27(c) চিত্রে দেখানো হয়েছে। এই গৌণ রামধনু হল চারটি পর্যায়ে সংঘটিত প্রক্রিয়ার ফল। দ্বিতীয় প্রতিফলনের ফলে আলোর প্রাবল্য হ্রাস পায় এবং তাই গৌণ রামধনু প্রাথমিক রামধনু অপেক্ষা ঝাপসা হয়। অধিকন্তু, 9.27(c) চিত্র থেকে এটি স্পষ্ট যে, বর্ণের ক্রম এক্ষেত্রে ঠিক বিপরীত হয়।

9.8.2 আলোর বিক্ষেপণ (Scattering of light)

পৃথিবীর বায়ুমণ্ডলের মধ্য দিয়ে সূর্যরশ্মি চলাচলের সময় বায়ুমণ্ডলের কণাগুলো দ্বারা রশ্মির (দিক পরিবর্তন ঘটিয়ে) বিক্ষেপণ ঘটে। ক্ষুদ্রতর তরঙ্গদৈর্ঘ্য বিশিষ্ট আলো, দীর্ঘতর তরঙ্গদৈর্ঘ্য বিশিষ্ট আলো অপেক্ষা অধিক বিক্ষেপিত হয়। (বিক্ষেপণের পরিমাণ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের চতুর্থ ঘাতের ব্যস্তানুপাতিক হয়। এটি র্যালের বিক্ষেপণ (Rayleigh scattering) নামে পরিচিত)। লাল বর্ণের আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তুলনায় নীল বর্ণের আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য ক্ষুদ্রতর হওয়ায়, নীল বর্ণের আলোর বিক্ষেপণ অধিক মাত্রায় হয় এবং তাই পরিষ্কার আকাশ মূলত নীলাভ হয়। বস্তুত বেগুনি আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য নীল আলো অপেক্ষা অধিক ক্ষুদ্রতর হওয়ায় এই আলোর বিক্ষেপণ আরো বেশি হয়, কিন্তু আমাদের চোখ বেগুনি বর্ণের তুলনায় নীল বর্ণের প্রতি অধিক সংবেদী হওয়ায় আমরা আকাশকে নীলাভ দেখতে পাই।

বায়ুমণ্ডলে উপস্থিত ধূলিকণা এবং জলবিন্দুর ন্যায় বৃহদাকারের কণাগুলো ভিন্ন ভিন্ন আচরণ করে থাকে। আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ এবং বিক্ষেপকের (ধরা যাক, a ব্যাসবিশিষ্ট বিশেষ আকারের) আপেক্ষিক আকারই এক্ষেত্রে প্রাসঙ্গিক রাশি। $a \ll \lambda$ -এর ক্ষেত্রে র্যালের বিক্ষেপণ মাত্রা যা $1/\lambda^4$ -এর সমানুপাতিক। কিন্তু $a \gg \lambda$ অর্থাৎ বৃহৎ আকারের বিক্ষেপক বস্তুকণাসমূহের ক্ষেত্রে (উদাহরণস্বরূপ- বৃষ্টির ফোঁটা, বৃহৎ আকারের ধূলিকণা অথবা বরফের কণাসমূহ) র্যালের সূত্রটি প্রযোজ্য হয় না; এক্ষেত্রে সব কয়টি তরঙ্গদৈর্ঘ্যের রশ্মিই প্রায় সমভাবে বিক্ষেপিত হয়। এজন্যই $a \gg \lambda$ আকারের জলবিন্দু সমন্বিত মেঘকে সাধারণত সাদা বর্ণের দেখায়।

সূর্যাস্ত অথবা সূর্যোদয়ের সময় সূর্যরশ্মিকে বায়ুমণ্ডলের মধ্য দিয়ে দীর্ঘপথ অতিক্রম করতে হয় (চিত্র 9.28)। অধিকাংশ নীলবর্ণের এবং অন্যান্য ক্ষুদ্রতর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের রশ্মিগুলো বিক্ষেপণের দরুন অপসারিত হয়। ফলে ন্যূনতম মাত্রায় বিক্ষেপিত আলো আমাদের চোখে এসে পৌঁছায়, তাই সূর্যকে রক্তিম দেখায় এই বিষয়টি দিগন্তরেখার কাছাকাছি সূর্য এবং পূর্ণচন্দ্রের রক্তিমাকে ব্যাখ্যা করে।



চিত্র 9.28 সূর্যোদয় ও সূর্যাস্তের সময় সূর্যরশ্মি বায়ুমণ্ডলের মধ্য দিয়ে দীর্ঘ পথ অতিক্রম করে।

9.9 আলোকীয় যন্ত্রসমূহ (OPTICAL INSTRUMENTS)

দর্পণ, লেন্স এবং প্রিজমসমূহের প্রতিফলন এবং প্রতিসরণের ধর্মাবলিকে কাজে লাগিয়ে বেশকিছু আলোকীয় যন্ত্রাদি এবং মেশিন নির্মাণ করা হয়েছে। পেরিস্কোপ, ক্যালিডোস্কোপ, বাইনোকুলার, দূরবীক্ষণ, অণুবীক্ষণ হল বহুল ব্যবহৃত কিছু আলোকীয় যন্ত্রসমূহ। বস্তুতই, অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ আলোকীয় যন্ত্রাদির একটি হল প্রকৃতি প্রদত্ত আমাদের চক্ষু। চক্ষু দিয়ে শুরু করে আমরা তারপর অণুবীক্ষণ এবং দূরবীক্ষণ যন্ত্রের কার্যনীতি পরপর বর্ণনা করবো।

9.9.1 চোখ (The eye)

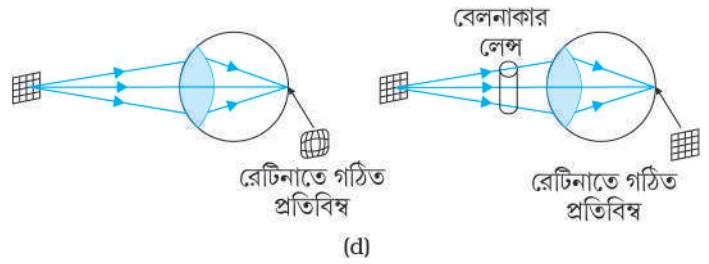
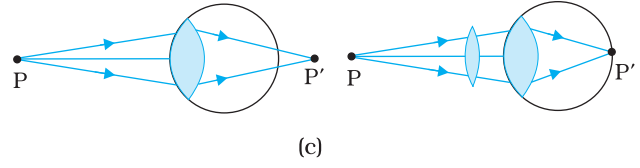
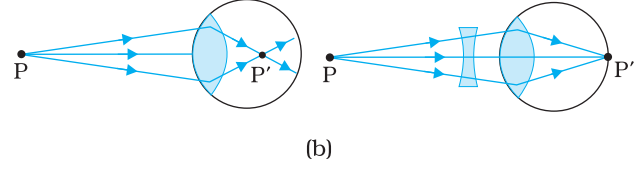
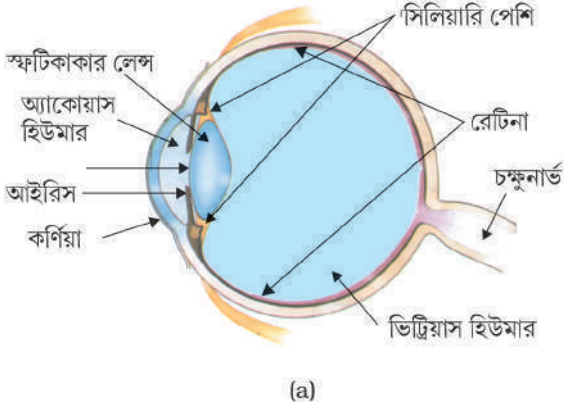
9.29 (a) চিত্রে চোখের গঠন দেখানো হয়েছে। কর্ণিয়া (cornea) নামক সম্মুখ বক্রতল দিয়ে আলো চোখে প্রবেশ করে। এই আলো তারারন্ধ্র (pupil) নামক, আইরিসের (iris) কেন্দ্রীয় ছিদ্রের মধ্য দিয়ে গমন করে। পেশির নিয়ন্ত্রণের মাধ্যমে তারারন্ধ্রের আকারের পরিবর্তন করা যায়। এরপর চক্ষু লেন্সের সাহায্যে আলোকরশ্মিকে রেটিনায় ফোকাস করা হয়। রেটিনা হল স্নায়ু তন্তুর একটি পাতলা স্তর যা চোখের বক্র পশ্চাৎ তলকে আবৃত করে থাকে। রেটিনায় আলোর প্রাবল্য এবং বর্ণ সংবেদী যথাক্রমে রড (rods) ও কোণ (cones) কোশ বর্তমান থাকে এবং রেটিনা এই তড়িৎ সংকেতগুলোকে আলোকীয় স্নায়ুর মাধ্যমে মস্তিষ্কে প্রেরণ করে। যেখানে এই তথ্যের সর্বশেষ প্রক্রিয়াকরণ ঘটে। সিলিয়ারি (ciliary) পেশির মাধ্যমে লেন্সের আকার (বক্রতা) তথা ফোকাস দৈর্ঘ্য কিছুটা নিয়ন্ত্রণ করা যায়। উদাহরণস্বরূপ, যখন মাংসপেশি শিথিল থাকে, ফোকাস দৈর্ঘ্য প্রায় 2.5 cm হয় এবং অসীমে অবস্থিত বস্তুর স্পষ্ট প্রতিবিন্দু রেটিনায় গঠিত হয়। যখন বস্তুকে চোখের খুব কাছে আনা হয়, তখন লেন্স রেটিনার একই দূরত্ব ($\cong 2.5$ cm) বজায় রাখতে সিলিয়ারি পেশির ক্রিয়ায় চোখের লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্য ক্ষুদ্রতর হয়। চোখের এই বৈশিষ্ট্যকে উপযোজন (accommodation) বলে। যদি বস্তুটি চোখের খুব কাছে থাকে, প্রতিবিন্দুকে রেটিনায় ফোকাস করার জন্য লেন্সটি যথেষ্ট বাঁকতে পারে না, এবং প্রতিবিন্দুটি অস্পষ্ট হয়। যে ন্যূনতম দূরত্বে লেন্সটি আলোকরশ্মিকে রেটিনায় ফোকাস করতে পারে, তাকে ‘স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্ব’ (least distance of distinct vision) অথবা নিকট বিন্দু (near point) দূরত্ব বলে। স্বাভাবিক দর্শনের প্রমাণ মান 25 cm ধরা হয়। (নিকট বিন্দু দূরত্বকে সচরাচর D চিহ্ন দ্বারা সূচিত করা হয়)। বয়স বৃদ্ধির সাথে সাথে সিলিয়ারি মাংসপেশির সক্রিয়তা এবং লেন্সের নমনীয়তা হ্রাস পাওয়ার ফলে এই দূরত্ব বৃদ্ধি পায়। 10 বছর বয়সী একটি শিশুর ক্ষেত্রে এই নিকট বিন্দুটি চোখ থেকে প্রায় 7 থেকে 8 cm দূরত্বে হতে পারে এবং 60 বছর বয়সে এই দূরত্ব 200 cm-এর মতো বৃদ্ধি পেতে পারে। কাজেই, একজন বয়স্ক লোক যদি চোখ থেকে প্রায় 25 cm দূরে রাখা একটি বই পড়তে চেষ্টা করে তবে তা অস্পষ্ট মনে হবে। এই অবস্থাকে (চোখের এই ত্রুটিতে) ক্ষীণদৃষ্টি (presbyopia) বলে। পড়াশোনা করার জন্যে একটি অভিসারী লেন্স ব্যবহার করে এই ত্রুটি সংশোধন করা যায়।

অতএব, আমাদের চোখ একটি অদ্ভুত অঙ্গ যা এক জটিল প্রক্রিয়ার মাধ্যমে চোখে প্রবেশ করা তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গকে প্রতিবিন্দু রূপে প্রতীয়মান করার সামর্থ্য রাখে। এগুলো আমাদের অমূল্য সম্পদ এবং এদের রক্ষণাবেক্ষণে আমরা অবশ্যই যথোপযুক্ত যত্ন নেব। কার্যক্ষম চক্ষুযুগল ব্যতীত এই জগৎ কল্পনা করো। যদিও আমাদের মধ্যে অনেক সাহসী ব্যক্তি তাদের সীমাবদ্ধতাকে কার্যকরভাবে অতিক্রম করে এই প্রতিবন্ধকতাকে কাটিয়ে ওঠে স্বাভাবিক জীবনযাপন করছে। তাদের সাহস এবং প্রত্যয় আমাদের প্রশংসাযোগ্য।

সমস্ত পূর্ব-সতর্কতা ও সক্রিয়তা সত্ত্বেও, বিভিন্ন কারণে আমাদের চোখে কিছু ত্রুটি দেখা দিতে পারে। আমরা আমাদের আলোচনাকে চোখের কিছু সাধারণ আলোকীয় ত্রুটির মধ্যেই সীমাবদ্ধ রাখবো। উদাহরণস্বরূপ, দূরে থাকা কোনো বস্তু থেকে আগত আলোকরশ্মি চক্ষু লেন্সে পৌঁছানোর পর রেটিনার সামনে কোনো বিন্দুতে মিলিত হতে পারে। এই ধরনের ত্রুটিকে স্বল্পদৃষ্টি (nearsightedness) বা মায়োপিয়া (myopia) বলে। এর অর্থ হল চোখে আপতিত আলোকরশ্মিগুচ্ছ অধিকতর অভিসারী হচ্ছে। এই প্রভাবকে প্রতিহত করে রেটিনায় প্রতিবিন্দু ফোকাস করার উদ্দেশ্যে বস্তু এবং চোখের মধ্যে আমরা একটি অপসারী অবতল লেন্স স্থাপন করি [চিত্র 9.29(b)].

অনুরূপভাবে, চোখের লেন্স যদি আগত আলোকরশ্মিকে রেটিনার পেছনে কোনো একটি বিন্দুতে কেন্দ্রীভূত করে তবে দর্শনের এই ত্রুটি এড়ানোর জন্যে একটি অভিসারী লেন্সের প্রয়োজন হয়। এই ত্রুটিকে দীর্ঘদৃষ্টি (farsightedness) বা হাইপারমেট্রোপিয়া (hypermetropia) বলে। [চিত্র 9.29(c)]

রশ্মি আলোক বিজ্ঞান এবং আলোকীয় যন্ত্রাদি



চিত্র 9.29 (a) চোখের গঠনকাঠামো; (b) স্বল্প দৃষ্টিসম্পন্ন বা মায়োপিক চোখ এবং এর প্রতিকার; (c) দীর্ঘদৃষ্টিসম্পন্ন বা হাইপারমেট্রোপিক চোখ এবং এর প্রতিকার; এবং (d) বিষমদৃষ্টিসম্পন্ন বা অ্যাস্টিগম্যাটিক চোখ এবং এর প্রতিকার।

দর্শনের অপর এক সাধারণ ত্রুটিকে বিষমদৃষ্টি (*astigmatism*) বলে। কর্ণিয়ার আকার গোলকাকৃতি না হলে এপ্রকারের ত্রুটি ঘটে। উদাহরণস্বরূপ, কর্ণিয়ার অনুভূমিক বক্রতা ব্যাসার্ধের তুলনায় উল্লম্ব বক্রতা ব্যাসার্ধ অপেক্ষাকৃত বেশি হতে পারে, আবার বিপরীত ক্রমেও এটি সত্য হতে পারে। এধরনের ত্রুটিপূর্ণ অক্ষিলেন্স বিশিষ্ট কোনো ব্যক্তি যদি একটি তারাজালি বা সমান্তরাল রেখাগুলো দেখে দিকে তাকায় তবে তিনি উল্লম্ব অথবা অনুভূমিক তলের কোনো একটি তলে অপর তলের মতো স্পষ্টভাবে ফোকাস নাও করতে পারেন। বিষমদৃষ্টির ফলে কোনো একটি অভিমুখের রেখাগুলোকে খুব ভালোভাবে ফোকাস করতে পারলেও এর লম্ব অভিমুখী রেখাগুলো বিকৃত মনে হয় [চিত্র 9.29(d)]। সঠিক অক্ষ অভিমুখে উপযুক্ত বক্রতা ব্যাসার্ধের বেলনাকার লেন্স ব্যবহার করে বিষমদৃষ্টি জনিত ত্রুটি সংশোধন করা যেতে পারে। হ্রস্বদৃষ্টি এবং দীর্ঘদৃষ্টির পাশাপাশি বিষম দৃষ্টিজনিত ত্রুটিও দেখা দিতে পারে।

উদাহরণ 9.10 50 cm স্পষ্ট দর্শনের নিকটতম দূরত্ব বিশিষ্ট এক ব্যক্তির ক্ষেত্রে পড়াশোনার জন্য ব্যবহৃত লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্য কত হওয়া প্রয়োজন?

সমাধান স্বাভাবিক দর্শনের ন্যূনতম দূরত্ব 25 cm হওয়ায়, $u = -25$ cm দূরত্বে একটি বই রাখলে $v = -50$ cm দূরে এর প্রতিবিম্ব গঠিত হবে। তাই প্রত্যাশিত ফোকাস দৈর্ঘ্যটি নিম্নরূপে পাওয়া যায়,

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{v} - \frac{1}{u}$$

$$\text{বা, } \frac{1}{f} = \frac{1}{-50} - \frac{1}{-25} = \frac{1}{50}$$

$$\text{বা, } f = +50 \text{ cm (উত্তল লেন্স)}$$

উদাহরণ 9.11

- (a) স্বল্প দৃষ্টিসম্পন্ন এক ব্যক্তির চোখ থেকে দূর বিন্দুটির দূরত্ব হল 80 cm। অতি দূরবর্তী বস্তুকে স্পষ্টভাবে দেখতে গেলে ওই ব্যক্তির কত ক্ষমতা সম্পন্ন লেন্সের প্রয়োজন?
- (b) প্রতিকারী লেন্সটি কীভাবে এই ব্যক্তিকে সহায়তা করবে? এই লেন্সটি কি অতি দূরবর্তী বস্তুকে বিবর্ধিত করে? সঠিক ব্যাখ্যা দাও।
- (c) বই পড়ার সময় এই ব্যক্তি তার চশমাটি খুলে রাখাই পছন্দ করে। এমনটা কেন তা ব্যাখ্যা কর।

সমাধান

- (a) পূর্বের উদাহরণটির মতো সমাধান করে আমরা পাই যে, ওই ব্যক্তির – 80 cm ফোকাস দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট অবতল লেন্স ব্যবহার করা উচিত, অর্থাৎ এর ক্ষমতা হবে – 1.25 ডায়প্টার।
- (b) না, বস্তুত অবতল লেন্স বস্তুর খর্বাকার প্রতিবিম্ব গঠন করে, কিন্তু দূরবর্তী বস্তু কর্তৃক চোখে উৎপন্ন কোণ এবং প্রতিবিম্ব (দূরবিন্দু থেকে) কর্তৃক উৎপন্ন কোণ একই হয়। সংশোধক লেন্স বস্তুর বিবর্ধন ঘটায় বলেই চোখ দূরবর্তী বস্তুসমূহকে দেখতে পায়, এমনটা নয় বরং এটি বস্তুকে চোখের দূরবিন্দুতে (অর্থাৎ এটি বস্তুর অসদ্বিষ গঠন করে) নিয়ে আসে যা পরবর্তীতে চোখের লেন্স দ্বারা রেটিনাতে কেন্দ্রীভূত হয়।
- (c) স্বল্প দৃষ্টিসম্পন্ন কোনো ব্যক্তির স্পষ্ট দর্শনের নিকটতম দূরত্ব স্বাভাবিক হয়, অর্থাৎ প্রায় 25 cm (বা তার চাইতেও কম) হয়ে থাকে। চশমা ব্যবহার করে বই পড়ার সময় এধরনের চক্ষু ত্রুটিসম্পন্ন ব্যক্তি অবশ্যই বইটিকে 25 cm-এর অধিক দূরত্বে ধরবেন যাতে অবতল লেন্সটি দ্বারা বইটির প্রতিলিপির প্রতিবিম্ব 25 cm অপেক্ষা কম দূরত্বে না হয়। স্পষ্টতই 25 cm দূরত্বে থাকা কোনো বইয়ের কৌণিক আকার অপেক্ষা অধিক দূরত্বে থাকা বইটির (বা তার প্রতিবিম্বের) কৌণিক আকার কম হয় এবং এক্ষেত্রে কোনো চশমার প্রয়োজন হয় না। তাই বই পড়াকালীন সময়ে ব্যক্তি চশমা সরিয়ে রাখাই পছন্দ করেন।

- উদাহরণ 9.12** (a) দীর্ঘদৃষ্টি ত্রুটি সম্পন্ন এক ব্যক্তির চোখ থেকে নিকট বিন্দুর দূরত্ব 75 cm। তার চোখ থেকে 25 cm দূরত্বে থাকা কোনো একটি বই স্পষ্টভাবে পড়তে কত ক্ষমতা যুক্ত লেন্সের প্রয়োজন? (b) সংশোধিত লেন্সটি কীভাবে ব্যক্তিকে সহায়তা করবে? লেন্সটি চোখের সন্নিহিত রাখা বস্তুটিকে বিবর্ধিত করে কি? (c) এই ব্যক্তি যখন আকাশের দিকে তাকায় তখন চশমাটি সরিয়ে রাখাই পছন্দ করে। ব্যাখ্যা করো, কেন?

সমাধান

- (a) $u = -25 \text{ cm}$, $v = -75 \text{ cm}$
 $1/f = 1/25 - 1/75$, অর্থাৎ, $f = 37.5 \text{ cm}$
 সংশোধক লেন্সটির অভিসারী ক্ষমতা +2.67 ডায়প্টার হওয়া প্রয়োজন।
- (b) সংশোধক লেন্সটি 25 cm দূরে থাকা বস্তুটির একটি অসদ্বিষ (75 cm দূরে) গঠন করবে। এই প্রতিবিম্বের কৌণিক আকার এবং বস্তুর কৌণিক আকার একই হয়। এক্ষেত্রে লেন্স বস্তুটির বিবর্ধন ঘটায় না, কিন্তু দীর্ঘদৃষ্টিসম্পন্ন চোখের প্রায় নিকট বিন্দুতে বস্তুকে (অসদ্বিষ) নিয়ে আসে, যা পরবর্তীতে চোখের রেটিনাতে কেন্দ্রীভূত হয়। যাইহোক, চশমা ছাড়া কোনো ব্যক্তির নিকট বিন্দুতে (75 cm) বস্তুর কৌণিক আকার অপেক্ষা চশমা ব্যবহার করে ওই একই বস্তুর কৌণিক আকার বড়ো হয়।
- (c) দূরদৃষ্টিজনিত ত্রুটিসম্পন্ন কোনো চোখের দূরবিন্দুর দূরত্ব স্বাভাবিক হয় অর্থাৎ এটি অসীম থেকে আসা সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছকে সংকুচিত অক্ষিগোলকের রেটিনাতে কেন্দ্রীভূত করার মতো যথেষ্ট অভিসারী ক্ষমতাসম্পন্ন হতে পারে। অভিসারী লেন্সসমূহের চশমা (নিকট দর্শনের ক্ষেত্রে ব্যবহৃত) সমান্তরাল রশ্মির ক্ষেত্রে প্রয়োজনীয় অভিসারী ক্ষমতা অপেক্ষা অধিক অভিসারী ক্ষমতার সৃষ্টি করবে। এজন্যেই ওই ব্যক্তি দূরবর্তী বস্তুসমূহকে লক্ষ করার ক্ষেত্রে চশমার ব্যবহার পছন্দ করবে না।

9.9.2 অণুবীক্ষণ যন্ত্র (The microscope)

একটি সরল বিবর্ধক বা অণুবীক্ষণ যন্ত্র হল ক্ষুদ্র ফোকাস দৈর্ঘ্যের একটি অভিসারী লেন্স (চিত্র 9.30)।

অণুবীক্ষণ যন্ত্র হিসেবে এরূপ লেন্স ব্যবহার করার জন্য লেন্সটিকে বস্তু থেকে একক ফোকাস দূরত্বে বা তার কম দূরত্বে রাখা হয় এবং অপর পার্শ্বে লেন্সের সন্নিকটে চোখ থাকে। এরূপ রাখার উদ্দেশ্য হল বস্তুর একটি খাঁড়া, বিবর্ধিত এবং অসদৃশ প্রতিবিম্ব এমন একটি দূরত্বে সৃষ্টি করা, যাতে আমাদের চোখ অনায়াসেই তা দেখতে পায় অর্থাৎ 25 cm বা তার কিছু দূরেই প্রতিবিম্ব তৈরি হওয়া প্রয়োজন। যদি বস্তুটি f দূরত্বে থাকে তবে প্রতিবিম্ব অসীমে গঠিত হবে। তা সত্ত্বেও যদি বস্তুর দূরত্ব লেন্সের ফোকাস দূরত্বের তুলনায় সামান্য কম হয় তবে প্রতিবিম্ব অসদৃশ ও অসীম অপেক্ষা নিকটে গঠিত হয়। যদিও প্রতিবিম্বের আরামদায়ক দর্শনের ক্ষেত্রে বস্তু নিকট বিন্দুতে থাকে (দূরত্ব $D \cong 25$ cm) কিন্তু এটি চোখে পীড়া সৃষ্টি করে। সুতরাং অসীমে গঠিত প্রতিবিম্বকেই স্বচ্ছন্দে দেখার ক্ষেত্রে প্রায়ই উপযুক্ত ধরা হয়। আমরা এখানে দুটো ক্ষেত্রকেই দেখাবো — প্রথমটি 9.30(a) চিত্রে, দ্বিতীয়টি 9.30(b) এবং (c) চিত্রে।

সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্র দ্বারা নিকট বিন্দু D -তে গঠিত প্রতিবিম্বের ক্ষেত্রে রৈখিক বিবর্ধন m -কে নিম্নের সমীকরণ দ্বারা নির্ণয় করা যায়,

$$m = \frac{v}{u} = v \left(\frac{1}{v} - \frac{1}{f} \right) = \left(1 - \frac{v}{f} \right)$$

চিত্রের প্রথা অনুযায়ী v ঋণাত্মক এবং এর মান D -এর সমান। অতএব

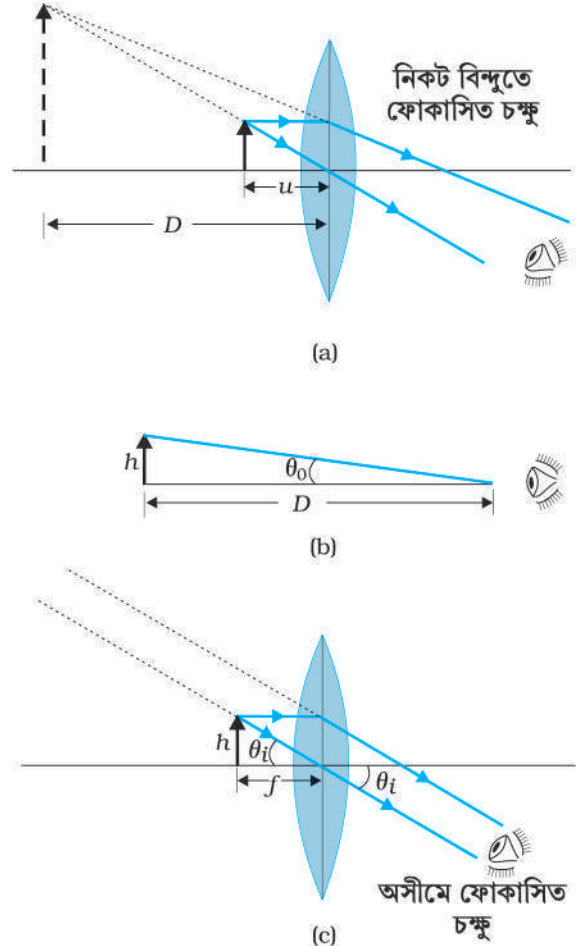
$$m = \left(1 + \frac{D}{f} \right) \quad (9.39)$$

D -এর মান প্রায় 25 cm হওয়ায়, 6 গুণ বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব পেতে $f = 5$ cm ফোকাস দৈর্ঘ্যের একটি উত্তল লেন্সের প্রয়োজন।

লক্ষ করো, $m = h'/h$ যেখানে h এবং h' যথাক্রমে বস্তু ও প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য। যদি কষ্টহীনভাবে দেখার জন্য বস্তুটিকে D তে রাখা হয়, তখন উৎপন্ন বিবর্ধন m হল যথাক্রমে প্রতিবিম্ব ও বস্তু দ্বারা লেন্সে উৎপন্ন কোণের অনুপাত। (লক্ষ কর, এটি প্রকৃতপক্ষে বস্তু দ্বারা চোখে উৎপন্ন কোণ নয় যার মান h/u)। একটি একক লেন্স সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের কার্যকারিতা হল এটি বস্তুকে D -এর তুলনায় চোখের অনেক কাছে নিয়ে আসে।

আমরা এখন প্রতিবিম্ব যদি অসীমে থাকে সেক্ষেত্রে বিবর্ধন নির্ণয় করবো। এক্ষেত্রে আমাদের কৌণিক বিবর্ধন নির্ণয় করতে হবে। ধরো, বস্তুর উচ্চতা h । এটি যখন ন্যূনতম বিন্দু অর্থাৎ D দূরত্বে থাকে তখন এটি সর্বোচ্চ কোণ উৎপন্ন করে এবং স্পষ্টভাবে দৃশ্যমান (লেন্স ছাড়াই) হয়। তখন উৎপন্ন কোণ,

$$\tan \theta_o = \left(\frac{h}{D} \right) \approx \theta_o \quad (9.40)$$



চিত্র 9.30 একটি সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্র ; (a) বিবর্ধক লেন্সটি এমন জায়গায় স্থাপিত যেন প্রতিবিম্ব নিকট বিন্দুতে গঠিত হয়, (b) বস্তু কর্তৃক উৎপন্ন কোণ, নিকট বিন্দুতে উৎপন্ন কোণের সমান হয়, এবং (c) বস্তু লেন্সের ফোকাস বিন্দুর কাছে থাকলে, প্রতিবিম্ব অনেক দূরে কিন্তু অসীম অপেক্ষা নিকটে গঠিত হয়।

বস্তু যখন u তে থাকে তখন প্রতিবিম্ব দ্বারা চোখে উৎপন্ন কোণের মান আমরা এখন নির্ণয় করবো।

$$\frac{h'}{h} = m = \frac{v}{u} \text{ সমীকরণ থেকে আমরা পাই, প্রতিবিম্ব দ্বারা উৎপন্ন কোণ}$$

$$\tan \theta_i = \frac{h'}{-v} = \frac{h}{-v} \cdot \frac{v}{u} = \frac{h}{-u} \approx \theta \text{। যখন বস্তু } u = -f \text{-এ থাকে, বস্তু দ্বারা উৎপন্ন কোণ}$$

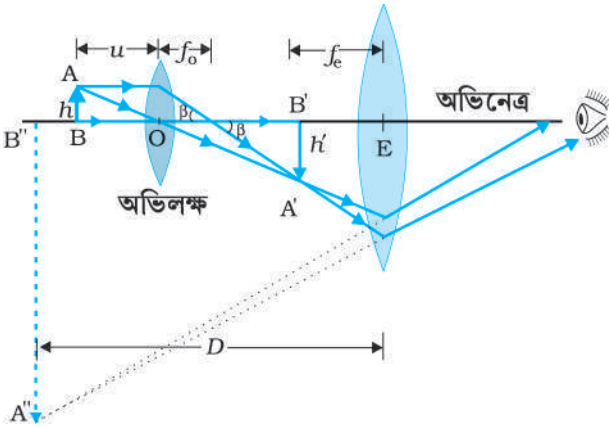
$$\theta_i = \left(\frac{h}{f} \right) \quad (9.41)$$

যা 9.29(c) চিত্র থেকে স্পষ্ট। সুতরাং, কৌণিক বিবর্ধন

$$m = \left(\frac{\theta_i}{\theta_o} \right) = \frac{D}{f} \quad (9.42)$$

এই বিবর্ধনের মান, নিকটতম বিন্দুতে সৃষ্ট প্রতিবিম্বের জন্য বিবর্ধনের তুলনায় কম হয় (সমীকরণ 9.39), কিন্তু দর্শনের ক্ষেত্রে এটি অধিক আরামদায়ক এবং বিবর্ধনের পার্থক্যও সাধারণত কম হয়। আলোকীয় যন্ত্রাদি সম্পর্কিত (অণুবীক্ষণ এবং দূরবীক্ষণ) আলোচনায় আমরা ধরে নেবো যে প্রতিবিম্ব অসীমে গঠিত হবে।

ফোকাস দূরত্বের বাস্তবমানের জন্য সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের সর্বোচ্চ বিবর্ধনের সীমা মান থাকে (≤ 9)। অধিকতর বিবর্ধনের ক্ষেত্রে দুটো লেন্স ব্যবহার করা হয় যেখানে একটি লেন্স অপরটির প্রভাবকে আরো বাড়িয়ে দেয়। একে যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্র (*compound microscope*) বলে। 9.31 চিত্রে একটি যৌগিক অণুবীক্ষণের রূপরেখা চিত্র দেখানো হয়েছে। বস্তুর নিকটস্থ লেন্সটিকে অভিলক্ষ্য (*objective*) বলে। এটি বস্তুর সদৃ অবশীর্ষ এবং বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব গঠন করে। এই প্রতিবিম্ব দ্বিতীয় লেন্সের নিকট



চিত্র 9.31 যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্র দ্বারা প্রতিবিম্ব গঠনের রশ্মিচিত্র।

বস্তুরূপে কাজ করে। এই দ্বিতীয় লেন্সটিকে অভিনেত্র (*eyepiece*) বলে, যা মূলত সরল অণুবীক্ষণ বা বিবর্ধক হিসেবে কাজ করে এবং চূড়ান্ত বিবর্ধিত অসদৃ প্রতিবিম্ব গঠন করে। প্রথম অবশীর্ষ প্রতিবিম্বটি অভিনেত্রের ফোকাস তলের কাছে (ফোকাসে বা তার ভেতর) এমন দূরত্বে গঠিত হয় যা অসীমে প্রতিবিম্ব সৃষ্টির জন্য উপযুক্ত বা যথাযথ, অথবা নিকট বিন্দুতে প্রতিবিম্ব সৃষ্টির জন্য অসীম থেকে কিছুটা কাছে গঠিত হয়। স্পষ্টতই অস্তিম প্রতিবিম্বটি মূল বস্তুটির সাপেক্ষে উল্টানো বা অবশীর্ষ হয়।

আমরা এখন যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রের ক্ষেত্রে বিবর্ধন নির্ণয় করবো। 9.31 চিত্রের রশ্মিচিত্র দর্শায় যে অভিলক্ষ্যের জন্য বিবর্ধন (রৈখিক) অর্থাৎ h'/h হল

$$m_o = \frac{h'}{h} = \frac{L}{f_o} \quad (9.43)$$

যেখানে আমরা নীচের ফলাফলকে ব্যবহার করেছি

$$\tan \beta = \left(\frac{h}{f_o} \right) = \left(\frac{h'}{L} \right)$$

এখানে h' হল প্রথম প্রতিবিম্বের আকার, h হল বস্তুর আকার এবং অভিলক্ষ্যের ফোকাস দৈর্ঘ্য হল f_o । অভিনেত্রের ফোকাস বিন্দুর কাছে প্রথম প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। L দৈর্ঘ্য অর্থাৎ অভিলক্ষ্যের দ্বিতীয়

রশ্মি আলোক বিজ্ঞান এবং আলোকীয় যন্ত্রাদি

ফোকাস বিন্দু থেকে অভিনেত্রের প্রথম ফোকাস বিন্দু (ফোকাস দৈর্ঘ্য f_e) পর্যন্ত দূরত্বই হল যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রের নলের দৈর্ঘ্য।

অভিলক্ষ্যের ফোকাস বিন্দুর কাছে প্রথম অবশীর্ষ প্রতিবিম্ব গঠিত হয়, অস্তিম প্রতিবিম্ব যখন নিকট বিন্দুতে গঠিত হয় সেক্ষেত্রে সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্র সম্পর্কিত উপরের আলোচনা থেকে প্রাপ্ত ফলাফলকে [সমীকরণ (9.39)] ব্যবহার করে এর বিবর্ধন (কৌণিক) m_e নির্ণয় করা হয়। কাজেই,

$$m_e = \left(1 + \frac{D}{f_e}\right) \quad [9.44(a)]$$

অস্তিম প্রতিবিম্ব যখন অসীমে গঠিত হয়, অভিনেত্রের জন্য কৌণিক বিবর্ধন [সমীকরণ (9.42)] হয়

$$m_e = (D/f_e) \quad [9.44(b)]$$

অতএব, যখন প্রতিবিম্ব অসীমে গঠিত হয়, মোট বিবর্ধন [(9.33) সমীকরণ অনুযায়ী]

$$m = m_o m_e = \left(\frac{L}{f_o}\right) \left(\frac{D}{f_e}\right) \quad (9.45)$$

স্পর্ষতই একটি ক্ষুদ্র বস্তুর বৃহৎ বিবর্ধন পেতে (অণুবীক্ষণ নাম এই কারণেই) অভিলক্ষ্য এবং অভিনেত্রের ফোকাস দৈর্ঘ্য অবশ্যই কম হবে। বাস্তবক্ষেত্রে 1 cm দৈর্ঘ্যের কম ফোকাস দৈর্ঘ্য বানানো খুবই কষ্টসাধ্য। আবার বড়ো মানের L তৈরিতে বৃহৎ আকারের লেন্সের প্রয়োজন হয়।

উদাহরণস্বরূপ, $f_o = 1.0$ cm ফোকাস দৈর্ঘ্যের অভিলক্ষ্য এবং 20 cm দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট নলের ক্ষেত্রে বিবর্ধন

$$m = m_o m_e = \left(\frac{L}{f_o}\right) \left(\frac{D}{f_e}\right) \\ = \frac{20}{1} \times \frac{25}{2} = 250$$

বস্তুর ঔজ্জ্বল্যের মতো বিভিন্ন বিষয়সমূহ প্রতিবিম্বের উৎকর্ষ ও দৃশ্যমানতায় প্রভাব ফেলে। আধুনিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রে লেন্সের বিভিন্ন আলোকীয় অপেরেশনের হ্রাস ঘটিয়ে প্রতিবিম্বের উৎকর্ষতা বৃদ্ধিতে অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রে বিভিন্ন লেন্সের সমবায় ব্যবহার করা হয়।

9.9.3 দূরবীক্ষণ (Telescope)

দূরবর্তী বস্তুর কৌণিক বিবর্ধনের জন্য দূরবীক্ষণ যন্ত্র ব্যবহার করা হয় (চিত্র 9.32)। এ যন্ত্রেও একটি অভিলক্ষ্য এবং অভিনেত্র থাকে। কিন্তু এক্ষেত্রে অভিনেত্রের তুলনায় অভিলক্ষ্যের ফোকাস দৈর্ঘ্য বৃহৎ এবং উন্মেষ খুব বড়ো হয়। দূরবর্তী কোনো বস্তু থেকে আগত আলো অভিলক্ষ্যে প্রবেশ করে নলের অভ্যন্তরে অভিলক্ষ্যের দ্বিতীয় ফোকাস বিন্দুতে একটি সদৃশ প্রতিবিম্ব গঠন করে। অভিনেত্রে প্রতিবিম্বটিকে বিবর্ধিত করে চূড়ান্ত অবশীর্ষ প্রতিবিম্ব গঠন করে। বিবর্ধন ক্ষমতা m হল চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব কর্তৃক চোখে উৎপন্ন কোণ β এবং বস্তু কর্তৃক লেন্সে বা চোখে উৎপন্ন কোণ α -এর অনুপাত। কাজেই

$$m \gg \frac{\beta}{\alpha} \gg \frac{h}{f_e} \cdot \frac{f_o}{h} = \frac{f_o}{f_e} \quad (9.46)$$

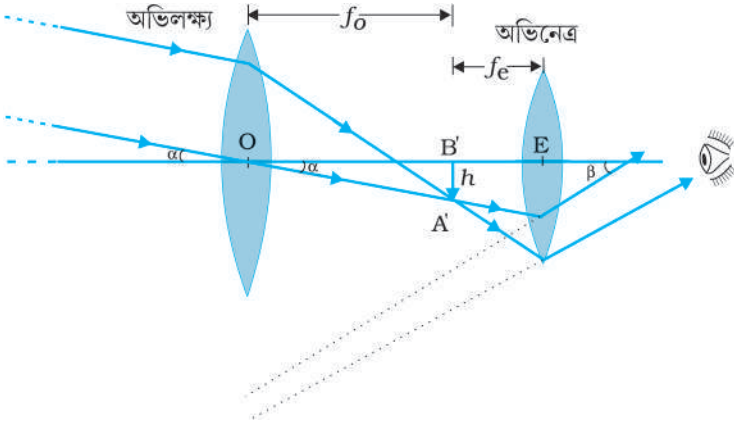
এক্ষেত্রে দূরবীক্ষণ নলের দৈর্ঘ্য $f_o + f_e$ ।

চূড়ান্ত খাঁড়া এবং সমশীর্ষ প্রতিবিম্ব গঠনে ভৌম দূরবীক্ষণে অতিরিক্ত একজোড়া অবশীর্ষকারী লেন্স থাকে। পার্থিব এবং নভোমণ্ডলীয় পর্যবেক্ষণ, উভয় ক্ষেত্রেই প্রতীসারক দূরবীক্ষণ ব্যবহার করা যেতে

PHYSICS

The world's largest optical telescopes
<http://astro.nineplanets.org/bigeyes.html>

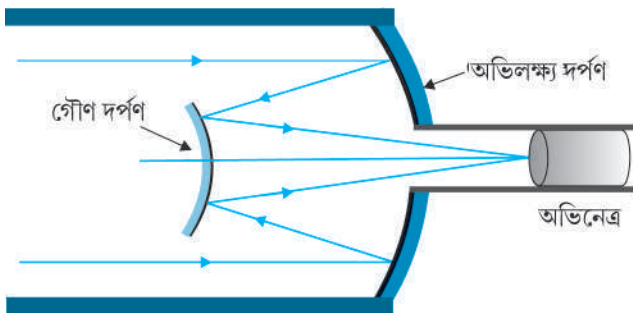
পদার্থবিদ্যা



চিত্র 9.32 একটি প্রতিসরাঙ্ক দূরবীক্ষণ যন্ত্র।

বস্তুসমূহ পর্যবেক্ষণ করা যেতে পারে। বিশ্লেষণী ক্ষমতা অথবা প্রায় একইদিকে থাকা দুটি বস্তুকে স্পষ্টভাবে পর্যবেক্ষণের সামর্থ্য ও অভিলক্ষ্যের ব্যাসের উপর নির্ভর করে। সুতরাং, আলোকীয় দূরবীক্ষণ যন্ত্র তৈরির অভীষ্ট লক্ষ্যই হল বৃহৎ ব্যাসের অভিলক্ষ্য ব্যবহার করা। বর্তমানে ব্যবহৃত বৃহত্তর অভিলক্ষ্য লেন্সের ব্যাস 40 inch (~1.02 m)। এটি মার্কিন যুক্তরাষ্ট্রের উইসকোনসিনের (Wisconsin) ইয়াক্স মানমন্দিরে (Yerks Observatory) অবস্থিত। এরূপ বৃহৎ লেন্সগুলো খুব ভারী হওয়ায় এগুলো তৈরি করা এবং এদেরকে প্রান্তে আটকানো খুবই কষ্টসাধ্য। বর্ণাপেরণ এবং বিকৃতিযুক্ত প্রতিবিশ্ব সৃষ্টিকারী এরূপ বৃহদাকার লেন্স তৈরি করা যথেষ্ট কষ্টসাধ্য এবং ব্যয়বহুল।

এই সকল কারণে, আধুনিক দূরবীক্ষণ যন্ত্রে অভিলক্ষ্যরূপে লেন্সের পরিবর্তে একটি অবতল দর্পণ ব্যবহার করা হয়। ‘দর্পণ অভিলক্ষ্য’ (mirror objective) দূরবীক্ষণ যন্ত্রকে প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্রও বলা হয়। দর্পণে কোনোরূপ বর্ণাপেরণ হয় না। সমতুল্য আলোকীয় গুণাবলি বিশিষ্ট একটি লেন্সের তুলনায় একটি দর্পণের ওজন যথেষ্ট কম এবং একে প্রান্তধারে না আটকিয়ে সম্পূর্ণ পশ্চাৎ পৃষ্ঠতলের ওপর আটকানো যেতে পারে বলে এটি যান্ত্রিক উপায়ে আটকানো অপেক্ষাকৃত কম কষ্টসাধ্য। প্রতিফলক দূরবীক্ষণের একটি প্রত্যক্ষ সমস্যা হল, এক্ষেত্রে অভিলক্ষ্য দর্পণটি দূরবীক্ষণ নলের অভ্যন্তরেই আলোকে ফোকাস করে। দূরবীক্ষণে অবশ্যই একটি অভিনেত্র থাকে এবং পর্যবেক্ষকও ঠিক ওই স্থানে থাকবে এবং পর্যবেক্ষণ কক্ষের



চিত্র 9.33 একটি প্রতিফলক দূরবীক্ষণের (ক্যাসেগ্রেইন) রূপরেখা চিত্র।

আকারের উপর নির্ভর করে কিছু পরিমাণ আলোকে প্রতিরোধ করবে। ক্যালিফোর্নিয়ায় অর্ন্তগত মাউন্ট পালামোর 200 ইঞ্চির (~5.08 m) বিশাল ব্যাসের টেলিস্কোপে এই অসুবিধা দূরীকরণের কাজটিই করা হয়েছে। পর্যবেক্ষক দর্পণের ফোকাস বিন্দুর কাছে একটি ছোটো ঘরে বসেন। এই সমস্যার অপর একটি সমাধান হল অপর দর্পণ দ্বারা কেন্দ্রীভূত আলোকে বিচ্যুত করা। 9.33 চিত্রে এরূপ একটি ব্যবস্থাকে দেখানো হয়েছে, যেখানে একটি গৌণ উত্তল দর্পণ দ্বারা আপতিত আলোকে কেন্দ্রীভূত করা হয় যা প্রাথমিক অভিলক্ষ্য দর্পণের ছিদ্রের ভেতর দিয়ে নির্গত হয়। একে আবিষ্কার্তার নাম অনুসারে ক্যাসেগ্রেইন (Cassegrain telescope) দূরবীক্ষণ বলে। এর সুবিধাগুলো হল ছোটো দূরবীক্ষণের ফোকাস দৈর্ঘ্য বৃহৎ মানের হয়। তামিলনাড়ুর কালাভুরে ভারতের বৃহত্তম দূরবীক্ষণটি অবস্থিত। এটি 2.34 m ব্যাসের প্রতিফলক দূরবীক্ষণ (ক্যাসেগ্রেইন)। এটির বিভিন্ন অংশগুলো

রশ্মি আলোক বিজ্ঞান এবং আলোকীয় যন্ত্রাদি

ঘষে পালিশ করে একসঙ্গে যুক্ত করে স্থাপন করা হয়, যা এখন ব্যাঞ্জালোরের ইন্ডিয়ান ইনস্টিটিউট অফ অ্যাস্ট্রোফিজিক্সের বিজ্ঞানীরা ব্যবহার করছেন। আমেরিকা যুক্তরাষ্ট্রের হাওয়াই দ্বীপে স্থাপিত পৃথিবীর সবচেয়ে বড়ো প্রতিফলক দূরবীক্ষণ হল 10 m ব্যাসের প্রতিফলক যুক্ত একজোড়া কেপ্‌ দূরবীক্ষণ (Keck telescope)।

সারাংশ

1. আপতিত রশ্মি, প্রতিফলিত রশ্মি, প্রতিসৃত রশ্মি এবং অভিলম্ব একই সমতলে অবস্থান করলে $\angle i = \angle r'$ সমীকরণ অনুযায়ী প্রতিফলন এবং স্নেলের সূত্র $\sin i / \sin r = n$ অনুযায়ী প্রতিসরণ সংগঠিত হয়। যেখানে i , r' এবং r হল যথাক্রমে আপতন কোণ, প্রতিফলন কোণ এবং প্রতিসরণ কোণ।
2. ঘনতর মাধ্যম থেকে লঘুতর মাধ্যমে প্রতিসরণের ক্ষেত্রে যে আপতন কোণের জন্য প্রতিসরণ কোণ 90° হয় তাকে সংকট কোণ i_c বলে। $i > i_c$ -এর ক্ষেত্রে পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলন ঘটে। হীরকে বহুসংখ্যক অভ্যন্তরীণ প্রতিফলন ($i_c \cong 24.4^\circ$), পূর্ণ প্রতিফলক প্রিজম এবং মরিচিকা প্রভৃতি অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলনের কিছু উদাহরণ। আলোকীয় তন্তু নিম্ন প্রতিসরাঙ্ক বিশিষ্ট উপাদানের পাতলা প্রলেপে আবৃত কাচতন্তু দিয়ে গঠিত। আলোক তন্তুটিকে বাঁকানো হলেও এর একপ্রান্তে আপতিত আলো বারংবার অভ্যন্তরীণ প্রতিফলনের পর অপর প্রান্ত দিয়ে বেরিয়ে আসে।
3. *চিহ্নের কার্তেসীয় রীতি* : আপতিত আলোর অভিমুখে মাপা দূরত্ব ধনাত্মক, আলোর বিপরীত অভিমুখে তা ঋণাত্মক। সব দূরত্বই প্রধান অক্ষের উপর দর্পণের মেরু / লেন্সের আলোককেন্দ্র থেকে মাপা হয়। x -অক্ষের উপরের দিকে এবং দর্পণ/লেন্সের প্রধান অক্ষের উপর লম্বভাবে মাপা উচ্চতা ধনাত্মক হয়। বিপরীতে নিম্নাভিমুখী উচ্চতাকে ঋণাত্মক ধরা হয়।

4. *দর্পণের সমীকরণ* :

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

যেখানে u এবং v হল যথাক্রমে বস্তু ও প্রতিবিম্ব দূরত্ব এবং f হল দর্পণের ফোকাস দৈর্ঘ্য। f আনুমানিকভাবে বক্রতা ব্যাসার্ধের অর্ধেক হয়; অবতল দর্পণের ক্ষেত্রে f ঋণাত্মক; উত্তল দর্পণের ক্ষেত্রে f ধনাত্মক।

5. n_1 প্রতিসরাঙ্কের কোনো মাধ্যমে স্থাপিত A প্রিজমকোণ ও n_2 প্রতিসরাঙ্ক বিশিষ্ট প্রিজমের ক্ষেত্রে,

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin[(A + D_m) / 2]}{\sin(A / 2)}$$

যেখানে D_m হল ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ।

6. গোলীয় অন্তঃতলের মধ্যে দিয়ে প্রতিসরণের ক্ষেত্রে (যথাক্রমে n_1 এবং n_2 প্রতিসরাঙ্ক বিশিষ্ট 1 নং মাধ্যম থেকে 2 নং মাধ্যমে)

$$\frac{n_2}{v} - \frac{n_1}{u} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

পাতলা লেন্সের সূত্র

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

লেঙ্গ নির্মাতার সূত্র

$$\frac{1}{f} = \frac{(n_2 - n_1)}{n_1} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

R_1 এবং R_2 হল লেন্সের তলদ্বয়ের বক্রতা ব্যাসার্ধ। অভিসারী লেন্সের ক্ষেত্রে f ধনাত্মক এবং অপসারী লেন্সের ক্ষেত্রে f ঋণাত্মক। লেন্সের ক্ষমতা $P = 1/f$ ।

লেঙ্গের ক্ষমতার SI একক ডায়প্টার (D) : $1 D = 1 m^{-1}$ ।

f_1, f_2, f_3, \dots ফোকাস দৈর্ঘ্য বিশিষ্ট কতকগুলো লেন্স পরস্পরের সংস্পর্শে থাকলে এদের সমবায়ের কার্যকর ফোকাস দৈর্ঘ্য নিম্নরূপ দেওয়া যায়

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} + \frac{1}{f_3} + \dots$$

কতকগুলো লেন্স সমবায়ের মোট ক্ষমতা $P = P_1 + P_2 + P_3 + \dots$

7. বিচ্ছুরণ হল আলোর ওর উপাদান বর্ণগুলোতে বিচ্ছিন্ন হওয়া।
8. চোখ : চোখে প্রায় 2.5 cm ফোকাস দৈর্ঘ্যের একটি উত্তল লেন্স রয়েছে। এই ফোকাস দৈর্ঘ্য এমনভাবে পরিবর্তিত হতে পারে যেন বস্তুর প্রতিবিম্বটি সর্বদাই রেটিনায় গঠিত হয়। চোখের এই ক্ষমতাকে উপযোজন (accommodation) বলে। ত্রুটিপূর্ণ চোখের ক্ষেত্রে যখন প্রতিবিম্বটি রেটিনার সামনে গঠিত হয় (মায়োপিয়া বা হ্রস্বদৃষ্টি) তখন একটি অপসারী সংশোধক লেন্সের প্রয়োজন হয়; আবার যখন প্রতিবিম্বটি রেটিনার পশ্চাতে গঠিত হয় (হাইপার মেট্রোপিয়া) বা দীর্ঘদৃষ্টি তখন একটি অভিসারী সংশোধক লেন্সের প্রয়োজন হয়। চোঙাকৃতি লেন্স ব্যবহার করে অ্যাস্টিগম্যাটিজম বা বিষমদৃষ্টি জনিত ত্রুটি সংশোধন করা যায়।
9. একটি সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন ক্ষমতা $m = 1 + (D/f)$, যেখানে $D =$ স্পষ্ট দর্শনের ক্ষেত্রে ন্যূনতম দূরত্ব 25 cm এবং f হল উত্তল লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্য। প্রতিবিম্বটি অসীমে গঠিত হলে $m = D/f$ । যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন ক্ষমতা, $m = m_e \times m_o$ যেখানে $m_e = 1 + (D/f_e)$ হল অভিনেত্রজনিত বিবর্ধন এবং m_o অভিলক্ষ্য দ্বারা সৃষ্টি বিবর্ধন। আনুমানিকভাবে

$$m = \frac{L}{f_o} \times \frac{D}{f_e}$$

যেখানে f_o এবং f_e যথাক্রমে অভিলক্ষ্য এবং অভিনেত্রের ফোকাস দৈর্ঘ্য এবং L হল ওদের ফোকাস বিন্দুদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব।

10. দূরবীক্ষণের বিবর্ধন ক্ষমতা (m) হল প্রতিবিম্ব দ্বারা চোখে উৎপন্ন কোণ β ও বস্তুদ্বারা চোখে উৎপন্ন কোণ α -এর অনুপাত।

$$m = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{f_o}{f_e}$$

যেখানে f_o ও f_e হল যথাক্রমে অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দৈর্ঘ্য।

ভেবে দেখার বিষয়সমূহ

1. প্রতিফলন এবং প্রতিসরণের সূত্রাবলি সকল প্রকার তল এবং মাধ্যম যুগলের জন্য আপতন বিন্দুতে সত্য হয়।
2. উত্তল লেন্স থেকে f এবং $2f$ দূরত্বের মধ্যে রাখা একটি বস্তুর সদ্বিম্বকে প্রতিবিম্বের অবস্থানে রাখা পর্দায় দেখা যেতে পারে। পর্দাটিকে সরিয়ে নেওয়া হলেও প্রতিবিম্বটি সেইস্থানেই থাকে কি? এই প্রশ্নটি অনেককেই ধাঁধায় ফেলে, কেননা বায়ুতে প্রলম্বিত একটি প্রতিবিম্বকে পর্দা ব্যতীত পুনর্গঠন করা আমাদের পক্ষে কষ্টসাধ্য। কিন্তু প্রতিবিম্বটির অস্তিত্ব রয়েছে। বস্তুর কোনো

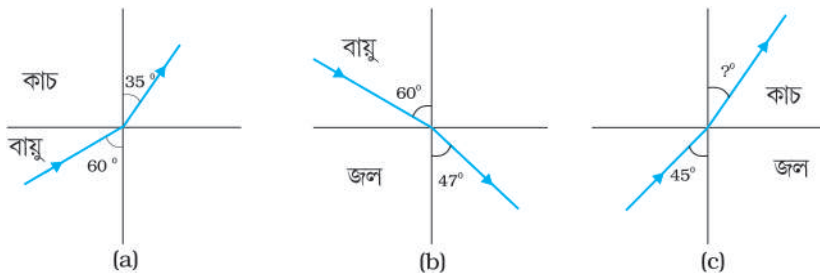
রশ্মি আলোক বিজ্ঞান এবং আলোকীয় যন্ত্রাদি

বিন্দু থেকে আগত রশ্মি অভিসারী হয়ে বায়ুতে প্রতিবিন্দুতে পৌঁছায় এবং অপসারী হয়ে নির্গত হয়। পর্দা এই রশ্মিগুলোর কেবলমাত্র বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন ঘটায় যাদের কিছু আমাদের চোখে পৌঁছায় এবং আমরা প্রতিবিন্দুটি দেখতে পাই। লেজার শো চলাকালিন সময়ে বায়ুতে গঠিত এরপ প্রতিবিন্দু আমরা দেখতে পাই।

3. প্রতিবিন্দু গঠনে নিয়মিত প্রতিফলন / প্রতিসরণের প্রয়োজন হয়। নীতিগতভাবে, কোনো বিন্দু থেকে আগত রশ্মিগুচ্ছ একই প্রতিবিন্দুতে পৌঁছাতে হবে। এই কারণেই বই-এর মতো বিক্ষিপ্ত প্রতিফলক বস্তুতে আমরা আমাদের প্রতিবিন্দু দেখতে পাই না।
4. বিচ্ছুরণ জনিত কারণে পুরু লেন্স রঞ্জিন প্রতিবিন্দু গঠন করে। কোনো বস্তুর উপর আপতিত আলোর উপাদান বর্ণসমূহের জন্যই আমরা আমাদের চারপাশের বস্তুগুলোতে বৈচিত্র্যময় বর্ণ দেখতে পাই। সাদা আলোতে সাদা বস্তু বর্ণের সাপেক্ষে একটি একবর্ণী আলোতে উদ্ভাসিত বস্তুর বর্ণ সম্পূর্ণভাবে এক ভিন্ন অনুভূতি সৃষ্টি করে।
5. সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রে, প্রতিবিন্দুর কৌণিক আকার বস্তুর কৌণিক আকারের সমান হয়। তথাপি এটি বিবর্ধন করে কারণ ক্ষুদ্র বস্তুকে আমরা চোখ থেকে 25 cm অপেক্ষা কম দূরত্বে রাখতে পারি, ফলে এটি বৃহৎ কোণ উৎপন্ন করে। প্রতিবিন্দুটি 25 cm দূরত্বেই থাকে যা আমরা দেখতে পারি। অণুবীক্ষণ যন্ত্র ব্যতীত দেখতে হলে ক্ষুদ্র বস্তুটিকে আমাদের চোখ থেকে 25 cm দূরে রাখতে হয় যার ফলে চোখে খুব ক্ষুদ্র কোণ উৎপন্ন হয়।

অনুশীলনী

- 9.1 36 cm বক্রতার ব্যাসার্ধের একটি অবতল দর্পণের সামনে 27 cm উচ্চতার একটি ছোটো মোমবাতি রাখা হল। একটি স্পষ্ট প্রতিবিন্দু পেতে হলে পর্দাকে দর্পণ থেকে কত দূরে রাখতে হবে? প্রতিবিন্দুর প্রকৃতি ও আকার কী হবে? মোমবাতিটিকে যদি দর্পণের দিকে সরানো হয় তবে পর্দাটিকে কোন্‌দিকে সরাতে হবে?
- 9.2 15 cm ফোকাসদৈর্ঘ্যের একটি উত্তল দর্পণ থেকে 12 cm দূরত্বে একটি শলাকাকে রাখা হল। প্রতিবিন্দুর অবস্থান এবং বিবর্ধন নির্ণয় করো। শলাকাটিকে দর্পণ থেকে আরো সরিয়ে নেওয়া হলে প্রতিবিন্দুর কীরূপ পরিবর্তন ঘটবে?
- 9.3 একটি ট্যাঙ্কে 12.5 cm উচ্চতা পর্যন্ত জল পূর্ণ করা হল। অণুবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে ট্যাঙ্কের তলায় থাকা একটি শলাকার আপাত গভীরতা 9.4 cm পাওয়া গেলো। জলের প্রতিসরাংকের মান কত? যদি জলের পরিবর্তনের 1.63 প্রতিসরাংক বিশিষ্ট তরল দ্বারা একই উচ্চতা পর্যন্ত পূর্ণ করা হয়, তবে শলাকাটিকে পুনরায় ফোকাস করতে অণুবীক্ষণ যন্ত্রটিকে কী পরিমাণে সরাতে হবে?
- 9.4 9.34(a) এবং (b) চিত্রদ্বয় যথাক্রমে কাচ ও বায়ু এবং জল ও বায়ু অন্তঃতলে বায়ুতে অভিলম্বের সাথে 60° কোণে আপতিত একটি আলোক রশ্মির প্রতিসরণকে দেখাচ্ছে। কাঁচ ও জলের অন্তঃতলে



চিত্র 9.34

- জলে অভিলম্বের সাথে 45° কোণে আপতিত রশ্মির কাচে প্রতিসরণ কোণ নির্ণয় কর। [চিত্র 9.34(c)]।
- 9.5** 80cm গভীরতার জলভর্তি একটি ট্যাঙ্কের তলদেশে একটি ক্ষুদ্র বাস্ককে স্থাপন করা হল। জলতলের কতটা ক্ষেত্রফল দিয়ে বাস্কের আলো নির্গত হতে পারবে? জলের প্রতিসরাঙ্ক 1.33। (বাস্কটিকে একটি বিন্দু উৎস রূপে ধরে নাও।)
- 9.6** একটি প্রিজম অজানা প্রতিসরাঙ্কের কাচ দ্বারা তৈরি। একটি সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ প্রিজমের একটি তলে আপতিত হল। ন্যূনতম চ্যুতিকোণের নির্ণীত মান 40° । প্রিজমের প্রতিসরণ কোণ 60° । যদি প্রিজমটিকে জলে (প্রতিসরাঙ্ক 1.33) রাখা হয়, তবে সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছের ন্যূনতম চ্যুতিকোণের নতুন মান নির্ণয় করো।
- 9.7** একটি উভোত্তল লেন্স 1.55 প্রতিসরাঙ্কের কাচ দিয়ে নির্মিত যার উভয়তলের বক্রতা ব্যাসার্ধ সমান। লেন্সটির ফোকাস দৈর্ঘ্য 20 cm হতে হলে বক্রতা ব্যাসার্ধ কত হওয়া প্রয়োজন?
- 9.8** একটি আলোকরশ্মি P বিন্দুতে অভিসৃত হয়। অভিসারী রশ্মিগুচ্ছের গতিপথের P বিন্দু থেকে 12 cm দূরে একটি লেন্সকে স্থাপন করা হলে আলোক রশ্মিটি কোথায় অভিসৃত হবে, যদি লেন্সটি (a) 20 cm ফোকাস দৈর্ঘ্যের একটি উত্তল লেন্স হয়, এবং (b) 16 cm ফোকাস দৈর্ঘ্যের একটি অবতল লেন্স হয়।
- 9.9** 12 cm ফোকাস দৈর্ঘ্যের একটি অবতল লেন্সের সম্মুখে 14 cm দূরে 3.0 cm দৈর্ঘ্যের একটি বস্তু রাখা হল। লেন্স দ্বারা সৃষ্ট প্রতিবিশ্বের বর্ণনা দাও। বস্তুটিকে লেন্স থেকে আরো দূরে সরিয়ে নিলে প্রতিবিশ্বের কী ঘটবে?
- 9.10** 20 cm ফোকাসদৈর্ঘ্যের একটি অবতল লেন্সের সংস্পর্শে 30 cm ফোকাস দৈর্ঘ্যের একটি উত্তল লেন্স রয়েছে। লেন্স সমবায়টির তুল্য ফোকাস দৈর্ঘ্য কত হবে? সমবায়টি কী অভিসারী নাকি অপসারী? লেন্সের পুরুত্বকে (thickness) অগ্রাহ্য করো।
- 9.11** 15 cm ব্যবধানে থাকা 2.0 cm ফোকাস দৈর্ঘ্যের অভিলক্ষ্য লেন্স এবং 6.25 cm ফোকাস দৈর্ঘ্যের অভিনেত্র লেন্স নিয়ে একটি যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্র গঠিত। বস্তুটিকে অভিলক্ষ্য থেকে কত দূরে রাখলে চূড়ান্ত প্রতিবিশ্বটি (a) স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্বে (25 cm) এবং (b) অসীমে পাওয়া যাবে? প্রতিটি ক্ষেত্রে অণুবীক্ষণ যন্ত্রটির বিবর্ধন ক্ষমতা কত?
- 9.12** স্বাভাবিক নিকট বিন্দু (25 cm) সম্পন্ন এক ব্যক্তি 8.0 mm ফোকাস দৈর্ঘ্যের অভিলক্ষ্য ও 2.5 cm ফোকাস দৈর্ঘ্যের অভিনেত্র বিশিষ্ট একটি যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্র ব্যবহার করে অভিলক্ষ্য থেকে 9.0 mm দূরত্বে রাখা বস্তুকে স্পষ্ট ফোকাস করতে পারে। লেন্স দ্বয়ের পারস্পরিক ব্যবধান কত? অণুবীক্ষণ যন্ত্রটির বিবর্ধন ক্ষমতা হিসেব করো।
- 9.13** একটি ছোটো দূরবীক্ষণে 144 cm ফোকাস দৈর্ঘ্যের অভিলক্ষ্য লেন্স এবং 6.0 cm ফোকাস দৈর্ঘ্যের অভিনেত্র লেন্স রয়েছে। দূরবীক্ষণটির বিবর্ধন ক্ষমতা কত? অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের পারস্পরিক ব্যবধান কত?
- 9.14** (a) এক মানমন্দিরে রাখা একটি বিশালাকার দূরবীক্ষণে 15 m ফোকাস দৈর্ঘ্যের অভিলক্ষ্য লেন্স রয়েছে। যদি 1.0 cm ফোকাস দৈর্ঘ্যের অভিনেত্র ব্যবহার করা হয় তবে দূরবীক্ষণটির কৌণিক বিবর্ধন কত হবে?
(b) এই দূরবীক্ষণটিকে যদি চাঁদ দেখতে ব্যবহৃত হয় তবে অভিলক্ষ্য লেন্স দ্বারা গঠিত চাঁদের প্রতিবিশ্বের ব্যাস কত হবে? চাঁদের ব্যাস 3.48×10^6 m এবং চাঁদের কক্ষপথের ব্যাসার্ধ 3.8×10^8 m।
- 9.15** দর্পণের সূত্র ব্যবহার করে নীচের তথ্যগুলো প্রমাণ করো :
(a) একটি অবতল দর্পণের ক্ষেত্রে f এবং $2f$ -এর মধ্যে স্থাপিত বস্তুর সদ্বিশ্ব $2f$ থেকে দূরে গঠিত হয়।
(b) বস্তুর অবস্থান যাই হোক না কেন, একটি উত্তল দর্পণ সর্বদাই অসদ প্রতিবিশ্ব গঠন করে।
(c) উত্তল দর্পণ দ্বারা গঠিত অসদ্বিশ্বের আকার সর্বদাই ক্ষুদ্র হয় এবং এর অবস্থান মেরু এবং ফোকাসের মধ্যবর্তী হয়।

রশ্মি আলোক বিজ্ঞান এবং আলোকীয় যন্ত্রাদি

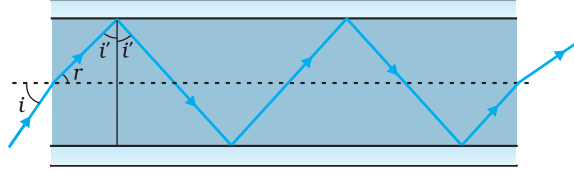
(d) অবতল দর্পণ ওর মেনু ও ফোকাসের মধ্যে স্থাপিত বস্তুর অসদৃশ্য এবং বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব গঠন করে।

[দ্রষ্টব্য : এই অনুশীলনী তোমাদেরকে রশ্মিচিত্রের মাধ্যমে প্রাপ্ত প্রতিবিম্বের বৈশিষ্ট্যাবলি বীজগাণিতিকভাবে প্রতিষ্ঠা করতে সাহায্য করবে।]

9.16 টেবিলের উপরে আটকানো একটি ক্ষুদ্র পিনকে 50 cm উপর থেকে দেখা হচ্ছে। একই বিন্দু থেকে টেবিলের সমান্তরালে ধরে রাখা 15 cm পুরু একটি কাঁচ ফলকের মধ্য দিয়ে দেখলে পিনটি আপাতভাবে কতটা উত্থিত হবে? কাঁচের প্রতিসরাংক = 1.5। ফলকের অবস্থানের উপর উত্তরটি নির্ভর করে কি?

9.17 (a) 9.35 চিত্রে 1.68 প্রতিসরাংকের কাচ তন্তু (glass fibre) দিয়ে তৈরি লাইট পাইপ বা আলোক নলের প্রস্থচ্ছেদ দেখানো হচ্ছে। নলের বাইরের আবরণটি 1.44 প্রতিসরাংকের পদার্থ দিয়ে তৈরি। চিত্রে যেরূপ দেখানো হয়েছে, নলের অক্ষের সাথে আপতিত রশ্মির কোণের মানের কত পাল্লা পর্যন্ত পাইপের অভ্যন্তরে রশ্মিটির অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন হবে?

(b) নলের বাইরের আবরণটি না থাকলে উত্তরটি কী হবে?



চিত্র 9.35

9.18 নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলোর উত্তর দাও :

(a) তোমরা জেনেছো যে, সমতল ও উত্তল দর্পণ বস্তুর অসদৃশ্য গঠন করে। কোনো অবস্থায় কী ওরা সদৃশ্য গঠন করতে পারে? ব্যাখ্যা করো।

(b) আমরা সর্বদাই বলে থাকি অসদৃশ্য পর্দায় ধরা যায় না। তথাপি অসদৃশ্যকে যখন আমরা দেখি আমরা অবশ্যই একে আমাদের চোখের পর্দায় (অর্থাৎ রেটিনা) ফেলি। দুইয়ের মধ্যে অসঙ্গতি রয়েছে কি?

(c) জলের নীচে থাকা একজন ডুবুরি, হ্রদের পাড়ে দাঁড়িয়ে থাকা একজন জেলের দিকে তির্যকভাবে তাকালো। ডুবুরির নিকট জেলেটিক ওর প্রকৃত উচ্চতা অপেক্ষা লম্বা না বেঁটে মনে হবে?

(d) তির্যকভাবে দেখলে জলপূর্ণ ট্যাঙ্কের গভীরতার কোনো পরিবর্তন হয় কি? যদি হয় তবে আপাত গভীরতা বাড়বে না কমবে?

(e) সাধারণ কাচের তুলনায় হীরকের প্রতিসরাংক যথেষ্ট বেশি। হীরক পালিশকারের নিকট এই তথ্যটি কতটা উপযোগী?

9.19 একটি বৃহদাকার উত্তল লেন্সের সাহায্যে কোনো ঘরের এক দেওয়ালে আটকানো একটি ক্ষুদ্র বৈদ্যুতিক বাস্তুর প্রতিবিম্ব 3m দূরের বিপরীত দেওয়ালে পেতে হলে প্রয়োজনীয় লেন্সের সর্বোচ্চ ফোকাস দৈর্ঘ্য কত হতে হবে?

9.20 বস্তু থেকে একটি পর্দাকে 90cm দূরে স্থাপন করা হল। একটি উত্তল লেন্স 20cm ব্যবধানে থাকা দুটি ভিন্ন অবস্থানের জন্য পর্দায় বস্তুটির প্রতিবিম্ব গঠন করে। লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্যের মান নির্ণয় করো।

9.21 (a) 9.10 অনুশীলনীর লেন্সদ্বয়কে ওদের প্রধান অক্ষ সমাপতিত রেখে পরস্পর থেকে 8.0cm দূরে স্থাপন করা হল। ওই লেন্স সমবায়টির কার্যকর ফোকাস দৈর্ঘ্য নির্ণয় করো। একটি সমান্তরাল আলোক রশ্মিকে লেন্স সমবায়টির কোন্ পার্শ্ব থেকে ফেলা হল তার উপর এই উত্তরটি নির্ভর করে কি? এই সংস্থার কার্যকর ফোকাস দৈর্ঘ্যের ধারণার আদৌ কোনো উপযোগিতা রয়েছে কি?

- (b) উপরে (a) তে বর্ণিত লেন্স সমবায়ের একপাশে 1.5 cm উচ্চতার একটি বস্তু রাখা হল। বস্তু ও উত্তল লেন্সের মধ্যবর্তী ব্যবধান 40 cm, লেন্সদ্বয়ের সমবায় দ্বারা উৎপন্ন বিবর্ধন এবং প্রতিবিশ্বের উচ্চতা নির্ণয় কর।
- 9.22** 60° প্রতিসারক কোণবিশিষ্ট কোনো প্রিজমের তলে কোনো একটি আলোকরশ্মি কত কোণে আপতিত হলে ঠিক তখনই অপরতলে রশ্মিটির অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন ঘটে? প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাংক 1.524।
- 9.23** তোমাকে ক্রাউন কাচ ও ফ্লিন্ট কাচের তৈরি বিভিন্ন প্রতিসারক কোণবিশিষ্ট কতকগুলো প্রিজম দেওয়া হলে, নিম্নলিখিত ক্ষেত্রগুলোর জন্য উপযুক্ত প্রিজম সমবায়ের উল্লেখ করো
- (a) বেশি মাত্রায় বিচ্ছুরণ ব্যতীত সাদা আলোর সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছকে (pencil) বিচ্যুত করতে,
(b) সাদা আলোর সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছের বিচ্যুতিহীন (সরণহীন) বিচ্ছুরণ ঘটতে।
- 9.24** স্বাভাবিক চোখের ক্ষেত্রে দূর বিন্দুটি অসীমে এবং স্পষ্টদর্শনের নিকট বিন্দুটি চোখের সামনে 25 cm দূরে অবস্থিত। চোখের কর্ণিয়া 40 ডায়প্টার অভিসারী ক্ষমতা প্রদান করে এবং কর্ণিয়া ব্যতীত চক্ষু লেন্সের নিজস্ব অভিসারী ক্ষমতার ন্যূনতম মান 20 ডায়প্টার। এই আনুমান নির্ভর তথ্যাবলি থেকে স্বাভাবিক চোখের উপযোজন ক্ষমতার (চক্ষু লেন্সের অভিসারী ক্ষমতার) পালা নির্ণয় করো।
- 9.25** হ্রস্বদৃষ্টি (মায়োপিয়া) এবং দীর্ঘদৃষ্টি (হাইপার মেট্রোপিয়া) আবশ্যিকভাবে এটা বোঝায় কী যে চোখের উপযোজন ক্ষমতা আংশিকভাবে হ্রাস পেয়েছে? যদি না হয়, তবে এই ধরনের ত্রুটিগুলোর কারণ কী হতে পারে?
- 9.26** একজন হ্রস্ব দৃষ্টিসম্পন্ন ব্যক্তি দূরের দৃষ্টির জন্য -1.0 ডায়প্টার ক্ষমতা সম্পন্ন চশমা ব্যবহার করছে। বৃদ্ধ বয়সে তাকে পড়ার কাজে পৃথকভাবে + 2.0 ডায়প্টার ক্ষমতাসম্পন্ন অপর একটি চশমা প্রয়োজন হয়। এটি কী কারণে হতে পারে তা ব্যাখ্যা করো।
- 9.27** উল্লম্ব এবং অনুভূমিকভাবে ডোরাকাটা দাগের শার্ট পরিহিত এক ব্যক্তিকে অপর এক ব্যক্তি লক্ষ্য করছে এবং তার কাছে অনুভূমিক দাগের তুলনায় উল্লম্ব দাগগুলো অধিকতর স্পষ্ট। কোন্ ধরনের ত্রুটির জন্য এটি হয়ে থাকে? কীভাবে এই দৃষ্টি ত্রুটি সংশোধন করা যায়?
- 9.28** স্বাভাবিক নিকট বিন্দু (25 cm) সম্পন্ন এক ব্যক্তি ছোটো হরফের বই পড়ার সময় একটি বিবর্ধক লেন্স ব্যবহার করেন, যা 5 cm ফোকাস দৈর্ঘ্যের একটি সরু উত্তল লেন্স।
- (a) বিবর্ধক কাচের সাহায্যে বইটি পড়ার সময় বই-এর পৃষ্ঠা থেকে ন্যূনতম ও সর্বাধিক কতদূরে লেন্সটিকে রাখলে সে বইটিকে পড়তে পারবে?
(b) উপরের ব্যবহৃত সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের সম্ভাব্য সর্বোচ্চ ও সর্বনিম্ন কৌণিক বিবর্ধন (বিবর্ধন ক্ষমতা) কত হবে?
- 9.29** চোখ থেকে 9 cm দূরে রাখা প্রতিটি 1 mm² আকারের চারটি বর্গে বিভক্ত একটি শক্ত কাগজের ফালিকে চোখের খুব কাছে রাখা একটি বিবর্ধক কাচের (ফোকাস দৈর্ঘ্য 9 cm) সাহায্যে দেখা হচ্ছে।
- (a) লেন্স দ্বারা সৃষ্ট বিবর্ধন কত? অসদৃশ্বের প্রতিটি বর্গাকার ক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল কত?
(b) লেন্সটির কৌণিক বিবর্ধন (বিবর্ধন ক্ষমতা) কত?
(c) (a)-এর ক্ষেত্রে বিবর্ধন (b)-এর ক্ষেত্রের বিবর্ধন ক্ষমতার সমান হয় কি? ব্যাখ্যা করো।
- 9.30** (a) 9.29 অনুশীলনী কাগজের ফালিতে অংকিত চিত্রের বর্গক্ষেত্রগুলোকে লেন্সটির সম্ভাব্য সর্বোচ্চ বিবর্ধন ক্ষমতায় স্পষ্টরূপে দেখতে হলে লেন্সটিকে চিত্র থেকে কত দূরত্বে রাখা উচিত?
(b) এক্ষেত্রে বিবর্ধন কত?
(c) এক্ষেত্রে বিবর্ধন কী বিবর্ধন ক্ষমতার সমান হয়? ব্যাখ্যা করো।
- 9.31** অনুশীলনী 9.30-এর চিত্রের প্রতিটি বর্গক্ষেত্রের 6.25 mm² ক্ষেত্রফল বিশিষ্ট অসদৃশ্ব প্রতিবিশ্ব পেতে হলে বস্তু (চিত্র) এবং বিবর্ধক কাচের দূরত্ব কত হওয়া উচিত? বিবর্ধক কাচটির খুব কাছে চোখ রেখে তুমি বর্গক্ষেত্রগুলোকে স্পষ্টরূপে দেখতে সমর্থ হবে কি?

রশ্মি আলোক বিজ্ঞান এবং আলোকীয় যন্ত্রাদি

[দ্রষ্টব্য : 9.29 থেকে 9.31 অনুশীলনীগুলো তোমাদের কোনো যন্ত্রের পরম বিবর্ধন এবং কৌণিক বিবর্ধনের (বিবর্ধন ক্ষমতা) পার্থক্য স্পষ্টরূপে বুঝতে সাহায্য করবে।]

9.32 নীচের প্রশ্নগুলোর উত্তর দাও :

- চোখে বস্তু কর্তৃক উৎপন্ন কোণ বিবর্ধক কাচ কর্তৃক সৃষ্ট অসদ্বিশ্ব দ্বারা উৎপন্ন কোণের সমান হয়। তাহলে কী অর্থে বিবর্ধক কাঁচ কৌণিক বিবর্ধন সৃষ্টি করে?
- বিবর্ধক কাঁচের মাধ্যমে দেখার সময় সাধারণত চোখকে লেন্সের খুব নিকটে রাখা হয়। চোখকে পিছন দিকে সরিয়ে নিলে কৌণিক বিবর্ধনের কোনো পরিবর্তন হয় কি?
- সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন ক্ষমতা লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্যের ব্যস্তানুপাতিক হয়। বৃহৎ থেকে বৃহত্তর বিবর্ধন ক্ষমতা পেতে ক্ষুদ্র থেকে ক্ষুদ্রতর ফোকাস দৈর্ঘ্যের উত্তল লেন্স ব্যবহারে আমাদের বাঁধা কোথায়?
- যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য এবং অভিনেত্র উভয়েরই ফোকাস দূরত্ব ক্ষুদ্র রাখা আবশ্যিক কেন?
- যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রের মাধ্যমে স্পষ্টভাবে দেখতে আমাদের চোখকে ঠিক অভিনেত্রে না রেখে কিছুটা দূরত্বে রাখা উচিত। কেন? চোখ এবং অভিনেত্রের মধ্যবর্তী সেই দূরত্ব কত হওয়া উচিত?

9.33 1.25 cm ফোকাসদৈর্ঘ্যের অভিলক্ষ্য এবং 5 cm ফোকাস দৈর্ঘ্যের অভিনেত্র ব্যবহার করে 30X কৌণিক বিবর্ধন (বিবর্ধন ক্ষমতা) পেতে তুমি যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রটিকে কীভাবে গঠন করবে?

9.34 একটি ক্ষুদ্র দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য লেন্স এবং অভিনেত্র লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্য যথাক্রমে 140 cm এবং 5.0 cm। নিম্নলিখিত ক্ষেত্রগুলোতে দূরবর্তী বস্তু দর্শনের ক্ষেত্রে বিবর্ধন ক্ষমতা কত? যখন

- দূরবীক্ষণটি এর স্বাভাবিক সমন্বয়ে (অর্থাৎ চূড়ান্ত প্রতিবিম্বটি অসীমে গঠিত হয়) থাকে।
- চূড়ান্ত প্রতিবিম্বটি স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্বে (25 cm) গঠিত হয়।

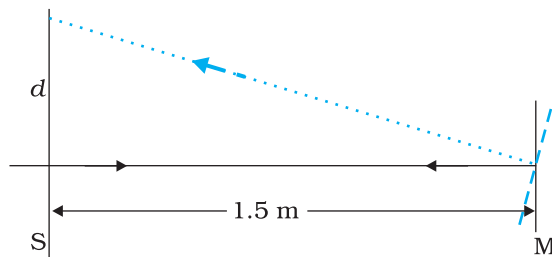
9.35 (a) 9.34 (a) অনুশীলনীতে বর্ণিত দূরবীক্ষণের ক্ষেত্রে, অভিলক্ষ্য লেন্স এবং অভিনেত্রের ভেতর দূরত্ব কত?

(b) যদি 3 km দূরে থাকা 100 m উঁচু একটি লম্বা টাওয়ারকে দেখতে দূরবীক্ষণকে ব্যবহার করা হয় তবে অভিলক্ষ্য লেন্স দ্বারা গঠিত টাওয়ারের প্রতিবিম্বের উচ্চতা কত?

(c) যদি টাওয়ারের চূড়ান্ত প্রতিবিম্বটি 25 cm দূরে গঠিত হয়, তবে তার উচ্চতা কত হবে?

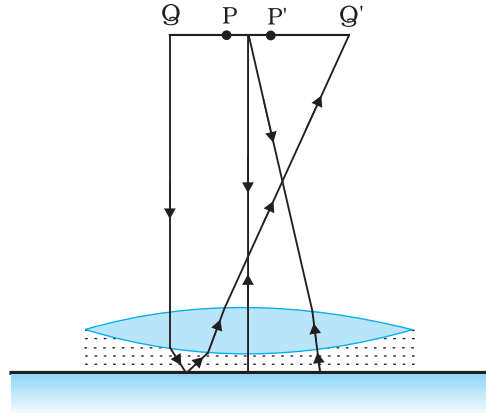
9.36 9.33 চিত্রে দেখানো একটি ক্যাসাগ্রেইন দূরবীক্ষণে দুটি দর্পণ ব্যবহার করা হয়। পরস্পর 20 mm তফাতে থাকা দুটি দর্পণ দ্বারা এরূপ দূরবীক্ষণ তৈরি করা হয়। যদি বড়ো দর্পণটির বক্রতা ব্যাসার্ধ 220 mm এবং ছোটো দর্পণটির 140 mm হয়, তবে অসীমে থাকা বস্তুর চূড়ান্ত প্রতিবিম্বটি কোথায় গঠিত হবে?

9.37 একটি গ্যালভানোমিটার কুণ্ডলীর সাথে লাগানো সমতল দর্পণে আলো লম্বভাবে আপতিত হয় এবং 9.36 চিত্রে যেভাবে দেখানো হয়েছে দর্পণে আপতিত হওয়ার পর প্রতিফলিত হয়ে সেইপথে ফিরে আসে। গ্যালভানোমিটারের কুণ্ডলীতে প্রবাহিত তড়িৎ দর্পণের 3.5° কোণে বিচ্যুতি ঘটায়। 1.5 m দূরে রাখা একটি পর্দায় প্রতিফলিত আলোর বিন্দুর সরণ কত হবে?



চিত্র 9.36

- 9.38** 9.37 চিত্রে দেখানো একটি উভোত্তল লেন্স (1.50 প্রতিসরাঙ্ক বিশিষ্ট) একটি সমতল দর্পণের তলের উপর থাকা একটি তরল স্তরের সংস্পর্শে আছে। একটি ছোটো শলাকা, যার অগ্রপ্রান্তটি প্রধান অক্ষের উপর অবস্থিত, অক্ষ বরাবর উপর নীচে ততক্ষণ পর্যন্ত চালনা করা হল যতক্ষণ পর্যন্ত না শলাকাটির স্থানে তার অবশীর্ষ প্রতিবিম্ব গঠিত না হয়। লেন্স থেকে শলাকার দূরত্ব 45.0 cm মাপা হল। তরলটিকে সরিয়ে পরীক্ষাটি পুনরায় সংগঠিত করা হল। নতুন যে দূরত্ব পাওয়া গেল তা 30.0 cm। তরলটির প্রতিসরাঙ্কের মান কত?



চিত্র 9.37

দশম অধ্যায়

তরঙ্গ আলোক বিজ্ঞান (WAVE OPTICS)



10.1 ভূমিকা

1637 সালে বিজ্ঞানী দেকার্তে (Descartes) আলোর কণিকাতত্ত্বের মডেলটি উপস্থাপনের মাধ্যমে স্নেলের সূত্রটি প্রতিষ্ঠা করেছিলেন। এই তত্ত্বের সাহায্যে কোনো বিভেদতলে আলোর প্রতিফলন ও প্রতিসরণের সূত্রাবলি ব্যাখ্যা করা হয়েছিল। আলোর কণিকাতত্ত্বটি এই ধারণা দেয় যে, আলোকরশ্মি (প্রতিসরণের ক্ষেত্রে) অভিলম্বের দিকে বেঁকে গেলে, দ্বিতীয় মাধ্যমে আলোর দ্রুতি অধিকতর হবে। আইজ্যাক নিউটন ওনার 'OPTICKS' নামক বিখ্যাত গ্রন্থে আলোর এই কণিকাতত্ত্বের ধারণাটির আরো বিকাশ সাধন করেন এবং এই গ্রন্থটির ব্যাপক জনপ্রিয়তার দরুন আলোর কণিকাতত্ত্ব নিউটনের অবদান বলেই মান্যতা পায়।

1678 সালে, ডাচ পদার্থবিদ ক্রিশ্চিয়ান হাইগেন্স আলোর তরঙ্গ তত্ত্ব উপস্থাপন করেন। আলোর এই তরঙ্গ তত্ত্বের ধারণাটি আমরা এই অধ্যায়ে আলোচনা করবো। আমরা দেখবো যে, তরঙ্গ তত্ত্বের এই ধারণাটি আলোর প্রতিফলন ও প্রতিসরণের ঘটনাসমূহকে সন্তোষজনকভাবে ব্যাখ্যা করতে পারে। যদিও তরঙ্গ তত্ত্বটি এই ধারণা দেয় যে, প্রতিসরণের ক্ষেত্রে অভিলম্বের দিকে তরঙ্গটি বেঁকে গেলে, দ্বিতীয় মাধ্যমে আলোর দ্রুতি হ্রাস পাবে। এই ধারণাটি আলোর কণিকা তত্ত্বের ধারণার পরিপন্থী। পরবর্তীকালে বৈজ্ঞানিক পরীক্ষা নিরীক্ষার মাধ্যমে সুনিশ্চিত হয় যে, বায়ু মাধ্যম অপেক্ষা জলে আলোর দ্রুতি কম হয়, যা আলোর তরঙ্গ তত্ত্বের ধারণাটিকে নিশ্চিত করে। 1850 সালে বিজ্ঞানী ফুকো এই পরীক্ষাটি সম্পাদন করেছিলেন।

এক বিন্দু থেকে অন্য বিন্দুতে তরঙ্গ সঞ্চারনের জন্য সর্বদা একটি মাধ্যমের প্রয়োজন। শূন্য মাধ্যমে আলোর সঞ্চারন এবং তৎকালীন বিজ্ঞান জগতে নিউটনের একাধিপত্য, এসব কারণে প্রাথমিকভাবে

তরঙ্গ তত্ত্বটিকে সহজভাবে গ্রহণ করা হয়নি। যাই হোক, 1801 সালে থমাস ইয়ং ওনার বিখ্যাত ব্যতিচার পরীক্ষাটির মাধ্যমে আলো বস্তুত তরঙ্গধর্মী, এই ধারণাটিকে দৃঢ়ভাবে প্রতিষ্ঠা করেন। দৃশ্যমান আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য পরিমাপ করে দেখা যায় যে, এর মান অত্যধিক ক্ষুদ্র; উদাহরণস্বরূপ, হলুদ বর্ণের আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য প্রায় $0.6 \mu\text{m}$ । দৃশ্যমান আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ক্ষুদ্রতার (সচরাচর ব্যবহৃত দর্পণ এবং লেন্সের আকারের তুলনায়) দরুন আলো প্রায় সরলরেখায় চলে, এমন ধরে নেওয়া যায়। এটিই জ্যামিতিক আলোকবিজ্ঞানের ক্ষেত্র যা পূর্ববর্তী অধ্যায়ে আলোচনা করা হয়েছে। বস্তুত আলোক বিজ্ঞানের যে শাখায় পরিমিত সীমার তরঙ্গদৈর্ঘ্য সম্পূর্ণভাবে উপেক্ষা করা হয়, তাকে জ্যামিতিক আলোকবিজ্ঞান বলে এবং তরঙ্গদৈর্ঘ্য শূন্যের কাছাকাছি সীমায় শক্তি সঞ্চারনের পথকে একটি রশ্মি হিসাবে সংজ্ঞায়িত করা যায়।

1801 সালে বিজ্ঞানী ইয়ং-এর ব্যতিচার পরীক্ষার পরবর্তী প্রায় 40 বছরের মতো সময় কালে আলোক তরঙ্গের ব্যতিচার এবং অপবর্তন সংক্রান্ত বহু পরীক্ষা নিরীক্ষা সম্পাদন করা হয়েছিল। এই সকল পরীক্ষা নিরীক্ষার ফলাফল কেবলমাত্র আলোর তরঙ্গধর্মী ধারণার ভিত্তিতে সন্তোষজনকভাবে ব্যাখ্যা করা যায়। এইভাবে, ঊনবিংশ শতকের

প্রায় মাঝামাঝি সময়ে, আলোর তরঙ্গ তত্ত্বটি সার্বিকভাবে প্রতিষ্ঠা লাভ করে। কিন্তু মূল জটিলতাটি ছিল, যেহেতু তরঙ্গ সঞ্চারনে একটি মাধ্যমের প্রয়োজন এমন ভাবা হত, তাহলে কীভাবে শূন্য মাধ্যমে আলো সঞ্চারিত হয়। ম্যাক্সওয়েল যখন ওনার বিখ্যাত আলোর তড়িৎচুম্বকীয় তত্ত্বের উপস্থাপন করেছিলেন, তখনই এ বিষয়টি ব্যাখ্যা করা সম্ভবপর হয়েছিল। বিজ্ঞানী ম্যাক্সওয়েল তড়িৎ ও চুম্বক সংক্রান্ত সূত্রাবলিকে সাধারণভাবে ব্যাখ্যা করতে সক্ষম এমন সমীকরণ সমূহের একটি সেট উদ্ভাবন করেছিলেন এবং এই সমীকরণগুলোকে ব্যবহার করে উনি 'তরঙ্গ সমীকরণ' প্রতিষ্ঠা করেন যার সাহায্যে তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গের* অস্তিত্বের ধারণা দিয়েছিলেন। এই তরঙ্গ সমীকরণ থেকে বিজ্ঞানী ম্যাক্সওয়েল শূন্য মাধ্যমে তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গের দ্রুতি গণনা করতে সক্ষম হয়েছিলেন এবং উনি দেখতে পেয়েছিলেন যে আলোর দ্রুতির তাত্ত্বিক মান পরিমিত মানের খুব কাছাকাছি। এর থেকে উনি, আলো অবশ্যই তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ, এ ধারণাটির প্রস্তাব করেন। অতএব ম্যাক্সওয়েলের ধারণা অনুযায়ী, আলোক তরঙ্গ যুগপৎ পরিবর্তনশীল তড়িৎ এবং চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে সংশ্লিষ্ট থাকে; পরিবর্তনশীল তড়িৎক্ষেত্র কাল ও দেশ সাপেক্ষে পরিবর্তনশীল চৌম্বকক্ষেত্র এবং পরিবর্তনশীল চৌম্বকক্ষেত্র কাল ও দেশ সাপেক্ষে পরিবর্তনশীল তড়িৎক্ষেত্র সৃষ্টি করে। এই পরিবর্তনশীল তড়িৎক্ষেত্র এবং চৌম্বকক্ষেত্রের ফলেই তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ (বা আলোক তরঙ্গ) এমনকি শূন্য মাধ্যমের মধ্য দিয়েও অগ্রসর হতে পারে।

এই অধ্যায়ে আমরা সর্বপ্রথম হাইগ্যান্সের নীতির মূল প্রতিপাদ্য বিষয়ে আলোচনা করবো এবং এ থেকে প্রতিফলন ও প্রতিসরণের সূত্রাবলি প্রতিষ্ঠা করবো। 10.4 এবং 10.5 অনুচ্ছেদে, আমরা উপরিপাতনের নীতির উপর ভিত্তি করে ব্যতিচার সংক্রান্ত ঘটনাটি ব্যাখ্যা করবো। 10.6 অনুচ্ছেদে আমরা হাইগ্যান্স-ফ্রেনেল নীতির উপর ভিত্তি করে অপবর্তন সংক্রান্ত ঘটনাটি ব্যাখ্যা করবো। অবশেষে 10.7 অনুচ্ছেদে আমরা 'আলোক তরঙ্গ একটি তির্যক তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ' এই তত্ত্বের উপর ভিত্তি করে সমাবর্তন সংক্রান্ত ঘটনাটি ব্যাখ্যা করবো।

* 1855 সালের আশেপাশে বিজ্ঞানী ম্যাক্সওয়েল তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গের অস্তিত্ব সম্পর্কে ধারণা দিয়েছিলেন। পরবর্তীকালে (1890 সালের আশেপাশে) বিজ্ঞানী হ্যানরিখ হার্জ পরীক্ষাগারে বেতার তরঙ্গ উৎপন্ন করেছিলেন। জে.সি.বসু এবং জি.মারকনি এই হার্জীয় তরঙ্গের ব্যবহারিক প্রয়োগ করেছিলেন।

আলো কী সরলরেখায় চলাচল করে ?

ষষ্ঠ শ্রেণিতে তোমরা জেনেছ যে আলো সরলরেখায় চলে কিন্তু দ্বাদশ শ্রেণিতে বিষয়টি এমন নয় বরং অন্য কিছু। তোমার অবাক লাগছে, তাই না ?

বিদ্যালয়ে একটি পরীক্ষায় তোমাদের দেখানো হয়েছে যেখানে, তোমরা সূচিছিদ্রযুক্ত তিনটি কার্ডবোর্ড নিয়ে এর একপার্শ্বে একটি মোমবাতি রেখে অপর পার্শ্ব থেকে লক্ষ্য করেছ। যদি মোমবাতির শিখা এবং তিনটি সূচিছিদ্র একই সরলরেখা বরাবর থাকে, তবে তোমার মোমবাতিটি দেখতে পাও। যদি এদের একটিও অল্প বিস্তার স্থানচ্যুত হয়, তোমরা আর মোমবাতিটি দেখতে পাও না। এটি প্রমাণ করে যে, আলো সরলরেখায় চলাচল করে, যেমনটা তোমাদের শিক্ষক বলেছেন।

বর্তমান পাঠ্যপুস্তকে পরপর দুটো অধ্যায় রয়েছে যার একটি রশ্মি আলোকবিজ্ঞান এবং অপরটি তরঙ্গ আলোক বিজ্ঞান রশ্মি আলোক বিজ্ঞানের ভিত্তি হল আলোর সরলরৈখিক গতি এবং এই শাখায় দর্পণ, লেন্স, প্রতিফলন, প্রতিসরণ ইত্যাদি বিষয়ে চর্চা হয়। এরপর তরঙ্গ আলোক বিজ্ঞানের অধ্যায়ে তোমরা জানবে যে আলো তরঙ্গ আকারে সঞ্চারিত হয়, যেখানে আলো বস্তুর ধার বরাবর বেঁকে যেতে পারে, আলো অপবর্তিত এবং উপরিপাতিত হতে পারে, ইত্যাদি। দৃশ্যমান আলোকীয় ক্ষেত্রে, আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য প্রায় অর্ধ মাইক্রোমিটার। এই তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো যদি প্রায় একই আকারের প্রতিবন্ধক দ্বারা বাধা প্রাপ্ত হয়, তবে প্রতিবন্ধকের ধার বরাবর আলো বেঁকে যেতে পারে এবং অপর পার্শ্ব থেকে দৃশ্যমান হতে পারে। তাই মাইক্রোমিটার আকার বিশিষ্ট কোনো প্রতিবন্ধক, আলোক রশ্মির গতিকে বুদ্ধ করতে পারবে না। যদি প্রতিবন্ধক অনেক বড়ো আকারের হয়, সেইক্ষেত্রে আলো ওই মাত্রায় বেঁকে যেতে পারবে না এবং অপর পার্শ্ব থেকে দৃশ্যমান হবে না।

সাধারণভাবে এটি তরঙ্গের একটি ধর্ম এবং যা শব্দ তরঙ্গের ক্ষেত্রেও দেখা যায়। আমাদের উচ্চারিত শব্দ তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য প্রায় 50 cm থেকে 1 m হয়। যদি এই তরঙ্গ কয়েক মিটার আকার বিশিষ্ট কোনো এক বাধার সম্মুখীন হয় তবে বাধাটির ধার বরাবর শব্দ তরঙ্গ বেঁকে যায় এবং বাধার পিছনের বিন্দুগুলোতে পৌঁছে যায়। কিন্তু যখন এই তরঙ্গটি পাহাড়ের মতো কয়েকশত মিটার আকার বিশিষ্ট এক বিশাল বাধার সম্মুখীন হয় তখন বেশির ভাগ তরঙ্গগুলোই প্রতিফলিত হয় এবং প্রতিধ্বনি হিসাবে শোনা যায়।

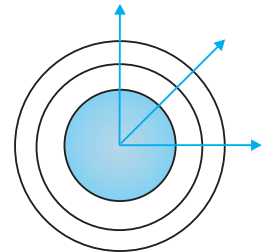
তাহলে প্রাথমিক বিদ্যালয় স্তরে ব্যবহারিক পরীক্ষার বিষয়টি কী ? সেক্ষেত্রে কী ঘটে, যখন আমরা কোনো কার্ডবোর্ডকে কয়েক মিলিমিটার স্থানচ্যুত করি, যা আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তুলনায় অনেক বেশি। তাই মোমবাতিটি আমরা দেখতে পাই না। যদি আমরা যে কোনো একটি কার্ডবোর্ডকে মাইক্রোমিটার বা এর কম মাত্রায় স্থানচ্যুত করতে পারি, তাহলে আলো অপবর্তিত হতে পারবে এবং সেক্ষেত্রে মোমবাতিটি দেখা যাবে।

এই বক্সে দেওয়া প্রথম বাক্যে যে কেউ সংযোজন করতেই পারে : এটি কী বৃদ্ধির সাথে সাথে কীভাবে বাঁকে তা শেখাচ্ছে !

10.2 হাইগেন্সের নীতি (HUYGENS PRINCIPLE)

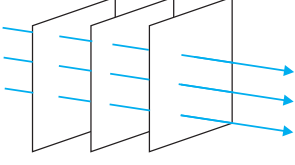
প্রথমে আমার তরঙ্গামুখকে সংজ্ঞায়িত করবো : আমরা যখন একটি ছোট পাথরের টুকরোকে জলাশয়ের স্থিরজলে নিক্ষেপ করি, তখন সংঘাত বিন্দুর চারপাশে তরঙ্গাসমূহ ছড়িয়ে পড়ে। জলাতলের উপর প্রতিটি বিন্দু সময়ের সাপেক্ষে আন্দোলিত হতে শুরু করে। যে-কোনো মুহূর্তে, জলাতলের একটি প্রতিচ্ছবিতে বৃত্তাকার বলয়গুলো তরঙ্গের সর্বোচ্চ বিস্তারে থাকা কণাগুলোর অবস্থান প্রদর্শন করে। স্পষ্টতই বৃত্তাকার বলয়ের উপর সকল বিন্দুগুলোই সমদশায় আন্দোলিত হচ্ছে, কারণ উৎস থেকে ওই সকল বিন্দুগুলো সমদূরত্বে অবস্থান করে। সমদশায় স্পন্দনশীল এমন বিন্দুগুলোর সঞ্চারপথকে তরঙ্গামুখ (*wavefront*) বলে। তাই একটি তরঙ্গামুখকে সমদশা সম্পন্ন একটি তল হিসেবে সংজ্ঞায়িত করা হয়। উৎস থেকে বহিমুখী যে দ্রুতিতে তরঙ্গামুখটি বিস্তার লাভ করে, তাকে তরঙ্গের দ্রুতি বলা হয়। তরঙ্গামুখের সঙ্গে লম্ব অভিমুখে তরঙ্গের শক্তি বিস্তার লাভ করে।

যদি সকল অভিমুখে সুসমভাবে তরঙ্গ নিঃসরণকারী একটি বিন্দু উৎস থাকে, তবে সমবিস্তার সম্পন্ন এবং সমদশায় কম্পমান কণাগুলোর সঞ্চারপথ গোলাীয় হবে, যা গোলাীয় তরঙ্গ নামে পরিচিত। [10.1(a) চিত্রে দেখানো হয়েছে]। উৎস থেকে বহুদূরে, গোলাীয় তলটির একটি ক্ষুদ্র অংশকে সমতল হিসেবে



চিত্র 10.1 (a) একটি বিন্দু উৎস থেকে নির্গত অপসারী গোলাীয় তরঙ্গ। তরঙ্গামুখগুলো গোলাীয়।

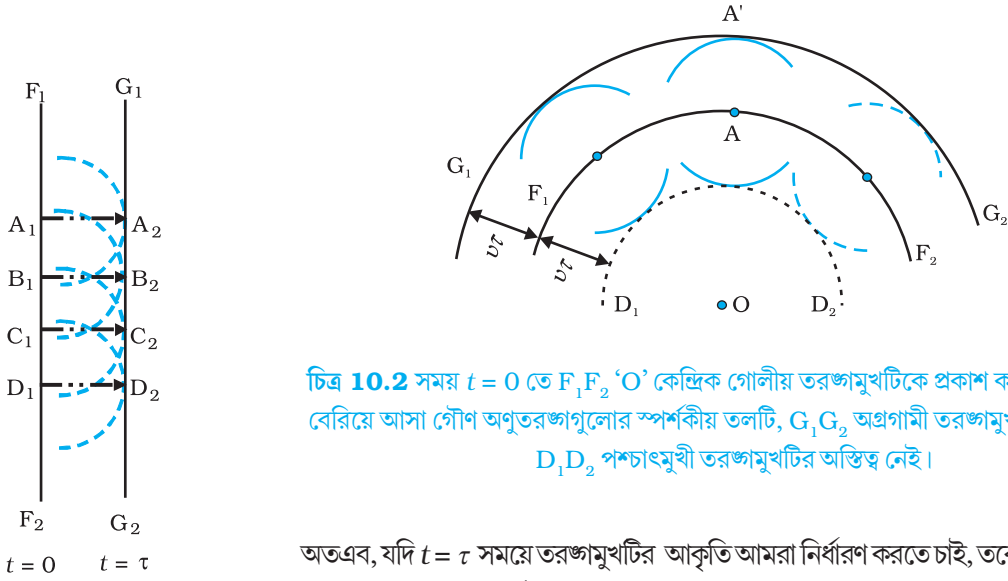
পদার্থবিদ্যা



চিত্র 10.1 (b) উৎস থেকে বহুদূরে গোলীয় তরঙ্গের একটি ক্ষুদ্র অংশকে সমতল তরঙ্গ হিসেবে ভাবা যেতে পারে।

বিবেচনা করা যেতে পারে যা সমতল তরঙ্গ (*plane wave*) নামে পরিচিত। [10.1 (b) চিত্রে দেখানো হয়েছে।]

এখন যদি সময় $t = 0$ তে তরঙ্গামুখটির আকৃতি আমরা জানি, তবে হাইগেন্সের নীতির প্রয়োগে পরবর্তী কোনো এক সময়ে তরঙ্গামুখটির আকৃতি আমরা নির্ধারণ করতে পারি। তাই, হাইগেন্সের নীতি অবশ্যই একটি জ্যামিতিক গঠন চিত্র, যা থেকে কোনো এক মুহূর্তে তরঙ্গামুখের আকৃতি পাওয়া যায় এবং যা পরবর্তী কোনো এক সময়ে তরঙ্গামুখের আকৃতি নির্ধারণে সহায়ক হয়। চলো, আমরা একটি অপসারী তরঙ্গ বিবেচনা করি এবং ধরো $t = 0$ সময়ে F_1F_2 গোলীয় তরঙ্গামুখের একটি অংশকে প্রকাশ করে (10.2 নং চিত্র)। হাইগেন্সের নীতি অনুযায়ী, 'তরঙ্গামুখের উপর প্রতিটি বিন্দু গৌণ তরঙ্গের উৎস এবং এই সকল বিন্দু থেকে নির্গত অণু তরঙ্গগুলো তরঙ্গের দ্রুতিতে চারদিকে ছড়িয়ে পড়ে। তরঙ্গামুখের উপর বিন্দুগুলো থেকে নির্গত এসকল অণু তরঙ্গগুলো সাধারণত গৌণ অণু তরঙ্গ (*secondary wavelets*) নামে পরিচিত এবং আমরা যদি এসকল গোলকসমূহের উপর একটি সাধারণ স্পর্শক টানি, তবে আমরা পরবর্তী সময়ে তরঙ্গামুখের নতুন অবস্থানটি পাই।



চিত্র 10.2 সময় $t = 0$ তে F_1F_2 'O' কেন্দ্রিক গোলীয় তরঙ্গামুখটিকে প্রকাশ করে। F_1F_2 থেকে বেরিয়ে আসা গৌণ অণু তরঙ্গগুলোর স্পর্শকীয় তলটি, G_1G_2 অগ্রগামী তরঙ্গামুখটি উৎপন্ন করে। D_1D_2 পশ্চাৎমুখী তরঙ্গামুখটির অস্তিত্ব নেই।

চিত্র 10.3 হাইগেন্সের জ্যামিতিক গঠনচিত্র অনুযায়ী ডানদিকে অগ্রসর হওয়া সমতল তরঙ্গামুখ। F_1F_2 হল $t = 0$ সময়ে সমতল তরঙ্গামুখ এবং G_1G_2 হল পরবর্তী t সময়ে তরঙ্গামুখ। A_1A_2 , B_1B_2 ... ইত্যাদি রেখাসমূহ F_1F_2 ও G_1G_2 উভয়ের উপর লম্ব এবং এরা আলোকরশ্মিকে সূচিত করে।

অতএব, যদি $t = \tau$ সময়ে তরঙ্গামুখটির আকৃতি আমরা নির্ধারণ করতে চাই, তবে গোলীয় তরঙ্গামুখটির প্রতিটি বিন্দুতে $v\tau$ ব্যাসার্ধের গোলক অংকন করতে হবে, যেখানে v , মাধ্যমে তরঙ্গের দ্রুতিকে সূচিত করে। এখন যদি আমরা ওইসব গোলকসমূহে একটি সাধারণ স্পর্শক অংকন করি তবে $t = \tau$ সময়ে তরঙ্গামুখটির নতুন অবস্থান পাওয়া যায়। 10.2 নং চিত্রে G_1G_2 কে নতুন তরঙ্গামুখ হিসাবে দেখানো হয়েছে এবং এটি পুনরায় O কেন্দ্রিক গোলীয় আকারের হয়।

উপরোক্ত মডেলটির একটি সীমাবদ্ধতা আছে : 10.2 চিত্রে D_1D_2 দ্বারা দেখানো একটি পশ্চাৎমুখী তরঙ্গও আছে। হাইগেন্স যুক্তি দিয়ে দেখিয়েছিলেন যে সম্মুখবর্তী গতির ক্ষেত্রে গৌণ অণু তরঙ্গের বিস্তার সর্বোচ্চ হয় এবং পশ্চাৎমুখী গতির ক্ষেত্রে এটি শূন্য হয়; হাইগেন্স এই অস্থায়ী স্বীকার্যের সাহায্যে পশ্চাৎমুখী তরঙ্গের অস্তিত্বহীনতা সম্পর্কে ব্যাখ্যা করতে পেরেছিলেন। যদিও এই অস্থায়ী স্বীকার্যটি সন্তোষজনক নয় এবং অনেক বেশি পরিশুদ্ধ তরঙ্গাতত্ত্বের সাহায্যে পশ্চাৎমুখী তরঙ্গের অনুপস্থিতি প্রকৃতভাবে বিচার বিশ্লেষণ করা হয়েছে।

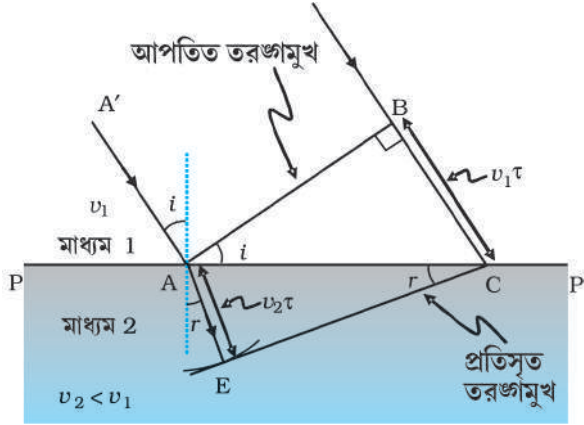
কোনো মাধ্যমের মধ্য দিয়ে সমতল তরঙ্গের বিস্তারের ক্ষেত্রে তরঙ্গামুখের আকৃতি নির্ধারণের জন্য হাইগেন্সের নীতিটি আমরা অনুবৃত্তভাবে ব্যবহার করতে পারি। (চিত্র 10.3)।

10.3 হাইগেন্সের নীতি প্রয়োগে সমতল তরঙ্গের প্রতিসরণ এবং প্রতিফলন (Refraction and Reflection of Plane Waves using Huygens Principle)

10.3.1 একটি সমতল তরঙ্গের প্রতিসরণ (Refraction of a plane wave)

আমরা এখন হাইগেন্সের নীতি প্রয়োগ করে প্রতিসরণের সূত্রাবলি প্রতিষ্ঠা করবো। ধরা যাক, PP' হল মাধ্যম 1 এবং মাধ্যম 2-এর বিভেদতল যা 10.4 চিত্রে দেখানো হয়েছে, যেখানে v_1 এবং v_2 যথাক্রমে মাধ্যম 1 এবং মাধ্যম 2-এ আলোর দ্রুতি। মনে করি একটি সমতল তরঙ্গমুখ AB , $A'A$ অভিমুখে বিস্তার লাভ করে i কোণে বিভেদতলে আপতিত হচ্ছে যা চিত্রে দেখানো হয়েছে। ধরি, তরঙ্গমুখটি BC দূরত্ব অতিক্রম করতে τ সময় নেয়। তাই,

$$BC = v_1 \tau$$



চিত্র 10.4 একটি সমতল তরঙ্গমুখ AB মাধ্যম 1 এবং মাধ্যম 2-এর বিভেদ তল (PP')-এর উপর i কোণে আপতিত হল। সমতল তরঙ্গটি প্রতিসৃত হয় এবং CE প্রতিসৃত তরঙ্গমুখটিকে সূচিত করে। চিত্র অনুযায়ী $v_2 < v_1$ হওয়ায় প্রতিসৃত তরঙ্গটি অভিলম্বের দিকে বেঁকে যায়।

প্রতিসৃত তরঙ্গমুখটির আকার নির্ধারণের জন্যে দ্বিতীয় মাধ্যমে A বিন্দুকে কেন্দ্র করে $v_2 \tau$ ব্যাসার্ধের একটি গোলক অংকন করি (দ্বিতীয় মাধ্যমে তরঙ্গের দ্রুতি v_2)। ধরি, C বিন্দু থেকে গোলকটির উপর অংকিত CE একটি স্পর্শকীয় তলকে প্রকাশ করে। তখন, $AE = v_2 \tau$ এবং CE প্রতিসৃত তরঙ্গমুখটিকে প্রকাশ করে। এখন যদি আমরা ত্রিভুজ ABC এবং AEC বিবেচনা করি, তবে আমরা পাই,

$$\sin i = \frac{BC}{AC} = \frac{v_1 \tau}{AC} \quad (10.1)$$

এবং

$$\sin r = \frac{AE}{AC} = \frac{v_2 \tau}{AC} \quad (10.2)$$

যেখানে i এবং r যথাক্রমে আপতন এবং প্রতিসরণ কোণ।



ডাচ পদার্থবিদ ক্রিস্টিয়ান হাইগেন্স (1629 – 1695) জ্যোতির্বিদ, গণিতজ্ঞ এবং আলোক তরঙ্গতত্ত্বের জনক ছিলেন। ওনার রচিত 'Treatise on light' গ্রন্থটি আজও পাঠককুলকে মুগ্ধ করে। আলোর প্রতিফলন ও প্রতিসরণের ঘটনা ছাড়াও 'ক্যালসাইট' নামক খনিজ দ্বারা প্রদর্শিত আলোর দ্বি-প্রতিসরণের ঘটনাটিকে সুচারুভাবে ব্যাখ্যা করেছিলেন। তিনিই সর্বপ্রথম বৃত্তীয় এবং সরল দোলগতির বিশ্লেষণ করেছিলেন। উন্নত ধরনের ঘড়ি ও টেলিস্কোপের নকশা তৈরি ও নির্মাণ করেছিলেন। উনি শনির বলয় সমূহের জ্যামিতিক গঠন উদ্ভাবন করেছিলেন।

ক্রিস্টিয়ান হাইগেন্স (1629 – 1695)

অতএব,

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2} \quad (10.3)$$

উপরোক্ত সমীকরণ থেকে আমরা একটি গুরুত্বপূর্ণ ফলাফল পাই, যদি $r < i$ হয় (অর্থাৎ, যদি অভিলম্বের দিকে রশ্মিটি বেঁকে যায়), তবে দ্বিতীয় মাধ্যমে আলোর দ্রুতি (v_2), প্রথম মাধ্যমে আলোর দ্রুতির (v_1) তুলনায় কম হবে। এই সিদ্ধান্তটি আলোর কণিকা তত্ত্ব থেকে পাওয়া সিদ্ধান্তের ঠিক বিপরীত এবং সাম্প্রতিক পরীক্ষা অনুযায়ী দেখা যায় যে, আলোর তরঙ্গ তত্ত্বের এই সিদ্ধান্তটি সঠিক। শূন্যে আলোর দ্রুতিকে c দ্বারা সূচিত করা হলে,

$$n_1 = \frac{c}{v_1} \quad (10.4)$$

এবং

$$n_2 = \frac{c}{v_2} \quad (10.5)$$

এই রাশিগুলো যথাক্রমে প্রথম ও দ্বিতীয় মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক নামে পরিচিত। প্রতিসরাঙ্কের নিরিখে (10.3) সমীকরণটিকে নিম্নরূপে লেখা যেতে পারে,

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r \quad (10.6)$$

এটিই প্রতিসরণ সংক্রান্ত স্নেলের সূত্র (Snell's law)। আবার যদি λ_1 এবং λ_2 যথাক্রমে প্রথম ও দ্বিতীয় মাধ্যমে আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যকে সূচিত করে এবং যদি BC দৈর্ঘ্যটি λ_1 -এর সমান হয় তখন AE দৈর্ঘ্যটি λ_2 -এর সমান হবে (কারণ যদি B থেকে তরঙ্গশীর্ষটি t সময়ে C তে পৌঁছায়, ওই একই সময় অবকাশে A থেকে তরঙ্গশীর্ষটিও E বিন্দুতে পৌঁছে যাবে) : তাই,

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{BC}{AE} = \frac{v_1}{v_2}$$

অথবা

$$\frac{v_1}{\lambda_1} = \frac{v_2}{\lambda_2} \quad (10.7)$$

উপরোক্ত সমীকরণ থেকে বোঝা যায় যে, যখন একটি তরঙ্গ ঘনতর মাধ্যমে ($v_1 > v_2$) প্রতিসৃত হয়, তখন তরঙ্গটির তরঙ্গদৈর্ঘ্য এবং তরঙ্গদ্রুতি উভয়েই হ্রাস পায় কিন্তু কম্পাঙ্ক $\nu (= v/\lambda)$ অপরিবর্তিত থাকে।

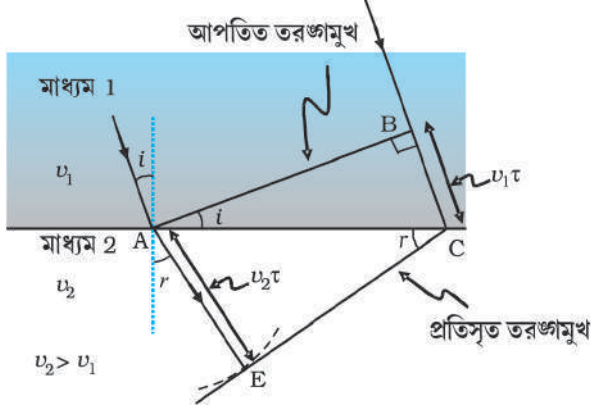
10.3.2 লঘুতর মাধ্যমে প্রতিসরণ (Refraction at a rarer medium)

আমরা এখন লঘুতর মাধ্যমে সমতলীয় তরঙ্গের প্রতিসরণ বিবেচনা করবো অর্থাৎ $v_2 > v_1$ । সম্পূর্ণ একই পদ্ধতি অনুসরণ করে আমরা একটি প্রতিসৃত তরঙ্গমুখ অংকন করতে পারি যা 10.5 চিত্রে দেখানো হয়েছে। এক্ষেত্রে, আপতন কোণ অপেক্ষা প্রতিসরণ কোণ বড়ো হয়। যাই হোক, এক্ষেত্রেও আমরা পাই, $n_1 \sin i = n_2 \sin r$ । আমরা একটি কোণ i_c কে নিম্নলিখিত সমীকরণটির মাধ্যমে সংজ্ঞায়িত করি

$$\sin i_c = \frac{n_2}{n_1} \quad (10.8)$$

তাই, যদি $i = i_c$ হয় তখন $\sin r = 1$ এবং $r = 90^\circ$ । স্পর্শতই $i > i_c$ -এর জন্য, কোনো প্রতিসৃত তরঙ্গ থাকতে পারে না। এই i_c কোণটি সংকট কোণ (critical angle) নামে পরিচিত এবং সংকট কোণ অপেক্ষা বৃহত্তর সকল আপতন কোণের জন্যই আমরা প্রতিসৃত তরঙ্গ পাব না এবং এক্ষেত্রে তরঙ্গটির

অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন ঘটে। অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন ঘটনাটি এবং এর বিভিন্ন প্রয়োগ সমূহ 9.4 নং অনুচ্ছেদে আলোচনা করা হয়েছে।



চিত্র 10.5 লঘুতর মাধ্যমে আপতিত একটি সমতল তরঙ্গের প্রতিসরণ যেখানে $u_2 > u_1$ হয়। সমতল তরঙ্গটি অভিলম্ব থেকে দূরে বেঁকে যায়।

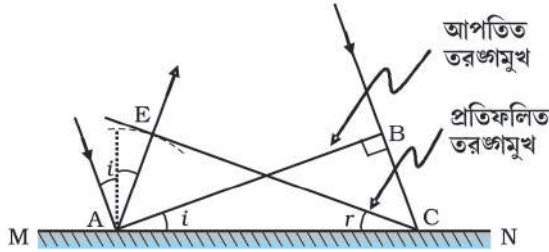
10.3.3 সমতল পৃষ্ঠে একটি সমতল তরঙ্গের প্রতিফলন (Reflection of a plane wave by a plane surface)

MN প্রতিফলক পৃষ্ঠে i কোণে আপতিত একটি সমতল তরঙ্গমুখ AB বিবেচনা করি। যদি এই মাধ্যমে তরঙ্গটির দ্রুতি v দ্বারা সূচিত হয় এবং τ যদি তরঙ্গমুখটির B বিন্দু থেকে C বিন্দুতে অগ্রসর হওয়ার জন্য প্রয়োজনীয় সময় নির্দেশ করে, তখন তরঙ্গমুখটির অতিক্রান্ত দূরত্ব,

$$BC = v\tau$$

প্রতিফলিত তরঙ্গমুখটি গঠন করার জন্যে A বিন্দুটিকে কেন্দ্র করে $v\tau$ ব্যাসার্ধের একটি গোলক অংকন করি যা 10.6 চিত্রে দেখানো হয়েছে। C বিন্দু থেকে গোলকটির উপর অংকিত একটি স্পর্শকীয় তলকে CE দ্বারা সূচিত করা হল। স্পর্ষতই,

$$AE = BC = v\tau$$

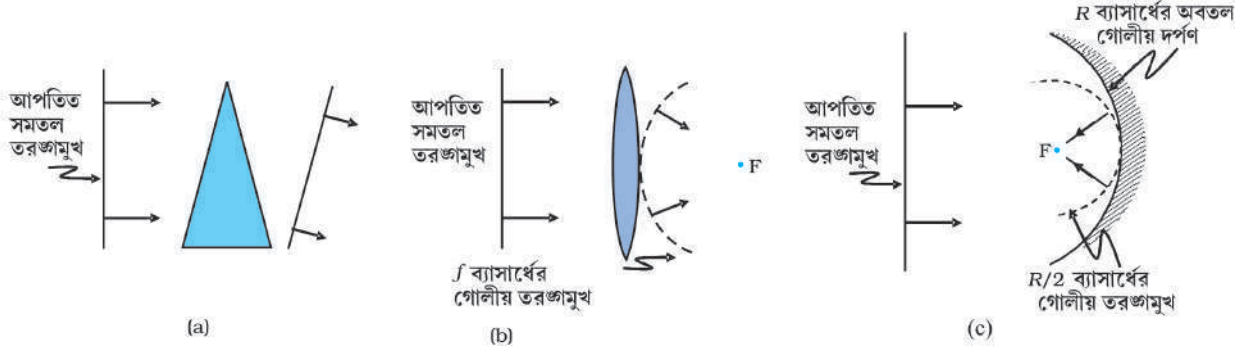


চিত্র 10.6 MN প্রতিফলিত পৃষ্ঠ দ্বারা সমতল তরঙ্গমুখ AB-এর প্রতিফলন। AB এবং CE যথাক্রমে আপতিত এবং প্রতিফলিত তরঙ্গমুখকে প্রকাশ করে।

এখন আমরা ত্রিভুজ EAC এবং BAC বিবেচনা করি এবং দেখা যায় যে এরা সর্বসম ত্রিভুজ এবং তাই কোণ i এবং r সমান হবে (10.6 চিত্রে প্রদর্শিত)। এটাই প্রতিফলনের সূত্র।

একবার প্রতিফলন ও প্রতিসরণের সূত্রাবলি জেনে যাওয়ার পর প্রিজম, লেন্স এবং দর্পণসমূহের আচরণ বুঝতে পারা যায়। আলোর সরলরৈখিক গতির উপর ভিত্তি করে এই ঘটনাসমূহকে সবিস্তারে নবম

অধ্যায়ে আলোচনা করা হয়েছে। এখানে আমরা কেবলমাত্র প্রতিফলন বা প্রতিসরণের সময় তরঙ্গামুখ সমূহের আচরণ আলোচনা করবো। 10.7(a) চিত্রে আমরা একটি পাতলা প্রিজমের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত সমতল তরঙ্গ অতিক্রান্ত বিবেচনা করি। স্পর্শতই, যেহেতু কাচে আলোক তরঙ্গের দ্রুতি কম হয়, তাই আগত তরঙ্গামুখটির নিচের অংশ (যে অংশটি কাচের সর্বোচ্চ বেধ অতিক্রম করে) বিলম্বিত হয়, ফলে নির্গত তরঙ্গামুখটি একটু বেঁকে যায়, যা চিত্রে দেখানো হয়েছে। 10.7(b) চিত্র অনুযায়ী একটি পাতলা উত্তল লেন্সে একটি সমতল তরঙ্গ আপতিত হয়েছে এমন বিবেচনা করি; আপতিত সমতল তরঙ্গের মধ্যাংশ লেন্সটির সর্বোচ্চ বেধের অংশটিকে অতিক্রম করে এবং তাই সবচেয়ে বেশি বিলম্বিত হয়। নির্গত তরঙ্গামুখটির মধ্যাংশ পিছিয়ে পরে এবং তাই তরঙ্গামুখটি গোলাকৃতি হয়ে F বিন্দুতে মিলিত হয়, যে বিন্দুটিকে ফোকাস বলে। 10.7(c) চিত্র অনুযায়ী, একটি সমতল তরঙ্গামুখ একটি অবতল দর্পণে আপতিত হয়েছে এবং প্রতিফলনের পর আমরা যেসব গোলাীয় তরঙ্গামুখ পাই সেগুলো F ফোকাস বিন্দুতে মিলিত হয়। একইভাবে আমরা অবতল লেন্স এবং উত্তল দর্পণ সমূহে আলোর প্রতিসরণ এবং প্রতিফলন বুঝতে পারি।



চিত্র 10.7 (a) পাতলা প্রিজম ও (b) উত্তল লেন্স দ্বারা একটি সমতল তরঙ্গের প্রতিসরণ, (c) অবতল দর্পণ দ্বারা একটি সমতল তরঙ্গের প্রতিফলন।

উপরোক্ত আলোচনা থেকে এটা প্রতীয়মান হয় যে, বস্তুর উপর কোনো একটি বিন্দু থেকে এর প্রতিবিশ্বের আনুষঙ্গিক বিন্দুতে পৌঁছতে যে-কোনো রশ্মি বরাবর একই সময় লাগে। উদাহরণস্বরূপ, একটি উত্তল লেন্স যখন আলোকরশ্মি সমূহকে একটি বিন্দুতে মিলিত করে সদ্বিশ্ব গঠন করে, তখন কাঁচে আলোর দ্রুতি কম হওয়ায় লেন্সের মধ্যাংশ দিয়ে অতিক্রান্ত আলোক রশ্মি সমূহ তুলনামূলক ক্ষুদ্র পথ অতিক্রম করলেও লেন্সের কিনারা দিয়ে অতিক্রান্ত রশ্মিগুলোর মতো এদেরও একই সময় লাগে।

10.3.4 ডপ্লার ক্রিয়া (The doppler effect)

এখানে উল্লেখ করা বাঞ্ছনীয় যে, যদি উৎস (বা পর্যবেক্ষক) গতিশীল হয়, সেক্ষেত্রে তরঙ্গামুখ চিত্রায়ণে আমাদের যত্নবান হওয়া উচিত। উদাহরণস্বরূপ, কোনো মাধ্যমের অনুপস্থিতিতে যখন উৎস পর্যবেক্ষক থেকে দূরে সরতে থাকে তখন পরবর্তী তরঙ্গামুখসমূহ পর্যবেক্ষকের নিকটে পৌঁছাতে অধিকতর দূরত্ব অতিক্রম করার ফলে অপেক্ষাকৃত বেশি সময় নেয়। অতএব উৎস থেকে পর পর দুটো তরঙ্গামুখ উৎপন্ন হওয়ার মধ্যবর্তী সময়ের ব্যবধানের তুলনায় পর্যবেক্ষকের নিকটে এই দুটো তরঙ্গামুখ পৌঁছানোর সময়ের ব্যবধান অধিকতর হয়। তাই উৎস যখন পর্যবেক্ষক থেকে দূরে সরতে থাকে তখন পর্যবেক্ষকের নিকটে কম্পাংক তুলনামূলক কম মনে হবে। এই ঘটনাটি 'ডপ্লার ক্রিয়া' নামে পরিচিত। ডপ্লার ক্রিয়ার দরুণ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের এই বৃদ্ধিকে জ্যোতির্বিজ্ঞানীরা লাল চ্যুতি (red shift) নামে অভিহিত করেন। কারণ, এইক্ষেত্রে দৃশ্যমান বর্ণালীর মধ্যাঞ্চলের তরঙ্গদৈর্ঘ্য বর্ণালীর লাল প্রান্তের দিকে সরে যায়। পর্যবেক্ষকের অভিমুখে গতিশীল উৎস থেকে নির্গত তরঙ্গ সমূহ যখন পর্যবেক্ষক প্রান্তে পৌঁছায়, তখন তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আপাত হ্রাস ঘটে, যে ঘটনাটি নীল-চ্যুতি (blue shift) নামে পরিচিত।

তরঙ্গ আলোক বিজ্ঞান

তোমরা যথারীতি একাদশ শ্রেণির পাঠ্যপুস্তকের পঞ্চদশ অধ্যায়ে, শব্দতরঙ্গের ক্ষেত্রে ডপলার ক্রিয়া সংক্রান্ত ঘটনার সাথে পরিচিত হয়েছ। আলোর দ্রুতির তুলনায় কম গতিসমূহের জন্যে আমরা শব্দতরঙ্গের ক্ষেত্রে ব্যবহৃত সূত্রের অনুরূপ সূত্র ব্যবহার করতে পারি। কম্পাংকের আংশিক পরিবর্তন $\Delta v/v$ কে $-v_{\text{radial}}/c$ আকারে প্রকাশ করা যায়, যেখানে v_{radial} হল উৎস ও পর্যবেক্ষক সংযোগকারী রেখা বরাবর পর্যবেক্ষকের সাপেক্ষে উৎসের গতিবেগের উপাংশ। যখন পর্যবেক্ষক থেকে উৎস দূরে সরতে থাকে তখন v_{radial} কে ধনাত্মক বিবেচনা করি। তাই ডপলার চ্যুতিকে নিম্নলিখিত রূপে প্রকাশ করা যেতে পারে :

$$\frac{\Delta v}{v} = -\frac{v_{\text{radial}}}{c} \quad (10.9)$$

উপরোক্ত সম্পর্কটি তখনই কার্যকরী হয় যখন উৎসের গতিবেগ আলোর দ্রুতির তুলনায় কম হয়। আলোর দ্রুতির তুল্য দ্রুতির ক্ষেত্রেও ডপলার ক্রিয়া সংক্রান্ত আরো নির্ভুল সম্পর্কটি পাওয়ার জন্যে আইনস্টাইনের বিশেষ আপেক্ষিকতাবাদ তত্ত্বের সাহায্য নেওয়া প্রয়োজন। জ্যোতির্বিদ্যায় আলোর ডপলার ক্রিয়া বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ। দূরবর্তী নক্ষত্রপুঞ্জের ব্যাসার্ধমুখী গতিবেগসমূহ পরিমাপ করার ভিত্তি হল এই ডপলার ক্রিয়া।

উদাহরণ 10.1 আমাদের সাপেক্ষে একটি গ্যালাক্সির গতিবেগ কত হলে 589.0 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সোডিয়াম লাইন 589.6 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্য রূপে পর্যবেক্ষিত হয়?

সমাধান যেহেতু, $v\lambda = c$, $\frac{\Delta v}{v} = -\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ (v এবং λ এর ক্ষুদ্র পরিবর্তনের জন্যে)।

$$\Delta\lambda = 589.6 - 589.0 = +0.6 \text{ nm -এর জন্য}$$

আমরা পাই [সমীকরণ (10.9) ব্যবহার করে]

$$\frac{\Delta v}{v} = -\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = -\frac{v_{\text{radial}}}{c}$$

$$\text{বা, } v_{\text{radial}} \cong +c \left(\frac{0.6}{589.0} \right) = +3.06 \times 10^5 \text{ m s}^{-1}$$

$$= 306 \text{ km/s}$$

সুতরাং, আমাদের সাপেক্ষে গ্যালাক্সিটি দূরে সরে যাচ্ছে।

উদাহরণ 10.1

উদাহরণ 10.2

- দুই মাধ্যমের বিভেদতলে একবর্ণী আলো আপতিত হলে প্রতিফলিত এবং প্রতিসৃত আলো উভয়ের কম্পাংকই আপতিত আলোর কম্পাংকের সমান হয়। কেন, ব্যাখ্যা করো।
- আলো যখন লঘুতর মাধ্যম থেকে ঘনতর মাধ্যমে প্রবেশ করে, তখন আলোর দ্রুতি হ্রাস পায়। আলোর দ্রুতির এই হ্রাস কী আলোক তরঙ্গ বাহিত শক্তির হ্রাসকে সূচিত করে?
- আলোর তরঙ্গরূপ অনুযায়ী, আলোর প্রাবল্য আলোক তরঙ্গের বিস্তারের বর্গ দ্বারা নির্ধারিত হয়। আলোর ফোটনতত্ত্ব অনুসারে আলোর প্রাবল্য কীভাবে নির্ধারিত হয়?

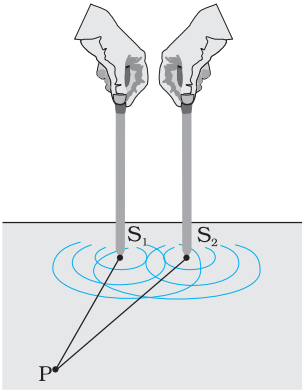
সমাধান

- বিভেদতলের উপাদানের পারমাণবিক কণাসমূহের সাথে আপতিত আলোক রশ্মির সংঘাতের ফলে প্রতিফলন এবং প্রতিসরণের ঘটনা সংঘটিত হয়। পরমাণুগুলোকে স্পন্দকের ন্যায়

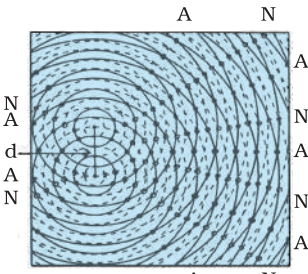
উদাহরণ 10.2

ভাবা যেতে পারে। বাহ্যিক সংস্থার (আলো) কম্পাংক নিয়ে ওই পরমাণুগুলো পরবশ কম্পনে আন্দোলিত হয়। আহিত স্পন্দক থেকে নির্গত আলোর কম্পাংক স্পন্দনের কম্পাংকের সমান হয়। তাই বিক্ষেপিত আলোর কম্পাংক আপতিত আলোর কম্পাংকের সমান হয়।

- (b) না, একটি তরঙ্গ কর্তৃক বাহিত শক্তি তরঙ্গটির বিস্তারের উপর নির্ভর করে, তরঙ্গটির সঞ্চারন দ্রুতির উপর নির্ভর করে না।
- (c) নির্দিষ্ট কম্পাংকের আলোর ক্ষেত্রে, ফোটনতত্ত্ব অনুসারে আলোর প্রাবল্য প্রতি একক সময়ে একক ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত ফোটন কণার সংখ্যা দ্বারা নির্ধারিত হয়।



(a)



(b)

চিত্র 10.8 (a) জলের মধ্যে সমদশা সম্পন্ন দুটি কম্পনশীল শলাকা, দুটো সুসংগত উৎসকে নির্দেশ করছে।

(b) কোনো একটি মুহূর্তে জলের পৃষ্ঠতলের অণুগুলোর সরণ বিন্যাস (pattern) নিম্পন্দ N (শূন্য সরণ) এবং সুস্পন্দ A (সর্বোচ্চ সরণ) রেখাগুলোকে প্রদর্শন করছে।

10.4 সুসংগত এবং অসংগত তরঙ্গের সংযোজন (COHERENT AND INCOHERENT ADDITION OF WAVES)

এই অনুচ্ছেদে আমরা দুইটি তরঙ্গের উপরিপাতের ফলে সৃষ্ট ব্যতিচারের নমুনা (pattern) সম্পর্কে আলোচনা করবো। স্মরণ করে দেখো, একাদশ শ্রেণির পাঠ্যপুস্তকে পঞ্চদশ অধ্যায়ে উপরিপাতের নীতি সম্পর্কে আমরা আলোচনা করেছি। বস্তুত সামগ্রিক ব্যতিচারের ঘটনাটি উপরিপাতের নীতির উপর প্রতিষ্ঠিত এবং এই নীতি অনুযায়ী মাধ্যমের কোনো একটি নির্দিষ্ট বিন্দুতে তরঙ্গ সমূহের জন্য সৃষ্ট লম্বি সরণ সংশ্লিষ্ট প্রতিটি তরঙ্গের জন্য সৃষ্ট সরণসমূহের ভেক্টরীয় যোগফলের সমান হয়।

S_1 এবং S_2 শলাকাদ্বয় কোনো একটি জলাধারে সদৃশভাবে উপর-নীচে পর্যায়ক্রমিক গতিশীল আছে এমন বিবেচনা করি [চিত্র 10.8(a)]। এরা দুটি জল তরঙ্গ উৎপন্ন করে এবং কোনো একটি নির্দিষ্ট বিন্দুতে প্রতিটি তরঙ্গ দ্বারা সৃষ্ট সরণের মধ্যবর্তী দশা পার্থক্য সময়ের সাপেক্ষে অপরিবর্তিত থাকে। এমনটা ঘটলে দুটো উৎসকে সুসংগত উৎস বলে। কোনো এক মুহূর্তে তরঙ্গশীর্ষ (টানা বৃত্তরেখা সমূহ) এবং তরঙ্গপাদসমূহের (কাটা বৃত্তরেখা সমূহ) অবস্থান 10.8(b) চিত্রে দেখানো হয়েছে। একটি বিন্দু P বিবেচনা করি যেখানে

$$S_1 P = S_2 P$$

যেহেতু $S_1 P$ এবং $S_2 P$, এই দূরত্ব দুটো সমান, তাই S_1 এবং S_2 উৎস থেকে তরঙ্গদ্বয় P বিন্দুতে পৌঁছতে একই সময় নেবে এবং S_1, S_2 উৎস থেকে নির্গত সমদশা সম্পন্ন তরঙ্গদ্বয় একই দশায় P বিন্দুতে এসে পৌঁছাবে।

তাই, S_1 উৎস থেকে উৎপন্ন তরঙ্গের জন্যে P বিন্দুতে সরণ,

$$y_1 = a \cos \omega t$$

অনুরূপে, S_2 উৎস থেকে উৎপন্ন তরঙ্গের জন্যে P বিন্দুতে সরণ,

$$y_2 = a \cos \omega t$$

তাই, P বিন্দুতে লম্বি সরণ,

$$y = y_1 + y_2 = 2 a \cos \omega t$$

প্রাবল্য তরঙ্গবিস্তারের বর্গের সমানুপাতিক হওয়ায়, লম্বি প্রাবল্য,

$$I = 4 I_0$$

যেখানে প্রতিটি স্বকীয় উৎস থেকে উৎপন্ন তরঙ্গের প্রাবল্য I_0 দ্বারা সূচিত হয় এবং এক্ষেত্রে I_0, a^2 -এর সমানুপাতিক হয়। বস্তুত $S_1 S_2$ -এর লম্ব সমদিকগুলোর উপর যে-কোনো বিন্দুতে প্রাবল্য $4I_0$ হবে।

তরঙ্গ আলোক বিজ্ঞান

উৎস দুটি ওই বিন্দুতে গঠনমূলক ব্যতিচার সৃষ্টি করে বলা যায় এবং এই ঘটনাটি গঠনমূলক ব্যতিচার (*constructive interference*) নামে পরিচিত। এরপর আমরা একটি বিন্দু Q [চিত্র 10.9(a)] বিবেচনা করি, যেখানে

$$S_2Q - S_1Q = 2\lambda$$

S_1 থেকে নির্গত তরঙ্গসমূহ S_2 থেকে নির্গত তরঙ্গসমূহ অপেক্ষা ঠিক দুই পূর্ণচক্র পূর্বে Q বিন্দুতে পৌঁছাবে এবং পুনরায় সমদশায় থাকবে [চিত্র 10.9(a)]। অতএব, S_1 উৎস দ্বারা উৎপন্ন সরণ,

$$y_1 = a \cos \omega t$$

সেক্ষেত্রে S_2 উৎস দ্বারা উৎপন্ন সরণ,

$$y_2 = a \cos (\omega t - 4\pi) = a \cos \omega t$$

যেখানে আমরা 2λ পথ পার্থক্যের সংশ্লিষ্ট দশা পার্থক্য 4π , এই তথ্যটি ব্যবহার করেছি। এই সরণ দুটি সমদশা সম্পন্ন এবং আলোক প্রাবল্য পুনরায় $4I_0$ হবে, ফলে ওই বিন্দুতে গঠনমূলক ব্যতিচারের সৃষ্টি হয়। উপরোক্ত বিশ্লেষণে আমরা ধরে নিয়েছি S_1Q এবং S_2Q দূরত্বদ্বয়, d দূরত্ব (যা S_1 এবং S_2 -এর মধ্যবর্তী দূরত্বকে প্রকাশ করে) অপেক্ষা অনেক বড়ো হয় এবং তাই S_1Q এবং S_2Q পরস্পর সমান না হলেও, ওই বিন্দুতে প্রতিটি তরঙ্গের সরণের বিস্তার প্রায় একই হয়।

এবার আমরা একটি বিন্দু R বিবেচনা করি [চিত্র 10.9(b)], যেখানে

$$S_2R - S_1R = -2.5\lambda$$

S_1 থেকে নির্গত তরঙ্গসমূহ, S_2 থেকে নির্গত তরঙ্গসমূহ অপেক্ষা ঠিক দুই পূর্ণ এবং এক অর্ধচক্র পরে পৌঁছাবে [চিত্র 10.10(b)]। অতএব S_1 থেকে উৎপন্ন তরঙ্গের সরণ,

$$y_1 = a \cos \omega t$$

তাহলে S_2 থেকে উৎপন্ন তরঙ্গের সরণ,

$$y_2 = a \cos (\omega t + 5\pi) = -a \cos \omega t$$

যেখানে আমরা পথ পার্থক্য 2.5λ -এর সংশ্লিষ্ট দশা পার্থক্য 5π , এই তথ্যটি আমরা ব্যবহার করেছি। এখন এই দুটো সরণ বিপরীত দশায় আছে এবং এই দুটো সরণ পরস্পরকে প্রতিমিত করে প্রাবল্যকে শূন্য করে দেয়। এই ঘটনাটি ‘ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার’ (*destructive interference*) নামে পরিচিত।

সারসংক্ষেপে: যদি দুটো সুসংগত আলোক উৎস S_1 এবং S_2 সমদশায় কম্পিত হয়, তবে যে-কোনো একটি বিন্দু P-এর ক্ষেত্রে যখন পথ পার্থক্য,

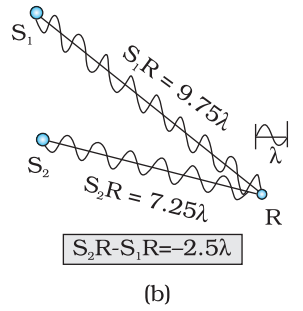
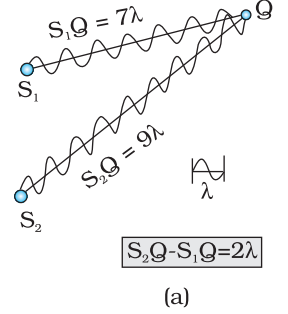
$$S_1P - S_2P = n\lambda \quad (n = 0, 1, 2, 3, \dots) \quad (10.10)$$

আমরা গঠনমূলক ব্যতিচার পাই এবং এক্ষেত্রে লম্বি প্রাবল্য হয় $4I_0$; S_1P এবং S_2P -এর মধ্যবর্তী ‘~’ চিহ্নটি এই দুটো দূরত্বের পার্থক্যকে সূচিত করে। অপরদিকে P বিন্দুটি যদি এমন হয় যে পথ পার্থক্য,

$$S_1P - S_2P = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda \quad (n = 0, 1, 2, 3, \dots) \quad (10.11)$$

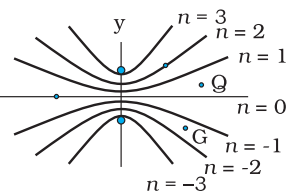
আমরা ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার পাই এবং এক্ষেত্রে লম্বি প্রাবল্য শূন্য হয়। এখন, যে-কোনো একটি বিন্দু G (চিত্র 10.10)-এর ক্ষেত্রে দুটি সরণের দশা-পার্থক্য ϕ ধরি। তাই S_1 উৎস থেকে উৎপন্ন তরঙ্গের সরণ,

$$y_1 = a \cos \omega t$$



চিত্র 10.9

(a) Q বিন্দুতে গঠনমূলক ব্যতিচার হয় যেখানে পথ পার্থক্য 2λ । (b) R বিন্দুতে ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার হয় যেখানে পথ পার্থক্য 2.5λ ।



চিত্র 10.10 যে বিন্দুগুলোর জন্যে $S_1P - S_2P$ -এর মান $0, \pm\lambda, \pm 2\lambda, \pm 3\lambda$ হয়, ওই বিন্দুগুলোর সঞ্চারপথ।

S_2 উৎস থেকে উৎপন্ন তরঙ্গের সরণ,

$$y_2 = a \cos(\omega t + \phi)$$

কাজেই লব্ধি,

$$y = y_1 + y_2 = a [\cos \omega t + \cos(\omega t + \phi)] \\ = 2a \cos(\phi/2) \cos(\omega t + \phi/2)$$

$$\left[\text{যেহেতু, } \cos A + \cos B = 2 \cos\left(\frac{A+B}{2}\right) \cos\left(\frac{A-B}{2}\right) \right]$$

লব্ধি সরণের বিস্তার হল $2a \cos(\phi/2)$ এবং তাই ওই বিন্দুতে প্রাবল্য,

$$I = 4 I_0 \cos^2(\phi/2) \quad (10.12)$$

সমীকরণ (10.10) থেকে প্রাপ্ত আনুষঙ্গিক শর্তটি থেকে $\phi = 0, \pm 2\pi, \pm 4\pi, \dots$ এর জন্যে আমরা গঠনমূলক ব্যতিচার পাব, যা সর্বোচ্চ প্রাবল্য নির্দেশ করে। অন্যদিকে, যদি $\phi = \pm\pi, \pm 3\pi, \pm 5\pi \dots$ (সমীকরণ 10.11 থেকে প্রাপ্ত আনুষঙ্গিক শর্ত থেকে) হয়, তবে আমরা ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার পাব, যেখানে প্রাবল্য শূন্য হয়।

এখন যদি দুটি উৎস সুসংগত হয় (অর্থাৎ যদি দুটো শলাকা উপরে নীচে নিয়মিত চলাচল করে) তখন যে-কোনো বিন্দুতে দশা পার্থক্য ϕ সময়ের সাপেক্ষে পরিবর্তিত হয় না এবং আমরা একটি স্থায়ী ব্যতিচার সজ্জা পাব; অর্থাৎ সর্বোচ্চ এবং সর্বনিম্ন অবস্থানসমূহ সময়ের সাপেক্ষে পরিবর্তিত হবে না। যাই হোক, যদি এই দুটো শলাকা একটি ধ্রুবক দশা-পার্থক্য বজায় না রেখে গতিশীল থাকে তখন ব্যতিচার সজ্জা সময়ের সাপেক্ষে পরিবর্তিত হবে এবং যদি দশা-পার্থক্য সময়ের সাপেক্ষে খুবই দ্রুত হারে পরিবর্তিত হয়, তবে সর্বোচ্চ এবং সর্বনিম্ন অবস্থানগুলোও খুবই দ্রুত সময়ের সাপেক্ষে পরিবর্তিত হবে। তাই তখন আমরা ‘সময় সাপেক্ষে গড়’ (time-averaged) প্রাবল্য বণ্টন দেখতে পাবো। যখন এটা সংঘটিত হবে তখন আমরা গড় প্রাবল্য পর্যবেক্ষণ করবো এবং এই গড় প্রাবল্যকে নিম্নরূপে প্রকাশ করা যায় —

$$\langle I \rangle = 4 I_0 \langle \cos^2(\phi/2) \rangle \quad (10.13)$$

যেখানে কৌণিক বন্ধনীগুলো সময় গড়কে প্রকাশ করে। 7.2 অনুচ্ছেদে এটা দেখানো হয়েছে যে, যদি $\phi(t)$ সময়ের সাপেক্ষে বিক্ষিপ্তভাবে (randomly) পরিবর্তিত হয়, তবে সময় সাপেক্ষে গড় মানটি $\langle \cos^2(\phi/2) \rangle = 1/2$ হয়। আমাদের জ্ঞাত ধারণা থেকে অবশ্যই বোঝা যায়, কারণ $\cos^2(\phi/2)$, এই অপেক্ষকটির মান 0 এবং 1 -এর মধ্যে বিক্ষিপ্তভাবে পরিবর্তিত হয় এবং এর গড় মান হবে 1/2। প্রতিটি বিন্দুতে লব্ধি প্রাবল্য পাওয়া যায়,

$$I = 2 I_0 \quad (10.14)$$

যখন দুটো কম্পনশীল উৎসের মধ্যে সংশ্লিষ্ট দশা পার্থক্য সময়ের সাপেক্ষে দ্রুত পরিবর্তিত হয়, তখন আমরা এ দুটো উৎসকে অসংগত উৎস বলি এবং এক্ষেত্রে প্রাবল্যসমূহ সরাসরি সংযোজিত হয়। যখন দুটো পৃথক আলোক উৎস একটি দেওয়ালকে আলোকিত করে তখন বস্তুত এই ঘটনাটিই ঘটে।

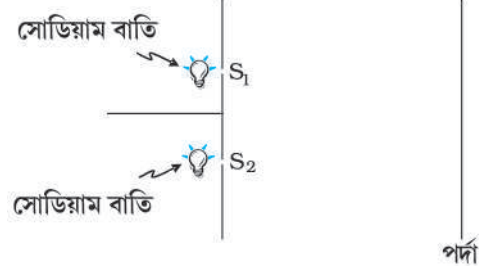
10.5 আলোক তরঙ্গের ব্যতিচার এবং ইয়ং-এর পরীক্ষা (INTERFERENCE OF LIGHT WAVES AND YOUNG'S EXPERIMENT)

আমরা এখন আলোক তরঙ্গকে কাজে লাগিয়ে ব্যতিচারের ঘটনা আলোচনা করবো। যদি আমরা পৃথকভাবে দুটি সোডিয়াম বাতি দ্বারা আলোকিত দুটি সূচিছিদ্র (চিত্র 10.11) ব্যবহার করি তবে আমরা কোনো ব্যতিচার

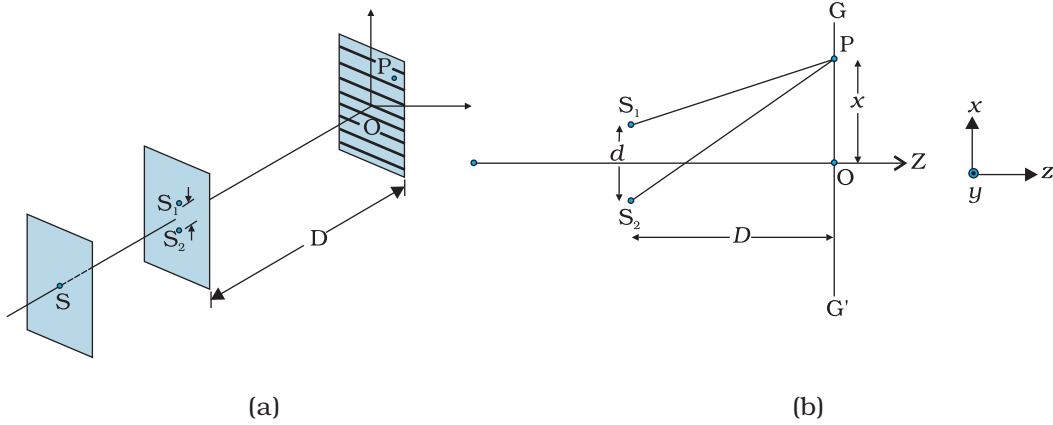
তরঙ্গ আলোক বিজ্ঞান

ঝালর লক্ষ করবো না। এর কারণ হল, একটি সাধারণ উৎস (একটি সোডিয়াম বাতির ন্যায়) থেকে নির্গত আলোক তরঙ্গটির 10^{-10} সেকেন্ড মাত্রার সময়কালে আকস্মিকভাবে দশা পরিবর্তন ঘটে। তাই দুটি স্বাধীন আলোক উৎস থেকে বেরিয়ে আসা আলোক তরঙ্গগুলোর মধ্যে কোনো স্থায়ী দশা সম্পর্ক থাকবে না, ফলে আলোক উৎস অসঙ্গত হবে। এক্ষেত্রে পর্দায় আলোক প্রাবল্যসমূহ সংযোজিত হবে, যেমনটা আমরা পূর্ববর্তী অনুচ্ছেদে আলোচনা করেছি।

ব্রিটিশ পদার্থবিদ থমাস ইয়ং S_1 এবং S_2 থেকে নির্গত তরঙ্গগুলোর দশা সম্পর্ক স্থায়ীভাবে বজায় রাখতে একটি সরল কৌশল অবলম্বন করেন। তিনি একটি অস্বচ্ছ পর্দার উপর দুটি সূচীছিদ্র S_1 এবং S_2 (পরস্পরের খুব সন্নিকটে) তৈরি করেন [চিত্র 10.12(a)]। এই সূচীছিদ্রগুলোকে তৃতীয় একটি সূচীছিদ্রের মাধ্যমে আলোকিত করা হয় যেখানে তৃতীয় সূচীছিদ্রটিকে আবার একটি উৎসের মাধ্যমে আলোকিত করা হয়। S উৎস থেকে ছড়িয়ে পরা আলোক তরঙ্গ, S_1 এবং S_2 উভয়ের উপর আপতিত হয়। তখন S_1 এবং S_2 দুটি সুসংহত উৎসের ন্যায় আচরণ করবে কারণ S_1 এবং S_2 থেকে নির্গত আলোক তরঙ্গসমূহ একই সাধারণ উৎস থেকে উদ্ভূত এবং S উৎস থেকে নিঃসৃত আলোক তরঙ্গের যে-কোনো আকস্মিক দশা পরিবর্তন, S_1 এবং S_2 থেকে নির্গত আলোক তরঙ্গে হুবহু একই দশা পরিবর্তন ঘটাবে। তাই, S_1 এবং S_2 উৎস দুটি স্থির দশা সম্পর্ক বজায় রাখবে অর্থাৎ এরা আমাদের জল তরঙ্গের উদাহরণে দুটি স্পন্দনশীল শলাকার মতোই সুসংগত হবে [চিত্র 10.8(a)]।



চিত্র 10.11 যদি দুটি সোডিয়াম বাতি S_1 এবং S_2 দুটি সূচীছিদ্রকে আলোকিত করে, প্রাবল্যগুলো সংযোজিত হবে এবং পর্দায় কোনো ব্যতিচার ঝালর পরিলক্ষিত হবে না।



চিত্র 10.12 ব্যতিচার সজ্জা গঠনে ইয়ং-এর ব্যবস্থাপনা।

তাই S_1 এবং S_2 থেকে নির্গত গোলীয় তরঙ্গগুলো GG' পর্দার উপর ব্যতিচার ঝালর গঠন করে যেমনটা চিত্র 10.12(b) তে দেখানো হয়েছে। সর্বোচ্চ ও সর্বনিম্ন প্রাবল্যের অবস্থানগুলো 10.4 অনুচ্ছেদে প্রদত্ত বিশ্লেষণটির সহায়তায় নির্ধারণ করা যেতে পারে যেখানে ওই বিশ্লেষণে আমরা দেখিয়েছি যে GG' রেখার উপর যে-কোনো একটি বিন্দু P-এর সংশ্লিষ্ট সর্বোচ্চ প্রাবল্যের অবস্থানের জন্যে,

$$S_2P - S_1P = n\lambda; \quad n = 0, 1, 2 \dots \quad (10.15)$$

এখন,

$$(S_2P)^2 - (S_1P)^2 = \left[D^2 + \left(x + \frac{d}{2} \right)^2 \right] - \left[D^2 + \left(x - \frac{d}{2} \right)^2 \right] = 2xd$$



থমাস ইয়ং (1773 – 1829) ব্রিটিশ পদার্থবিদ, চিকিৎসক এবং পুরাতত্ত্ব গবেষক (মিশরীয় সভ্যতা) বিজ্ঞানী ইয়ং চোখের গঠন এবং দৃষ্টিশক্তির কৌশল, এমনকি রোসেটা পাথরে খোদিত লিপির পাঠোদ্ভার থেকে শুরু করে বিস্তৃতক্ষেত্রে বিবিধ বৈজ্ঞানিক সমস্যাবলির সমাধানে নিরলস কাজ করে গেছেন। তিনি আলোর তরঙ্গতত্ত্বকে পুনর্জীবিত করেছিলেন এবং আলোর ব্যতিচারের ঘটনাটিকে আলোর তরঙ্গধর্মের প্রমাণ হিসেবে স্বীকৃতি প্রদান করেছিলেন।

যেখানে $S_1S_2 = d$ এবং $OP = x$ । সুতরাং

$$S_2P - S_1P = \frac{2xd}{S_2P + S_1P} \quad (10.16)$$

যদি $x, d \ll D$ হয়, তবে $S_2P + S_1P$ (উপরোক্ত ভগ্নাংশটির হর) কে $2D$ দিয়ে প্রতিস্থাপিত করা হলে এক্ষেত্রে ত্রুটি খুবই নগণ্য মানের হবে। উদাহরণস্বরূপ, $d = 0.1 \text{ cm}$, $D = 100 \text{ cm}$, $OP = 1 \text{ cm}$ (আলোক তরঙ্গকে কাজে লাগিয়ে ব্যতিচার সংক্রান্ত কোনো এক ব্যবহারিক পরীক্ষার ক্ষেত্রে গৃহীত বিশেষ মানসমূহ) এর জন্য আমরা পাই,

$$S_2P + S_1P = [(100)^2 + (1.05)^2]^{1/2} + [(100)^2 + (0.95)^2]^{1/2} \approx 200.01 \text{ cm}$$

অতএব $S_2P + S_1P$ কে যদি আমরা $2D$ দ্বারা প্রতিস্থাপিত করি, তবে সংশ্লিষ্ট ত্রুটি প্রায় 0.005% হয়। এই আনুমানিক গণনা অনুযায়ী 10.16 সমীকরণটি হয়,

$$S_2P - S_1P \approx \frac{xd}{D} \quad (10.17)$$

যখন $\frac{xd}{D} = n\lambda$ (10.15 সমীকরণ) হয়, গঠনমূলক ব্যতিচারের ফলে

আলোকোজ্জ্বল অঞ্চল পাওয়া যায়। অর্থাৎ,

$$x = x_n = \frac{n\lambda D}{d}; n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (10.18)$$

অপরদিকে, যখন $\frac{xd}{D} = (n + \frac{1}{2})\lambda$ হয়, ধ্বংসাত্মক ব্যতিচারের ফলে

অন্ধকার অঞ্চল পাওয়া যায়। অর্থাৎ,

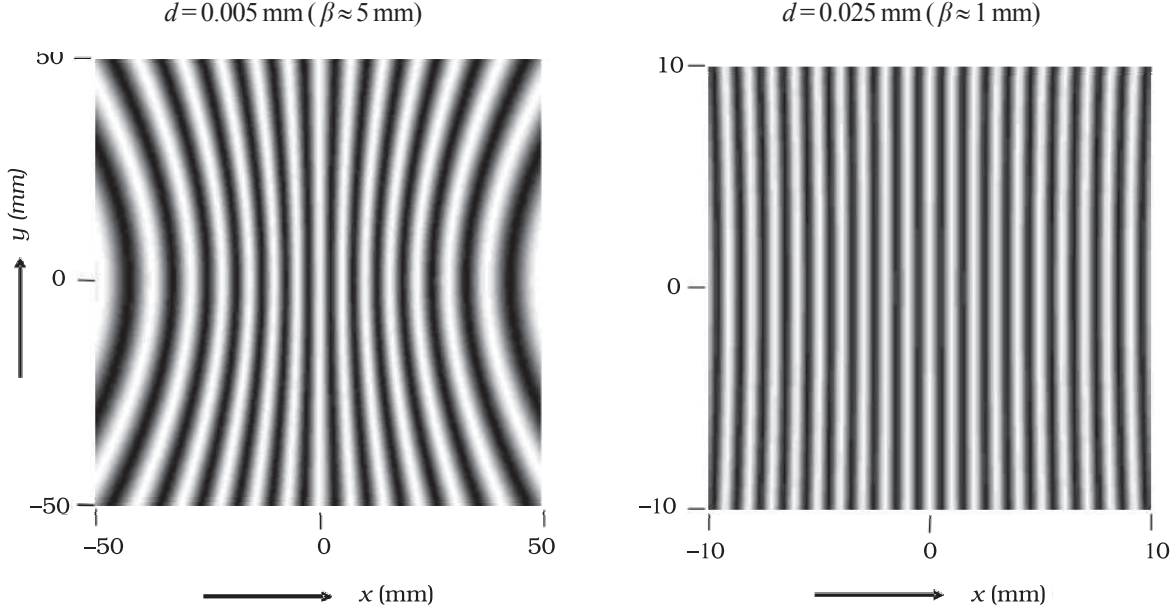
$$x = x_n = (n + \frac{1}{2}) \frac{\lambda D}{d}; n = 0, \pm 1, \pm 2 \quad (10.19)$$

ফলে পর্দায় অন্ধকার ও উজ্জ্বল পটিসমূহের উদ্ভব হয়, যেমনটা 10.13 চিত্রে দেখানো হয়েছে। এ ধরনের পটিগুলোকে ঝালর (*fringes*) বলা হয়। সমীকরণ (10.18) এবং (10.19) থেকে দেখা যায় অন্ধকার ও উজ্জ্বল ঝালর সমূহ সমবেধ বিশিষ্ট হয় এবং পরপর দুটি উজ্জ্বল বা অন্ধকার ঝালরের মধ্যবর্তী দূরত্ব,

$$\beta = x_{n+1} - x_n \text{ বা, } \beta = \frac{\lambda D}{d} \quad (10.20)$$

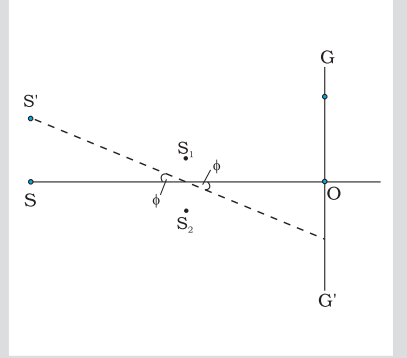
এটি ঝালর প্রস্থের রাশিমালা। স্পষ্টতই, কেন্দ্রীয় বিন্দু O (10.12 চিত্রে) উজ্জ্বল হবে, কারণ এই বিন্দুর জন্য $S_1O = S_2O$ এবং এটি $n = 0$ কে বোঝায় (10.18 সমীকরণ)। আমরা যদি কাগজের তলের উপর O বিন্দুগামী এবং অভিলম্বমুখী একটি রেখা বিবেচনা করি (অর্থাৎ y -অক্ষ বরাবর), তবে এই রেখার উপর সকল বিন্দুগুলোই S_1 ও S_2 থেকে সমদূরত্বে থাকবে এবং আমরা একটি সরলরেখিক কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল ঝালর পাবো, যেমনটা 10.13 চিত্রে দেখানো হয়েছে। পর্দায় ব্যতিচার সজ্জার আকৃতি নির্ধারণে আমাদেরকে মনে রাখতে হবে যে, $(S_2P - S_1P)$ -এর নির্দিষ্ট মানের কোনো বিন্দুর সঞ্চারপথই একটি নির্দিষ্ট ঝালরকে সূচিত করে। যখন এই নির্দিষ্ট মানটি λ -এর সরল গুণিতক হয়, তখন ঝালরটি আলোকোজ্জ্বল হবে এবং আবার যখন এই মানটি $\lambda/2$ -এর অযুগ্ম সরল গুণিতক হয়, তখন ঝালরটি অন্ধকার হবে। $x-y$ তলে অবস্থিত $S_2P - S_1P (= \Delta)$, এই নির্দিষ্ট মানের P বিন্দুটির সঞ্চার পথ অধিবৃত্তাকার হয়। অতএব ঝালর সজ্জা অবশ্যই অধিবৃত্তাকার হবে। যাইহোক যদি D দূরত্বটি ঝালর প্রস্থ অপেক্ষা অনেক বড়ো হয়, তবে ঝালরগুলো অনেকটা সরলরেখিক হবে, যা 10.13 চিত্রে দেখানো হয়েছে।

তরঙ্গ আলোক বিজ্ঞান



চিত্র 10.13 কম্পিউটারের মাধ্যমে দুইটি বিন্দু উৎস S_1 এবং S_2 সাহায্যে GG' পর্দায় (চিত্র 10.12) গঠিত ঝালর সজ্জা; (a) এবং (b) যথাক্রমে $d = 0.005 \text{ mm}$ এবং 0.025 mm -এর জন্য (উভয় চিত্রের সংশ্লিষ্ট $D = 5 \text{ cm}$ এবং $\lambda = 5 \times 10^{-5} \text{ cm}$)। (A. Ghatak, Tata McGraw Hill Publishing Co. Ltd., New Delhi, 2000-এর সংকলিত পুস্তক OPTICS থেকে গৃহীত।)

10.12(b) চিত্রে প্রদর্শিত দ্বিরেখাছিদ্র পরীক্ষায়, আমরা S ছিদ্রটিকে উৎস হিসেবে নিয়েছি, যেখানে ছিদ্রটি দুটি রেখাছিদ্রের সংযোজক রেখার সমদ্বিখণ্ডক SO রেখার উপর অবস্থিত। উৎসটিকে যদি লম্ব সমদ্বিখণ্ডক রেখা থেকে খানিকটা সরিয়ে দেওয়া হয় তবে কী ঘটবে? উৎসটিকে কোনো এক নতুন বিন্দু অবস্থান S' -এ স্থানান্তরিত করা হয়েছে বিবেচনা করি এবং ধরে নেই S_1 এবং S_2 সংযোজক রেখার মধ্যবিন্দুটি হল O। যদি $S'OQ$ কোণটি ϕ হয়, তবে কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল ঝালরটি অপর পাশে $-\phi$ কোণে সরে যায়। যদি S উৎসটি লম্ব সমদ্বিখণ্ডকের উপর অবস্থিত হয়, তবে কেন্দ্রীয় ঝালরটি O বিন্দুতে গঠিত হয়, যা লম্ব সমদ্বিখণ্ডকের উপরই অবস্থিত। যদি S উৎসটি ϕ কোণে S' বিন্দুতে স্থানান্তরিত করা হয়, তবে কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল ঝালরটি $-\phi$ কোণে O' বিন্দুতে পাওয়া যায়, যার অর্থ হল কেন্দ্রীয় ঝালরটি একই কোণে লম্ব সমদ্বিখণ্ডকের অপর পাশে সরে যায়। এই বিষয়টি আরো বোঝায় যে, উৎস S' , মধ্যবিন্দু O এবং কেন্দ্রীয় ঝালরের O' বিন্দু একই সরলরেখায় আছে।



বিজ্ঞানী ডেনিস্ গেবর* (Dennis Gabor)-এর মহান বস্তুতা থেকে নেওয়া উদ্ভূতি দিয়ে আমরা এই অনুচ্ছেদটি শেষ করবো।

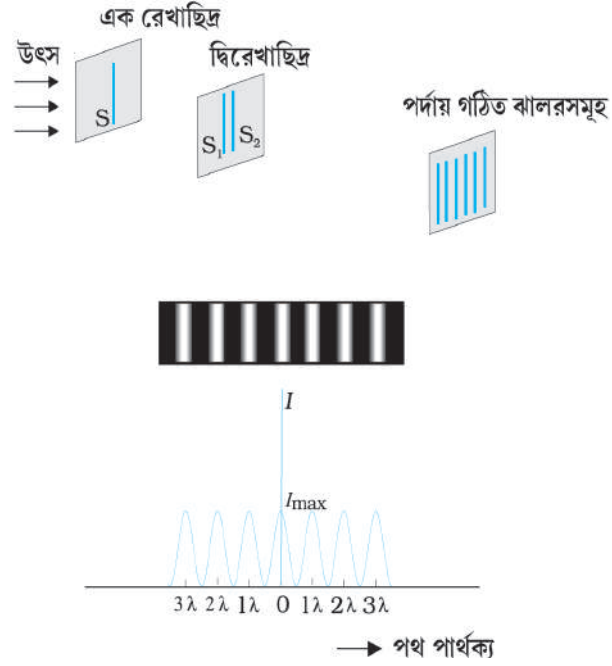
1801 সালে বিজ্ঞানী থমাস ইয়ং সর্বপ্রথম একটি অভূতপূর্ব সহজ ব্যবহারিক পরীক্ষার মাধ্যমে সর্বসম্মতভাবে আলোর তরঙ্গ ধর্মটি উপস্থাপন করেছিলেন। তিনি একটি অন্ধকারাচ্ছন্ন ঘরে সূর্যরশ্মির প্রবেশপথে দুটি সুচিছিদ্র বিশিষ্ট কালো পর্দা রাখেন এবং এরপর কিছু দূরে একটি সাদা পর্দা স্থাপন করেন। তিনি তখন একটি উজ্জ্বল রেখার উভয় পাশে দুটি অন্ধকারাচ্ছন্ন রেখা দেখতে পেয়েছিলেন, যা ওনাকে উজ্জ্বল হলদে সোডিয়াম আলো উৎপন্ন করতে সক্ষম, সামান্য লবণ মেশানো স্পিরিট শিখাকে আলোক উৎস হিসেবে ব্যবহার করে পুনরায় এই পরীক্ষাটি করার ক্ষেত্রে যথেষ্ট উৎসাহ যুগিয়েছিল। এইবার তিনি পর পর সম ব্যবধান থাকা কতকগুলো অন্ধকারাচ্ছন্ন রেখা দেখতে পেলেন; এই ঘটনাটি আলোর সাথে আলোর সংযোজনে অন্ধকার

* 1971 সালে ডেনিস্ গেবর, হলোগ্রাফির (holography) মূলনীতি উদ্ভাবনের জন্যে পদার্থবিদ্যায় নোবেল পুরস্কার পান।

পদার্থবিদ্যা

সৃষ্টি হতে পারে, এর সর্বপ্রথম সুস্পষ্ট প্রমাণ। এই ঘটনাটিকে ব্যতিচার বলা হয়। এই ফলাফলটি বিজ্ঞানী থমাস ইয়ং-এর নিকট প্রত্যাশিত ছিল, কারণ উনি আলোর তরঙ্গতত্ত্বে বিশ্বাসী ছিলেন।

এখানে আমাদের উল্লেখ করা বাঞ্ছনীয় যে, S_1 এবং S_2 বিন্দু উৎস হওয়া সত্ত্বেও বালর সমূহ সরলরেখিক হয়। আমরা যদি বিন্দু উৎসের পরিবর্তে রেখাছিদ্র উৎস নেই (চিত্র 10.14), তবে প্রতি বিন্দুগল উৎস সরলরেখিক বালর উৎপন্ন করবে, ফলত উচ্চ প্রাবল্যযুক্ত সরলরেখিক বালরসমূহ পাওয়া যাবে।



চিত্র 10.14 ইয়ং-এর দ্বিরেখা ছিদ্র পরীক্ষায় প্রাপ্ত প্রাবল্য বণ্টনের প্রতিচ্ছবি এবং লেখচিত্র।

উদাহরণ 10.3

উদাহরণ 10.3 1 millimetre ব্যবধানে দুটো রেখাছিদ্র আছে এবং পর্দাটি 1 metre দূরত্বে অবস্থিত। যখন 500 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের নীলাভ সবুজ আলো ব্যবহার করা হয় তখন বালর প্রস্থ কত হবে?

$$\begin{aligned} \text{সমাধান বালর প্রস্থ } \frac{D\lambda}{d} &= \frac{1 \times 5 \times 10^{-7}}{1 \times 10^{-3}} \text{ m} \\ &= 5 \times 10^{-4} \text{ m} = 0.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

উদাহরণ 10.4

উদাহরণ 10.4 নিম্নলিখিত প্রতিটি ক্ষেত্রে ইয়ং-এর দ্বিরেখাছিদ্র পরীক্ষায় ব্যতিচার বালরের উপর কী প্রভাব থাকবে :

- দ্বিরেখাছিদ্রের তল থেকে পর্দাটিকে দূরে সরানো হল;
- একবর্ণী আলোক উৎসটিকে ক্ষুদ্রতর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অপর একটি একবর্ণী আলোক উৎস দ্বারা প্রতিস্থাপিত করা হল ;
- দুটি রেখাছিদ্রের মধ্যবর্তী ব্যবধান বৃদ্ধি করা হল;
- উৎস রেখাছিদ্রটিকে দ্বিরেখাছিদ্র তলের খুব কাছে আনা হল;
- উৎস রেখাছিদ্রটির বেধ বৃদ্ধি করা হল;
- একবর্ণী উৎসটিকে সাদা আলোক উৎস দ্বারা প্রতিস্থাপিত করা হল?

(প্রতিটি ক্ষেত্রে, উল্লেখিত প্রাচলটি ছাড়া সংশ্লিষ্ট অন্যান্য সকল প্রাচলগুলো অপরিবর্তিত আছে ধরে নাও)।

সমাধান

- (a) ঝালরগুলোর কৌণিক ব্যবধান ($= \lambda/d$) অপরিবর্তিত থাকবে। দ্বিরেখাছিদ্র তল থেকে পর্দার দূরত্ব বৃদ্ধির সাথে প্রকৃত ঝালর প্রস্থ সমানুপাতে বৃদ্ধি পাবে।
- (b) ঝালর প্রস্থ (এবং কৌণিক ব্যবধানও) হ্রাস পাবে। নীচে দেওয়া (d)-এর উত্তরে উল্লেখিত শর্তটি দেখো।
- (c) ঝালর প্রস্থ (এবং কৌণিক ব্যবধানও) হ্রাস পাবে। নীচে দেওয়া (d)-এর উত্তরে উল্লেখিত শর্তটি দেখো।
- (d) ধরো, আলোক উৎসটির আকার s এবং দ্বিরেখাছিদ্র তল থেকে এর দূরত্ব S । ব্যতিচার ঝালরটি দৃশ্যমান হওয়ার জন্যে $s/S < \lambda/d$, এই শর্তটি সিদ্ধ হওয়া বাঞ্ছনীয়; অন্যথায়, উৎসের বিভিন্ন অংশের জন্যে সৃষ্ট ব্যতিচার সজ্জাসমূহ পরস্পর পরস্পরের উপর উপরিপাতিত হয় এবং কোনো ঝালর দৃশ্যমান হয় না। তাই S যত হ্রাস পায় (অর্থাৎ উৎস রেখাছিদ্রটিকে আরো কাছে আনতে থাকলে) ব্যতিচার বিন্যাসের দৃশ্যমানতার তীক্ষ্ণতা ক্রমাগত ততই হ্রাস পায় এবং উপরোক্ত শর্তটির যথার্থতা বজায় রেখে যখন উৎসটিকে অত্যধিক কাছে আনা হয় তখন ঝালরসমূহ বিলীন হয়ে যায়। এই অবস্থার পূর্ব পর্যন্ত ঝালর প্রস্থ স্থির থাকে।
- (e) (d)-এর উত্তরটির অনুরূপ। রেখাছিদ্র উৎসটির বেধ যত বৃদ্ধি পায়, ঝালর সজ্জার দৃশ্যমানতার তীক্ষ্ণতা ক্রমাগত হ্রাস পায়। যখন রেখাছিদ্রটির বেধ যথেষ্ট প্রশস্ত হয় তখন $s/S \leq \lambda/d$, এই শর্তটি সিদ্ধ হয় না, ফলে ব্যতিচার সজ্জা বিলীন হয়ে যায়।
- (f) সাদা আলোয় উপস্থিত বিভিন্ন বর্ণের দ্রবন ব্যতিচার সজ্জাসমূহ পরস্পর পরস্পরের উপর উপরিপাতিত হয় (অসংগতভাবে)। বিভিন্ন বর্ণের দ্রবন কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল ঝালরগুলো একই অবস্থানে পাওয়া যায়। তাই কেন্দ্রীয় ঝালরটি সাদা হয়। একটি বিন্দু P -এর জন্য, $S_2P - S_1P = \lambda_b/2$, যেখানে λ_b ($\approx 4000 \text{ \AA}$) নীল বর্ণের আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যকে প্রকাশ করে। ওই বিন্দুতে আলোর নীল বর্ণটি অনুপস্থিত থাকবে এবং ঝালরটিকে লাল বর্ণের দেখা যাবে। এর থেকে খানিকটা দূরে Q বিন্দুতে $S_2Q - S_1Q = \lambda_r/2$, যেখানে λ_r ($\approx 8000 \text{ \AA}$) হল লাল বর্ণের আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য। এই বিন্দুতে ঝালরটি মুখ্যত নীল বর্ণের দেখা যাবে। অতএব, কেন্দ্রীয় সাদা ঝালরটির উভয় পার্শ্বে নিকটবর্তী ঝালরটি লাল বর্ণের এবং দূরবর্তী ঝালরটি নীল বর্ণের দেখা যাবে। কয়েকটি ঝালরের আরো কোনো সুস্পষ্ট ঝালর সজ্জা দেখা যায় না।

10.6 অপবর্তন (DIFFRACTION)

আমরা যদি অস্বচ্ছ বস্তু কর্তৃক সৃষ্ট, এর ছায়া অঞ্চলটি ভালোভাবে লক্ষ করি তবে বস্তুটির জ্যামিতিক ছায়া সংলগ্ন অঞ্চলে ব্যতিচারের অনুরূপ পরপর অন্ধকার এবং উজ্জ্বল অঞ্চল দেখতে পাই। এটি আলোর অপবর্তনের জন্য ঘটে। অপবর্তন হল এমন একটি সাধারণ ধর্ম যা শব্দতরঙ্গ, আলোক তরঙ্গ, জল তরঙ্গ বা পদার্থ তরঙ্গের মতো সব ধরনের তরঙ্গই প্রদর্শন করে। যেহেতু আলোর তরঙ্গ দৈর্ঘ্য অধিকাংশ বাধার আকারের তুলনায় খুবই ক্ষুদ্র, তাই প্রাত্যহিক পর্যবেক্ষণে আমরা আলোর অপবর্তন ক্রিয়া উপলব্ধি করি না। যাই হোক আলোর অপবর্তন ধর্মের জন্য, আমাদের চক্ষু অথবা নভোবীক্ষণ বা অণুবীক্ষণ যন্ত্রের ন্যায়

আলোকীয় যন্ত্রাদির বিশ্লেষণ ক্ষমতা সসীম হয়। একটি CD -কে লক্ষ করে যে বর্ণগুলো তোমরা দেখ, তা বস্তুত আলোর অপবর্তনের জন্যই হয়। আমরা এখন অপবর্তনের ঘটনাটি আলোচনা করবো।

10.6.1 এক রেখাছিদ্র (The single slit)

ইয়ং-এর পরীক্ষার আলোচনায়, আমরা বর্ণনা করেছি যে, একক সরু রেখাছিদ্র একটি নতুন উৎসের মতো আচরণ করে, যা থেকে আলো চারদিকে ছড়িয়ে পড়ে। এমনকি বিজ্ঞানী ইয়ং-এরও পূর্বে, নিউটনসহ প্রথমদিকের পরীক্ষকগণ লক্ষ করেছেন যে সরু ছিদ্র এবং রেখাছিদ্র থেকে নির্গত আলো চারদিকে ছড়িয়ে পড়ে। উৎসের কিনারার ঘেষে আলো বেঁকে গিয়ে, যেখানে আমরা ছায়া প্রত্যাশা করতে পারি সেইসব অঞ্চলে প্রবেশ করছে বলে মনে হয়। এ ধরনের ক্রিয়াগুলো অপবর্তন নামে পরিচিত, যা কেবলমাত্র তরঙ্গ ধারণার সাহায্যে সঠিকভাবে বোঝা যেতে পারে। আর যাই হোক, কোনো বাধার ধার ঘেষে আসা উচ্চারিত শব্দতরঙ্গ শুনতে পেয়ে তোমরা কদাচিৎই আশ্চর্য হও !

ইয়ং-এর পরীক্ষায় যখন দ্বিরেখাছিদ্রটি একটি একক সরু রেখাছিদ্র (একবর্ণী উৎস দ্বারা আলোকিত) দ্বারা প্রতিস্থাপিত করা হয় তখন কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল অঞ্চল বিশিষ্ট একটি বিস্তৃত সজ্জা দেখা যায়। কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল অঞ্চলের উভয় পাশে, পর পর অস্থকার ও উজ্জ্বল অঞ্চল পাওয়া যায়, যাদের প্রাবল্য কেন্দ্র থেকে দূরত্ব বৃদ্ধির সাথে সাথে দুর্বলতর হতে থাকে (চিত্র 10.16)। এই বিষয়টি বুঝতে চলো 10.15 চিত্রটি দেখি, যেখানে a বেধবিশিষ্ট একটি এক রেখাছিদ্র LN-এর উপর একটি সমান্তরাল আলোকরশ্মিগুচ্ছের লম্বভাবে আপতনের ঘটনা প্রদর্শিত হয়েছে। অপবর্তিত আলো এগিয়ে গিয়ে পর্দায় মিলিত হয়। রেখাছিদ্রটির মধ্যবিন্দুটি হল M।

রেখাছিদ্র তলের অভিলম্ব বরাবর M বিন্দুগামী একটি সরলরেখা পর্দায় C বিন্দুতে মিলিত হয়। আমরা পর্দাটির উপর যে-কোনো একটি বিন্দু P তে প্রাবল্য নির্ণয় করতে চাই। পূর্বের ন্যায়, রেখাছিদ্রের বিভিন্ন বিন্দু L, M, N, ইত্যাদি এবং P বিন্দু সংযোজক সরলরেখাগুলো অভিলম্ব MC-এর সাথে θ কোণে আনত অবস্থায় পরস্পর সমান্তরাল আছে এমন বিবেচনা করা যেতে পারে।

মৌলিক ধারণাটি হল, রেখাছিদ্রটিকে অনেকগুলো ক্ষুদ্রতর অংশে বিভাজিত করা এবং P বিন্দুতে যথার্থ দশা-পার্থক্য বজায় রেখে এদের প্রভাবগুলোকে সংযোজিত করা। আমরা রেখাছিদ্রের তরঙ্গমুখটির বিভিন্ন অংশগুলোকে গৌণ উৎস হিসেবে বিবেচনা করছি। কারণ, আপতিত তরঙ্গমুখটি রেখাছিদ্রতলের সমান্তরাল হওয়ায় এই উৎসগুলো সমদশাসম্পন্ন হয়।

রেখাছিদ্রটির দুটি প্রান্ত বিন্দুর মধ্যে পথ পার্থক্য NP – LP , ইয়ং-এর পরীক্ষার অনুরূপে গণনা করা যায়। 10.15 চিত্র থেকে,

$$\begin{aligned} NP - LP &= NQ = a \sin \theta \\ &\approx a \theta \text{ (ক্ষুদ্র কোণসমূহের জন্য)} \end{aligned} \quad (10.21)$$

অনুরূপে, রেখাছিদ্রতলের উপর দুটি বিন্দু M_1 এবং M_2 -এর মধ্যে ব্যবধান y হলে, পথ পার্থক্য $M_2P - M_1P \approx y\theta$ হয়। আমাদের এখন বিভিন্ন দশাসম্পন্ন বহুসংখ্যক সুসংগত উৎসসমূহের অনুরূপ প্রভাবগুলোকে সংযোজিত করতে হবে। ফ্রেনেল (Fresnel) সমাকলন ব্যবহার করে এই গণনা করেছিলেন, তাই এখানে আমরা এই পদ্ধতিটি গ্রহণ করিনি। অপবর্তন সজ্জার মূল বৈশিষ্ট্যগুলো সাধারণ যুক্তির মাধ্যমে বুঝানো যেতে পারে।

পর্দার উপর কেন্দ্রীয় বিন্দু C -তে, θ কোণটি শূন্য হয়। পথ পার্থক্য শূন্য হওয়ায় রেখাছিদ্রের সকল অংশ থেকে আগত আপতিত তরঙ্গগুলো সম দশাসম্পন্ন হয়। এর ফলে C বিন্দুতে সর্বোচ্চ প্রাবল্য পাওয়া যায়। 10.15 চিত্রে প্রদর্শিত পরীক্ষামূলক পর্যবেক্ষণ থেকে দেখা যায় যে $\theta = 0$ তে কেন্দ্রীয় চরম প্রাবল্য,

তরঙ্গ আলোক বিজ্ঞান

$\theta \approx (n+1/2) \lambda/a$ তে অন্যান্য গৌণ চরম প্রাবল্য এবং $\theta \approx n\lambda/a$ তে অবম প্রাবল্য (প্রাবল্য শূন্য) পাওয়া যায়, যেখানে $n = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ । কোণের এই মানগুলোর জন্য কেন প্রাবল্য অবম হয়, তা দেখানো সহজ। প্রথমে θ কোণটি বিবেচনা করো, যেখানে পথ পার্থক্য $a\theta$ তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ -এর সমান হয়। অতএব,

$$\theta \approx \lambda/a. \quad (10.22)$$

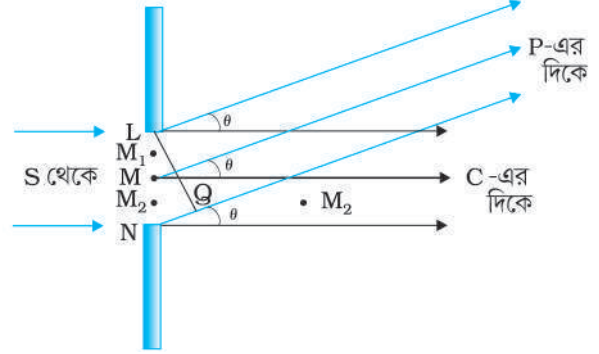
এখন রেখাছিদ্রটিকে $a/2$ আকারবিশিষ্ট দুটি সমান অর্ধ LM এবং MN অংশে বিভক্ত করো। LM অংশের প্রতিটি বিন্দু M_1 -এর জন্য MN অংশের এমন একটি বিন্দু M_2 পাওয়া যায় যেখানে $M_1M_2 = a/2$ । একটি সুনির্দিষ্ট কোণের জন্য P বিন্দুতে M_1 এবং M_2 বিন্দু দুটির মধ্যে পথ পার্থক্য, $M_2P - M_1P = \theta a/2 = \lambda/2$ । এর অর্থ হল $\theta = \lambda/a$ অভিমুখে P বিন্দুতে, M_1 এবং M_2 -এর প্রভাব 180° দশা পার্থক্যে থাকায় পরস্পরকে প্রতিমিত করে। তাই, রেখাছিদ্রটির LM এবং MN এই দুটো অর্ধের সার্বিক প্রভাব পরস্পরকে প্রতিমিত করে। (10.22) সমীকরণটি, প্রাবল্য শূন্য হয় এমন কোণকে প্রকাশ করে। অনুবৃত্তভাবে, যে কেউ $\theta = n\lambda/a$ -এর জন্য প্রাবল্য শূন্য হয় তা দেখাতে পারে, যেখানে n শূন্য ব্যতীত যে-কোনো অখণ্ড সংখ্যা। লক্ষণীয় যে রেখাছিদ্রের বেধ a হ্রাস পেলে কেন্দ্রীয় চরম প্রাবল্যের কৌণিক আকার বৃদ্ধি পায়।

$\theta = (n + 1/2) \lambda/a$ মানে কেন চরম প্রাবল্য পাওয়া যায় এবং n -এর বৃদ্ধির সাথে সাথে এদের প্রাবল্য কেন ক্ষীণ থেকে ক্ষীণতর হচ্ছে তাও সহজে দেখানো যায়। একটি কোণ $\theta = 3\lambda/2a$ বিবেচনা করো, যা পরপর দুটো অন্ধকার ঝালরের মধ্যবিন্দুগামী। রেখাছিদ্রটিকে তিনটি সমান অংশে ভাগ করো। যদি আমরা রেখাছিদ্রটির প্রথম দুই তৃতীয়াংশ নেই, তবে এই অংশের দুই প্রান্তের মধ্যে পথ পার্থক্য হয়,

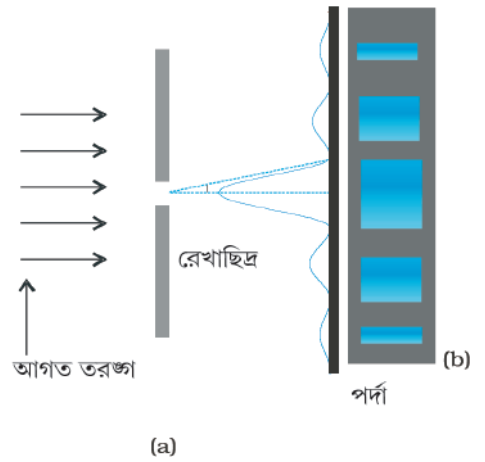
$$\frac{2}{3}a \times \theta = \frac{2a}{3} \times \frac{3\lambda}{2a} = \lambda \quad (10.23)$$

তাই রেখাছিদ্রটির প্রথম দুই তৃতীয়াংশকে এমন দুটি অংশে বিভক্ত করা যেতে পারে যাদের পথ পার্থক্য $\lambda/2$ পাওয়া যায়। পূর্বের মতোই একইভাবে এই দুটি অর্ধের প্রভাব পরস্পরকে প্রতিমিত করে। রেখাছিদ্রের কেবলমাত্র অবশিষ্ট এক তৃতীয়াংশের প্রভাবেই পর পর দুটো অবমের মধ্যবিন্দুতে প্রাবল্য পাওয়া যায়। স্পষ্টতই, এই চরম প্রাবল্যটি কেন্দ্রীয় চরম (যদিও কেন্দ্রীয় চরম প্রাবল্যে সমগ্র রেখাছিদ্রটির জন্য প্রভাবসমূহ সমদশাসম্পন্ন) প্রাবল্যের তুলনায় অনেকটাই ক্ষীণ হবে। অনুবৃত্তভাবে $\theta = (n + 1/2) \lambda/a$ অভিমুখে, (যেখানে $n = 2, 3, \dots$ ইত্যাদি) গৌণ চরম প্রাবল্য পাওয়া যায়, এমনটা যে কেউ দেখাতে পারে। n -এর বৃদ্ধির সাথে এই প্রাবল্যগুলোর মান ক্রমশ ক্ষীণ হতে থাকে, কারণ এসব ক্ষেত্রে কেবলমাত্র রেখাছিদ্রটির এক পঞ্চমাংশ, এক সপ্তমাংশ ইত্যাদির জন্যই আংশিক প্রভাব পাওয়া যায়। এই বিষয়টির চিত্ররূপ এবং এ সংক্রান্ত প্রাবল্য সজ্জা 10.16 চিত্রে দেখানো হয়েছে।

বিজ্ঞানী মহলে ব্যতিচার এবং অপবর্তন, এই দুই ঘটনার মধ্যে পার্থক্য বিষয়ক সুদীর্ঘ আলোচনা আবিষ্কারের লগ্ন মুহূর্ত থেকেই চলে আসছে। এই প্রসঙ্গে, রিচার্ড



চিত্র 10.15 একক রেখাছিদ্রের দরুন অপবর্তনের ক্ষেত্রে জ্যামিতিক পথ পার্থক্য।

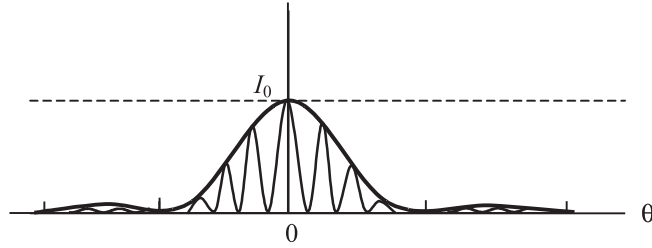


চিত্র 10.16 এক রেখাছিদ্র পরীক্ষায় আলোর অপবর্তনের জন্য প্রাবল্য বন্টন এবং ঝালরের চিত্ররূপ।

ফাইনমেনের (Richard Feynman)* বিখ্যাত “Feynman Lectures on Physics”-এ ওনার আকর্ষণীয় বক্তব্য হল :

ব্যতিচার এবং অপবর্তনের মধ্যে সম্ভাষণজনক পার্থক্য নিরূপণে কেউ সক্ষম হয়নি। এটি কেবলমাত্র ব্যবহারিক ক্ষেত্রে দুইটি বিষয় এবং এদের মধ্যে কোনো সুনির্দিষ্ট গুরুত্বপূর্ণ ভৌত পার্থক্য নেই। সাধারণভাবে, আমরা বড়ো জোর এইটুকু বলতে পারি যে যখন কেবলমাত্র কয়েকটি উৎস, ধরো দুটি ব্যতিচারী আলোক উৎস থাকে তখন যে ঘটনাটি ঘটে তা সাধারণভাবে ব্যতিচার নামে পরিচিত, কিন্তু যদি এইরকম বহু সংখ্যক উৎস থাকে তবে নিয়তই ঘটনাটি অপবর্তন বলে বিবেচিত হয়।

আমরা অবশ্যই লক্ষ করবো যে, দ্বিরেখাছিদ্র পরীক্ষায় পর্দায় যে ঝালর-সজ্জা সৃষ্টি হয় তা হল প্রকৃতপক্ষে প্রতিটি রেখাছিদ্র বা ছিদ্রের জন্য আলোর এক রেখাছিদ্র অপবর্তনের উপরিপাতনের ঘটনা এবং দ্বিরেখাছিদ্র ব্যতিচার সজ্জার ঘটনা, এই দুইয়ের সমন্বয়। এই বিষয়টি 10.17 চিত্রে দেখানো হয়েছে। এটি একটি তুলনামূলক প্রশস্ত অপবর্তন শীর্ষ প্রদর্শন করে, যার মধ্যে আলোর দ্বিরেখাছিদ্র ব্যতিচারের জন্য অনেকগুলো স্বল্প বেধের ঝালর সমূহের উপস্থিতি দেখা যায়। প্রশস্ত অপবর্তন শীর্ষটিতে কত সংখ্যক ব্যতিচার ঝালরসমূহ উপস্থিত আছে, তা d/a অনুপাত, অর্থাৎ দুটি রেখাছিদ্রের ব্যবধান ও প্রতিটি রেখাছিদ্রের বেধ, এই দুইয়ের অনুপাতের উপর নির্ভর করে। a -এর ক্ষুদ্রাতিক্ষুদ্র সীমাস্থ মানের জন্য, অপবর্তন সজ্জাটি অনেকখানি চ্যাপ্টা হয়ে যাবে এবং আমরা তখন দ্বিরেখাছিদ্র ব্যতিচার সজ্জা পর্যবেক্ষণ করবো [চিত্র 10.13(b)]।



চিত্র 10.17 প্রকৃত দ্বিরেখাছিদ্র ব্যতিচার সজ্জা। আবারকটি একরেখাছিদ্র অপবর্তন প্রদর্শন করছে।

উদাহরণ 10.5 একটি দ্বিরেখাছিদ্র পরীক্ষায় প্রতিটি রেখাছিদ্রের বেধ কত হলে একটি এক রেখাছিদ্র সজ্জায় কেন্দ্রীয় চরম প্রাবল্যে 10.3 উদাহরণে উল্লেখিত দ্বিরেখাছিদ্র সজ্জার 10টি উজ্জ্বল পটি পাওয়া যাবে?

সমাধান আমরা জানি, $a\theta = \lambda$, $\theta = \frac{\lambda}{a}$

$$10 \frac{\lambda}{d} = 2 \frac{\lambda}{a} \quad a = \frac{d}{5} = 0.2 \text{ mm}$$

লক্ষনীয় যে, রেখাছিদ্র বেধ a -এর এই গণনায় আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য এবং পর্দার দূরত্ব অন্তর্ভুক্ত হয়নি।

10.12 চিত্রে প্রদর্শিত দ্বিরেখাছিদ্র ব্যতিচার পরীক্ষায়, যদি একটি রেখাছিদ্রকে বন্ধ করে দেওয়া হয় তবে কী ঘটবে? তুমি এটিকে এখন এক রেখাছিদ্রের অনুরূপ দেখতে পাবে। কিন্তু এই সজ্জায় কিছু বিচ্যুতির প্রতি তোমাকে অবশ্যই লক্ষ রাখতে হবে। আমাদের এখন একটি উৎস S এবং একটিমাত্র ছিদ্র বা রেখাছিদ্র, S_1 অথবা S_2 আছে। এটা পর্দার উপর এক রেখাছিদ্র অপবর্তন সজ্জা সৃষ্টি করে। কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল ঝালরের কেন্দ্রবিন্দুটি ক্ষেত্রবিশেষে SS_1 অথবা SS_2 সরলরেখার উপর একটি বিন্দুতে গঠিত হবে।

* কোয়ান্টাম তড়িৎ বলবিদ্যার (quantum electrodynamics) উপর ওনার মৌলিক কাজের জন্যে 1965 সালে রিচার্ড ফাইনমেন পদার্থবিজ্ঞানে নোবেল পুরস্কার প্রাপকদের মধ্যে একজন ছিলেন।

এখন আমরা একটি সুসংগতভাবে আলোকিত এক রেখাছিদ্রের দ্রুণ দৃশ্যমান সজ্জাটির (সাধারণত এটিকে একরেখাছিদ্র অপবর্তন সজ্জা বলে) সাথে ব্যতিচার সজ্জাটির তুলনা এবং পার্থক্য করবো।

- ব্যতিচার সজ্জাটিতে বেশ কিছু সংখ্যক সমবেদসম্পন্ন উজ্জ্বল ও অন্ধকার পটিসমূহ থাকে। অপবর্তন সজ্জাটির কেন্দ্রীয় চরম উজ্জ্বল পটিটির প্রস্থ অন্যান্য চরম পটির প্রস্থের দ্বিগুণ হয়। অপবর্তন সজ্জাটির কেন্দ্রবিন্দুর উভয় পার্শ্বে পর পর অন্যান্য গৌণ চরম উজ্জ্বল পটিগুলোর উজ্জ্বল্য ক্রমশ হ্রাস পায়, এমনটা আমরা দেখতে পাই।
- ব্যতিচার সজ্জাটি হল দুটি সরু রেখাছিদ্র থেকে সৃষ্ট দুটি তরঙ্গের উপরিপাতনের ফল এবং যেখানে অপবর্তন সজ্জাটি হল একটি একরেখাছিদ্রের উপর প্রতিটি বিন্দু থেকে প্রতিনিয়ত সৃষ্ট একগুচ্ছ তরঙ্গের উপরিপাতনের ফল, আমরা এমন বিবেচনা করি।
- a বেধযুক্ত একটি একরেখাছিদ্রের দ্রুণ প্রাপ্ত ব্যতিচার সজ্জাটির প্রথম অবম বিন্দুটি $\theta = \lambda/a$ কোণে পাওয়া যায়। আবার a ব্যবধানে থাকা দুটি সরু রেখাছিদ্রের দ্রুণ আমরা ওই একই λ/a কোণে একটি চরম প্রাবল্য (অবম নয়) পাই।

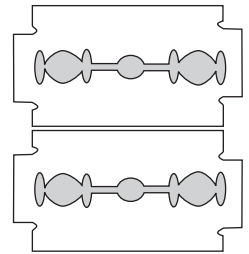
যে কেউ অবশ্যই অনুধাবন করবে যে, ব্যতিচার এবং অপবর্তন সজ্জা স্পষ্টভাবে পর্যবেক্ষণ করতে গেলে d এবং a উভয়ের মান খুব ক্ষুদ্র হতে হবে। উদাহরণস্বরূপ, দুটি রেখাছিদ্রের মধ্যে ব্যবধান d অবশ্যই মিলিমিটার বা এমন ক্রমের হতে হবে। প্রতিটি রেখাছিদ্রের বেধ a অবশ্যই আরো ক্ষুদ্র 0.1 বা 0.2 mm ক্রমের হতে হবে।

ইয়ং-এর পরীক্ষা এবং এক রেখাছিদ্র অপবর্তনের আলোচনায়, বালরসমূহ যে পর্দার উপর গঠিত হয় সেই পর্দাটি যথেষ্ট দূরে আছে এমন আমরা বিবেচনা করেছি। রেখাছিদ্র থেকে পর্দা পর্যন্ত দুই বা ততোধিক আলোকীয় পথগুলো পরস্পর সমান্তরাল ধরে নিয়েছি। আমরা যখন একটি অভিসারী লেন্সকে রেখাছিদ্র এবং পর্দার মধ্যবর্তী কোনো অবস্থানে এবং পর্দাটিকে লেন্সের ফোকাসে স্থাপন করে তখনও এই ঘটনাটাই ঘটে। রেখাছিদ্র থেকে আগত সমান্তরাল রশ্মিগুলো পর্দায় একটি নির্দিষ্ট বিন্দুতে কেন্দ্রীভূত হয়। লক্ষণীয় যে, লেন্সটি সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছে কোনো অতিরিক্ত পথ পার্থক্য সৃষ্টি করে না। যথেষ্ট দূরে স্থাপিত পর্দার তুলনায় এই ব্যবস্থাপনায় পর্দায় অধিকতর প্রাবল্য পাওয়া যাওয়ার কারণে এই ব্যবস্থাপনাটিকে সচরাচর গ্রহণ করা হয়। যদি লেন্সটির ফোকাস দৈর্ঘ্য f হয়, তবে কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল চরম পটিটির আকার আমরা সহজেই নির্ধারণ করতে পারি। অপবর্তন সজ্জার প্রথম অবম বিন্দু থেকে কেন্দ্রীয় চরম পর্যন্ত কৌণিক ব্যবধান λ/a হয়। অতএব, পর্দার উপর কেন্দ্রীয় চরম বিন্দুর আকারটি হবে $f\lambda/a$ ।

10.6.2 এক রেখাছিদ্র অপবর্তন সজ্জার পর্যবেক্ষণ (Seeing the single slit diffraction pattern)

যে-কোনো ব্যক্তির পক্ষে এক রেখাছিদ্র অপবর্তন সজ্জা পর্যবেক্ষণ করা সত্যিই সহজ। সংশ্লিষ্ট প্রয়োজনীয় উপকরণগুলো প্রায় প্রতি বাড়ীঘরেই পাওয়া যেতে পারে। এগুলো হল - দুটি রেজার ব্লড এবং একটি স্বচ্ছ কাচের তৈরি বৈদ্যুতিক বাস্ব, যা রৈখিক ফিলামেন্ট যুক্ত হলে ভালো হয়। কোনো একজনকে এই দুটি ব্লডকে এমনভাবে ধরতে হবে যেন এদের প্রান্তগুলো পরস্পর সমান্তরাল হয় এবং দুটি ব্লডের মধ্যবর্তী অংশটি একটি সরু রেখাছিদ্রের ন্যায় হয়। এ কাজটি বৃন্দাঞ্জুষ্ঠ ও তর্জনীর সাহায্যে সহজেই করা যায় (চিত্র 10.18)।

রেখাছিদ্রটিকে চোখের ঠিক সামনে, ফিলামেন্টের সমান্তরালে রাখ। তুমি সচরাচর চশমা ব্যবহার করলেও তা করতে পারো। সংলগ্ন প্রান্তদ্বয়ের সমান্তরাল ব্যবস্থাপনা এবং রেখাছিদ্রটির প্রস্থের সামান্য পরিবর্তন ঘটানোর মাধ্যমে উজ্জ্বল এবং অন্ধকার পটিযুক্ত সজ্জাটি দেখা সম্ভব। যেহেতু সব পটিগুলোর অবস্থান (কেন্দ্রীয় পটি ব্যতীত) আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের উপর নির্ভর করে, তাই এগুলো রঞ্জিন দেখাবে। লাল বা নীল বর্ণের ফিল্টার ব্যবহার করে বালরসমূহকে আরো অধিক স্পষ্ট করা যায়। ফিল্টার ব্যবহারে নীল বর্ণের তুলনায় লাল বর্ণের বালরসমূহ অধিক প্রশস্ত দেখা যেতে পারে।



চিত্র 10.18 দুটি ব্লডকে নিয়ে একটি রেখাছিদ্র তৈরি করা হয়েছে। এই রেখাছিদ্রের মধ্য দিয়ে বাস্ব ফিলামেন্টের আলোর দিকে তাকালে স্পষ্ট অপবর্তন পটিসমূহ লক্ষ করা যায়।

এই পরীক্ষায়, ফিলামেন্টটি 10.16 চিত্রে প্রদর্শিত প্রথম আলোক উৎস S-এর ভূমিকা পালন করে। চক্ষু লেন্সটি বালর সজ্জাটিকে পর্দায় (চোখের রেটিনায়) ফোকাস করে।

যে কেউ খানিকটা চেষ্টা করে একটি ব্লড দিয়ে একটি অ্যালুমিনিয়াম পাতে দুটি রেখাছিদ্র কাটতে পারে। ইয়ং-এর পরীক্ষার পুনরাবৃত্তি ঘটাতে বাষ্প ফিলামেন্টটিকে পূর্বের মতোই দেখা যেতে পারে। দিনের বেলায়, অন্য একটি যথোপযুক্ত উজ্জ্বল আলোক উৎস চোখে একটি ক্ষুদ্র কোণ উৎপন্ন করে। এটি হল চক্চকে কোনো উত্তল পৃষ্ঠে (যেমন একটি সাইকেলের বেল) সূর্যালোকের প্রতিফলন। কখনো সরাসরি সূর্যালোক নিয়ে চেষ্টা করবে না এতে চোখের ক্ষতি হতে পারে এবং যেহেতু সূর্য আমাদের চোখে $(1/2)^\circ$ কোণ উৎপন্ন করে তাই কোনোভাবেই এতে বালর সজ্জা পাওয়া যাবে না।

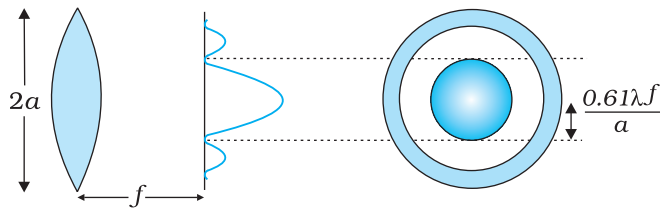
ব্যতিচার এবং অপবর্তনের ঘটনায়, আলোক শক্তি পুনর্বিন্টিত হয়। একটি অঞ্চলে শক্তি হ্রাস পেয়ে একটি অন্ধকার বালর এবং অন্য একটি অঞ্চলে শক্তি বৃদ্ধি পেয়ে উজ্জ্বল বালর উৎপন্ন করে। এক্ষেত্রে শক্তির কোনো সৃষ্টি বা ধ্বংস হয় না, যা শক্তির সংরক্ষণ নীতির সাথে সামঞ্জস্যপূর্ণ।

10.6.3 আলোকীয় যন্ত্রাদির বিশ্লেষণী ক্ষমতা (Resolving power of optical instruments)

নবম অধ্যায়ে আমরা দূরবীক্ষণ (telescopes) যন্ত্র সম্বন্ধে আলোচনা করেছি। দূরবীক্ষণ যন্ত্রের কৌণিক বিশ্লেষণ (angular resolution) যন্ত্রের অভিলক্ষ দ্বারা নির্ধারিত হয়। যে সমস্ত নক্ষত্রের প্রতিবিম্ব অভিলক্ষ দ্বারা বিশ্লেষিত হয় না, এদের ক্ষেত্রে অভিনেত্র দ্বারা আরো বিবর্ধনের মাধ্যমে প্রতিবিম্বের বিশ্লেষণ সম্ভবপর হয় না। অভিলক্ষ দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্বের বিবর্ধন ঘটানোই হল অভিনেত্র লেন্সের মূল উদ্দেশ্য।

একটি উত্তল লেন্সের উপর সমান্তরাল আলোক রশ্মিগুচ্ছ আপতিত হচ্ছে বিবেচনা করো। লেন্সটি যথেষ্ট অপরণমুক্ত (corrected for aberration) হলে, তখন জ্যামিতিক আলোক বিজ্ঞানের নীতি অনুযায়ী রশ্মিগুচ্ছ একটি বিন্দুতে কেন্দ্রীভূত হবে। যাই হোক, অপবর্তনের দরুণ রশ্মিগুচ্ছ একটি বিন্দুতে কেন্দ্রীভূত না হয়ে সসীম ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট একটি বৃত্তাকার ক্ষুদ্র অঞ্চলে (spot) কেন্দ্রীভূত হবে। এইক্ষেত্রে অপবর্তন প্রভাবের জন্য এই ঘটনাটি ঘটে, যেখানে একটি সমতল তরঙ্গ বৃত্তাকার ছিদ্রের মধ্য দিয়ে গিয়ে একটি উত্তল লেন্সে আপতিত হয়েছে, এমন বিবেচনা করা যেতে পারে। (চিত্র 10.19)। এ বিষয়টিতে আনুষঙ্গিক অপবর্তন সজ্জাটির বিশ্লেষণ সম্পূর্ণভাবে অন্তর্ভুক্ত আছে; যাই হোক, নীতিগতভাবে, এ ধরনের বিশ্লেষণটি এক রেখাছিদ্র অপবর্তন পরীক্ষায় প্রাপ্ত বালর সজ্জাটির বিশ্লেষণের অনুরূপ। অপবর্তনের প্রভাবটি বিবেচনায় রেখে দেখা যায় যে, ফোকাস তলের উপর একটি কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল অঞ্চলকে পরিবেষ্টন করে কতকগুলো সমকেন্দ্রিক অন্ধকার ও উজ্জ্বল বলয় সৃষ্টি হয়েছে (চিত্র 10.19)। বিস্তৃত গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে দেখানো যায় যে, কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল চাকতির ন্যায় অঞ্চলটির আনুমানিক ব্যাসার্ধ হয়,

$$r_0 \approx \frac{1.22 \lambda f}{2a} = \frac{0.61 \lambda f}{a} \quad (10.24)$$



চিত্র 10.19 একটি সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ উত্তল লেন্সের উপর আপতিত হয়েছে। অপবর্তন প্রভাবের দরুণ রশ্মিগুচ্ছটি আনুমানিক $0.61 \lambda f/a$ মানের ব্যাসার্ধবিশিষ্ট একটি ক্ষুদ্র বৃত্তাকার অঞ্চলে ফোকাসিত হয়েছে।

যেখানে লেন্সটির ফোকাস দৈর্ঘ্য f এবং $2a$ হল বৃত্তাকার উন্মেষের ব্যাস বা লেন্সের ব্যাসের মধ্যে যেটি ক্ষুদ্রতর, এর দৈর্ঘ্য। যদি একটি বিশেষক্ষেত্রে $\lambda \approx 0.5 \mu\text{m}$, $f \approx 20 \text{ cm}$ এবং $a \approx 5 \text{ cm}$ হয়, তবে এক্ষেত্রে আমরা পাই,

$$r_0 \approx 1.2 \mu\text{m}$$

যদিও উজ্জ্বল চাক্তিটির আকার খুবই ক্ষুদ্র, তথাপি দূরবীক্ষণ বা অণুবীক্ষণের মতো আলোকীয় যন্ত্রাদির বিশ্লেষণ সীমা নির্ধারণে এটি গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে। দূরের দুটি নক্ষত্রকে ন্যূনতম পক্ষে বিশ্লেষণের ক্ষেত্রে,

$$f\Delta\theta \approx r_0 \approx \frac{0.61\lambda f}{a}$$

অর্থাৎ,

$$\Delta\theta \approx \frac{0.61\lambda}{a} \quad (10.25)$$

অতএব, অভিলক্ষের ব্যাস বৃহৎ হলে $\Delta\theta$ ক্ষুদ্র হবে। এ থেকে বোঝা যায় যে, a বৃহৎ হলে দূরবীক্ষণ যন্ত্রটির উন্নত বিশ্লেষণী ক্ষমতা থাকবে। এ কারণেই উন্নত বিশ্লেষণের জন্যে একটি দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ অবশ্যই দীর্ঘ ব্যাসবিশিষ্ট হতে হবে।

উদাহরণ 10.6 ধরে নাও, দূরের একটি নক্ষত্র থেকে 6000\AA তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো আসছে। 100 ইঞ্চি ব্যাসের অভিলক্ষযুক্ত দূরবীক্ষণ যন্ত্রের বিশ্লেষণ সীমা কত হবে?

সমাধান 100 ইঞ্চি ব্যাসের একটি দূরবীক্ষণ যন্ত্রের ক্ষেত্রে, $2a = 100 \text{ ইঞ্চি} = 254 \text{ cm}$ । অতএব যদি,

$$\lambda \approx 6000\text{\AA} = 6 \times 10^{-5} \text{ cm হয়}$$

তখন,

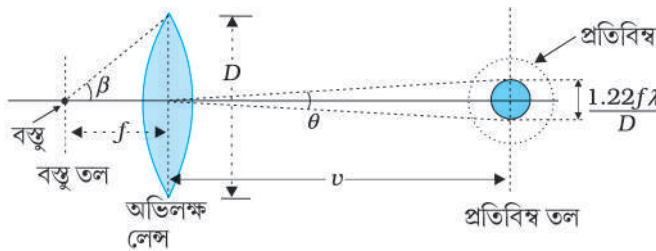
$$\Delta\theta \approx \frac{0.61 \times 6 \times 10^{-5}}{127} \approx 2.9 \times 10^{-7} \text{ রেডিয়ান}$$

উদাহরণ 10.6

আমরা অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ লেন্সটির ক্ষেত্রেও অনুরূপ পদ্ধতি প্রয়োগ করতে পারি। এক্ষেত্রে বস্তুটিকে f থেকে সামান্য বেশি দূরত্বে স্থাপন করা হয়, যাতে বস্তুটির একটি সদ প্রতিবিম্ব v দূরত্বে গঠিত হয় (চিত্র 10.20)। বিবর্ধন গুণকটি (প্রতিবিম্ব উচ্চতা ও বস্তু উচ্চতার অনুপাত) হবে, $m \approx v/f$ । 10.20 চিত্র থেকে দেখা যায়,

$$D/f \approx 2 \tan \beta \quad (10.26)$$

এখানে অণুবীক্ষণ যন্ত্রটির অভিলক্ষ লেন্সের ব্যাস দ্বারা এর ফোকাসে উৎপন্ন কোণ 2β ।



চিত্র 10.20 অণুবীক্ষণ যন্ত্রে অভিলক্ষ লেন্স কর্তৃক সদ প্রতিবিম্ব গঠিত হয়েছে।

তোমার চোখের বিশ্লেষণী ক্ষমতা নির্ণয়

একটি সহজ পরীক্ষার মাধ্যমে তুমি তোমার চোখের বিশ্লেষণী ক্ষমতা গণনা করতে পারো। অন্তবর্তী সাদা পটি সমূহ দ্বারা পরস্পর বিচ্ছিন্ন কতকগুলো সমবেধের কালো পটির সজ্জা তৈরি করো; এখানে দেওয়া চিত্রটি দেখো। সবকটি কালো রং-এর পটি সমান বেধের হতে হবে, যেখানে এদের অন্তবর্তী সাদা পটিগুলোর বেধ বাম প্রান্ত থেকে ডান প্রান্তের দিকে ক্রমবর্ধমান হবে। উদাহরণস্বরূপ, ধরি প্রতিটি কালো পটির বেধ 5 mm, প্রথম দুটি সাদা পটির প্রত্যেকটির বেধ 0.5 mm, এর পরবর্তী দুটো সাদা পটির প্রত্যেকের বেধ 1 mm এবং এর পরবর্তী দুটো পটির প্রত্যেকটির বেধ 1.5 mm ইত্যাদি। ঘরের বা পরীক্ষাগারের দেওয়ালে তোমার চোখের উচ্চতায় এই সজ্জাটি স্টেটে দাও।



এখন সজ্জাটিকে যথাসম্ভব একচোখে লক্ষ্য করো। দেওয়াল থেকে দূরে সরে অথবা দেওয়ালের দিকে অগ্রসর হয়ে এমন একটি দূরত্ব চিহ্নিত করো, যেখান থেকে তুমি শুধুমাত্র পরপর দুটো কালো পটিকে পরস্পর থেকে বিচ্ছিন্ন দেখতে পাবে। বামপ্রান্তের সকল কালো পটিগুলো একে অন্যের সাথে মিলে আছে এবং এদেরকে বিচ্ছিন্ন দেখা যাবে না। অপরদিকে, ডানপ্রান্তের কালো পটিগুলো অনেক বেশি স্পষ্টভাবে পরস্পর থেকে বিচ্ছিন্ন অবস্থায় দৃশ্যমান হয়। এই দুটি বিচ্ছিন্ন অঞ্চলের অন্তবর্তী সাদা পটিটির বেধ d -এর পাঠ নাও এবং তোমার চোখ থেকে দেওয়াল পর্যন্ত দূরত্ব D পরিমাপ করো। d/D অনুপাতটি হল তোমার চোখের বিশ্লেষণ সীমা।

তুমি জানালা দিয়ে আসা সূর্যকিরণে বায়ুতে ভাসমান ধূলিকণাপুঞ্জ লক্ষ্য করো। পাশ্চাতী ধূলিকণা থেকে স্পষ্টভাবে পৃথক দেখা যায় এমন একটি কণার দূরত্ব নির্ধারণ করো। তোমার চোখের বিশ্লেষণ সীমা এবং ধূলিকণাটির দূরত্ব জেনে নিয়ে, ধূলিকণাটির আকার গণনা করো।

যখন একটি আণুবীক্ষণিক উপাদানের দুটো বিন্দুর মধ্যে ব্যবধান, আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ -এর সাথে তুলনীয় হয়, তখন অপবর্তন ক্রিয়া গুরুত্ব পায়। বিন্দু বস্তুটির প্রতিবিম্বও অপবর্তন সজ্জা হবে এবং প্রতিবিম্ব তলে এর আকার হবে,

$$v\theta = v\left(\frac{1.22\lambda}{D}\right) \quad (10.27)$$

দুটি বিন্দু বস্তু যাদের প্রতিবিম্বের মধ্যে ব্যবধান এই দূরত্ব অপেক্ষা কম, এদের বিশ্লেষণ করা যাবে না, এই দুইটি বিন্দু বস্তুকে একটি দেখা যাবে। বস্তু তলে সংশ্লিষ্ট ন্যূনতম ব্যবধান,

$$\begin{aligned} d_{\min} &= \left[v\left(\frac{1.22\lambda}{D}\right) \right] / m \\ &= \frac{1.22\lambda}{D} \cdot \frac{v}{m} \\ \text{যেহেতু, } m &= \frac{v}{f} \\ &= \frac{1.22f\lambda}{D} \end{aligned} \quad (10.28)$$

এখন, সমীকরণ (10.26) এবং (10.28) সংযুক্ত করে, আমরা পাই

$$d_{\min} = \frac{1.22\lambda}{2 \tan \beta}$$

$$= \frac{1.22 \lambda}{2 \sin \beta} \quad (10.29)$$

যদি বস্তু এবং অভিলক্ষ লেন্সের মধ্যবর্তী মাধ্যমটি বায়ু না হয়ে n প্রতিসরাংক বিশিষ্ট মাধ্যম হয়, তবে (10.29) সমীকরণটির সংশোধিত রূপ হয়

$$d_{\min} = \frac{1.22 \lambda}{2n \sin \beta} \quad (10.30)$$

$n \sin \beta$ গুণফলটিকে সাংখ্যিক উন্মেষ (*numerical aperture*) বলে এবং কখনো কখনো অভিলক্ষ লেন্সে এটি উল্লেখ থাকে। স্পষ্টভাবে দৃশ্যমান দুইটি বিন্দুর মধ্যে ন্যূনতম ব্যবধানের অন্যান্যকটি হল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিশ্লেষণী ক্ষমতা।

(10.30) সমীকরণ থেকে দেখা যায় যে, উচ্চ প্রতিসরাংক বিশিষ্ট মাধ্যম ব্যবহার করে বিশ্লেষণী ক্ষমতা বৃদ্ধি করা যেতে পারে। সাধারণত অভিলক্ষ লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাংকের কাছাকাছি মানের প্রতিসরাংক বিশিষ্ট একটি তেল ব্যবহার করা হয়। এ ধরনের ব্যবস্থাপনাকে *তেল নিমজ্জিত অভিলক্ষ (oil immersion objective)* বলা হয়। লক্ষণীয় যে $\sin \beta$ -এর মান 1-এর অধিক হওয়া সম্ভবপর নয়। তাই আমরা দেখি যে, মূলত ব্যবহৃত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য দ্বারাই অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিশ্লেষণী ক্ষমতা নির্ধারিত করা হয়।

বিশ্লেষণ ও বিবর্ধনের মধ্যে এবং অনুরূপভাবে দূরবীক্ষণ ও অণুবীক্ষণ যন্ত্রের ক্ষেত্রে এই প্রাচলগুলোর (parameters) কোনটি কোন ক্ষেত্রে প্রযোজ্য এ নিয়ে যথেষ্ট বিভ্রান্তির অবকাশ থাকে। একটি দূরবীক্ষণ যন্ত্র, দূরবর্তী কোনো বস্তুর প্রতিবিম্ব আমাদের চোখের কাছাকাছি তৈরি করে। তাই বিশ্লেষণ করা যায় না এমন দূরবর্তী বস্তুগুলোর দিকে দূরবীক্ষণ যন্ত্রের মধ্য দিয়ে তাকালে বিশ্লেষণ করা যেতে পারে। অপরদিকে, একটি অণুবীক্ষণ যন্ত্র বস্তুকে (যেসব বস্তু আমাদের কাছাকাছি) বিবর্ধিত করে এবং এদের বৃহৎ আকৃতির প্রতিবিম্ব তৈরি করে। আমরা দুইটি নক্ষত্র বা দূরবর্তী কোনো গ্রহের দুইটি উপগ্রহ অথবা কোনো একটি সজীব কোশের বিভিন্ন অংশ দেখতে পারি। এই প্রসঙ্গে এটা মনে রাখা বাঞ্ছনীয় যে, একটি দূরবীক্ষণ যন্ত্র বিশ্লেষণ করে, যেখানে একটি অণুবীক্ষণ যন্ত্র বিবর্ধন করে।

10.6.4 জ্যামিতিক আলোক বিজ্ঞানের যথার্থতা (The validity of ray optics)

সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ দ্বারা আলোকিত a আকারবিশিষ্ট একটি রেখাছিদ্র বা ছিদ্র আনুমানিক $\approx \lambda/a$ কোণে অপবর্তিত আলো প্রেরণ করে। এটি কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল চরম পটির কৌণিক আকার। তাই z দূরত্ব অতিক্রম করার ক্ষেত্রে, অপবর্তনের দরুণ অপবর্তিত রশ্মিগুচ্ছের বেধ $z\lambda/a$ হয়। তোমরা জানতে আগ্রহী হবে যে, z -এর কোন মানে অপবর্তনের দরুণ প্রসার উন্মেষটির আকার a -এর সাথে তুলনীয় হবে। তাই আমরা আনুমানিকভাবে $z\lambda/a$ এবং a প্রায় সমান ধরি। এই দূরত্ব ছাড়িয়ে গেলে a বেধযুক্ত রশ্মিগুচ্ছের অপসৃতি (divergence) তাৎপর্যপূর্ণ হয়। অতএব,

$$z = \frac{a^2}{\lambda} \quad (10.31)$$

আমরা নিম্নোক্ত সমীকরণের মাধ্যমে “ফ্রেনেল দূরত্ব” (*Fresnel distance*) নামক একটি রাশি z_F -কে সংজ্ঞায়িত করি,

$$z_F = a^2 / \lambda$$

(10.31) সমীকরণ থেকে দেখা যায় যে, z_F -এর তুলনায় অনেক ক্ষুদ্রতর দূরত্বের জন্যে অপবর্তনের দরুণ প্রসার রশ্মিগুচ্ছের বেধের তুলনায় ক্ষুদ্রতর হয়। যখন দূরত্বটি আনুমানিক z_F হয়, তখন এই দুটি বিষয় পরস্পর তুলনীয় হয়। z_F -এর তুলনায় অধিক দূরত্বের জন্যে অপবর্তনের দরুণ প্রসার জ্যামিতিক আলোক বিজ্ঞানের (অর্থাৎ a উন্মেষটির আকার) অনুরূপ পর্যবেক্ষণ অপেক্ষা অধিক প্রভাবশালী হবে।

(10.31) সমীকরণ থেকে দেখা যায় যে, আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের শূন্য সীমাস্থ মানে জ্যামিতিক আলোক বিজ্ঞান কার্যকরী হয়।

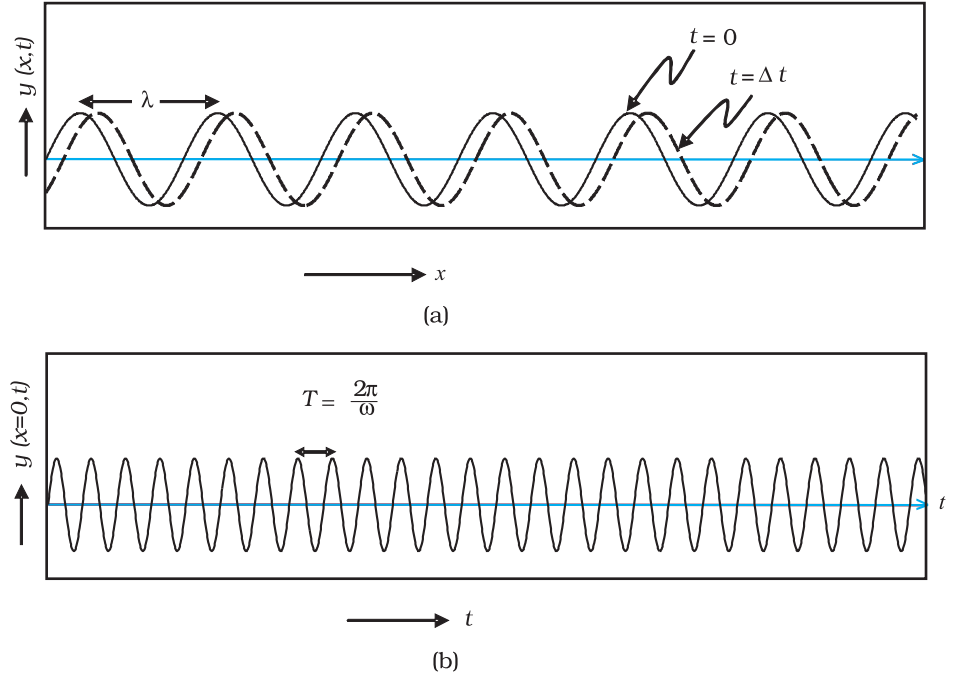
উদাহরণ 10.7 3 mm বেধবিশিষ্ট ছিদ্র এবং 500 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোর ক্ষেত্রে, দূরত্ব কত হলে জ্যামিতিক আলোক বিজ্ঞান যথার্থভাবে প্রযোজ্য হবে?

$$\text{সমাধান } z_F = \frac{a^2}{\lambda} = \frac{(3 \times 10^{-3})^2}{5 \times 10^{-7}} = 18 \text{ m}$$

এই উদাহরণটি থেকে দেখা যায় যে, উন্মেষ ক্ষুদ্র হলেও রশ্মিগুলোর বেশ কয়েক মিটার দূরত্ব পর্যন্ত অপবর্তন বিস্তৃতি উপেক্ষা করা যায়। অতএব, বহু সাধারণ ক্ষেত্রে জ্যামিতিক আলোক বিজ্ঞান যথার্থ হয়।

10.7 সমবর্তন (POLARISATION)

ধরে নাও, একটি লম্বা তারকে অনুভূমিকভাবে ধরে রাখা হয়েছে, যার অপর প্রান্ত স্থিরভাবে আটকানো আছে। আমরা তারটির মুক্ত প্রান্তটিকে উপর নীচ পর্যায়ক্রমিকভাবে আন্দোলিত করে $+x$ অক্ষ বরাবর অগ্রগামী একটি তরঙ্গ উৎপন্ন করতে পারবো (চিত্র 10.21)। এ ধরনের একটি তরঙ্গ নিম্নলিখিত সমীকরণের সাহায্যে বর্ণনা করা যেতে পারে।



চিত্র 10.21 (a) যখন একটি সাইনধর্মী তরঙ্গ ধনাত্মক x -অক্ষ বরাবর বিস্তার লাভ করে তখন যথাক্রমে $t = 0$ এবং $t = \Delta t$ সময়ে বক্ররেখা দুই তারটির সরণ সূচিত করে। (b) যখন সাইনধর্মী তরঙ্গটি ধনাত্মক x -অক্ষ বরাবর বিস্তার লাভ করে তখন $x = 0$ অবস্থানে বক্ররেখাটি সময়ের পরিবর্তন সাপেক্ষে সরণকে সূচিত করে। $x = \Delta x$ অবস্থানে সময় পরিবর্তনের সাপেক্ষে সরণটি খানিকটা ডানদিকে সরে যাবে।

$$y(x, t) = a \sin(kx - \omega t) \quad (10.32)$$

যেখানে a এবং $\omega (= 2\pi\nu)$ যথাক্রমে তরঙ্গটির বিস্তার এবং কৌণিক কম্পাংক নির্দেশ করে; এবং

$$\lambda = \frac{2\pi}{k} \quad (10.33)$$

যেখানে λ তরঙ্গটি তরঙ্গদৈর্ঘ্য সূচিত করে। আমরা একাদশ শ্রেণির পাঠ্যপুস্তকের পঞ্চদশ অধ্যায়ে এধরনের তরঙ্গসমূহ সঞ্চারন সম্পর্কে আলোচনা করেছি। যেহেতু সরণের (যা y অক্ষ বরাবর) তরঙ্গ বিস্তারের অভিমুখের সঙ্গে লম্ব হয়, তাই এ ধরনের তরঙ্গ তির্যক তরঙ্গ (*transverse wave*) নামে পরিচিত। আবার, যেহেতু সরণ y -অক্ষ অভিমুখী, তাই এই তরঙ্গটি সচরাচর y -সমবর্তিত (y -polarised) হিসেবে পরিচিত। আবার যেহেতু তারটির প্রতিটি বিন্দু একটি সরলরেখার উপর কম্পিত হয়, তাই তরঙ্গটি রৈখিক সমবর্তিত (*linearly polarised*) হিসেবেও পরিচিত। উপরন্তু, তারটি সততই x - y তলে অবস্থান করে এবং তাই এই তরঙ্গটি সমতলীয় সমবর্তিত তরঙ্গও (*plane polarised wave*) বলা হয়।

অনুবৃত্তভাবে, আমরা তারের কম্পনকে x - z তলে বিবেচনা করতে পারি, যা z -সমবর্তিত তরঙ্গ উৎপন্ন করে এবং সেই তরঙ্গের সরণ,

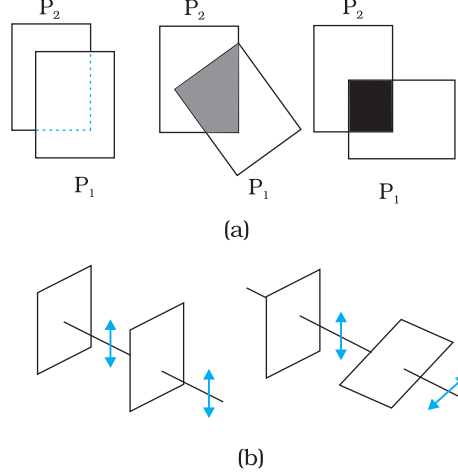
$$z(x, t) = a \sin(kx - \omega t) \quad (10.34)$$

এটা এখানে উল্লেখ করা বাঞ্ছনীয় যে, রৈখিক সমবর্তিত তরঙ্গসমূহের [(10.33) এবং (10.34) সমীকরণে বর্ণিত] সবগুলোই তির্যক তরঙ্গ; অর্থাৎ, তারটির উপরিস্থ প্রতিটি বিন্দুর সরণ সততই তরঙ্গ বিস্তারের অভিমুখের সাথে লম্বভাবে হয়। পরিশেষে, যদি তারের কম্পন তলটি (*plane of vibration*) খুবই ক্ষুদ্র সময় অবকাশে এলোমেলোভাবে পরিবর্তিত হয়, তবে আমরা সেই তরঙ্গটিকে *অসমবর্তিত তরঙ্গ* (*unpolarised wave*) নামে জানবো। তাই, একটি অসমবর্তিত তরঙ্গে, সরণ সময়ের সাথে এলোমেলোভাবে পরিবর্তিত হতে থাকবে যদিও সরণ সততই তরঙ্গ বিস্তারের অভিমুখের সাথে লম্বাভিমুখী হবে।

আলোক তরঙ্গ তির্যক প্রকৃতির হয়; অর্থাৎ আলোক তরঙ্গের বিস্তারের সংশ্লিষ্ট তড়িৎক্ষেত্রটি সর্বদাই তরঙ্গ বিস্তারের লম্বাভিমুখী হয়। একটি সরল পোলারয়েড ব্যবহার করে এ বিষয়টি খুব সহজেই প্রদর্শন করা যায়। তুমি নিশ্চয়ই পাতের ন্যায পাতলা প্লাস্টিক দেখেছ, যেগুলোকে পোলারয়েড বলে। একটি নির্দিষ্ট অভিমুখে বিন্যস্ত, দীর্ঘ শৃঙ্খলে আবদ্ধ অণুসমূহ নিয়েই একটি পোলারয়েড গঠিত। বিন্যস্ত অণুগুলোর অভিমুখে তড়িৎক্ষেত্র ভেক্টরটি (আলোক তরঙ্গ প্রবাহ সংশ্লিষ্ট) শোষিত হয়। তাই, যদি এ ধরনের একটি পোলারয়েডের উপর একটি অসমবর্তিত আলোক তরঙ্গ এসে আপতিত হয়, তবে আলোক তরঙ্গটি বিন্যস্ত অণুগুলোর একমাত্র লম্ব অভিমুখে স্পন্দনশীল তড়িৎক্ষেত্র ভেক্টর নিয়ে রৈখিক সমবর্তিত হবে; এই অভিমুখটি পোলারয়েডের অতিক্রমণ-অক্ষ (*pass-axis*) নামে পরিচিত।

তাই, যদি সোডিয়াম ল্যাম্পের মতো একটি সাধারণ উৎস থেকে নিঃসৃত আলো P_1 পোলারয়েড পাতের মধ্য দিয়ে অতিক্রম করে, তবে দেখা যায় যে, আলোর প্রাবল্য অর্ধেক হয়ে যায়। এক্ষেত্রে নির্গত রশ্মিগুচ্ছের উপর P_1 পাতটির ঘূর্ণনের কোনো প্রভাব থাকে না এবং নির্গত আলোক প্রাবল্য অপরিবর্তিত থাকে। এখন P_1 -এর সামনে অনুবৃত্ত একটি পোলারয়েড খণ্ড P_2 স্থাপিত আছে ধরে নাও। প্রত্যাশিতভাবে, ল্যাম্প থেকে নিঃসৃত আলোর প্রাবল্য একক বিচ্ছিন্ন P_2 -এর মধ্য দিয়ে অতিক্রমনের পরও কমে যায়। কিন্তু এখন P_2 -এর মধ্য দিয়ে নির্গত আলোকরশ্মির প্রাবল্যের উপর ঘূর্ণায়মান P_1 পোলারয়েডটির একটি অদ্ভুত প্রভাব থাকে। একটি অবস্থানে, পোলারয়েড P_1 -এর মধ্য দিয়ে সঞ্চারিত হয়ে এর পরবর্তী P_2 থেকে নির্গত আলোর প্রাবল্য প্রায় শূন্য হয়। এই অবস্থান থেকে P_1 কে 90° কোণে ঘোরালে,

P_2 পোলারয়েডটি P_2 -এর মধ্য দিয়ে নির্গত আলোর প্রায় সর্বোচ্চ প্রাবল্যের আলোই সঞ্চারিত করে (চিত্র 10.22)।



চিত্র 10.22 (a) P_2 এবং P_1 দুটি পোলারয়েডের মধ্য দিয়ে আলোর অতিক্রমণ। এ দুটি পোলারয়েডের অন্তর্বর্তী কোণ 0° থেকে পরিবর্তিত হয়ে 90° হলে, সঞ্চারিত আলো ও আপতিত আলোর প্রাবল্যের অনুপাত 1 থেকে শূন্য হয়ে যায়। লক্ষণীয় যে, একটিমাত্র পোলারয়েড P_1 থেকে নির্গত আলোর প্রাবল্য এর ঘূর্ণন কোণের সাথে পরিবর্তিত হয় না। (b) দুইটি পোলারয়েডের মধ্য দিয়ে আলোর অতিক্রমণের সময় তড়িৎক্ষেত্র ভেক্টরটির আচরণ। সঞ্চারিত সমাবর্তনটি হল পোলারয়েড অক্ষের সমান্তরাল উপাংশ। দ্বিমুখী তির চিহ্নগুলো তড়িৎক্ষেত্র ভেক্টরের স্পন্দনকে নির্দেশ করে।

পোলারয়েড P_2 -এর মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত আলো, উক্ত পোলারয়েডটির অতিক্রমণ অক্ষ বরাবর সমবর্তিত হয় ধরে নিয়ে, উপরোক্ত পরীক্ষাটি সহজেই বুঝতে পারা যায়। যদি P_1 এবং P_2 -এর অতিক্রমণ অক্ষদ্বয় পরস্পরের সঙ্গে θ কোণ উৎপন্ন করে তবে সমবর্তিত রশ্মিগুচ্ছের $E \cos \theta$ উপাংশটি (P_2 -এর অতিক্রমণ অক্ষ বরাবর) পোলারয়েড P_2 -এর মধ্য দিয়ে নির্গত হবে। অতএব, পোলারয়েড P_1 (অথবা P_2) কে ঘুরাতে থাকলে, নির্গত আলোর প্রাবল্য নিম্নলিখিত সমীকরণ অনুযায়ী পরিবর্তিত হবে :

$$I = I_0 \cos^2 \theta \quad (10.35)$$

যেখানে I_0 হল P_1 -এর মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত সমবর্তিত আলোর প্রাবল্য। এটা *মেলাসের সূত্র (Malus' law)* নামে পরিচিত। উপরোক্ত আলোচনা থেকে দেখা যায় যে, একটি মাত্র পোলারয়েডের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত আলোর প্রাবল্য আপতিত আলোর প্রাবল্যের অর্ধেক হয়। দ্বিতীয় একটি পোলারয়েড স্থাপন করে, পোলারয়েড দুটোর অতিক্রমণ অক্ষের মধ্যবর্তী কোণকে পরিবর্তন করে আলোর প্রাবল্যকে আপতিত আলোর প্রাবল্যের 50% থেকে শূন্য পর্যন্ত নিয়ন্ত্রণ করা যেতে পারে।

সানগ্লাস, জানালার কাচ ইত্যাদিতে পোলারয়েড ব্যবহার করে আলোর প্রাবল্যকে নিয়ন্ত্রণ করা যায়। ফটোগ্রাফিক ক্যামেরা এবং 3D চলচ্চিত্র ক্যামেরায়ও পোলারয়েড ব্যবহার করা হয়।

উদাহরণ 10.8 আড়াআড়িভাবে (crossed) রাখা দুইটি পোলারয়েডের মধ্যবর্তী স্থানে একটি পোলারয়েড পাতকে ঘোরানো হলে সঞ্চারিত আলোর প্রাবল্য সম্পর্কে আলোচনা করো।

সমাধান ধরি, প্রথম সমবর্তক P_1 -এর মধ্য দিয়ে সঞ্চারিত সমবর্তিত আলোর প্রাবল্য I_0 । দ্বিতীয় সমবর্তক P_2 দিয়ে সঞ্চারিত হওয়ার পর আলোর প্রাবল্য হবে,

$$I = I_0 \cos^2 \theta,$$

যেখানে P_1 ও P_2 -এর অতিক্রমণ অক্ষের অন্তবর্তী কোণ θ । যেহেতু P_1 ও P_3 পরস্পরের সঙ্গে সমকোণে আছে, তাই P_2 ও P_3 -এর অতিক্রমণ অক্ষের মধ্যবর্তী কোণ হবে $(\pi/2 - \theta)$ । সুতরাং, P_3 দিয়ে সঞ্চারিত আলোর প্রাবল্য হবে,

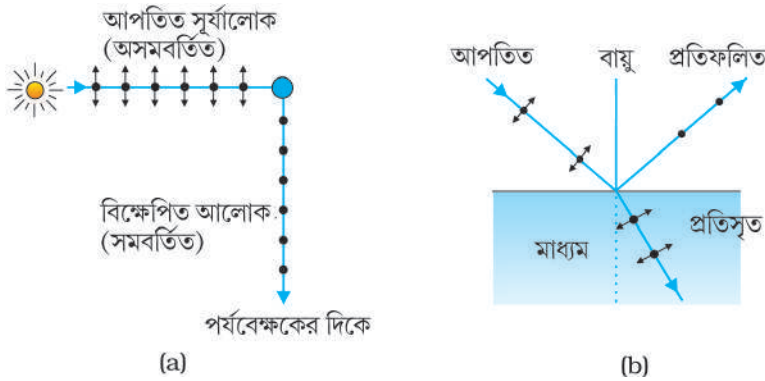
$$I = I_0 \cos^2 \theta \cos^2 \left(\frac{\pi}{2} - \theta \right)$$

$$= I_0 \cos^2 \theta \sin^2 \theta = (I_0/4) \sin^2 2\theta$$

অতএব, সঞ্চারিত আলোর প্রাবল্য সর্বোচ্চ হবে যখন $\theta = \pi/4$ ।

10.7.1 বিক্ষেপণ দ্বারা সমবর্তন (Polarisation by scattering)

পরিষ্কার নীল আকাশ থেকে আগত আলোক রশ্মিকে একটি ঘূর্ণায়মান পোলারয়েডের মধ্য দিয়ে পর্যবেক্ষণ করলে, দেখা যাবে যে আলোর প্রাবল্য বাড়ছে এবং কমছে। পৃথিবীর বায়ুমণ্ডলের অণু কণাগুলোর সাথে সংঘাতের ফলে সূর্যরশ্মির অভিমুখ পরিবর্তনের (বিক্ষেপণের দ্রবণ) ঘটনা ছাড়া এটি আর কিছুই নয়। 10.23(a) চিত্রে, আপতিত সূর্যালোককে অসমবর্তিত দেখানো হয়েছে। ডটগুলো চিত্র তলের লম্ব বরাবর সমবর্তন সূচিত করে। দ্বিমুখী তিরচিহ্নগুলো চিত্র তলে সমবর্তন সূচিত করে। (অসমবর্তিত আলোর ক্ষেত্রে এই দুইটির মধ্যে কোনো দশা সম্পর্ক থাকে না)। আপতিত আলোক তরঙ্গের সংশ্লিষ্ট তড়িৎক্ষেত্রের প্রভাবে অণুগুলোর ইলেকট্রন সমূহ উভয় অভিমুখেই গতির উপাংশ লাভ করে। আমরা চিত্রে, সূর্যরশ্মির অভিমুখের সমকোণে তাকানো একজন পর্যবেক্ষককে দেখিয়েছি। স্পর্শতই যেহেতু পর্যবেক্ষকের দিকে, দ্বিমুখী তির চিহ্নগুলোর সমান্তরালে ত্বরিত আধানসমূহের ত্বরণের কোনো তির্যক উপাংশ থাকে না, তাই এই অভিমুখে আধানগুলো কোনো শক্তি বিকিরণ করে না। অণুসমূহ দ্বারা বিক্ষেপিত বিকিরণটি ডটগুলো দ্বারা নির্দেশিত হয়। এটি চিত্র তলের অভিলম্ব বরাবর সমবর্তিত হয়েছে। এই ঘটনাটি আকাশ থেকে বিক্ষেপিত আলোর সমাবর্তনকে ব্যাখ্যা করে।

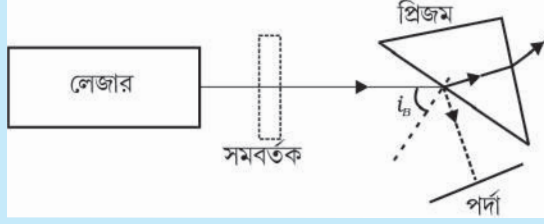


চিত্র 10.23 (a) আকাশ হতে বিক্ষেপিত নীল আলোর সমবর্তন। আপতিত সূর্যালোক অসমবর্তিত (ডট এবং দ্বিমুখী তির সমূহ)। সুনির্দিষ্ট একটি অণু দেখানো হয়েছে। এটি আলোকরশ্মিকে 90° কোণে বিক্ষেপিত করে, যা কাগজের তলের অভিলম্বে সমবর্তিত (শুধুমাত্র ডটসমূহ)। (b) স্বচ্ছ মাধ্যম থেকে ব্রুস্টার কোণে প্রতিফলিত আলোর সমবর্তন (প্রতিফলিত ও প্রতিসৃত রশ্মি পরস্পর অভিলম্ব)।

1920 -এর দশকে কলকাতায় সি.ভি.রামন এবং ওনার সহযোগীগণ অণুসমূহ দ্বারা আলোর বিক্ষেপণের ঘটনাটি নিবিড়ভাবে অনুসন্ধান করেছিলেন। বিজ্ঞানী রামন 1930 সালে এই কাজের জন্য পদার্থবিদ্যায় নোবেল পুরস্কারে ভূষিত হয়েছিলেন।

পূর্ণ সঞ্চারনের একটি বিশেষ ক্ষেত্র (A SPECIAL CASE OF TOTAL TRANSMISSION)

যখন দুইটি মাধ্যমের বিভেদতলে আলো আপতিত হয়, তখন লক্ষ করা যায় যে আপতিত আলোর কিছু অংশ প্রতিফলিত এবং কিছু অংশ সঞ্চারিত হয়। প্রাসঙ্গিক একটি প্রশ্ন বিবেচনা করা যাক : এমন কিছু শর্তের অধীনে একটি পৃষ্ঠতলে (যা সাধারণত প্রতিফলক) একবর্ণী আলোক রশ্মিগুচ্ছ আপতিত হয়ে কোনো প্রতিফলন ছাড়া সম্পূর্ণভাবে সঞ্চারিত হওয়া সম্ভব কি? তোমরা জেনে অবাক হবে, উত্তরটি হ্যাঁ।



চলো, একটি সহজ পরীক্ষা করার চেষ্টা করি এবং কী ঘটে তা নিবিড়ভাবে লক্ষ করি। একটি লেজার, একটি উন্নত সমবর্তক, একটি প্রিজম এবং একটি পর্দা নিয়ে এই চিত্রের মতো সাজাই।

ধরি, লেজার উৎস থেকে নির্গত আলো সমবর্তকের মধ্য দিয়ে গিয়ে i_B ব্রুস্টার আপতন কোণে প্রিজম পৃষ্ঠের উপর আপতিত হয়। এখন সমবর্তকটিকে সযত্নে ঘোরাও এবং তুমি লক্ষ করবে যে সমবর্তকটির একটি নির্দিষ্ট অবস্থানজনিত কোণের জন্য প্রিজমটির উপর আপতিত আলো সম্পূর্ণভাবে সঞ্চারিত হয় এবং প্রিজম পৃষ্ঠ থেকে কোনো আলোই প্রতিফলিত হয় না। এইক্ষেত্রে পর্দায় প্রতিফলিত আলোক বিন্দুটি সম্পূর্ণভাবে বিলীন হয়ে যায়।

10.7.2 প্রতিফলন দ্বারা সমবর্তন (Polarisation by reflection)

একটি স্বচ্ছ মাধ্যম, যেমন জল থেকে আলো প্রতিফলিত হচ্ছে, যা 10.23 (b) চিত্রে দেখানো হয়েছে। পূর্বের মতোই, ডট এবং দ্বিমুখী তিরচিহ্নসমূহ আপতিত ও প্রতিসৃত তরঙ্গে উভয় প্রকার সমবর্তনের উপস্থিতি নির্দেশ করছে। আমরা এমন একটি ক্ষেত্র দেখিয়েছি যেখানে প্রতিফলিত তরঙ্গটি প্রতিসৃত তরঙ্গের সমকোণে বিস্তার লাভ করছে। জলতলের স্পন্দনশীল ইলেকট্রনসমূহ প্রতিফলিত তরঙ্গটি উৎপন্ন করে। ইলেকট্রনসমূহের এই স্পন্দন, মাধ্যমে বিকিরিত তরঙ্গের দুইটি তির্যক অভিমুখে সঞ্চারিত হয় অর্থাৎ প্রতিসৃত তরঙ্গ উৎপন্ন হয়। দ্বিমুখী তিরচিহ্নগুলো প্রতিফলিত তরঙ্গের অভিমুখের সমান্তরাল হয়। প্রতিফলিত তরঙ্গের উপর এই অভিমুখে গতির কোনো প্রভাব থাকে না। তাই প্রদর্শিত চিত্র অনুযায়ী, প্রতিফলিত আলো চিত্র তলের (ডট দ্বারা নির্দেশিত) অভিলম্বে রৈখিক সমবর্তিত হয়। প্রতিফলিত আলোর দিকে একটি বিশ্লেষকের (analyser) মধ্য দিয়ে তাকালে, এই বিষয়টি লক্ষ করা যায়। বিশ্লেষকের আলোকীয় অক্ষটি চিত্রতল অর্থাৎ আপতন তলে থাকলে, সঞ্চারিত আলোক প্রাবল্যের মান শূন্য হবে।

দুইটি স্বচ্ছ মাধ্যমের বিভেদতলে অসমবর্তিত আলো আপতিত হলে, যখন প্রতিফলিত ও প্রতিসৃত রশ্মি পরস্পর সমকোণে থাকে তখন প্রতিফলিত আলোটি আপতন তলের অভিলম্বমুখী তড়িৎক্ষেত্র ভেক্টরটি নিয়ে সমবর্তিত হয়। অতএব, আমরা দেখি যে, প্রতিফলিত তরঙ্গটি প্রতিসৃত তরঙ্গের অভিলম্ব হলে, প্রতিফলিত তরঙ্গটি সম্পূর্ণভাবে সমবর্তিত তরঙ্গ হয়। এইক্ষেত্রে আপতন কোণটিকে ব্রুস্টার কোণ বলে এবং এটিকে i_B দ্বারা সূচিত করা হয়। আমরা দেখতে পারি যে, এই i_B কোণটি ঘন মাধ্যমের প্রতিসরাংকের সাথে সম্পর্কযুক্ত। যেহেতু এইক্ষেত্রে $i_B + r = \pi/2$, স্নেলের সূত্র থেকে আমরা পাই,

$$\mu = \frac{\sin i_B}{\sin r} = \frac{\sin i_B}{\sin(\pi/2 - i_B)}$$

$$= \frac{\sin i_B}{\cos i_B} = \tan i_B$$

(10.36)

এটি ব্রুস্টারের সূত্র নামে পরিচিত।

উদাহরণ 10.9 একটি সমতলীয় কাচের পৃষ্ঠতলে অসমবর্তিত আলো আপতিত হল। আপতন কোণের মান কত হলে, প্রতিফলিত এবং প্রতিসৃত রশ্মি পরস্পর লম্বাভিমুখী হবে?

সমাধান $i + r$ -এর মান $\pi/2$ হওয়ার জন্য, আমরা পাই, $\tan i_B = \mu = 1.5$ । এ থেকে পাই $i_B = 57^\circ$ । এটিই বায়ুর সাপেক্ষে কাচের ব্রুস্টার কোণের মান।

উদাহরণ 10.9

সহজতর করার জন্য, আমরা আলোর 90° কোণে বিক্ষেপণ এবং ব্রুস্টার কোণে প্রতিফলন আলোচনা করেছি। এই বিশেষ ক্ষেত্রে, তড়িৎক্ষেত্রের দুইটি লম্ব উপাংশের মধ্যে একটি শূন্য হয়। অন্য কোণ সমূহে, উভয় উপাংশই উপস্থিত থাকে কিন্তু একটি অপরটি থেকে শক্তিশালী হয়। দুইটি লম্ব উপাংশের মধ্যে সেখানে কোনো স্থায়ী দশা সম্পর্ক থাকে না, কারণ একটি অসমবর্তিত রশ্মিগুচ্ছের লম্ব উপাংশসমূহ থেকে এদের পাওয়া যায়। যখন এ ধরনের আলো একটি ঘূর্ণায়মান বিশ্লেষকের মধ্য দিয়ে লক্ষ করা হয় তখন সর্বোচ্চ এবং সর্বনিম্ন প্রাবল্যের আলো দেখতে পাওয়া যায় কিন্তু সম্পূর্ণভাবে অন্ধকার দেখা যায় না। এধরনের আলোক রশ্মিকে ‘আংশিক সমবর্তিত আলো’ বলে।

চলো, আমরা এই বিষয়টি বোঝার চেষ্টা করি। যখন একটি অসমবর্তিত আলোক রশ্মিগুচ্ছ দুইটি মাধ্যমের বিভেদতলে ব্রুস্টার কোণে আপতিত হয়, তখন আপতিত আলোর একটি অংশমাত্র আপতন তলের অভিলম্বমুখী তড়িৎক্ষেত্র ভেক্টর নিয়ে প্রতিফলিত হবে। এখন একটি উন্নতমানের সমবর্তক ব্যবহার করে, আলোর আপতন তলের অভিলম্বমুখী তড়িৎ ভেক্টর সংশ্লিষ্ট আলো সম্পূর্ণরূপে অপসারিত করার পর, আমরা এই আলোককে প্রিজম তলের উপর ব্রুস্টার কোণে আপতিত হতে দিলে, তখন তুমি কোনো প্রতিফলন দেখতে পাবে না এবং এইক্ষেত্রে আলোর পূর্ণ সঞ্চারন হবে।

এই অধ্যায়ের শুরুতে আমরা এমন কিছু ঘটনার উল্লেখ করেছিলাম, যেগুলো শুধুমাত্র তরঙ্গ তত্ত্বের সাহায্যে ব্যাখ্যা করা যায়। প্রতিফলন ও প্রতিসরণের মতো কিছু ঘটনা সম্পর্কে সম্যক জ্ঞান অর্জনের জন্য আমরা ঘটনাগুলোকে প্রথমে জ্যামিতিক আলোকবিদ্যার উপর ভিত্তি করে নবম অধ্যায়ে বর্ণনা করেছি, যা আবার আলোর তরঙ্গ তত্ত্বের উপর ভিত্তি করে আমরা ব্যাখ্যা করতে পারি। এরপর আমরা ইয়ং-এর দ্বিবেদাঙ্কিত পরীক্ষাটি বর্ণনা করেছি, যা আলোক বিজ্ঞান অধ্যয়নে একটি নতুন দিকের সূচনা করেছিল। অবশেষে আমরা সংশ্লিষ্ট কিছু বিষয় যেমন অপবর্তন, বিশ্লেষণ, সমবর্তন এবং জ্যামিতিক আলোক বিজ্ঞানের বৈধতা সম্পর্কে বর্ণনা করেছি। এর পরবর্তী অধ্যায়ে তোমরা দেখবে যে, 1900 খ্রিস্টাব্দের ঠিক পরবর্তী শতাব্দীতে কীভাবে নতুন নতুন পরীক্ষা নিরীক্ষার ভিত্তিতে নতুন তত্ত্বসমূহের অবতারণা হয়েছিল।

সারাংশ

1. হাইগেন্সের নীতি অনুযায়ী, একটি তরঙ্গামুখের উপর প্রতিটি বিন্দু গৌণ তরঙ্গের একটি উৎস এবং সেগুলো পরবর্তীতে সংযোজিত হয়ে তরঙ্গামুখ উৎপন্ন করে।
2. হাইগেন্সের আলোক তরঙ্গতত্ত্বের গঠনতন্ত্র অনুযায়ী গৌণ তরঙ্গসমূহের সম্মুখবর্তী আবরণ (envelope) থেকে নতুন তরঙ্গামুখের উৎপত্তি হয়। যদি আলোর দ্রুতি দিক নিরপেক্ষ হয়, তবে গৌণ তরঙ্গামুখগুলো গোলাীয় আকৃতির হয়। এইক্ষেত্রে আলোকরশ্মিগুলো উভয় তরঙ্গামুখের অভিলম্বমুখী হয় এবং যে-কোনো রশ্মি বরাবর আলোকের গমনকাল একই হয়। প্রতিফলন এবং প্রতিসরণের সুপরিচিত সূত্রাবলি এই নীতির উপর প্রতিষ্ঠিত।
3. যখন দুই বা ততোধিক আলোক উৎস একই বিন্দুকে আলোকিত করে, তখন তরঙ্গের উপরিপাতনের নীতি প্রযোজ্য হয়। এই উৎসগুলোর দ্রুত প্রদত্ত বিন্দুতে আলোর প্রাবল্য বিবেচনা করলে, ওই প্রাবল্যে নিজস্ব প্রাবল্যগুলোর সমষ্টির অতিরিক্ত ব্যতিচারজনিত প্রাবল্যের একটি পদ অন্তর্ভুক্ত থাকে। এই পদটি তখনই গুরুত্বপূর্ণ হয় যখন এর গড় মান শূন্য না হয় এবং এই ঘটনাটি

একমাত্র তখনই ঘটে যদি উৎসসমূহ থেকে নির্গত তরঙ্গগুলো সম কম্পাংক ও স্থায়ী দশা পার্থক্য বিশিষ্ট হয়।

4. ইয়ং-এর পরীক্ষায় d ব্যবধানে থাকা দ্বিরেখাছিদ্র, λ/d কৌণিক ব্যবধানবিশিষ্ট সমবেধের ব্যতিচার বালর উৎপন্ন করে। উৎস, রেখাছিদ্রদ্বয়ের সংযোজক রেখার মধ্যবিন্দু এবং কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল বালরটি একই সরলরেখা বরাবর থাকে। একটি বিস্তৃত আলোক উৎস যদি রেখাছিদ্রের অবস্থানে λ/d অপেক্ষা বৃহত্তর কোণ উৎপন্ন করে, তবে ব্যতিচার বালরসমূহ বিলীন হয়ে যায়।
5. a বেধবিশিষ্ট একটি রেখাছিদ্র, কেন্দ্রীয় চরম উজ্জ্বল বালরযুক্ত অপবর্তন সজ্জা উৎপন্ন করে। $\pm \frac{\lambda}{a}, \pm \frac{2\lambda}{a}$, ইত্যাদি কোণে বালর প্রাবল্য শূন্য হয় এবং এদের অন্তর্বর্তী কোণসমূহে ক্রমশ

দুর্বলতর প্রাবল্যের গৌণ চরম বালরগুলো পাওয়া যায়। আলোর অপবর্তন ক্রিয়া দূরবীক্ষণ যন্ত্রের কৌণিক বিশ্লেষণকে λ/D তে সীমায়িত করে, যেখানে D হল অভিলক্ষের ব্যাস। এই সীমা অপেক্ষা আরো সন্নিকটে থাকা দুটি নক্ষত্র নিবিড়ভাবে উপরিপাতিত প্রতিবিম্বসমূহ সৃষ্টি করে। অনুবুপভাবে, n প্রতিসরাংক বিশিষ্ট মাধ্যমে একটি অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ, এর ফোকাসে 2β কোণ উৎপন্ন করলে, $\lambda/(2n \sin \beta)$ ব্যবধানে থাকা দুইটি বস্তুকে তখনই পৃথকভাবে শনাক্ত করতে পারবে, এই ন্যূনতম ব্যবধানই হল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিশ্লেষণী সীমা। অপবর্তনের ঘটনাটি আলোর সরলরৈখিক গতির ধারণার সীমাবদ্ধতাকে নির্ধারণ করে। a বেধবিশিষ্ট একটি আলোক রশ্মিগুচ্ছ, অপবর্তনের দরুণ এর প্রসার শুরুর পূর্বে a^2/λ দূরত্ব অতিক্রম করে, যে দূরত্বকে ফ্রেনেল-দূরত্ব বলে।

6. সাধারণ আলো, যেমন সূর্য থেকে আগত আলো অসমবর্তিত হয়। এর অর্থ হল এই প্রকৃতির আলোর ক্ষেত্রে তড়িৎক্ষেত্র ভেক্টরটি পরিমাপকালে তির্যক তলে দ্রুত এবং অনিয়মিতভাবে সম্ভাব্য সকল অভিমুখেই স্পন্দনশীল হয়। একটি পোলারয়েড একটিমাত্র উপাংশকে (একটি বিশেষ অক্ষের সমান্তরাল) সঞ্জালিত করে। এক্ষেত্রে নির্গত আলোকে রৈখিক সমবর্তিত বা সমতলীয় সমবর্তিত আলো বলা হয়। দ্বিতীয় একটি পোলারয়েডের অতিক্রম অক্ষের 2π কোণে আবর্তনকালে, এর মধ্য দিয়ে এই ধরনের আলোকে লক্ষ করলে, দুটি সর্বোচ্চ এবং সর্বনিম্ন প্রাবল্যের আলো দেখতে পাওয়া যায়। আলোকরশ্মির একটি বিশেষ কোণে (ব্রুস্টার কোণ বলে) প্রতিফলনের মাধ্যমে এবং পৃথিবীর বায়ুমণ্ডলে $\pi/2$ কোণে বিক্ষেপণের মাধ্যমেও সমবর্তিত আলো উৎপন্ন করা যায়।

ভেবে দেখার বিষয়সমূহ

1. একটি বিন্দু উৎস থেকে তরঙ্গসমূহ সর্বদিকে ছড়িয়ে পরে, যেখানে আলোকে রশ্মির নির্দিষ্ট গতিপথ বরাবর গমন করতে দেখা যায়। তরঙ্গ তত্ত্ব কীভাবে আলোর সকল ধর্মাবলিকে ব্যাখ্যা করতে সক্ষম হবে তা অনুধাবন করতে হাইগ্যান্স, ইয়ং এবং ফ্রেনেলের বৈজ্ঞানিক অন্তঃদৃষ্টি এবং পরীক্ষা নিরীক্ষা আবশ্যিক ছিল।
2. তরঙ্গ তত্ত্বের গুরুত্বপূর্ণ নতুন ধারণাটি হল বিভিন্ন উৎস থেকে আগত আলোক তরঙ্গা বিস্তারের ব্যতিচারের ঘটনা, যা গঠনমূলক এবং ধ্বংসাত্মক উভয়ই হতে পারে; যেমনটা ইয়ং-এর পরীক্ষায় দেখানো হয়েছে।
3. অপবর্তনের ঘটনাটি জ্যামিতিক আলোক বিজ্ঞানের সীমা নির্দেশ করে। খুব কাছাকাছি থাকা বস্তুসমূহকে শনাক্তকরণের ক্ষেত্রে অণুবীক্ষণ এবং দূরবীক্ষণ যন্ত্রের ক্ষমতার সীমা আলোর তরঙ্গাদৈর্ঘ্য দ্বারা নির্ধারিত হয়।
4. বায়ু মাধ্যমে অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের বেশিরভাগ ক্ষেত্রেই ব্যতিচার এবং অপবর্তনের ঘটনার অস্তিত্ব থাকে। কিন্তু আলোক তরঙ্গের মতো তির্যক তরঙ্গের ক্ষেত্রেই সমবর্তন একটি বিশেষ ঘটনা।

অনুশীলনী

- 10.1** 589 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যবিশিষ্ট একবর্ণী আলো বায়ু থেকে জল তলে আপতিত হয়। (a) প্রতিফলিত এবং (b) প্রতিসৃত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য, কম্পাঙ্ক এবং তরঙ্গ দ্রুতি কত হবে? জলের প্রতিসরাঙ্ক 1.33।
- 10.2** নিম্নলিখিত ক্ষেত্রগুলোতে তরঙ্গমুখের আকৃতি কেমন হবে :
- (a) একটি বিন্দু উৎস থেকে আলো অপসৃত হচ্ছে।
 (b) উত্তল লেন্সের ফোকাসে রাখা একটি বিন্দু উৎসের জন্য লেন্স থেকে আলো নির্গত হচ্ছে।
 (c) পৃথিবী কর্তৃক দূরবর্তী নক্ষত্র থেকে আগত আলোর তরঙ্গমুখের ছেদিতাংশ।
- 10.3** (a) কাচের প্রতিসরাঙ্ক 1.5। কাচে আলোর দ্রুতি কত? (শূন্যে আলোর দ্রুতি $3.0 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$)।
 (b) কাচে আলোর দ্রুতি কি আলোর বর্ণ নিরপেক্ষ? যদি না হয়, তবে লাল এবং বেগুণী বর্ণের আলোর কোনটি কাচের তৈরি প্রিজমের মধ্যে অপেক্ষাকৃত ধীরগতিসম্পন্ন হবে?
- 10.4** ইয়ং-এর দ্বিরেখাছিদ্র পরীক্ষায়, রেখাছিদ্র দুটি 0.28 mm ব্যবধানে এবং পর্দাটি 1.4 m দূরে রাখা আছে। কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল ঝালর এবং চতুর্থ উজ্জ্বল ঝালরটির মধ্যবর্তী দূরত্ব 1.2 cm পরিমাপ করা হয়। এই পরীক্ষায় ব্যবহৃত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় করো।
- 10.5** ইয়ং-এর দ্বিরেখাছিদ্র পরীক্ষায় ব্যবহৃত একবর্ণী আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ হলে, পর্দায় λ পথ পার্থক্য বিশিষ্ট কোনো একটি বিন্দুতে আলোর প্রাবল্য হয় K একক। পর্দায় $\lambda/3$ পথ পার্থক্য বিশিষ্ট একটি বিন্দুতে আলোর প্রাবল্য কত হবে?
- 10.6** ইয়ং-এর দ্বিরেখাছিদ্র পরীক্ষায় ব্যতিচার ঝালর সৃষ্টিতে 650 nm এবং 520 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের দুইটি আলোক রশ্মিগুচ্ছ ব্যবহৃত হচ্ছে।
- (a) 650 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের জন্য পর্দায় কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল ঝালর থেকে তৃতীয় উজ্জ্বল ঝালরটির দূরত্ব নির্ণয় করো।
 (b) কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল ঝালর থেকে ন্যূনতম কত দূরত্বে উভয় তরঙ্গদৈর্ঘ্যের জন্য উজ্জ্বল ঝালরগুলো সমাপতিত হবে?
- 10.7** দ্বিরেখাছিদ্র পরীক্ষায় 1 m দূরে স্থাপিত পর্দায় একটি ঝালরের কৌণিক বেধ 0.2° লক্ষ করা যায়। ব্যবহৃত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য 600 nm। যদি সমগ্র পরীক্ষাধীন ব্যবস্থাপনাটি জলে নিমজ্জিত করা হয়, তবে ওই ঝালরটির কৌণিক বেধ কত হবে? ধরে নাও জলের প্রতিসরাঙ্ক $4/3$ ।
- 10.8** বায়ু থেকে কাচে আলোর সঞ্জালনে ব্রুস্টার কোণের মান কত? (কাচে প্রতিসরাঙ্ক = 1.5)।
- 10.9** 5000 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্য বিশিষ্ট আলো একটি সমতলীয় প্রতিফলক পৃষ্ঠে আপতিত হয়। প্রতিফলিত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য ও কম্পাঙ্ক কত? কত আপতন কোণের জন্য প্রতিফলিত রশ্মিটি আপতিত রশ্মির অভিলম্বমুখী হয়?
- 10.10** একটি 4 mm ব্যাসবিশিষ্ট ছিদ্র এবং 400 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোর জন্য কত দূরত্বে জ্যামিতিক আলোক বিজ্ঞান যথার্থ হয় তা গণনা করো।

অতিরিক্ত অনুশীলনী

- 10.11** একটি নক্ষত্রে হাইড্রোজেন দ্বারা নিঃসৃত 6563 \AA তরঙ্গদৈর্ঘ্যের $H\alpha$ রেখায় 15 \AA লাল চ্যুতি (red shift) লক্ষ করা যায়। পৃথিবী থেকে নক্ষত্রটি কত দ্রুতিতে দূরে সরে যাচ্ছে, তা গণনা করো।
- 10.12** কীভাবে আলোর কণিকাতত্ত্ব, 'কোনো মাধ্যমে যেমন জলে আলোর দ্রুতি, শূন্যে (vacuum) আলোর দ্রুতি অপেক্ষা বেশি হয়', এই ধারণা দেয়। তা ব্যাখ্যা করো। জলে আলোর দ্রুতির পরীক্ষামূলক গণনা, এই অনুমানটিকে নিশ্চিত করেছিল কি? যদি তা না হয়, তবে আলোর কোন্ বিকল্প রূপটি পরীক্ষার সাথে সামঞ্জস্যপূর্ণ হয়?
- 10.13** এই পাঠ্যপুস্তকে তোমরা জেনেছ যে, কীভাবে হাইগেনের নীতির প্রয়োগে প্রতিফলন এবং প্রতিসরণের সূত্রাবলি পাওয়া যায়। এই নীতি প্রয়োগ করে দেখাও যে, একটি সমতল দর্পণের সামনে অবস্থিত কোনো বিন্দুবৎ বস্তুর জন্য দর্পণ কর্তৃক সৃষ্ট অসদৃশ প্রতিবিম্বের দর্পণ থেকে দূরত্ব বস্তু দূরত্বের সমান।
- 10.14** চলো আমরা, তরঙ্গ বিস্তারের গতিবেগের উপর সম্ভাব্য প্রভাব থাকে, এমন কিছু বিষয় লিপিবদ্ধ করি :
- উৎসের প্রকৃতি।
 - বিস্তারের অভিমুখ।
 - উৎসের গতি এবং / অথবা পর্যবেক্ষকের গতি।
 - তরঙ্গদৈর্ঘ্য।
 - তরঙ্গের প্রাবল্য।
- এই বিষয়গুলোর কোন্টির উপর,
- শূন্যে আলোর দ্রুতি,
 - একটি মাধ্যমে (ধরো কাচ অথবা জল) আলোর দ্রুতি, নির্ভর করে?
- 10.15** শব্দ তরঙ্গের ক্ষেত্রে : (i) উৎস স্থির, পর্যবেক্ষক গতিশীল; এবং (ii) উৎস গতিশীল, পর্যবেক্ষক স্থির এই দুই পরিস্থিতিতে কম্পাংক চ্যুতি নির্ণয়ক উপলার সমীকরণে খানিকটা পার্থক্য থাকে। যাই হোক, এই দুই পরিস্থিতিতে শূন্য মাধ্যমে আলোক তরঙ্গের ক্ষেত্রে প্রকৃত উপলার সমীকরণগুলো অবশ্যই সদৃশ হয়। কেন এমন হয়, ব্যাখ্যা করো। কোনো একটি মাধ্যমে আলো সঞ্চারনের ক্ষেত্রে, এই দুই পরিস্থিতিতে উপলার সমীকরণগুলো অবশ্যই অনুরূপ হবে, এমন তুমি প্রত্যাশা করতে পার কি?
- 10.16** দ্বিরেখাছিদ্র পরীক্ষায় 600 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোর জন্য, দূরে পর্দায় গঠিত ব্যতিচার ঝালরের কৌণিক বেধ 0.1° । দুইটি রেখাছিদ্রের ব্যবধান কত?
- 10.17** নীচের প্রশ্নগুলোর উত্তর দাও :
- এক রেখাছিদ্র অপবর্তন পরীক্ষায়, রেখাছিদ্রটির বেধ প্রকৃত বেধ অপেক্ষা দ্বিগুণ করা হয়। কেন্দ্রীয় অপবর্তন পটির আকার এবং প্রাবল্য কীভাবে প্রভাবিত হয়?
 - দ্বিরেখাছিদ্র পরীক্ষায় আলোর ব্যতিচার সজ্জাটি কীভাবে প্রতিটি রেখাছিদ্রের জন্য আলোর অপবর্তনের সঙ্গে সম্পর্কিত?
 - দূরবর্তী একটি আলোক উৎস থেকে আগত আলোক রশ্মির পথে একটি ক্ষুদ্র বৃত্তাকার বাধা রাখা থাকলে বাধাটির ছায়ার কেন্দ্রীয় অঞ্চলে একটি উজ্জ্বল আলোকবিন্দু দেখতে পাওয়া যায়। কেন? ব্যাখ্যা করো।
 - 10 মিটার উঁচু একটি ঘরের মধ্যে দুইজন ছাত্র 7 মিটার উঁচু একটি পার্টিশন ওয়ালের দুই পাশে আছে। যদি আলো এবং শব্দ তরঙ্গ উভয়ই বাধার ধার ঘেষে বেঁকে যেতে পারে, তবে তারা কীভাবে পরস্পরকে দেখতে অসমর্থ হলেও সহজেই কথোপকথন করতে পারে?

(e) জ্যামিতিক আলোক বিজ্ঞান, আলো সরলরেখা বরাবর গমন করে, এই ধারণার উপর প্রতিষ্ঠিত। অপবর্তন ক্রিয়া (ক্ষুদ্র উন্মেষ/রেখাছিদ্রের মধ্য দিয়ে অথবা ক্ষুদ্র বাধার ধার ঘেষে যাওয়া আলোর ক্ষেত্রে পরিলক্ষিত হয়) এই ধারণাটিকে সমর্থন করে না। তথাপি, আলোকীয় যন্ত্রাদির ক্ষেত্রে প্রতিবিশ্বের অবস্থান এবং অন্যান্য বেশ কিছু বৈশিষ্ট্যাবলি অনুধাবন করতে জ্যামিতিক আলোক বিজ্ঞানের ধারণাটি সচরাচর অনুসরণ করা হয়। এর যথার্থতা কী?

10.18 দুটি পাহাড়ের চূড়ায় অবস্থিতি দুটি টাওয়ার পরস্পর থেকে 40 km ব্যবধানে আছে। দুটি টাওয়ারের সংযোগকারী রেখাটি টাওয়ার দুটির ঠিক মধ্যবর্তী স্থানে একটি পাহাড়ের 50 m উপর দিয়ে যাচ্ছে। উল্লেখযোগ্য কোনো অপবর্তন প্রভাব ব্যতিরেকে দুইটি টাওয়ারের মধ্যে কত দীর্ঘতম তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বেতারতরঙ্গ প্রেরণ করা যায়?

10.19 500 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের একটি সমান্তরাল আলোক রশ্মিগুচ্ছ একটি সরু রেখাছিদ্রে আপতিত হয় এবং সৃষ্ট অপবর্তন সজ্জাটি 1 m দূরে স্থাপিত পর্দায় পর্যবেক্ষণ করা যায়। এইক্ষেত্রে প্রথম অবমতি পর্দার কেন্দ্রীয় অঞ্চল থেকে 2.5 mm দূরে দেখা যায়। রেখাছিদ্রটির বেধ নির্ণয় করো।

10.20 নীচের প্রশ্নগুলোর উত্তর দাও :

(a) যখন একটি বিমান কম উচ্চতায় উপর দিয়ে উড়ে যায়, তখন কখনো আমরা TV-এর পর্দায় ছবিটি খানিকটা কাঁপছে এমন দেখি। সম্ভাব্য একটি ব্যাখ্যা দাও।

(b) অপবর্তন এবং ব্যাতিচার সজ্জায়, আলোক প্রাবল্য বণ্টনের বিষয়টি অনুধাবন করার ক্ষেত্রে তরঙ্গ সরণের রৈখিক উপরিপাতনের নীতিটি হল মূল ভিত্তি, যেমনটা তোমরা এই পাঠ্যপুস্তকে শিখেছো। এই নীতির যথার্থতা কী?

10.21 এক রেখাছিদ্র অপবর্তন সজ্জা গঠনে, $n\lambda/a$ কোণে প্রাবল্য শূন্য হয়, এমনটা বিবৃত করা হয়েছিল। যথোপযুক্তভাবে রেখাছিদ্রটিকে বিভক্ত করে প্রতিমিত হওয়ার বিষয়টি ধরে নিয়ে এই বিষয়টির যথার্থতা যাচাই করো।

একাদশ অধ্যায়

বিকিরণ এবং পদার্থের দ্বৈত প্রকৃতি

(DUAL NATURE OF RADIATION AND MATTER)



11.1 ভূমিকা

1887 সালে তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গসমূহের উৎপত্তি এবং শনাক্তকরণের উপর ম্যাক্সওয়েলের তড়িৎচুম্বকীয় সমীকরণসমূহ এবং হার্টজের পরীক্ষণ, আলোর তরঙ্গ প্রকৃতিকে দৃঢ়ভাবে প্রতিষ্ঠিত করেছে। উনবিংশ শতাব্দীর শেষভাগে মোক্ষন নলে নিম্নচাপের গ্যাসের মধ্য দিয়ে তড়িৎ পরিবহণের (তড়িৎমোক্ষণ) পরীক্ষামূলক অন্বেষণের মাধ্যমে অনেক ঐতিহাসিক আবিষ্কার সম্ভব হয়েছে। 1895 সালে রণ্টজেন (Roentgen) কর্তৃক X-রশ্মি এবং 1895 সালে জে.জে.থমসন (J. J. Thomson) কর্তৃক ইলেকট্রন আবিষ্কার, পরমাণুর গঠন সম্পর্কিত ধারণায় গুরুত্বপূর্ণ মাইলস্টোন স্বরূপ। তড়িৎমোক্ষণ নলের গ্যাসের মধ্যে অত্যন্ত নিম্নচাপ প্রায় 0.001 mm পারদস্তম্ভের চাপে তড়িৎক্ষেত্র প্রয়োগ করলে দুই তড়িৎদ্বারের মধ্যে একটি মোক্ষণ লক্ষ করা যায়। ক্যাথোডের উল্টো দিকের কাচে একটি প্রতিপ্রভ ছটা (fluorescent glow) উৎপন্ন হয়। এই দ্যুতির বর্ণ কাচটির প্রকৃতির উপর নির্ভর করে যেমন সোডা-কাচে এটি হলুদাভ-সবুজ। এই প্রতিপ্রভটি বিকিরণের জন্যই হয় যা ক্যাথোড থেকেই বেরিয়ে আসে। এই ক্যাথোড রশ্মি 1870 সালে উইলিয়াম ক্রুকস (William Crookes) কর্তৃক আবিষ্কৃত, যিনি পরবর্তী সময়ে, 1879 সালে, প্রস্তাব করেন যে, এই রশ্মি ঋণাত্মক আধানে আহিত দ্রুতগামী কণার স্রোত। ব্রিটিশ পদার্থবিদ জে.জে.থমসন (1856-1940) এ প্রকল্পটিকে সুনিশ্চিত করেন। জে. জে. থমসনই সর্বপ্রথম মোক্ষণ নলে তড়িৎ এবং চৌম্বকক্ষেত্রকে পরস্পর লম্বভাবে প্রয়োগ করে পরীক্ষামূলকভাবে ক্যাথোড রশ্মি কণাগুলোর দ্রুতি এবং আপেক্ষিক আধান

বিকিরণ এবং পদার্থের দ্বৈত প্রকৃতি

(আধান ও ভরের অনুপাত e/m) নির্ণয় করেন। এটি দেখা যায় যে, কণাগুলো আলোর দ্রুতির (3×10^8 m/s) প্রায় 0.1 থেকে 0.2 গুণ দ্রুতি নিয়ে গমন করে। বর্তমানে e/m -এর স্বীকৃত মান 1.76×10^{11} C/kg। এটিও দেখা গেছে যে, e/m -এর মানটি ক্যাথোড (নিঃসারক) হিসেবে ব্যবহৃত পদার্থের / ধাতুর প্রকৃতি বা মোক্ষণ নলে অবস্থিত গ্যাসটির প্রকৃতির উপর নির্ভর করে না। এই পর্যবেক্ষণই ক্যাথোড রশ্মি কণার সার্বজনীনতার প্রস্তাব করে।

মোটামুটি একই সময়ে, 1887 সালে, এটি দেখা গেছে যে, কিছু ধাতু যখন অতিবেগুণী রশ্মি দ্বারা উদ্ভাসিত হয় তখন কম দ্রুতির ঋণাত্মক আধানে আহিত কণা নিঃসৃত হয়। এছাড়া, কিছু ধাতু যখন উচ্চ উন্নতায় উত্তপ্ত করা হয় তখনও ঋণাত্মক তড়িৎ আহিত কণা নিঃসৃত হতে দেখা যায়। দেখা যায়, এসব কণাগুলোর e/m -এর মান ক্যাথোড রশ্মি কণার e/m -এর মানের মতো। এভাবে এসব পর্যবেক্ষণ থেকে এটি প্রতিষ্ঠিত যে, কণাগুলো বিভিন্ন অবস্থায় উৎপন্ন হলেও এদের প্রকৃতি একই। 1897 সালে জে.জে. থমসন এসব কণাগুলোর নাম দেন ইলেকট্রন হিসেবে এবং ধারণা দেন যে, কণাগুলো সব পদার্থেরই মূল উপাদান। গ্যাসের মধ্যে তড়িৎ পরিবহনের উপর তাঁর তাত্ত্বিক এবং পরীক্ষামূলক অন্বেষণ দ্বারা ইলেকট্রনের এই যুগান্তকারী আবিষ্কারের জন্য 1906 সালে তাঁকে পদার্থবিদ্যায় নোবেল পুরস্কারে সম্মানিত করা হয়। 1913 সালে আমেরিকান পদার্থবিদ আর.এ. মিলিকান [R. A. Millikan (1868-1953)] ইলেকট্রনের আধানের নির্ভুল পরিমাপের জন্য 'তেল-বিন্দু (oil-drop experiment) পরীক্ষা নামক পথ প্রদর্শক পরীক্ষাটি সম্পাদন করেন। তিনি দেখেন যে, তেল-বিন্দুর (oil-droplet) উপর আধানটি সর্বদা একটি প্রাথমিক আধান 1.602×10^{-19} C-এর পূর্ণ গুণিতক হয়। মিলিকানের পরীক্ষায় এটি প্রতিষ্ঠিত হয় যে, তড়িৎ আধান কোয়ান্টায়িত (quantised)। আধান (e) এবং আপেক্ষিক আধান (e/m)-এর মান থেকে ইলেকট্রনের ভর (m) নির্ণয় করা যায়।

11.2 ইলেকট্রন নিঃসরণ (ELECTRON EMISSION)

আমরা জানি যে, ধাতুতে মুক্ত ইলেকট্রন (ঋণাত্মক আধানে আহিত কণা) আছে যা এদের পরিবাহিতার জন্য দায়ী। তথাপিও সাধারণত ইলেকট্রনগুলো ধাতবপৃষ্ঠ থেকে মুক্ত হতে পারে না। যদি ইলেকট্রন ধাতু থেকে বাইরে যেতে চায়। ধাতবপৃষ্ঠটি ধনাত্মক আধান লাভ করে এবং ইলেকট্রনগুলোকে ধাতুতে টেনে নিয়ে আসে। এভাবে মুক্ত ইলেকট্রন ধাতবপৃষ্ঠের ভেতরে আয়নগুলোর আকর্ষণ বলের দ্বারা আবদ্ধ থাকে। ফলস্বরূপ, ইলেকট্রন কেবলমাত্র তখনই ধাতবপৃষ্ঠ থেকে বের হয়ে আসতে পারে যদি এটি ওই আকর্ষণ বলকে অতিক্রম করার জন্য যথেষ্ট শক্তি লাভ করে। কাজেই ইলেকট্রনকে ধাতবপৃষ্ঠ থেকে বের করে আনতে একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ ন্যূনতম শক্তির প্রয়োজন হয়। ধাতব পৃষ্ঠ থেকে ইলেকট্রনকে বের করে আনতে প্রয়োজনীয় এই ন্যূনতম শক্তিকে পদার্থটির কার্য অপেক্ষক (work function) বলে। এটিকে সাধারণত ϕ_0 দ্বারা প্রকাশ করা হয় এবং eV (electron volt) এককে পরিমাপ করা হয়। একটি ইলেকট্রনকে 1 ভোল্ট বিভব প্রভেদ দ্বারা ত্বরিত করা হলে অর্জিত শক্তি 1 ইলেকট্রন-ভোল্ট হয়, অর্থাৎ $1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$ ।

শক্তির এই একক সাধারণত পারমাণবিক এবং নিউক্লীয় পদার্থবিজ্ঞানে ব্যবহৃত হয়। কার্য অপেক্ষক (ϕ_0) ধাতুটির ধর্ম এবং এর পৃষ্ঠতলের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে। কিছু ধাতুর কার্য অপেক্ষকের মানগুলো 11.1 সারণিতে দেওয়া হল। এসব মানগুলো আনুমানিক, কারণ এটি ধাতবপৃষ্ঠের অপদ্রব সংবেদী।

11.1 সারণিতে দেখা যায়, প্লাটিনামের কার্য অপেক্ষক সর্বোচ্চ ($\phi_0 = 5.65 \text{ eV}$) এবং সিজিয়ামের সর্বনিম্ন ($\phi_0 = 2.14 \text{ eV}$)।

ধাতবপৃষ্ঠ থেকে ইলেকট্রন নিঃসরণের জন্য প্রয়োজনীয় ন্যূনতম শক্তি মুক্ত ইলেকট্রনগুলোতে নিম্নলিখিত যে-কোনো একটি ভৌতিক প্রক্রিয়া দ্বারা সরবরাহ করা যেতে পারে :

সারণি 11.1 কিছু ধাতুর কার্য অপেক্ষক

ধাতু	কার্য অপেক্ষক ϕ_0 (eV)	ধাতু	কার্য অপেক্ষক ϕ_0 (eV)
Cs	2.14	Al	4.28
K	2.30	Hg	4.49
Na	2.75	Cu	4.65
Ca	3.20	Ag	4.70
Mo	4.17	Ni	5.15
Pb	4.25	Pt	5.65

- (i) তাপীয় আয়ন নিঃসরণ (Thermionic emission): উপযুক্ত উত্তাপন দ্বারা মুক্ত ইলেকট্রনকে পর্যাপ্ত তাপশক্তি প্রদান করলে ইলেকট্রন ধাতব পৃষ্ঠ থেকে বের হয়ে আসতে সক্ষম হয়।
- (ii) ক্ষেত্র নিঃসরণ (Field emission) : কোনো ধাতুকে খুব শক্তিশালী তড়িৎক্ষেত্র (10^8 Vm^{-1} পর্যায়ের) প্রয়োগ করে ইলেকট্রনকে ধাতু পৃষ্ঠ থেকে বের করে আনা যেতে পারে যেমন কোনো স্পার্ক প্লাগে দেখা যায়।
- (iii) আলোকতড়িৎ নিঃসরণ (Photoelectric emission) : কোনো ধাতব পৃষ্ঠের উপর উপযুক্ত কম্পাঙ্কের আলো পড়লে ধাতবপৃষ্ঠ থেকে ইলেকট্রন নিঃসরণ হয়। আলোর জন্য সৃষ্ট এই ইলেকট্রনকে আলোকজ ইলেকট্রন (photoelectrons) বলে।

11.3 আলোকতড়িৎ ক্রিয়া (PHOTOELECTRIC EFFECT)

11.3.1 হার্টজের পর্যবেক্ষণ (Hertz's observations)

হেনরিচ হার্টজ [Heinrich Hertz (1857-1894)] তাঁর তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গের পরীক্ষা চলাকালীন 1887 সালে আলোকতড়িৎ নিঃসরণের ঘটনাবলি আবিষ্কার করেন। স্ফুলিঙ্গ মোক্ষণের দ্বারা তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গের উৎপত্তির উপর তাঁর পরীক্ষামূলক অনুসন্ধানের সময় হার্টজ পর্যবেক্ষণ করেন যে, নিঃসারক প্লেটকে কোনো এক আর্ক-ল্যাম্প থেকে অতিবেগুনী আলো দ্বারা উত্তাসিত করা হলে শনাক্তকারী লুপের উপর উচ্চ বিভব স্ফুলিঙ্গের পরিমাণ বৃদ্ধি পায়।

ধাতবপৃষ্ঠের উপর দীপ্ত আলো মুক্ত আহিত কণাকে, যেগুলোকে এখন আমরা ইলেকট্রন হিসেবে জানি, পৃষ্ঠ থেকে মুক্ত হতে সহায়তা করে। ধাতবপৃষ্ঠে আলো পড়লে, ধাতব তলের ধনাত্মক আয়নগুলোর আকর্ষণ বলকে অতিক্রম করার জন্য পৃষ্ঠের কাছাকাছি থাকা কিছু ইলেকট্রন আপতিত বিকিরণের যথেষ্ট পরিমাণ শক্তি শোষণ করে নেয়। আপতিত আলো থেকে যথেষ্ট পরিমাণ শক্তি লাভ করার পর ইলেকট্রনগুলো ধাতু পৃষ্ঠ থেকে চারপাশের অঞ্চলে বেরিয়ে আসে।

11.3.2 হলওয়াচ এবং লেনার্ডের পর্যবেক্ষণ (Hallwachs' and Lenard's observations)

1886-1902 সময়কালে উইলহেল্ম হলওয়াচ (Wilhelm Hallwachs) এবং ফিলিপ লেনার্ড (Philipp Lenard) আলোক তড়িৎ নিঃসরণের ঘটনাবলির বিস্তারিত অনুসন্ধান করেন।

লেনার্ড (1862-1947) পর্যবেক্ষণ করেন যে, বায়ুশূন্য কাচ নলে আবদ্ধ দুটি তড়িৎদ্বারের (ধাতব

বিকিরণ এবং পদার্থের দ্বৈত প্রকৃতি

প্লেট) নিঃসারক প্লেটে বা পাতে অতিবেগুনী বিকিরণ পড়লে বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহিত হয় (চিত্র 11.1)। অতিবেগুনি বিকিরণ বন্ধ করার সঙ্গে সঙ্গেই তড়িৎ প্রবাহও বন্ধ হয়ে যায়। এসব পর্যবেক্ষণ নির্দেশ করে যে, নিঃসারক পাত C-এর উপর অতিবেগুনি বিকিরণ আপতিত হলে পাত থেকে ইলেকট্রন নিঃসৃত হয় এবং তড়িৎক্ষেত্র দ্বারা এগুলো ধনাত্মক সংগ্রাহক প্লেট A অভিমুখে আকর্ষিত হয়। বায়ুশূন্য নলে ইলেকট্রন প্রবাহের ফলস্বরূপ তড়িৎপ্রবাহ হয়। এভাবে নিঃসারকের পৃষ্ঠতলে আলো আপতিত হওয়ার জন্য বহিঃবর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহিত হয়। হলওয়াচ এবং লেনার্ড সংগ্রাহক প্লেটের বিভব, আপতিত আলোর কম্পাঙ্ক এবং তীব্রতার সঙ্গে এই আলোক তড়িৎ প্রবাহের পরিবর্তন অধ্যয়ন করেন।

1888 সালে হলওয়াচ এ বিষয়ে আরো অনুসন্ধান করেন এবং একটি ইলেকট্রোস্কোপের সঙ্গে একটি ঋণাত্মক তড়িদাহিত দস্তা পাতকে যুক্ত করেন। তিনি লক্ষ করেন যে, দস্তার পাতকে অতিবেগুনি আলো দ্বারা উদ্ভাসিত করলে পাতটি এর আধান হারায়। এছাড়া, অতিবেগুনি আলো দ্বারা উদ্ভাসিত করলে অনাহিত দস্তা পাতটি ধনাত্মক আধানগ্রস্ত হয়ে পড়ে। ধনাত্মক তড়িদাহিত দস্তা পাতটিকে অতিবেগুনি আলো দ্বারা পুনরায় উদ্ভাসিত করলে পাতের ধনাত্মক আধান আরও বেড়ে যায়। এ পর্যবেক্ষণ থেকে তিনি সিদ্ধান্তে আসেন যে, অতিবেগুনি আলোর ক্রিয়ায় দস্তার পাত থেকে ঋণাত্মক আধানগ্রস্ত কণা নিঃসৃত হয়।

1897 সালে ইলেকট্রন আবিষ্কারের পর এটি সুস্পষ্ট হয় যে, আপতিত আলোর জন্যই নিঃসারক প্লেট থেকে ইলেকট্রন নিঃসৃত হয়। ঋণাত্মক আধানের দ্রুপ নিঃসৃত ইলেকট্রনগুলো তড়িৎক্ষেত্রের প্রভাবে সংগ্রাহক পাতের দিকে ধাবিত হয়। হলওয়াচ এবং লেনার্ড আরও পর্যবেক্ষণ করেন যে, একটি নির্দিষ্ট ন্যূনতম মানের কম্পাঙ্ক অপেক্ষা কম কম্পাঙ্কের অতিবেগুনি আলো নিঃসারক পাতে আপতিত হলে কোনো ইলেকট্রনই নিঃসৃত হয় না। এই ন্যূনতম কম্পাঙ্কটিকে *সূচনা কম্পাঙ্ক (threshold frequency)* বলা হয়। ন্যূনতম কম্পাঙ্কের মান নিঃসারক পাতের ধাতুর প্রকৃতির উপর নির্ভর করে।

এটি দেখা গেছে যে, ক্যাডমিয়াম, ম্যাগনেসিয়াম প্রভৃতির মতো কিছু কিছু ধাতুর পৃষ্ঠতল থেকে শুধুমাত্র ক্ষুদ্র তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অতিবেগুনি আলো ইলেকট্রন নিঃসরণ ঘটাতে পারে। যদিও লিথিয়াম, সোডিয়াম, পটাসিয়াম, সিজিয়াম এবং রুবিডিয়ামের মতো কিছু ক্ষার ধাতু দৃশ্যমান আলোতেও সংবেদনশীল। এসব আলোক সংবেদী (*photosensitive*) ধাতুসমূহ আলো দ্বারা উদ্ভাসিত হলে ইলেকট্রন নিঃসরণ করে। ইলেকট্রন আবিষ্কারের পর এই ইলেকট্রনগুলোকে আলোকজ ইলেকট্রন বলা হয়। এই ঘটনাকে *আলো তড়িৎ ক্রিয়া (photoelectric effect)* বলে।

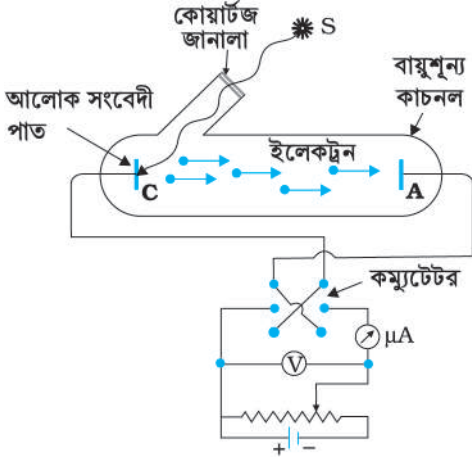
11.4 আলোক তড়িৎক্রিয়ার পরীক্ষামূলক অধ্যয়ন (EXPERIMENTAL STUDY OF PHOTOELECTRIC EFFECT)

11.1 চিত্রটি আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার পরীক্ষামূলক অধ্যয়নে ব্যবহৃত ব্যবস্থাপনার একটি বূপরেখাকে বর্ণনা করছে। বায়ুশূন্য কাচ/কোয়ার্টজ নলে একটি আলোক সংবেদী প্লেট C এবং অন্য একটি ধাতব প্লেট A নিয়ে এটি গঠিত। S উৎসটি থেকে খুব ক্ষুদ্র তরঙ্গদৈর্ঘ্যের একবর্ণী আলো জানালা W -এর মাধ্যমে আলোক সংবেদী পাত C (নিঃসারক)-এর উপর পড়েছে। কাচনলে লাগানো একটি স্বচ্ছ কোয়ার্টজের জানালার মধ্য দিয়ে অতিবেগুনি বিকিরণ গমন করে এবং আলোক সংবেদী পাত C কে উদ্ভাসিত করে। C পাত দ্বারা ইলেকট্রন নিঃসৃত হয় এবং ব্যাটারি সৃষ্ট তড়িৎক্ষেত্র দ্বারা ইলেকট্রনগুলো A পাত (সংগ্রাহক) দ্বারা সংগৃহীত হয়। ব্যাটারিটি C এবং A পাতের মধ্যে বিভব প্রভেদ বজায় রাখে এবং এটি পরিবর্তন করা যেতে পারে।

PHYSICS

Simulate experiments on photoelectric effect
<http://www.kcvs.ca/site/projects/physics.html>

পদার্থবিদ্যা



চিত্র 11.1 আলোক তড়িৎক্রিয়া অধ্যয়নের জন্য পরীক্ষামূলক ব্যবস্থাপনা।



চিত্র 11.2 আলোর তীব্রতার সঙ্গে আলোক তড়িৎপ্রবাহের পরিবর্তন।

একটি কম্যুটেটর দ্বারা C এবং A পাত দুটির মেবু পরিবর্তন করা যায়। এভাবে A পাতের বিভবকে C পাতের বিভবের সাপেক্ষে ধনাত্মক অথবা ঋণাত্মক বিভব সম্পন্ন করা যেতে পারে। নিঃসারক পাত C সাপেক্ষে সংগ্রাহক পাত A ধনাত্মক হলে ইলেকট্রনগুলো এর প্রতি আকর্ষিত হয়। ইলেকট্রন নিঃসরণের ফলে বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ হয়। নিঃসারক এবং সংগ্রাহকের মধ্যে বিভব প্রভেদকে ভোল্টমিটার এবং এর ফলস্বরূপ বর্তনীতে প্রবাহিত আলোক তড়িৎকে মাইক্রো অ্যামমিটার (μA) দ্বারা পরিমাপ করা হয়। নিঃসারক পাত C সাপেক্ষে সংগ্রাহক পাত A-এর বিভবকে পরিবর্তন করে আলোক তড়িৎপ্রবাহকে বাড়ানো বা কমানো যায়। সংগ্রাহক A এবং নিঃসারক C-এর মধ্যে বিভব প্রভেদ V -এর পরিবর্তনের মতো আপতিত আলোর তীব্রতা ও কম্পাঙ্কেরও পরিবর্তন করা যায়।

আমরা 11.1 চিত্রে দেখানো পরীক্ষার ব্যবস্থাপনাটিকে (a) বিকিরণের তীব্রতা, (b) আপতিত বিকিরণের কম্পাঙ্ক, (c) A এবং C পাত দুটির মধ্যে বিভব প্রভেদ এবং (d) C পাতের ধাতুটির প্রকৃতির সঙ্গে আলোক তড়িৎের পরিবর্তন অধ্যয়ন করতে আমরা ব্যবহার করতে পারি। নিঃসারক C-এর উপর আপতিত আলোর পথে উপযুক্ত রঙিন ফিল্টার অথবা রঙিন কাচ রেখে বিভিন্ন কম্পাঙ্কের আলো ব্যবহার করা যেতে পারে। নিঃসারক থেকে আলোক উৎসের দূরত্ব পরিবর্তন করে আলোর তীব্রতার পরিবর্তন করা হয়।

11.4.1 আলোক তড়িৎের উপর আলোর তীব্রতার প্রভাব (Effect of intensity of light on photocurrent)

সংগ্রাহক A কে নিঃসারক C সাপেক্ষে ধনাত্মক বিভবে রাখা হয় যাতে C থেকে নির্গত ইলেকট্রন সংগ্রাহক A-এর দিকে আকর্ষিত হয়। আপতিত বিকিরণের কম্পাঙ্ক এবং বিভবকে স্থির রেখে আলোর তীব্রতাকে পরিবর্তিত করা হয় এবং প্রতিবার এর ফলে উৎপন্ন আলোক তড়িৎকে মাপা হয়। এটি দেখা যায় যে, আপতিত আলোর তীব্রতার সঙ্গে আলোক তড়িৎ রৈখিকভাবে বৃদ্ধি পায় যেমন 11.2 চিত্রে লেখচিত্রের সাহায্যে দেখানো হয়েছে। আলোক তড়িৎপ্রবাহ প্রতি সেকেন্ডে নিঃসৃত ফটোইলেকট্রনের সংখ্যার সমানুপাতিক। এটি বোঝায় যে, প্রতি সেকেন্ডে নিঃসৃত ফটো ইলেকট্রনের সংখ্যা আপতিত বিকিরণের তীব্রতার সমানুপাতিক।

11.4.2 আলোক তড়িৎপ্রবাহের উপর বিভবের প্রভাব (Effect of potential on photoelectric current)

আমরা প্রথমে A পাতটিকে C পাতের সাপেক্ষে একটি ধনাত্মক বিভবে রেখে C পাতটিকে একটি নির্দিষ্ট v কম্পাঙ্ক এবং নির্দিষ্ট I_1 তীব্রতার আলো দ্বারা উদ্ভাসিত করি। এরপর A পাতের ধনাত্মক বিভবকে ক্রমশ: পরিবর্তন করে প্রতিবার এর ফলে প্রাপ্ত আলোক তড়িৎের পরিমাপ করি। এটি দেখা গেছে যে, ধনাত্মক বিভবের (ত্বরিত) ক্রমশ বৃদ্ধির সঙ্গে আলোক তড়িৎপ্রবাহ বৃদ্ধি পায়। A পাতের একটি নির্দিষ্ট ধনাত্মক বিভবের জন্য এমন এক অবস্থার সৃষ্টি হয় যেখানে নিঃসৃত সব ইলেকট্রনগুলো A পাত দ্বারা সংগৃহীত হয় এবং আলোক তড়িৎপ্রবাহটি সর্বোচ্চ হয় অর্থাৎ সম্পৃক্ত হয়ে যায়। A পাতের ক্রমবর্ধমান বিভব আরও বৃদ্ধি করলেও আলোক তড়িৎের বৃদ্ধি হয় না। আলোক তড়িৎপ্রবাহের এই সর্বোচ্চ মানকে সম্পৃক্ত প্রবাহ বলে। নিঃসারক পাত C থেকে নিঃসৃত সব ফটোইলেকট্রনই সংগ্রাহক পাত A তে পৌঁছে যায় — এঘটনার সঙ্গে সম্পৃক্ত প্রবাহের ধারণা সংগতিপূর্ণ।

আমরা এখন C পাতের সাপেক্ষে A পাতটিতে একটি ঋণাত্মক (ক্রমহ্রাসমান) বিভব প্রয়োগ করব

বিকিরণ এবং পদার্থের দ্বৈত প্রকৃতি

এবং ক্রমশ বাড়িয়ে অধিক ঋণাত্মক করবো। যখন মেবুর প্রকৃতি বিপরীত হয়ে যায় তখন ইলেকট্রনগুলো বিকর্ষিত হয় এবং অধিক শক্তিসম্পন্ন ইলেকট্রনগুলোই A সংগ্রাহকটিতে পৌঁছতে সক্ষম হয়। দেখা যায় যে, আলোক তড়িৎপ্রবাহ দ্রুত কমতে থাকে যতক্ষণ না এটি A পাতের ঋণাত্মক বিভব V_0 -এর একটি নিশ্চিত এবং স্পষ্ট সংকট মানে শূন্য হয়ে যায়। আপতিত বিকিরণের একটি নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কের জন্য A পাতে প্রদত্ত ন্যূনতম যে ঋণাত্মক (ক্রমহ্রাসমান) বিভব V_0 -এর কারণে আলোক তড়িৎপ্রবাহ বন্ধ হয়ে যায় বা শূন্য হয়, তাকে ছেদক (cut-off) বিভব বা নিবৃত্তি বিভব (stopping potential) বলে।

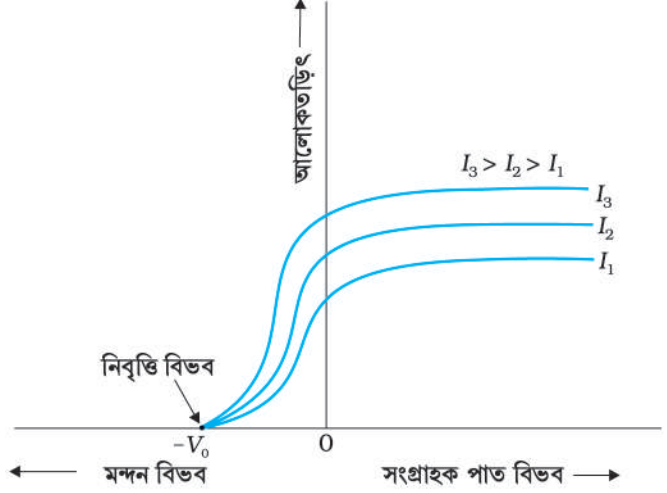
আলোকজ ইলেকট্রন দ্বারা পর্যবেক্ষণটিকে সরাসরি ব্যাখ্যা করা যায়। ধাতু থেকে নিঃসৃত সব ইলেকট্রনগুলোর শক্তি সমান থাকে না। আলোক তড়িৎপ্রবাহ শূন্য হয় যখন নিবৃত্তি বিভবটির মান এমন হয় যে, সর্বোচ্চ গতিশক্তি (K_{max}) সম্পন্ন ইলেকট্রনগুলোকেও বিকর্ষণ করার পক্ষে যথেষ্ট অর্থাৎ,

$$K_{max} = e V_0 \quad (11.1)$$

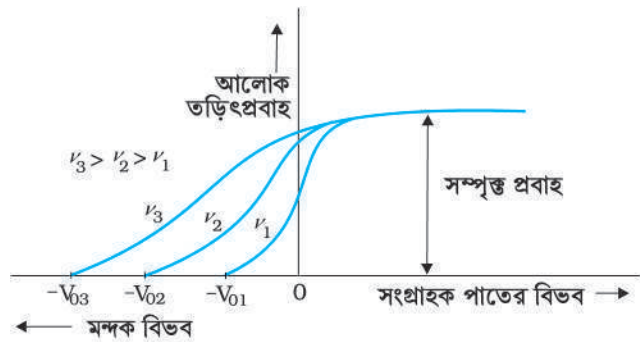
এখন আমরা সমান কম্পাঙ্ক কিন্তু উচ্চতর তীব্রতা I_2 এবং I_3 ($I_3 > I_2 > I_1$) সম্পন্ন আপতিত বিকিরণ নিয়ে পরীক্ষাটির পুনরাবৃত্তি করতে পারি। আমরা লক্ষ করি যে, সম্পূর্ণ প্রবাহটি এখন উচ্চতর মানে পাওয়া যাচ্ছে। এটি বোঝায় যে, প্রতি সেকেন্ডে নিঃসৃত অধিক সংখ্যক ইলেকট্রন আপতিত বিকিরণের তীব্রতার সমানপাতী। কিন্তু I_1 তীব্রতার আপতিত বিকিরণের ন্যায় নিবৃত্তি বিভব একই থাকে, যা 11.3 চিত্রে প্রদর্শিত লেখচিত্রে দেখানো হয়েছে। এভাবে, আপতিত বিকিরণের একটি প্রদত্ত কম্পাঙ্কের জন্য নিবৃত্তি বিভবটি এর তীব্রতা নিরপেক্ষ হয়। অন্যভাবে, ফটোইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি আলোক উৎস এবং ধাতব নিঃসারক পাতের উপর নির্ভর করে, কিন্তু আপতিত বিকিরণের তীব্রতা নিরপেক্ষ হয়।

11.4.3 নিবৃত্তি বিভবের উপর আপতিত বিকিরণের কম্পাঙ্কের প্রভাব (Effect of frequency of incident radiation on stopping potential)

এখন আমরা আপতিত বিকিরণের কম্পাঙ্ক ν এবং নিবৃত্তি বিভব V_0 -এর মধ্যে সম্পর্কটি জানব। উপযুক্ত সমন্বয়ের মাধ্যমে একই তীব্রতার বিভিন্ন কম্পাঙ্কের বিকিরণে, সংগ্রাহক পাতের বিভবের পরিবর্তনের আলোক তড়িৎপ্রবাহের পরিবর্তন সম্পর্কে আমরা জানবো। ফলাফলের পরিবর্তন 11.4 চিত্রে দেখানো হয়েছে। আমরা আপতিত বিকিরণের বিভিন্ন কম্পাঙ্কের জন্য নিবৃত্তি বিভবের বিভিন্ন মান পেয়েছি যেখানে সম্পূর্ণ প্রবাহের একই মান থাকে। নিঃসৃত ইলেকট্রনের শক্তি আপতিত বিকিরণের কম্পাঙ্কের উপর নির্ভর করে। উচ্চতর কম্পাঙ্কের আপতিত বিকিরণের ক্ষেত্রে নিবৃত্তি বিভবটি অধিকতর ঋণাত্মক হয়। 11.4 চিত্রে লক্ষ করো, যদি কম্পাঙ্কগুলো $\nu_3 > \nu_2 > \nu_1$ ক্রমের হয় তবে নিবৃত্তি বিভবগুলো $V_{03} > V_{02} > V_{01}$ ক্রমের হবে। এটি বুঝায় যে,

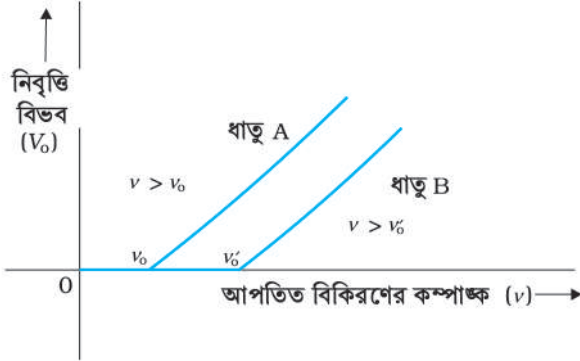


চিত্র 11.3 আপতিত বিকিরণের বিভিন্ন তীব্রতার জন্য সংগ্রাহক পাতের বিভবের সঙ্গে আলোক তড়িৎপ্রবাহের পরিবর্তন।



চিত্র 11.4 আপতিত বিকিরণের বিভিন্ন কম্পাঙ্কের জন্য সংগ্রাহক পাতের বিভবের সঙ্গে আলোক তড়িৎপ্রবাহের পরিবর্তন।

পদার্থবিদ্যা



চিত্র 11.5 প্রদত্ত একটি আলোক সংবেদী ধাতব পদার্থের জন্য আপতিত বিকিরণের কম্পাঙ্ক ν -এর সঙ্গে নিবৃত্তি বিভব V_0 -এর পরিবর্তন।

আপতিত আলোর কম্পাঙ্ক যত বেশি হবে ফটোইলেকট্রনের গতিশক্তিও তত অধিক হবে। ফলস্বরূপ, এদের সম্পূর্ণরূপে নিবৃত্ত করতে হলে আমাদের আরও অধিক মন্দক বিভবের প্রয়োজন হবে। যদি আমরা আপতিত বিকিরণের কম্পাঙ্ক এবং বিভিন্ন ধাতুর জন্য সংশ্লিষ্ট নিবৃত্তি বিভবের মধ্যে লেখচিত্র অংকন করি তবে একটি সরলরেখা পাই, যেমন 11.5 চিত্রে দেখানো আছে।

লেখচিত্রটি থেকে যা পাওয়া যায়,

(i) প্রদত্ত একটি আলোক সংবেদী ধাতব পদার্থের ক্ষেত্রে আপতিত বিকিরণের কম্পাঙ্কের সঙ্গে নিবৃত্তি বিভব V_0 সরলরৈখিকভাবে পরিবর্তিত হয়।

(ii) একটি নির্দিষ্ট ন্যূনতম কাট-অফ (cut-off) কম্পাঙ্ক ν_0 থাকে যার জন্য নিবৃত্তি বিভব শূন্য হয়।

এ পর্যবেক্ষণগুলোর দুটি অন্তর্নিহিত অর্থ আছে :

(i) ফটো ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি আপতিত বিকিরণের কম্পাঙ্কের সঙ্গে সরলরৈখিকভাবে পরিবর্তিত হয় কিন্তু এর তীব্রতা নিরপেক্ষ হয়।

(ii) কাট-অফ কম্পাঙ্ক ν_0 অপেক্ষা কম কম্পাঙ্ক ν বিশিষ্ট আপতিত বিকিরণের ক্ষেত্রে তীব্রতা প্রবল হওয়া সত্ত্বেও কোনো আলোক তড়িৎ নিঃসরণ সম্ভব হয় না।

এই ন্যূনতম কাট-অফ কম্পাঙ্ক ν_0 কে সূচনা কম্পাঙ্ক (threshold frequency) বলে। বিভিন্ন ধাতুর ক্ষেত্রে এটি বিভিন্ন।

বিভিন্ন আলোক সংবেদী ধাতব পদার্থ আলোর প্রতি ভিন্ন ভিন্ন ভাবে সাড়া দেয়। দস্তা বা তামা অপেক্ষা সেলেনিয়াম অধিক সংবেদী। বিভিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোতে একই আলোক সংবেদী পদার্থ ভিন্ন ভিন্ন ভাবে সাড়া দেয়। উদাহরণস্বরূপ, তামায় অতিবেগুনি আলোতে আলোক তড়িৎ ক্রিয়া হয় কিন্তু সবুজ বা লাল আলোতে হয় না।

উপরের সব পরীক্ষাগুলোতে এটি লক্ষণীয় যে, যদি আপতিত বিকিরণের কম্পাঙ্ক সূচনা কম্পাঙ্ক অপেক্ষা অধিক হয় তবে সময়ের আপাত বিলম্ব না ঘটিয়েই তৎক্ষণাত স্বতস্ফূর্তভাবে আলোক তড়িৎ নিঃসরণ শুরু হয়ে যায়; এমন কি আপতিত বিকিরণ খুব মৃদু হলেও আলোক তড়িৎ নিঃসরণ ঘটে। এটি জানা গেছে আপতনের পর নিঃসরণ শুরু হতে সময়ের ব্যবধান 10^{-9} s বা তারও কম।

আমরা এখন এ বিভাগে বর্ণিত পরীক্ষামূলক বৈশিষ্ট্যসমূহ এবং পর্যবেক্ষণগুলোর সারসংক্ষেপ করব।

(i) প্রদত্ত একটি আলোক সংবেদী ধাতব পদার্থ এবং আপতিত বিকিরণের কম্পাঙ্কের (সূচনা কম্পাঙ্কের বেশি) জন্য আলোক তড়িৎপ্রবাহ আপতিত আলোর তীব্রতার সমানুপাতী (চিত্র 11.2)।

(ii) প্রদত্ত একটি আলোক সংবেদী পদার্থ এবং আপতিত বিকিরণের কম্পাঙ্কের জন্য এটি দেখা গেছে যে, সম্পৃক্ত প্রবাহ আপতিত বিকিরণের তীব্রতার সমানুপাতী কিন্তু নিবৃত্তি বিভবটি এর তীব্রতা নিরপেক্ষ হয় (চিত্র 11.3)।

(iii) প্রদত্ত একটি আলোক সংবেদী ধাতব পদার্থের জন্য আপতিত বিকিরণের এমন একটি নির্দিষ্ট ন্যূনতম কাট-অফ কম্পাঙ্ক থাকে যাকে সূচনা কম্পাঙ্ক বলে, কম্পাঙ্ক এর কম হলে আপতিত আলো যত তীব্রতারই হউক না কেন ফটো ইলেকট্রনের কোনো নিঃসরণ ঘটে না। সূচনা কম্পাঙ্কের উপরে, নিবৃত্তি বিভব বা নিঃসৃত ফটো ইলেকট্রনের সমতুল্য সর্বোচ্চ গতিশক্তিটি আপতিত বিকিরণের কম্পাঙ্কের সঙ্গে সরলরৈখিকভাবে বৃদ্ধি পায় কিন্তু এর তীব্রতা নিরপেক্ষ হয় (চিত্র 11.5)।

বিকিরণ এবং পদার্থের দ্বৈত প্রকৃতি

(iv) আপতিত বিকিরণটি অত্যধিক মৃদু হলেও আলোক তড়িৎ নিঃসরণ কোনো সময় বিলম্ব ছাড়া ($\sim 10^{-9}$ s বা এর কম) একটি তাৎক্ষণিক প্রক্রিয়া।

11.5 আলোক তড়িৎ ক্রিয়া এবং আলোর তরঙ্গ তত্ত্ব (PHOTOELECTRIC EFFECT AND WAVE THEORY OF LIGHT)

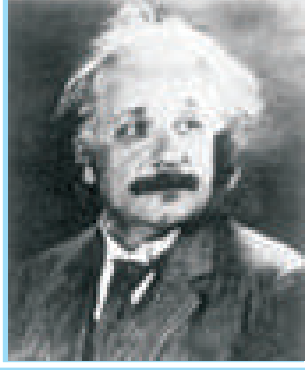
আলোর তরঙ্গ প্রকৃতি ঊনবিংশ শতাব্দীর শেষভাগে সুপ্রতিষ্ঠিত হয়ে গিয়েছিল। আলোর তরঙ্গ চিত্র দ্বারা ব্যতিচার (interference), অপবর্তন (diffraction) এবং সমবর্তন (polarisation)-এর মতো ঘটনাগুলোর একটি স্বাভাবিক এবং সন্তোষজনক ব্যাখ্যা করা হয়েছিল। এই তত্ত্ব অনুসারে আলো একটি তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ যা তড়িৎ এবং চৌম্বকক্ষেত্র দ্বারা তৈরি এবং তরঙ্গটি দেশের (space) যে ক্ষেত্রের উপর বিস্তৃত সেখানে শক্তি নিরবচ্ছিন্নভাবে বণ্টিত থাকে। আমরা এখন দেখব কীভাবে আলোর এই তরঙ্গ চিত্র পূর্ববর্তী বিভাগে দেওয়া আলোক তড়িৎ নিঃসরণ সম্বন্ধীয় পর্যবেক্ষণগুলোর ব্যাখ্যা দিতে পারে।

আলোর তরঙ্গ চিত্র অনুসারে, ধাতবপৃষ্ঠের মুক্ত ইলেকট্রনগুলো (যাদের উপর বিকিরণ গুচ্ছ পড়ছে) বিকিরিত শক্তিকে নিরবচ্ছিন্নভাবে শোষণ করে। বিকিরণের তীব্রতা অধিক হলে তড়িৎ এবং চৌম্বকক্ষেত্রের বিস্তারও বেশি হয়। ফলস্বরূপ, তীব্রতা যত অধিক হয় প্রত্যেকটি ইলেকট্রন দ্বারা শোষিত শক্তিও তত অধিকতর হবে। এই তথ্য অনুসারে, তীব্রতা বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে পৃষ্ঠতল থেকে নির্গত ফটো ইলেকট্রনগুলোর সর্বোচ্চ গতিশক্তিও বৃদ্ধি পায় উচিত। এছাড়া বিকিরণের কম্পাঙ্ক যা হোক না কেন একটি পর্যাণু তীব্র বিকিরণ গুচ্ছ (পর্যাণু সময়ে) ইলেকট্রনগুলোকে ততটুকু পর্যাণু শক্তি দিতে সমর্থ হয় যা এগুলোকে ধাতবপৃষ্ঠ থেকে নির্গত করতে প্রয়োজনীয় ন্যূনতম শক্তি থেকে অধিক হবে। কাজেই একটি সূচনা কম্পাঙ্কের অস্তিত্ব থাকা উচিত নয়। তরঙ্গ তত্ত্বের এ প্রয়োগগুলো (i), (ii) এবং (iii) অনুচ্ছেদ 11.4.3-এর শেষে দেওয়া পর্যবেক্ষণগুলোকে সরাসরি অস্বীকার করে।

তরঙ্গ চিত্রে আমাদের আরও লক্ষ করা প্রয়োজন যে, ইলেকট্রন দ্বারা শক্তির শোষণ নিরবচ্ছিন্নভাবে বিকিরণের সমগ্র তরঙ্গ মুখ থেকে হয়। যেহেতু এক বিশাল সংখ্যক ইলেকট্রন শক্তি শোষণ করে কাজেই প্রতি একক সময়ে প্রতি ইলেকট্রনে শোষিত শক্তি খুবই কম হয়। স্পষ্ট গণনায় এটি পরিগণিত হয় যে, কার্য অপেক্ষককে অতিক্রম করে ধাতব পৃষ্ঠ থেকে বের হয়ে আসতে পর্যাণু শক্তি অর্জন করতে একটি ইলেকট্রন এক ঘণ্টা বা আরও বেশি সময় নিতে পারে। এটি আবার আলোক তড়িৎ নিঃসরণ পরীক্ষার পর্যবেক্ষণ (iv) অর্থাৎ আলোক তড়িৎ নিঃসরণ একটি তাৎক্ষণিক ঘটনা — এই সিদ্ধান্তের সম্পূর্ণ বিপরীত। সংক্ষেপে, তরঙ্গ চিত্রটি আলোক তড়িৎ নিঃসরণের অধিকাংশ মৌলিক বৈশিষ্ট্যগুলোর ব্যাখ্যা দিতে অপারগ।

11.6 আইনস্টাইনের আলো তড়িৎ সমীকরণ (EINSTEIN'S PHOTOELECTRIC EQUATION: ENERGY QUANTUM OF RADIATION)

1905 খ্রিস্টাব্দে, এলবার্ট আইনস্টাইন (1879-1955) [Albert Einstein (1879-1955)] আলোক তড়িৎ ক্রিয়া ব্যাখ্যা করার জন্য তড়িৎচুম্বকীয় বিকিরণের একটি মৌলিক রূপের নতুন চিত্র প্রস্তাব করেন। এই চিত্র অনুসারে, আলোক তড়িৎ নিঃসরণ, বিকিরণ থেকে নিরবচ্ছিন্নভাবে শক্তি শোষণের দ্বারা ঘটে না। বিকিরণ শক্তি বিচ্ছিন্ন কতকগুলো একক শক্তি কণার সমন্বয়ে গঠিত, একে



এলবার্ট আইনস্টাইন (1879 – 1955)

আইনস্টাইন 1879 খ্রিস্টাব্দে জার্মানির উল্ম নামক স্থানে জন্মগ্রহণ করেন। তিনি এযাবৎকালের শ্রেষ্ঠ বিজ্ঞানীদের অন্যতম। 1905 খ্রিস্টাব্দে তিনি তিনটি যুগান্তকারী গবেষণাপত্র প্রকাশ করেন। প্রথম গবেষণা পত্রে তিনি আলোর কোয়ান্টামের ধারণা (যাকে এখন ফোটন বলা হয়) প্রচলন করেন এবং আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার বৈশিষ্ট্যগুলো ব্যাখ্যা করতে এটিকে ব্যবহার করেন। দ্বিতীয় পত্রে তিনি ব্রাউনীয় গতির তত্ত্বটিকে বিকশিত করেন ও কয়েক বৎসর পর এটিকে পরীক্ষামূলকভাবে প্রতিষ্ঠিত করেন এবং পদার্থের পারমাণবিক গঠন চিত্রে এটিকে একটি বিশ্বাসযোগ্য সাক্ষ্য হিসেবে উপস্থিত করেন। তৃতীয় গবেষণা পত্রটিতে তিনি বিশেষ আপেক্ষিকতার তত্ত্বটি (special theory of relativity) সৃষ্টি করেন। 1916 সালে তিনি সাধারণ আপেক্ষিকতার (general theory of relativity) তত্ত্বটি প্রকাশ করেন। আইনস্টাইনের অন্য কিছু খুবই গুরুত্বপূর্ণ তাৎপর্যপূর্ণ অবদানগুলো হল : উদ্ভূত নিঃসরণের ধারণা যা প্লাঙ্কের কৃষ্ণবস্তু বিকিরণ সূত্রের একটি বৈকল্পিক ব্যুৎপত্তিতে উপস্থাপিত। বিশ্বের একটি স্তৈতিক প্রতিরূপ (model) যা আধুনিক মহা বিশ্ববিজ্ঞানের সূচনা করে, একটি গ্যাসের স্থূল বোসনস এর কোয়ান্টাম পরিসংখ্যা এবং কোয়ান্টাম বলবিজ্ঞানের ভিত্তিটির একটি আলোচনাত্মক বিশ্লেষণ। তাত্ত্বিক পদার্থবিদ্যা (theoretical physics) এবং আলোক তড়িৎ ক্রিয়ায় বিশেষ অবদানের জন্য 1921 সালে তাঁকে নোবেল পুরস্কার দেওয়া হয়।

বিকিরণের শক্তির কোয়ান্টা বলে। বিকিরিত শক্তির প্রতিটি কোয়ান্টামে $h\nu$ পরিমাণ শক্তি আছে, যেখানে h হল প্লাঙ্কের ধ্রুবক এবং ν আলোর কম্পাঙ্ক। আলোক তড়িৎ ক্রিয়ায় একটি ইলেকট্রন বিকিরণের এক কোয়ান্টাম শক্তি ($h\nu$) শোষণ করে। শোষিত শক্তির এই কোয়ান্টাম যদি ধাতব পৃষ্ঠ থেকে ইলেকট্রন বের হয়ে আসার জন্য প্রয়োজনীয় ন্যূনতম শক্তি (কার্য অপেক্ষক, ϕ_0) অপেক্ষা অধিক হয় তবে ইলেকট্রনটি সর্বোচ্চ গতিশক্তি নিয়ে নির্গত হয় —

$$K_{\max} = h\nu - \phi_0 \quad (11.2)$$

অধিক দৃঢ়তায় আবদ্ধ নিঃসৃত ইলেকট্রনগুলোর গতিশক্তি এদের সর্বোচ্চ মান অপেক্ষা কম হয়। লক্ষণীয় যে, কোনো একটি কম্পাঙ্কের আলোর তীব্রতা, প্রতি সেকেন্ডে আপতিত ফোটনের সংখ্যা দ্বারা নির্ধারিত হয়। তীব্রতা বৃদ্ধি পেলে প্রতি সেকেন্ডে নিঃসৃত ইলেকট্রনের সংখ্যাও বৃদ্ধি পায়। কাজেই, নিঃসৃত ফটো ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি প্রতিটি ফোটনের শক্তি দ্বারা নির্ধারিত হয়।

(11.2) সমীকরণটি আইনস্টাইনের আলোক তড়িৎ সমীকরণ হিসেবে পরিচিত। আমরা এখন দেখব কীভাবে এই সমীকরণ 11.4.3 অনুচ্ছেদে প্রদত্ত আলোক তড়িৎ ক্রিয়া সম্পর্কিত পর্যবেক্ষণ সমূহকে একটি সরল এবং সুচারুরূপে গাণিতিকভাবে প্রকাশ করে।

- সমীকরণ (11.2) অনুসারে, পর্যবেক্ষণ অনুযায়ী, K_{\max} কম্পাঙ্ক ν -এর সঙ্গে সরলরৈখিকভাবে নির্ভর করে এবং বিকিরণের তীব্রতার উপর নির্ভর করে না। আইনস্টাইনের তত্ত্ব অনুযায়ী এরকম ঘটনার কারণ হল যখন একটিমাত্র ইলেকট্রন বিকিরণের একটি মাত্র কোয়ান্টাম শোষণ করে তখন আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার সৃষ্টি হয়। বিকিরণের তীব্রতা (যা প্রতি একক সময়ে প্রতি একক ক্ষেত্রফলে শক্তি কোয়ান্টা সংখ্যার সমানুপাতী) এই মৌলিক ক্রিয়ায় অপ্রাসঙ্গিক।
- K_{\max} অবশ্যই অঋণাত্মক হওয়াতে, (11.2) সমীকরণ বোঝায় যে, আলোক তড়িৎ নিঃসরণ কেবলমাত্র সম্ভব হবে যদি $h\nu > \phi_0$ হয় বা, $\nu > \nu_0$, যেখানে

$$\nu_0 = \frac{\phi_0}{h} \quad (11.3)$$

(11.3) সমীকরণ থেকে দেখা যায় যে, কার্য অপেক্ষকের অধিকতর মানে ফটোইলেকট্রন নিঃসরণের জন্য উচ্চতর সূচনা বা ন্যূনতম কম্পাঙ্ক ν_0 প্রয়োজন। এভাবে, ধাতবপৃষ্ঠের জন্য এমন এক সূচনা কম্পাঙ্ক $\nu_0 (= \phi_0/h)$ থাকে যা অপেক্ষা কম মানে (আপতিত বিকিরণের তীব্রতা যা হউক না কেন বা ধাতব পৃষ্ঠে যত সময় ধরেই আপতিত হউক না কেন) কোনো আলোক তড়িৎ নিঃসরণ সম্ভব নয়।

- এই তত্ত্বে, উপরে উল্লিখিত বিকিরণের তীব্রতা প্রতি একক সময়ে, প্রতি একক ক্ষেত্রফলে শক্তি কোয়ান্টা সংখ্যার সমানুপাতী। যত বেশি সংখ্যায় শক্তি কোয়ান্টা লভ্য হবে, তত t সময়ে অধিক সংখ্যায় ইলেকট্রন শক্তি কোয়ান্টা শোষণ করবে এবং ($\nu > \nu_0$ -এর জন্য) ধাতু থেকে ততই অধিক সংখ্যায় ইলেকট্রন বের হয়ে আসবে। এটি ব্যাখ্যা করে কী কারণে, $\nu > \nu_0$ -এর জন্য আলোক তড়িৎ প্রবাহ তীব্রতার সমানুপাতী।

বিকিরণ এবং পদার্থের দ্বৈত প্রকৃতি

- আইনস্টাইনের তত্ত্বে, আলোক তড়িৎ ক্রিয়ায় একটি ইলেকট্রন দ্বারা আলোর এক কোয়ান্টাম শোষণই হল মূল প্রাথমিক প্রক্রিয়া। এই প্রক্রিয়া তাৎক্ষণিক হয়। এভাবে তীব্রতা অর্থাৎ প্রতি একক সময়ে প্রতি একক ক্ষেত্রফলে বিকিরণের কোয়ান্টা সংখ্যা যা হোক না কেন আলোক তড়িৎ নিঃসরণ তাৎক্ষণিকই হয়। কম তীব্রতায় নিঃসরণে বিলম্ব হবে না কারণ মূল প্রাথমিক প্রক্রিয়া একই থাকে। তীব্রতা দ্বারা কেবলমাত্র এটি নির্ধারিত হয় যে, কত সংখ্যক ইলেকট্রন প্রাথমিক প্রক্রিয়ায় (একটি মাত্র ইলেকট্রন দ্বারা একটিমাত্র আলোর কোয়ান্টাম শোষণ) যোগদান করে, যার পরিণামস্বরূপ আলোক তড়িৎপ্রবাহ পাওয়া যায়।

(11.1) সমীকরণ ব্যবহার করে, আলোক তড়িৎ সমীকরণ (11.2) কে নিম্নরূপে লেখা যায় —

$$e V_0 = h \nu - \phi_0; \quad \nu \geq \nu_0 \text{-এর জন্য}$$

$$\text{বা, } V_0 = \left(\frac{h}{e} \right) \nu - \frac{\phi_0}{e} \quad (11.4)$$

এটি একটি তাৎপর্যপূর্ণ ফলাফল। এটি দেখায় যে, V_0 -এর সঙ্গে ν -এর লেখচিত্রটি একটি সরলরেখা হয় যেখানে নতি = (h/e) এবং এটি ধাতুর প্রকৃতির উপর নির্ভর করে না। 1906-1916 সালের মধ্যে মিলিকান (Millikan) আইনস্টাইনের আলোক তড়িৎ সমীকরণকে খণ্ডনের (disproving) উদ্দেশ্যে আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার উপর অনেকগুলো পরীক্ষা সম্পাদন করেন। 11.5 চিত্রে যেভাবে দেখানো আছে সেভাবে তিনি সোডিয়ামের জন্য প্রাপ্ত সরলরেখাটির নতি পরিমাপ করেন। e -এর জ্ঞাত মান ব্যবহার করে তিনি প্লাঙ্কের ধ্রুবক h -এর মান নির্ণয় করেন। সম্পূর্ণ ভিন্ন প্রসঙ্গে নির্ণীত এই মান প্লাঙ্কের ধ্রুবকের মানের ($= 6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}$) খুব কাছাকাছি। এভাবে 1916 খ্রিস্টাব্দে মিলিকান আইনস্টাইনের আলোক তড়িৎ সমীকরণটিকে খণ্ডনের পরিবর্তে এর বৈধতা প্রমাণ করেন।

আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার সার্থক ব্যাখ্যার ক্ষেত্রে আলোর কোয়ান্টা প্রকল্প এবং h এবং ϕ_0 -এর পরীক্ষামূলকভাবে নির্ণীত মান (যা অন্যান্য পরীক্ষায় প্রাপ্ত মানগুলোর সঙ্গে সহমত পোষণ করে) এর ব্যবহার, আইনস্টাইনের আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার তত্ত্বটিকে অধিকতর গ্রহণযোগ্য করেছে। মিলিকান অনেকগুলো ক্ষারীয় ধাতুর উপর বিকিরণ কম্পাঙ্কের এক বিস্তৃত পাল্লায় অতি নির্ভুলভাবে আলোক তড়িৎ সমীকরণটিকে যাচাই করেন।

11.7 আলোর কণা প্রকৃতি : ফোটন (PARTICLE NATURE OF LIGHT: THE PHOTON)

আলো কোনো পদার্থের সঙ্গে ক্রিয়ায় এমন ব্যবহার করে যেন এটি প্রত্যেকটি $h \nu$ শক্তি সম্পন্ন কতকগুলো শক্তির কোয়ান্টা বা পুলিন্দা (packets) দিয়ে তৈরি, আলো তড়িৎক্রিয়া এমন একটি বিস্ময়কর তথ্যকে প্রমাণ করে।

শক্তির আলো কোয়ান্টাকে কী কণার সঙ্গে সম্পর্কিত করা যায়? আইনস্টাইন এই গুরুত্বপূর্ণ সিদ্ধান্তে উপনীত হলেন যে, আলোক কোয়ান্টাকেও ভরবেগের ($h \nu/c$) সঙ্গে সংযুক্ত করা যায়। শক্তির সঙ্গে সঙ্গে ভরবেগের একটি নির্দিষ্ট মান, এর একটি জোড়ালো সংকেত যে, আলোক কোয়ান্টাকে একটি কণার সঙ্গে সংযুক্ত করা যায়। পরবর্তীকালে এই কণাকে ফোটন নাম দেওয়া হয়েছে। এ.এইচ.কম্পটন [A.H. Compton (1892-1962)]-এর ইলেকট্রন থেকে X-রশ্মি বিক্ষেপণ পরীক্ষা দ্বারা 1924 সালে আলোর কণার মতো আচরণের বিষয়টি আরো নিশ্চিত হয়। তাত্ত্বিক পদার্থবিদ্যায় (theoretical physics) তার অবদান এবং আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার জন্য 1921 সালে আইনস্টাইনকে নোবেল পুরস্কার প্রদান করা হয়। তড়িৎের মূল (elementary) আধান এবং আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার উপর তার কাজের স্বীকৃতিস্বরূপ 1923 সালে মিলিকানকে পদার্থবিদ্যায় নোবেল পুরস্কার প্রদান করা হয়।

তড়িৎচুম্বকীয় বিকিরণের ফোটন তত্ত্বটি আমরা নিম্নলিখিতভাবে সংক্ষেপে লিখতে পারি :

- (i) পদার্থের বিকিরণের ক্রিয়ায়, বিকিরণ এমন আচরণ করে যেন এটি ফোটন নামক কণা দ্বারা গঠিত।
(ii) প্রত্যেক ফোটনের শক্তি $E (=hv)$, ভরবেগ $p (= h v/c)$, এবং বেগ c , যা আলোর বেগের সমান।
(iii) বিকিরণের তীব্রতা যা হোক না কেন, একটি নির্দিষ্ট কম্পাঙ্ক ν বা তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ , বিশিষ্ট আলোর সব ফোটনগুলোরই একই শক্তি $E (=hv = hc/\lambda)$ এবং ভরবেগ $p (= hv/c = h/\lambda)$ থাকে। প্রদত্ত তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোর তীব্রতা বৃদ্ধি করলে, কেবলমাত্র প্রতি সেকেন্ডে প্রদত্ত ক্ষেত্র দিয়ে অতিক্রান্ত সমশক্তি সম্পন্ন ফোটনের সংখ্যা বৃদ্ধি পায়। এভাবে ফোটনশক্তির বিকিরণ, তীব্রতা নিরপেক্ষ হয়।
(iv) ফোটনগুলো তড়িৎ নিরপেক্ষ এবং তড়িৎ ও চৌম্বকক্ষেত্র দ্বারা বিক্ষিপ্ত হয় না।
(v) ফোটন-কণার একটি সংঘর্ষে (ফোটন-ইলেকট্রন সংঘর্ষের মতো) মোট শক্তি এবং মোট ভরবেগ সংরক্ষিত থাকে। ফোটনটি শোষিত হতে পারে বা একটি নতুন ইলেকট্রন উৎপন্ন হতে পারে।

উদাহরণ 11.1 একটি লেজার (laser) কর্তৃক 6.0×10^{14} Hz কম্পাঙ্কবিশিষ্ট একবর্ণী আলো উৎপন্ন হয়। নিঃসৃত ক্ষমতা 2.0×10^{-3} W। (a) আলোক রশ্মিগুচ্ছে একটি ফোটনের শক্তি কত? (b) উৎসটি দ্বারা প্রতি সেকেন্ডে গড়ে কত সংখ্যক ফোটন নিঃসৃত হয়?

সমাধান

(a) প্রত্যেক ফোটনে শক্তি

$$E = h \nu = (6.63 \times 10^{-34} \text{ J s}) (6.0 \times 10^{14} \text{ Hz}) \\ = 3.98 \times 10^{-19} \text{ J}$$

(b) যদি উৎস কর্তৃক প্রতি সেকেন্ডে নিঃসৃত ফোটন সংখ্যা N হয় তবে রশ্মিগুচ্ছে সঞ্চারিত ক্ষমতা P , প্রত্যেক ফোটনের শক্তি E -এর N গুণের সমান হবে অর্থাৎ $P = N E$ ।
তখন

$$N = \frac{P}{E} = \frac{2.0 \times 10^{-3} \text{ W}}{3.98 \times 10^{-19} \text{ J}} = 5.0 \times 10^{15} \text{ ফোটন / সেকেন্ড।}$$

উদাহরণ 11.2 সিজিয়ামের কার্য অপেক্ষক 2.14 eV। (a) সিজিয়ামের জন্য সূচনা কম্পাঙ্ক নির্ণয় করো। (b) যদি নিবৃত্তি বিভব 0.60 V করে আলোক তড়িৎ প্রবাহকে শূন্য করা হয় তবে আপতিত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় করো।

সমাধান

(a) কাট-অফ বা সূচনা কম্পাঙ্কের জন্য আপতিত বিকিরণের শক্তি $h \nu_0$ অবশ্যই কার্য অপেক্ষক ϕ_0 -এর সমান হতে হবে। কাজেই

$$\nu_0 = \frac{\phi_0}{h} = \frac{2.14 \text{ eV}}{6.63 \times 10^{-34} \text{ J s}} = \frac{2.14 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}}{6.63 \times 10^{-34} \text{ J s}} = 5.16 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

এভাবে, এই সূচনা কম্পাঙ্ক অপেক্ষা কম কম্পাঙ্কের জন্য কোনো ফটোইলেকট্রন মুক্ত হবে না।

(b) নিঃসৃত ফটোইলেকট্রনগুলোর সর্বোচ্চ গতিশক্তি মন্দন বিভব V_0 -এর জন্য স্থিতিশক্তি $e V_0$ -এর সমান হলে আলোক তড়িৎ কমে শূন্য হয়ে যায়। আইনস্টাইনের আলোক তড়িৎ সমীকরণটি হবে

$$eV_0 = h\nu - \phi_0 = \frac{hc}{\lambda} - \phi_0$$

$$\text{বা, } \lambda = hc/(eV_0 + \phi_0)$$

বিকিরণ এবং পদার্থের দ্বৈত প্রকৃতি

উদাহরণ 11.2

$$\begin{aligned} &= \frac{(6.63 \times 10^{-34} \text{ J s}) \times (3 \times 10^8 \text{ m/s})}{(0.60 \text{ eV} + 2.14 \text{ eV})} \\ &= \frac{19.89 \times 10^{-26} \text{ J m}}{(2.74 \text{ eV})} \\ \lambda &= \frac{19.89 \times 10^{-26} \text{ J m}}{2.74 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}} = 454 \text{ nm} \end{aligned}$$

- উদাহরণ 11.3** দৃশ্যমান অঞ্চলে আলোর বেগুনি রঙ, হলুদ-সবুজ রঙ এবং লাল রঙের তরঙ্গদৈর্ঘ্য যথাক্রমে প্রায় 390 nm, 550 nm (গড় তরঙ্গদৈর্ঘ্য) এবং 760 nm হয়।
- (a) দৃশ্যমান বর্ণালীতে ফোটনের শক্তি eV এককে কী হবে (i) বেগুনি প্রান্তে, (ii) হলুদ-সবুজ রঙের গড় তরঙ্গদৈর্ঘ্য, এবং (iii) লাল প্রান্তে (ধরো, $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}$ এবং $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$)
- (b) 11.1 সারণিভুক্ত আলোক সংবেদী কোন্ পদার্থগুলোতে (a)-এর (i), (ii) এবং (iii)-এর ফলাফল ব্যবহার করে দৃশ্যমান আলোতে কার্যকরী একটি আলোক তড়িৎ যন্ত্র তৈরি করতে পারবে?

সমাধান

- (a) আপতিত ফোটনের শক্তি, $E = hv = hc/\lambda$

$$E = (6.63 \times 10^{-34} \text{ J s}) (3 \times 10^8 \text{ m/s}) / \lambda = \frac{1.989 \times 10^{-25} \text{ J m}}{\lambda}$$

- (i) বেগুনি আলোর জন্য $\lambda_1 = 390 \text{ nm}$ (নিম্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্যের প্রান্তে)

$$\begin{aligned} \text{আপতিত ফোটনের শক্তি, } E_1 &= \frac{1.989 \times 10^{-25} \text{ J m}}{390 \times 10^{-9} \text{ m}} = 5.10 \times 10^{-19} \text{ J} \\ &= \frac{5.10 \times 10^{-19} \text{ J}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ J/eV}} = 3.19 \text{ eV} \end{aligned}$$

- (ii) হলুদ-সবুজ আলোর জন্য $\lambda_2 = 550 \text{ nm}$ (গড় তরঙ্গদৈর্ঘ্য)

$$\begin{aligned} \text{আপতিত ফোটনের শক্তি, } E_2 &= \frac{1.989 \times 10^{-25} \text{ J m}}{550 \times 10^{-9} \text{ m}} \\ &= 3.62 \times 10^{-19} \text{ J} = 2.26 \text{ eV} \end{aligned}$$

- (iii) লাল আলোর জন্য $\lambda_3 = 760 \text{ nm}$ (উচ্চতর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের প্রান্তে)

$$\begin{aligned} \text{আপতিত ফোটনের শক্তি, } E_3 &= \frac{1.989 \times 10^{-25} \text{ J m}}{760 \times 10^{-9} \text{ m}} \\ &= 2.62 \times 10^{-19} \text{ J} = 1.64 \text{ eV} \end{aligned}$$

- (b) একটি আলোক তড়িৎ যন্ত্রকে চালিত করতে, আপতিত আলোর শক্তি E , পদার্থটির কার্য অপেক্ষক ϕ_0 -এর সমান বা ϕ_0 অপেক্ষা বেশি হওয়া প্রয়োজন। এইভাবে বেগুনি আলোতে ($E = 3.19 \text{ eV}$ সহ) আলোক সংবেদী পদার্থ Na ($\phi_0 = 2.75 \text{ eV}$ সহ), K ($\phi_0 = 2.30 \text{ eV}$ সহ) এবং Cs ($\phi_0 = 2.14 \text{ eV}$ সহ) তে আলোক তড়িৎ যন্ত্র কার্যকরী। এটি হলুদ-সবুজ ($E = 2.26 \text{ eV}$ সহ) আলোতে কেবলমাত্র Cs ($\phi_0 = 2.14 \text{ eV}$ সহ)-এর জন্য কার্যকরী। তথাপি এটি লাল আলোতে ($E = 1.64 \text{ eV}$ সহ) এসব আলোক সংবেদী পদার্থগুলোর কোনোটিতে কার্যকরী নয়।

উদাহরণ 11.3

11.8 পদার্থের তরঙ্গ প্রকৃতি (WAVE NATURE OF MATTER)

আলোর (সাধারণভাবে, তড়িৎচুম্বকীয় বিকিরণ) দ্বৈত প্রকৃতিটি (তরঙ্গ কণা), বর্তমান এবং পূর্ববর্তী অধ্যয়গুলোর অধ্যয়নে আমাদের কাছে স্পষ্টরূপে প্রতীয়মান হয়। আলোর তরঙ্গপ্রকৃতি ব্যতিচার (interference), অপবর্তন (diffraction) এবং সমাবর্তন (polarisation)-এর ঘটনাগুলোতে দৃষ্টিগোচর হয়। অন্যদিকে, আলোক তড়িৎ ক্রিয়া এবং কম্পটন ক্রিয়া, যেখানে শক্তি ও ভরবেগ হস্তান্তর অন্তর্ভুক্ত, বিকিরণ এমন আচরণ করে যেন এটি একগুচ্ছ কণা অর্থাৎ ফোটন দিয়ে তৈরি। কোনো পরীক্ষণ বুঝতে, কণা অথবা তরঙ্গ-প্রকৃতির মধ্যে কোনটি সর্বাধিক উপযোগী, সেটি পরীক্ষার প্রকৃতি উপর নির্ভর করে। উদাহরণস্বরূপ, আমাদের চোখের সাহায্যে কোনো বস্তুকে দেখার সুপরিচিত ঘটনায় কণা অথবা তরঙ্গ উভয় বর্ণনাই গুরুত্বপূর্ণ। চক্ষু-লেঙ্গ দ্বারা আলোকে একত্রিত এবং ফোকাসিংয়ের প্রক্রিয়া তরঙ্গ চিত্রণে ভালোভাবে বর্ণিত হয়েছে। কিন্তু রড এবং কোণ কোশ (রেটিনার মধ্যে) দ্বারা এর শোষণে আলোর ফোটন তত্ত্বের প্রয়োজন।

একটি স্বাভাবিক প্রশ্ন উঠে : যদি বিকিরণ দ্বৈত প্রকৃতির (তরঙ্গ-কণা) হয়, তবে কী প্রকৃতির কণাগুলো (ইলেকট্রন, প্রোটন প্রভৃতি) তরঙ্গের মতো বৈশিষ্ট্য প্রদর্শন করে? 1924 সালে ফ্রান্সের পদার্থবিদ লুই ভিক্টর ডি ব্রগলি (Louis Victor de Broglie) (ফ্রেন্স উচ্চারণে ডি ব্রয়) (1892-1987) এক নিষ্ঠীক প্রকল্প উপস্থাপন করেন যে, পদার্থের গতিশীল কণা উপযুক্ত পরিস্থিতিতে তরঙ্গ সদৃশ বৈশিষ্ট্য প্রদর্শন করতে পারে। উনার যুক্তিতে, প্রকৃতি প্রতিসম থাকে এবং এর দুটি মৌলিক ভৌত সত্ত্বা-পদার্থ এবং শক্তিরও প্রতিসম বৈশিষ্ট্য থাকা উচিত। যদি বিকিরণের দ্বৈতরূপ থাকে তবে পদার্থেরও তা থাকা উচিত। ডি-ব্রগলি প্রস্তাব করেন যে, p ভরবেগের একটি কণার সঙ্গে যুক্ত তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ নিম্নলিখিতভাবে দেওয়া যায় —

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} \quad (11.5)$$

যেখানে m হল কণাটির ভর এবং v -এর দ্রুতি। (11.5) সমীকরণটি ডি-ব্রগলি সম্পর্ক হিসেবে পরিচিত এবং পদার্থ তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ কে ডি-ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য বলে। পদার্থের দ্বৈত স্বরূপটি ডি-ব্রগলি সম্পর্কটিতে স্পষ্ট। (11.5) সমীকরণের বামপক্ষে λ হল একটি তরঙ্গের প্রতীক এবং ডানপক্ষে ভরবেগ p হল একটি কণার প্রতীকস্বরূপ। প্লাঙ্কের ধ্রুবক h দুটি প্রতীকের মধ্যে সম্পর্ক তৈরি করে।

একটি পদার্থ কণার জন্য (11.5) সমীকরণটি মূলত একটি প্রকল্প যার বৈধতা কেবলমাত্র পরীক্ষার দ্বারাই যাচাই করা যেতে পারে। তথাপি, এটি খুবই মজাদার যে, ফোটনও এটি মেনে চলে। একটি ফোটনের জন্য আমরা যেমন দেখেছি,

$$p = hv / c \quad (11.6)$$

কাজেই,

$$\frac{h}{p} = \frac{c}{v} = \lambda \quad (11.7)$$

অর্থাৎ (11.5) সমীকরণ দ্বারা দেওয়া একটি ফোটনের ডি-ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্যটি তড়িৎচুম্বকীয় বিকিরণের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সমান যার ফোটনটি হল শক্তি এবং ভরবেগের একটি কোয়ান্টাম।

(11.5) সমীকরণ থেকে এটি স্পষ্ট যে, একটি ভারী কণার (বিশাল m) বা অধিক শক্তিসম্পন্ন কণার (বিশাল v) জন্য λ ক্ষুদ্রতর হয়। উদাহরণস্বরূপ, 20 m s^{-1} দ্রুতিসম্পন্ন 0.12 kg ভরের একটি বলের ডি-ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্যটি সহজে গণনা করা যায় :

বিকিরণ এবং পদার্থের দ্বৈত প্রকৃতি

আলোক কোশ (PHOTOCELL)

আলোক কোশ আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার একটি প্রযুক্তিগত প্রয়োগ। এটি একটি যন্ত্র যার তড়িতিক বৈশিষ্ট্য আলো দ্বারা প্রভাবিত হয়। কখনো কখনো এটিকে তড়িৎনেত্রও বলা হয়। একটি আলোক কোশে একটি আলোক সংবেদী অর্ধ-চৌম্বকার ধাতব প্লেট C (নিঃসারক) এবং একটি তারের লুপ A (সংগ্রাহক) আছে যা একটি বায়ুশূন্য কাচ বা কোয়ার্টজ বাল্বে লাগানো থাকে। এটি উচ্চবিভব সম্পন্ন একটি ব্যাটারি B এবং মাইক্রো অ্যামিটার (μA) যুক্ত বহিঃবর্তনীর সঙ্গে সংযুক্ত থাকে যেমনটা চিত্রে দেখানো আছে। কখনো কখনো প্লেট C-এর পরিবর্তে বাল্বটির ভেতরে আলোক সংবেদী পদার্থের একটি পাতলা স্তরের প্রলেপও থাকে। আলো প্রবেশের জন্য বাল্বটির একটি অংশ স্বচ্ছ রাখা হয়।

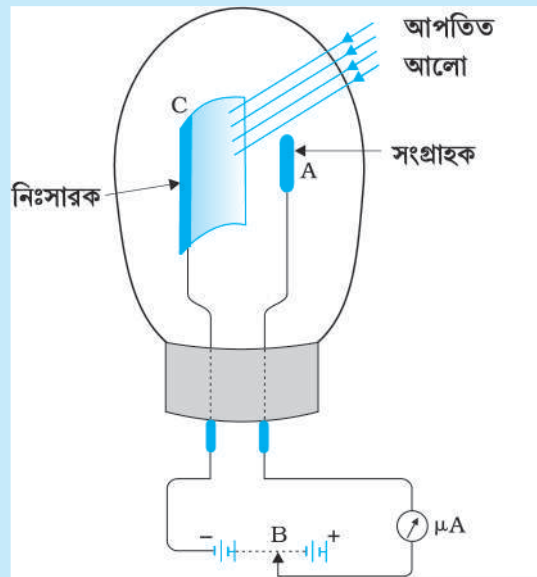
নিঃসারক C-এর উপর উপযুক্ত তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো পড়লে ফটোইলেকট্রন নিঃসৃত হয়। এই ফটোইলেকট্রনগুলো সংগ্রাহক A তে আকর্ষিত হয়। একটি আলোক কোশ থেকে সাধারণত কয়েক মাইক্রো-অ্যাম্পায়ার পর্যায়ের আলোকতড়িৎ পাওয়া যেতে পারে।

একটি আলোককোশ দীপনমাত্রার পরিবর্তনের মাধ্যমে আলোকতড়িৎ প্রবাহের পরিবর্তন ঘটায়। এই প্রবাহ নিয়ন্ত্রণ তন্ত্র চালনা এবং আলোকমাপক যন্ত্রে ব্যবহৃত করা যেতে পারে। অবলোহিত বিকিরণে সংবেদী একটি লেড সালফাইডের আলোককোশ। ইলেকট্রনিক প্রজ্জ্বলন বর্তনীতে ব্যবহৃত হয়।

বৈজ্ঞানিক কাজে, আলোর তীব্রতা পরিমাপের প্রয়োজন হলে আলোক কোশ ব্যবহার করা হয়। ফটোগ্রাফিক ক্যামেরায় লাইট মিটারে আপতিত আলোর তীব্রতা পরিমাপ করতে আলোক কোশ ব্যবহার করা হয়। আলো তড়িৎবর্তনীতে অন্তর্ভুক্ত আলোক কোশ স্বয়ংক্রিয় দ্বার নিয়ন্ত্রক হিসেবে ব্যবহৃত হয়। দরজার দিকে অগ্রসরমান কোনো ব্যক্তির জন্য আলোক কোশে আপতিত আলোক রশ্মিগুচ্ছে সাময়িক বিরতি ঘটাতে পারে। আলোক তড়িৎের আকস্মিক পরিবর্তনকে দরজা খোলার মোটরকে আরম্ভ করতে বা এলার্ম বাজাতে ব্যবহৃত হতে পারে। এগুলো গণনাযন্ত্র নিয়ন্ত্রণে ব্যবহৃত হয় যা ব্যক্তি বা বস্তু দ্বারা আলোকরশ্মিকে অতিক্রমের কারণে সৃষ্ট রশ্মি আপতনের প্রত্যেকটি বাধাকে লিপিবদ্ধ করে রাখে। এজন্য, কোনো প্রেক্ষাগৃহে এক-একজন করে প্রবেশকারী ব্যক্তিদের গণনা করে নিতে আলোক কোশ সহায়ক হয়। এগুলো ট্রাফিক আইন ভঙ্গকারীদের চিহ্নিত করতে ব্যবহৃত হয় : যখনই বিকিরণ রশ্মিগুচ্ছে (অদৃশ্য) বৃদ্ধ হয় তখন একটি এলার্ম বাজবে।

চোর এলার্মে, দরজায় লাগানো আলোক কোশের উপর অতিবেগুনি আলোকে (অদৃশ্য) নিরবচ্ছিন্নভাবে পড়তে দেওয়া হয়। দরজার দিকে অগ্রসরমান ব্যক্তি দ্বারা আলোক কোশের উপর নিরবচ্ছিন্ন আলো আপতনে বিঘ্ন ঘটায়। আলোক তড়িৎের আকস্মিক পরিবর্তনে একটি ইলেকট্রিক বেল বাজতে শুরু করে। ফায়ার এলার্মের জন্য বিল্ডিংয়ের উপযুক্ত স্থানগুলোতে আলোক কোশ লাগানো হয়। আগুন লাগলে বিকিরিত আলো আলোক কোশের উপর পড়ে। এতে বৈদ্যুতিক ঘন্টা বা সাইরেনকে নিয়ে তড়িৎবর্তনীটি সম্পূর্ণ হয় এবং একটি সতর্কতামূলক সংকেত হিসেবে এটি কার্য শুরু করে দেয়।

চলচ্চিত্রে শব্দের পুনরোৎপাদনে এবং টেলিভিশন ক্যামেরায় দৃশ্যকে ক্রমবীক্ষণ বা স্ক্যানিং এবং টেলিভিশন সম্প্রসারণের কাজে আলোক কোশ ব্যবহৃত হয়। শিল্প উদ্যোগে ধাতব পাতে ফাটল বা ছিদ্র অন্বেষণের কাজে এগুলো ব্যবহৃত হয়।



একটি আলোক কোশ

$$p = m v = 0.12 \text{ kg} \times 20 \text{ m s}^{-1} = 2.40 \text{ kg m s}^{-1}$$

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \text{ J s}}{2.40 \text{ kg m s}^{-1}} = 2.76 \times 10^{-34} \text{ m}$$



লুই ভিক্টর ডি-ব্রগলি [Louis Victor de Broglie (1892 – 1987)] ফ্রান্সের পদার্থবিদ যিনি পদার্থের তরঙ্গ প্রকৃতির বৈপ্লবিক ধারণা উত্থাপন করেন। এরউইন শ্রোডিন্জার (Erwin Schrödinger)-এ ধারণাটিকে কোয়ান্টাম মেকানিকের একটি পূর্ণাঙ্গ তত্ত্বে উন্নীত করেন যা সাধারণভাবে ওয়েভ মেকানিক্স হিসেবে পরিচিত। ইলেকট্রনের তরঙ্গ প্রকৃতি আবিষ্কারের জন্য 1929 সালে তাঁকে নোবেল পুরস্কারে সম্মানিত করা হয়।

এই তরঙ্গদৈর্ঘ্য এত ক্ষুদ্র যে, এটি যে-কোনো পরিমাপ সীমার বাইরে। এ কারণেই আমাদের জীবনে স্থূল বস্তুসমূহ তরঙ্গ-সদৃশ ধর্মাবলি প্রদর্শন করে না। অন্যদিকে, অব-পারমাণবিক ডোমেনে (sub-atomic domain) কণাসমূহের তরঙ্গ বৈশিষ্ট্যটি তাৎপর্যপূর্ণ এবং পরিমাপযোগ্য।

ধরো, একটি ইলেকট্রন (ভর m , আধান e) স্থিরাবস্থা থেকে V বিভবের মধ্য দিয়ে ত্বরিত হল। ইলেকট্রনটির গতিশক্তি K , তড়িৎক্ষেত্রটি দ্বারা এর উপর কৃতকার্য (eV) এর সমান :

$$K = eV \quad (11.8)$$

$$\text{এখন, } K = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{p^2}{2m}, \text{ যাতে}$$

$$p = \sqrt{2mK} = \sqrt{2meV} \quad (11.9)$$

ইলেকট্রনটির ডি-ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য তখন হবে

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2mK}} = \frac{h}{\sqrt{2meV}} \quad (11.10)$$

h, m, e -এর সাংখ্য মানগুলো প্রতিস্থাপিত করে আমরা পাই,

$$\lambda = \frac{1.227}{\sqrt{V}} \text{ nm} \quad (11.11)$$

যেখানে V হল ভোল্ট এককে ত্বরিত বিভবের মান। 120 V ত্বরিত বিভবের জন্য (11.11) সমীকরণ থেকে পাওয়া যায় $\lambda = 0.112 \text{ nm}$ । এই তরঙ্গদৈর্ঘ্যটি কেলাসে পারমাণবিক তলের মধ্যে ব্যবধানের সম পর্যায়ে হয়।

এটি ইঙ্গিত করে যে, একটি ইলেকট্রনের সঙ্গে যুক্ত পদার্থ-তরঙ্গকে X-রশ্মি বিবর্তনের অনুরূপ কেলাক বিবর্তন পরীক্ষা দ্বারা যাচাই করা যাবে। আমরা পরবর্তী অনুচ্ছেদে ডি-ব্রগলি প্রকল্পটির পরীক্ষামূলকভাবে সত্যতা যাচাইয়ের বর্ণনা করবো। ইলেকট্রনের তরঙ্গ প্রকৃতি আবিষ্কারের জন্য ডি-ব্রগলিকে 1929 সালে পদার্থবিদ্যায় নোবেল পুরস্কারে সম্মানিত করা হয়।

পদার্থ-তরঙ্গ তত্ত্বটি হাইজেনবার্গের অনিশ্চয়তার নীতি (Heisenberg's uncertainty principle) কে সুচারুরূপে অন্তর্ভুক্ত করে। এই নীতি অনুসারে, একই সময়ে কোনো ইলেকট্রনের (বা অন্য কোনো কণা) অবস্থান এবং ভরবেগ উভয়কে সঠিকভাবে পরিমাপ করা সম্ভব নয়। সর্বদাই, অবস্থানের সবিস্তার সুনির্দিষ্টকরণে কিছু অনিশ্চয়তা (Δx) এবং ভরবেগের সবিস্তার সুনির্দিষ্টকরণে কিছু অনিশ্চয়তা (Δp) হয়ে থাকে। Δx এবং Δp -এর গুণফলের একটি নিম্নতর সীমা \hbar^* (যা $\hbar = h/2\pi$) পর্যায়ে হয়, অর্থাৎ

$$\Delta x \Delta p \approx \hbar \quad (11.12)$$

(11.12) সমীকরণটি এ সম্ভাবনার অনুমতি দেয় যে, Δx শূন্য হয়; কিন্তু তখন Δp অবশ্যই অসীম হতে হবে যাতে গুণফলটি শূন্য না হয়। একইভাবে, যদি Δp শূন্য হয়, তবে Δx অবশ্যই অসীম হতে হবে। সাধারণত Δx এবং Δp উভয়েই শূন্য হয় না যাতে এদের গুণফল \hbar হয়।

এখন, যদি একটি ইলেকট্রনের একটি নির্দিষ্ট ভরবেগ p থাকে, (অর্থাৎ, $\Delta p = 0$), তবে ডি-ব্রগলি সম্পর্ক অনুসারে এর একটি নির্দিষ্ট তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ থাকে। একটি নির্দিষ্ট (একটিমাত্র)

* বিশদভাবে আলোচনা থেকে আমরা পাই $\Delta x \Delta p \geq \hbar/2$.

বিকিরণ এবং পদার্থের দ্বৈত প্রকৃতি

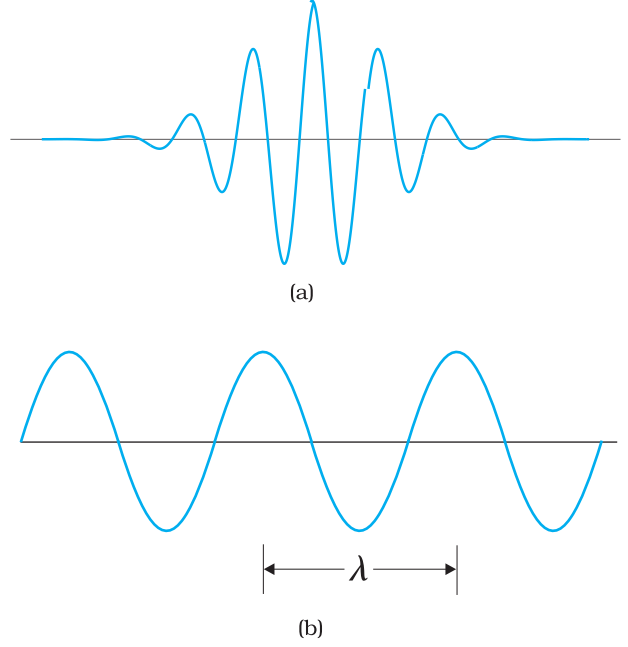
তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তরঙ্গের বিস্তার সমগ্র স্থানে (space) হয়। বর্ণের (Born's) সম্ভাব্যতার ব্যাখ্যা দ্বারা এর অর্থ দাঁড়ায় যে, ইলেকট্রন দেশ (Space)-এর কোনো সীমিত অঞ্চলে আবদ্ধ নয়। অর্থাৎ এর অবস্থান অনিশ্চয়তা অসীম ($\Delta x \rightarrow \infty$), যা অনিশ্চয়তার নীতির সঙ্গে সংগতিপূর্ণ হয়।

সাধারণত ইলেকট্রনের সঙ্গে যুক্ত পদার্থ-তরঙ্গটি সমগ্র দেশে বিস্তৃত নয়। এটি একটি তরঙ্গ প্যাকেট রূপে দেশের এক সীমিত অঞ্চলে বিস্তৃত। সেক্ষেত্রে Δx অসীম নয় বরং তরঙ্গ প্যাকেটের বিস্তার নির্ভর কিছু পরিমিত মান হয়। তোমাকেও অবশ্যই উপলব্ধি করতে হবে যে, পরিমিত বিস্তারের একটি তরঙ্গ প্যাকেটে শুধুমাত্র একটি তরঙ্গদৈর্ঘ্য থাকে না। কোনো কেন্দ্রীয় তরঙ্গদৈর্ঘ্যের চারপাশে বিস্তৃত তরঙ্গগুলোকে নিয়ে এটি তৈরি।

সেক্ষেত্রে ডি-ব্রগলি সম্পর্ক অনুযায়ী ইলেকট্রনের ভরবেগে Δp পাল্লার এক অনিশ্চয়তা থাকবে। যা অনিশ্চয়তা নীতি অনুসারে প্রত্যাশিত ছিল। এটি দেখানো যায় যে, তরঙ্গ প্যাকেটের ব্যাখ্যা, ডি-ব্রগলি সম্পর্ক এবং বর্নের (Born's) সম্ভাব্যতার ব্যাখ্যার সমন্বয়ে হাইজেনবার্গের অনিশ্চয়তা নীতিকে যথাযথভাবে পুনঃপ্রতিষ্ঠা করা যায়।

দ্বাদশ অধ্যায়-এ ডি-ব্রগলি সম্পর্কটিকে একটি পরমাণুতে ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগের কোয়ান্টায়নের উপর ভিত্তি করে বোরের স্বীকার্যগুলোকে সমর্থন করতে দেখা যাবে।

চিত্র 11.6 (a) তে একটি স্থানীয় তরঙ্গ প্যাকেট এবং 11.6 (b) তে স্থির তরঙ্গদৈর্ঘ্যের জন্য বিস্তৃত তরঙ্গের একটি রূপরেখা চিত্র দেখানো হয়েছে।



চিত্র 11.6 (a) একটি ইলেকট্রনের তরঙ্গ প্যাকেটের বিবরণ। তরঙ্গ প্যাকেটটি কোনো কেন্দ্রীয় তরঙ্গের (এবং ডি-ব্রগলি সম্পর্ক দ্বারা ভরবেগের বিস্তার) চারপাশে বিস্তৃত তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অনুরূপ। ফলস্বরূপ এটি অবস্থান অনিশ্চয়তা (Δx) এবং ভরবেগের এক অনিশ্চয়তা (Δp)-এর সঙ্গে যুক্ত। (b) কোনো ইলেকট্রনের নিশ্চিত ভরবেগের অনুরূপ পদার্থ-তরঙ্গ সমগ্র স্পেসে বিস্তৃত। এক্ষেত্রে, $\Delta p = 0$ এবং $\Delta x \rightarrow \infty$ ।

উদাহরণ 11.4 (a) 5.4×10^6 m/s দ্রুতিতে গতিশীল একটি ইলেকট্রন, এবং (b) 30.0 m/s দ্রুতিতে গতিশীল 150 g ভরের একটি বলের সঙ্গে যুক্ত ডি-ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্যটি কত হবে?

সমাধান

(a) ইলেকট্রনের জন্য :

$$\text{ভর } m = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg, দ্রুতি } v = 5.4 \times 10^6 \text{ m/s. তখন, ভরবেগ } p = m v$$

$$= 9.11 \times 10^{-31} \text{ (kg)} \times 5.4 \times 10^6 \text{ (m/s)}$$

$$p = 4.92 \times 10^{-24} \text{ kg m/s}$$

$$\text{ডি-ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য, } \lambda = h/p$$

$$= \frac{6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}}{4.92 \times 10^{-24} \text{ kg m/s}}$$

$$\lambda = 0.135 \text{ nm}$$

(b) বলটির জন্য :

$$\text{ভর } m' = 0.150 \text{ kg, দ্রুতি } v' = 30.0 \text{ m/s.}$$

$$\text{তখন ভরবেগ, } p' = m' v' = 0.150 \text{ (kg)} \times 30.0 \text{ (m/s)}$$

$$p' = 4.50 \text{ kg m/s}$$

$$\text{ডি-ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য, } \lambda' = h/p'.$$

$$= \frac{6.63 \times 10^{-34} \text{ J s}}{4.50 \times \text{kg m/s}}$$

$$\lambda' = 1.47 \times 10^{-34} \text{ m}$$

ইলেকট্রনের ডি-ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্যটি X-রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সঙ্গে তুলনীয়। কিন্তু বলটির জন্য একটি প্রোটনের আকারের প্রায় 10^{-19} গুণ হয়, যা পরীক্ষামূলক পরিমাপ সীমার সম্পূর্ণ বাইরে।

উদাহরণ 11.5 একটি ইলেকট্রন, একটি α -কণা এবং একটি প্রোটনের গতিশক্তি সমান। এই কণাসমূহের মধ্যে কোন্টির ডি-ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য ক্ষুদ্রতম ?

সমাধান

একটি কণার ডি-ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = h/p$

$$\text{গতিশক্তি, } K = p^2/2m$$

$$\text{তখন, } \lambda = h / \sqrt{2mK}$$

একই গতিশক্তি K -এর জন্য, কণার সঙ্গে যুক্ত ডি-ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্যটি এদের ভরের বর্গমূলের ব্যস্তানুপাতী। একটি প্রোটন (${}^1_1\text{H}$), একটি ইলেকট্রন অপেক্ষা 1836 গুণ ভারী এবং একটি α -কণা (${}^4_2\text{He}$), একটি প্রোটন অপেক্ষা চারগুণ ভারী।

কাজেই, α - কণার ডি-ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্যটি ক্ষুদ্রতম হয়।

পদার্থ তরঙ্গে সম্ভাব্যতার ব্যাখ্যা

(PROBABILITY INTERPRETATION TO MATTER WAVES)

এখানে এই বস্তুবোনের উপর গুরুত্ব দেওয়া উচিত হবে যে, কোনো কণার, (যেমন ইলেকট্রন) সঙ্গে যুক্ত পদার্থ তরঙ্গ কী বোঝায়। বাস্তবে, পদার্থের দ্বৈত প্রকৃতি এবং বিকিরণের একটি সত্যিকার সন্তোষজনক ভৌত উপলব্ধি এখনও সম্ভবপর হয়নি। কোয়ান্টাম মেকানিক্সের মহান প্রতিষ্ঠাতাগণ (নীল্‌স বোর, এলবার্ট আইনস্টাইন এবং আরও অনেকে) দীর্ঘ সময় ধরে এটি এবং এর ধারণা সম্পর্কিত বিষয় নিয়ে কঠোর পরিশ্রম করেছেন। এখনো কোয়ান্টাম মেকানিক্সের গভীর তাৎপর্যপূর্ণ ভৌত ব্যাখ্যার ক্ষেত্রটি সক্রিয় গবেষণার বিষয়। এ সত্ত্বেও, পদার্থ তরঙ্গের ধারণাটি আধুনিক কোয়ান্টাম মেকানিক্সে গাণিতিকভাবে খুবই সফলতার সঙ্গে উপস্থাপিত হয়েছে। মাক্স বর্নের (Max Born) (1882-1970) পদার্থ-তরঙ্গ বিস্তারের (amplitude) উপর সম্ভাব্যতা ব্যাখ্যার প্রস্তাবটি এ সম্পর্কিত একটি গুরুত্বপূর্ণ মাইলফলক। এ প্রস্তাব অনুযায়ী, কোনো বিন্দুতে পদার্থ তরঙ্গের তীব্রতা (বিস্তারের বর্গ) ওই বিন্দুতে কণাটির সম্ভাব্যতা ঘনত্ব নির্ধারণ করে। সম্ভাব্যতা ঘনত্বের অর্থ হল প্রতি একক আয়তনে সম্ভাব্যতা। এভাবে, একটি বিন্দুতে তরঙ্গের বিস্তার A হলে ওই বিন্দুর চারপাশের একটি ক্ষুদ্র ΔV আয়তনে কণাটির সম্ভাব্যতা $|A|^2 \Delta V$ পাওয়া যায়। কাজেই, কোনো নির্দিষ্ট ক্ষেত্রে যদি পদার্থ তরঙ্গের তীব্রতা কম হয়, তবে সেই তুলনায় যেখানে তীব্রতা অধিক সেখানে কণাটিকে পাওয়ার সম্ভাব্যতা অধিক হয়।

উদাহরণ 11.6 একটি কণা একটি ইলেকট্রনের তিন গুণ দ্রুতিতে গতিশীল। কণাটির ডি-ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সঙ্গে ইলেকট্রনটির ডি-ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অনুপাত 1.813×10^{-4} । কণাটির ভর গণনা করো এবং কণাটিকে শনাক্ত করো।

সমাধান

m ভর এবং v বেগ সম্পন্ন গতিশীল কণার ডি-ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য :

বিকিরণ এবং পদার্থের দ্বৈত প্রকৃতি

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$$

ভর, $m = h/\lambda v$

একটি ইলেকট্রনের জন্য, ভর $m_e = h/\lambda_e v_e$

এখন, আমরা পাই, $v/v_e = 3$ এবং $\lambda/\lambda_e = 1.813 \times 10^{-4}$

তখন, কণাটির ভর, $m = m_e \left(\frac{\lambda_e}{\lambda}\right) \left(\frac{v_e}{v}\right)$

$$m = (9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}) \times (1/3) \times (1/1.813 \times 10^{-4})$$

$$m = 1.675 \times 10^{-27} \text{ kg.}$$

কাজেই, এরূপ ভরসম্পন্ন কণাটি একটি প্রোটন বা একটি নিউট্রন হবে।

উদাহরণ 11.6

উদাহরণ 11.7 100V বিভব পার্থক্যের মধ্য দিয়ে ত্বরিত কোনো ইলেকট্রনের সঙ্গে যুক্ত ডি-ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্যটি কত হবে?

সমাধান ত্বরণ সৃষ্টিকারী বিভব $V = 100 \text{ V}$ । ডি-ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য, λ

$$\lambda = h/p = \frac{1.227}{\sqrt{V}} \text{ nm}$$

$$\lambda = \frac{1.227}{\sqrt{100}} \text{ nm} = 0.123 \text{ nm}$$

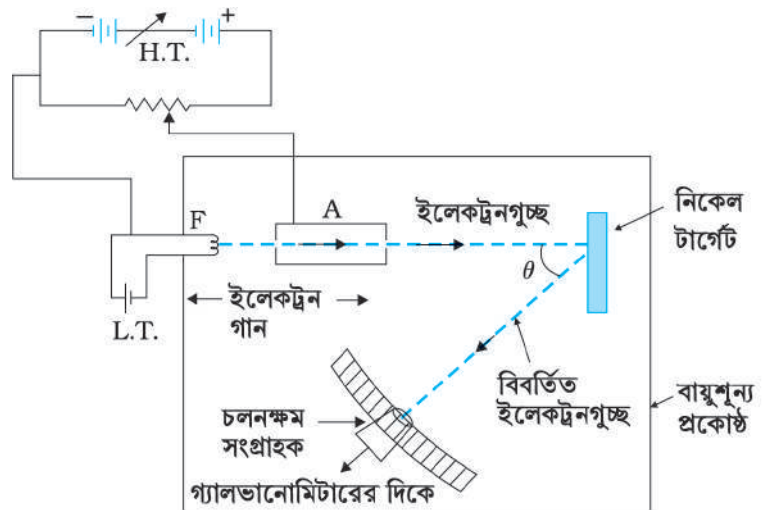
এক্ষেত্রে, একটি ইলেকট্রনের সঙ্গে সম্পর্কিত ডি-ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য ও X-রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য একই পর্যায়ে।

উদাহরণ 11.7

11.9 ডেভিসন এবং গার্মার পরীক্ষা (DAVISSON AND GERMER EXPERIMENT)

সি.জে.ডেভিসন (C.J. Davison) এবং এল.এইচ.গার্মার (L.H. Germer) ইলেকট্রনের তরঙ্গ প্রকৃতিটি পরীক্ষামূলকভাবে যাচাই করে দেখেন এবং 1928 সালে জি পি থমসন (G.P. Thomson) স্বাধীনভাবে কেলাস দ্বারা বিক্ষেপিত ইলেকট্রনগুচ্ছের অপবর্তন প্রভাব পর্যবেক্ষণ করেন। ডেভিসন এবং থমসন কেলাস দ্বারা ইলেকট্রন অপবর্তনকে পরীক্ষামূলকভাবে আবিষ্কারের জন্য 1937 সালে যুগ্মভাবে নোবেল পুরস্কার লাভ করেন।

ডেভিসন এবং গার্মার কর্তৃক ব্যবহৃত পরীক্ষামূলক ব্যবস্থাপনাটির রূপরেখা 11.7 চিত্রে দেখানো হয়েছে। এখানে একটি ইলেকট্রন গান থাকে, যা বেরিয়াম অক্সাইডে প্রলেপযুক্ত একটি টাংস্টেন ফিলামেন্ট দিয়ে



চিত্র 11.7 ডেভিসন-গার্মার ইলেকট্রন অপবর্তনের ব্যবস্থাপনা।

তৈরি এবং এটিকে কম বিভব (L.T. বা ব্যাটারি) উৎসের সাহায্যে উত্তপ্ত করা হয়। ফিলামেন্ট থেকে নির্গত ইলেকট্রনগুলোকে উচ্চ ভোল্টেজের শক্তি উৎস (H.T. অথবা ব্যাটারি) থেকে উপযুক্ত বিভব/ভোল্টেজ প্রয়োগের মাধ্যমে প্রত্যাশিত বেগে ত্বরিত করা হয়। এগুলোকে একটি চোঙের অক্ষ বরাবর সরু ছিদ্রের মধ্য দিয়ে অতিক্রম করিয়ে একটি সরু সমান্তরালগুচ্ছ (beam) সৃষ্টি করা হয়। গুচ্ছটিকে একটি নিকেল কেলাসের পৃষ্ঠতলে ফেলা হয়। কেলাসটির পরমাণুগুলো দ্বারা ইলেকট্রনগুলো সর্বদিকে বিক্ষিপ্ত হয়। প্রদত্ত একটি অভিমুখে বিক্ষিপ্ত ইলেকট্রনগুচ্ছের তীব্রতাকে ইলেকট্রন শনাক্তকরণ (detector) (সংগ্রাহক) দ্বারা মাপা হয়। শনাক্তকারকটি একটি বৃত্তাকার স্ক্রলের উপর ঘুরতে পারে এবং এটি একটি সুবেদী গ্যালভানোমিটারের সঙ্গে যুক্ত থাকে, যা প্রবাহমাত্রার পাঠ দেখায়। গ্যালভানোমিটারটির বিক্ষেপ সংগ্রাহকে প্রবেশকারী ইলেকট্রনগুচ্ছের তীব্রতার সমানুপাতিক হয়। যন্ত্রটিকে একটি বায়ুশূন্য প্রকোষ্ঠে রাখা হয়। বৃত্তাকার স্ক্রলের উপর সংগ্রাহকটিকে ঘুরিয়ে বিভিন্ন অবস্থানে রেখে বিক্ষেপণ কোণ θ -এর বিভিন্ন মানের জন্য বিক্ষিপ্ত ইলেকট্রনগুচ্ছের তীব্রতাকে মাপা হয়। এখানে θ হল আপতিত এবং বিক্ষিপ্ত ইলেকট্রনগুচ্ছের মধ্যে কোণ। θ বিক্ষেপণ কোণে বিক্ষিপ্ত ইলেকট্রনের তীব্রতা I -এর পরিবর্তনটি বিভিন্ন ত্বরিত বিভবের জন্য নেওয়া হয়।

ত্বরিত বিভবকে 44 V থেকে 68 V পর্যন্ত পরিবর্তন করে পরীক্ষাটি সম্পন্ন করা হয়েছিল। এটি দেখা যায় যে, 54V ত্বরিত বিভবে $\theta = 50^\circ$ বিক্ষেপণ কোণে বিক্ষিপ্ত ইলেকট্রনের তীব্রতার (I) লেখটি একটি তীক্ষ্ণ শীর্ষে পৌঁছায়।

নির্দিষ্ট একটি দিকে শীর্ষটির উপস্থিতি কেলাসটির নিয়মিত ব্যবধানের পরমাণুগুলোর বিভিন্ন স্তর থেকে বিক্ষিপ্ত ইলেকট্রনের গঠনমূলক ব্যতিচারের দরুন হয়। ইলেকট্রন বিবর্তন পরিমাপ থেকে পদার্থ তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য 0.165 nm পাওয়া গেছে।

(11.11) সমীকরণ ব্যবহার করে, $V = 54 \text{ V}$ -এর জন্য ইলেকট্রন সংশ্লিষ্ট ডি-ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ) কে এভাবে পাওয়া যায়,

$$\lambda = h / p = \frac{1.227}{\sqrt{V}} \text{ nm}$$

$$\lambda = \frac{1.227}{\sqrt{54}} \text{ nm} = 0.167 \text{ nm}$$

কাজেই, ডি-ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্যটির তাত্ত্বিক মান ও পরীক্ষালব্ধ মানের মধ্যে যথাযথ সদৃশতা রয়েছে। ডেভিসন-গার্মার পরীক্ষা এভাবে ইলেকট্রনের তরঙ্গ প্রকৃতি এবং ডি-ব্রগলি সম্পর্কটিকে জোড়ালোভাবে নিশ্চিত করে। অতি সম্প্রতি 1989 সালে আলোর তরঙ্গ-প্রকৃতির জন্য ব্যবহৃত দ্বি-ছিদ্র (double-slit) পরীক্ষার অনুরূপ ইলেকট্রনগুচ্ছের তরঙ্গ প্রকৃতিটি পরীক্ষামূলকভাবে প্রদর্শিত হয়েছে। 1994 সালেও, একটি পরীক্ষায়, আয়োডিন অণুগুচ্ছের (যা ইলেকট্রনের তুলনায় প্রায় 10 লাখ গুণ ভারী) জন্য ব্যতিচার ঝালর (fringe) পাওয়া গেছে।

ডি-ব্রগলি প্রকল্পটি আধুনিক কোয়ান্টাম বলবিজ্ঞানের ভিত্তি। এটি ইলেকট্রন আলোক বিজ্ঞানেরও পথপ্রদর্শক। ইলেকট্রনের তরঙ্গ প্রকৃতিটি ইলেকট্রন অণুবীক্ষণের নক্সায় ব্যবহৃত হয়েছে যা আলোকীয় অণুবীক্ষণের তুলনায় উচ্চতর বিশ্লেষণী-ক্ষমতাসম্পন্ন এবং খুবই উন্নত মানের।

বিকিরণ এবং পদার্থের দ্বৈত প্রকৃতি

সারাংশ

1. কোনো ইলেকট্রনকে ধাতবপৃষ্ঠ থেকে বের হয়ে আসতে প্রয়োজনীয় ন্যূনতম শক্তিকে বলা হয় ধাতুটির কার্য অপেক্ষক। শক্তির (ধাতবপৃষ্ঠ থেকে ইলেকট্রন নিঃসরণের জন্য প্রয়োজনীয় ন্যূনতম শক্তি) তথা কার্য অপেক্ষক ϕ_0 অপেক্ষা বৃহত্তর) যোগান দিতে ধাতুটিকে উপযুক্তভাবে উত্তপ্ত করা অথবা শক্তিশালী তড়িৎক্ষেত্র প্রয়োগ অথবা একে উপযুক্ত কম্পাঙ্কের আলো দ্বারা উদ্দীপ্ত করা যেতে পারে।
2. ধাতুকে উপযুক্ত কম্পাঙ্কের আলো দ্বারা উদ্দাসিত করে ইলেকট্রন নিঃসরণের একটি ঘটনা হল আলোকতড়িৎ ক্রিয়া। কিছু ধাতু অতিবেগুনি আলোতে প্রতিক্রিয়া দেখায়, যেখানে অন্যগুলো এমন কি দৃশ্যমান আলোতেও সংবেদী হয়।

আলোক তড়িৎ ক্রিয়ায় আলোক শক্তির তড়িৎশক্তিতে রূপান্তর ঘটে। এটি শক্তির সংরক্ষণ সূত্র মেনে চলে। আলোক তড়িৎ নিঃসরণ একটি তাৎক্ষণিক ক্রিয়া এবং এর কিছু বিশেষ বৈশিষ্ট্য আছে।

3. আলোক তড়িৎ প্রবাহ নিচের বিষয়গুলোর উপর নির্ভর করে (i) আপতিত আলোর তীব্রতা (ii) দুটি তড়িৎদ্বারের মধ্যে প্রযুক্ত বিভব প্রভেদ এবং (iii) নিঃসারক ধাতুটির প্রকৃতি।
4. নিবৃত্তি বিভব (V_0) নির্ভর করে — (i) আপতিত আলোর কম্পাঙ্ক এবং (ii) ধাতব নিঃসারকটির প্রকৃতির উপর। একটি নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কের আপতিত আলোর জন্য এটি এর তীব্রতা নিরপেক্ষ হয়। নিবৃত্তি বিভবটি নিঃসৃত ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তির সমানুপাতিক :

$$e V_0 = (1/2) m v_{max}^2 = K_{max}$$

5. একটি নির্দিষ্ট কম্পাঙ্ক (সূচনা কম্পাঙ্ক) ν_0 -এর নিচে, যা ধাতুটির বৈশিষ্ট্য, যত উচ্চ তীব্রতার আলোই হোক না কেন কোন আলোকতড়িৎ নিঃসরণ ঘটে না।
6. সনাতন (classical) তরঙ্গতত্ত্ব আলোক তড়িৎক্রিয়ার প্রধান বৈশিষ্ট্যগুলো ব্যাখ্যা করতে পারে না। বিকিরণ থেকে এর নিরবচ্ছিন্ন শক্তি শোষণের তত্ত্বটি তীব্রতার সঙ্গে K_{max} -এর নিরপেক্ষতা, ν_0 -এর অস্তিত্ব এবং প্রক্রিয়াটির তাৎক্ষণিক প্রকৃতি ব্যাখ্যা করতে পারে না। আলোর ফোটন তত্ত্বের উপর ভিত্তি করে আইনস্টাইন এ বৈশিষ্ট্যগুলো ব্যাখ্যা করেন। এ তত্ত্ব অনুসারে, আলো কতকগুলো বিচ্ছিন্ন শক্তির প্যাকেট দিয়ে তৈরি, এদের কোয়ান্টা বা ফোটন বলে। প্রত্যেকটি ফোটন কিছু শক্তি $E (= h\nu)$ এবং ভরবেগ $p (= h/\lambda)$ বহন করে যা আপতিত আলোর কম্পাঙ্ক (ν)-এর উপর নির্ভর করে এবং এর তীব্রতার উপর নির্ভর করে না। ধাতবপৃষ্ঠ থেকে আলোক তড়িৎ নিঃসরণ, একটি ইলেকট্রন কর্তৃক একটি ফোটন শোষণের কারণে হয়।
7. আইনস্টাইনের আলোক তড়িৎ সমীকরণ শক্তির সংরক্ষণ সূত্র অনুসারে হয়, যেমন ধাতুতে একটি ইলেকট্রন কর্তৃক ফোটন শোষণের ক্ষেত্রে প্রযুক্ত হয়। সর্বোচ্চ গতিশক্তি $(1/2)m v_{max}^2$ ফোটনের শক্তি ($h\nu$) থেকে অভীষ্ট ধাতুটির কার্য অপেক্ষক $\phi_0 (= h\nu_0)$ -এর বিয়োগফলের সমান হয়:

$$\frac{1}{2} m v_{max}^2 = V_0 e = h\nu - \phi_0 = h(\nu - \nu_0)$$

এই আলোকতড়িৎ সমীকরণটি আলোক তড়িৎক্রিয়ার সব বৈশিষ্ট্যগুলো ব্যাখ্যা করে। মিলিকানের প্রথম নিখুঁত পরিমাপ, আইনস্টাইনের আলোকতড়িৎ সমীকরণটির নিশ্চয়তা প্রদান করে এবং প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক h -এর একটি সঠিক মান পাওয়া যায়। এর দ্বারা আইনস্টাইন প্রবর্তিত তড়িৎচুম্বকীয় বিকিরণের কণা অথবা ফোটন বর্ণন (প্রকৃতি) স্বীকৃতি পায়।

8. বিকিরণের দ্বৈত প্রকৃতি : তরঙ্গ এবং কণা। পরীক্ষার প্রকৃতি থেকে এটি নির্ধারিত হয় যে, তরঙ্গ অথবা কণা রূপ বর্ণনের মধ্যে কোন্টি পরীক্ষালব্ধ ফলাফলে বুঝতে সর্বাধিক উপযুক্ত হবে। বিকিরণ

এবং পদার্থ প্রকৃতিতে প্রতিসম হবে — এ যুক্তিতে, লুই ভিক্টর ডি-ব্রগলি পদার্থে (পদার্থ-কণা) একটি তরঙ্গাসম বৈশিষ্ট্য আরোপ করেন। কোনো গতিশীল পদার্থ কণার সঙ্গে সংশ্লিষ্ট তরঙ্গকে পদার্থ তরঙ্গ অথবা ডি-ব্রগলি তরঙ্গ বলে।

- গতিশীল কণার সঙ্গে সংশ্লিষ্ট ডি-ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ)-এর p ভরবেগের সঙ্গে নিম্নলিখিত সম্পর্কে যুক্ত : $\lambda = h/p$ । পদার্থের দ্বৈত ধর্ম ডি-ব্রগলির সম্পর্কটিতে অন্তর্নিহিত, যেখানে একটি তরঙ্গ ধারণা (λ) এবং একটি কণা ধারণা (p)। ডি-ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্যটি পদার্থ কণার আধান ও প্রকৃতি নিরপেক্ষ হয়। তাৎপর্যপূর্ণভাবে, এটি কেবল অব-পারমাণবিক কণাসমূহের যেমন ইলেকট্রন, প্রোটন ইত্যাদির (এদের ভর এবং ভরবেগের ক্ষুদ্রতর মানের জন্য) জন্য পরিমেয় (কেলাসে পারমাণবিক-তলের মধ্যে দূরত্বের সমপর্যায়ের) হয়। তথাপি, সাধারণভাবে প্রাত্যহিক জীবনে সম্মুখীন স্থূল বস্তুসমূহের তুলনায় বাস্তবে এটি খুবই ছোটো।
- ডেভিসন ও গার্মার এবং জি.পি. থমসন দ্বারা ইলেকট্রন অপবর্তন পরীক্ষা এবং পরবর্তী সময়ে আরও অনেক পরীক্ষায় ইলেকট্রনের তরঙ্গ প্রকৃতির সত্যতা যাচাই হয়েছে এবং এটি নিশ্চয়তা পেয়েছে। পদার্থ তরঙ্গের উপর ডি-ব্রগলির প্রকল্পটি বোরের স্থায়ী কক্ষের ধারণাকে সমর্থন করে।

ভৌত রাশি	প্রতীক	মাত্রা	একক	মন্তব্য
প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক	h	$[ML^2T^{-1}]$	J s	$E = hv$
নিবৃত্তি বিভব	V_0	$[ML^2T^{-3}A^{-1}]$	V	$eV_0 = K_{max}$
কার্য অপেক্ষক	ϕ_0	$[ML^2T^{-2}]$	J; eV	$K_{max} = E - \phi_0$
সূচনা কম্পাঙ্ক	ν_0	$[T^{-1}]$	Hz	$\nu_0 = \phi_0 / h$
ডি-ব্রগলির তরঙ্গদৈর্ঘ্য	λ	[L]	m	$\lambda = h/p$

ভেবে দেখার বিষয়সমূহ

- কোনো ধাতুতে মুক্ত ইলেকট্রন এ অর্থে মুক্ত যে, ধাতুর ভেতরে একটি স্থির বিভবে এটি গতিশীল (এটি কেবলমাত্র একটি অনুমান) থাকে। এগুলো ধাতু থেকে বাইরে বের হবার জন্য মুক্ত নয়। ধাতু থেকে বের হতে এদের অতিরিক্ত শক্তির প্রয়োজন।
- কোনো ধাতুতে সব মুক্ত ইলেকট্রনের সমান শক্তি থাকে না। একটি গ্যাস জারে অণুগুলোর মতো, একটি প্রদত্ত তাপমাত্রায় ইলেকট্রনগুলোর মধ্যে একটি নির্দিষ্ট শক্তির বণ্টন হয়। এই বণ্টন সাধারণ ম্যাক্সওয়েল বণ্টন থেকে ভিন্ন যা তোমরা গ্যাসের গতীয় তত্ত্ব অধ্যয়নের সময় জেনেছ। এ বিষয়ে আমরা পরবর্তী পাঠক্রমে জানবো কিন্তু এ তত্ত্বটির সঙ্গে পার্থক্য এই যে, ইলেকট্রনগুলো পাউলির (Pauli's) অপবর্তন নীতি অনুসরণ করে।
- কোনো ধাতুতে মুক্ত ইলেকট্রনগুলোর শক্তি বণ্টনের কারণে ধাতু থেকে ইলেকট্রন বের হয়ে আসতে বিভিন্ন ইলেকট্রনের ভিন্ন ভিন্ন শক্তির প্রয়োজন। উচ্চতর শক্তি সম্পন্ন ইলেকট্রন ধাতু থেকে বের হয়ে আসতে কম শক্তি সম্পন্ন ইলেকট্রনের তুলনায় কম শক্তির প্রয়োজন হয়। কার্য অপেক্ষক হল ধাতু থেকে বের হয়ে আসতে কোনো ইলেকট্রনের প্রয়োজনীয় ন্যূনতম শক্তি।
- আলোক তড়িৎ ক্রিয়া পর্যবেক্ষণে এটি প্রতীয়মান হয় যে, পদার্থ ও আলোর পারস্পরিক ক্রিয়ায় শক্তির শোষণ, $h\nu$ -এর বিচ্ছিন্ন এককে সংঘটিত হয়। এটি বলা সঠিক হবে যে, আলো কণা

বিকিরণ এবং পদার্থের দ্বৈত প্রকৃতি

- সমষ্টি নিয়ে গঠিত, যাদের প্রত্যেকেই $h\nu$ শক্তি সম্পন্ন হয়।
5. নিবৃত্তি বিভবের পর্যবেক্ষণ (এর তীব্রতা নিরপেক্ষতা এবং কম্পাঙ্ক নির্ভরতা) তরঙ্গ-তত্ত্ব এবং আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার ফোটন তত্ত্বের মধ্যে পার্থক্য নির্ণয়ে গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে।
 6. পদার্থ তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = \frac{h}{p}$ -এর একটি ভৌত তাৎপর্য আছে; এর দশা-বেগ v_p -এর কোনো ভৌত তাৎপর্য নেই। তথাপি, পদার্থ তরঙ্গের সমূহ বেগটি (group velocity) ভৌত অর্থবহ এবং এটি কণার বেগের সমান হয়।

অনুশীলনী

- 11.1 30 kV ইলেকট্রন দ্বারা উৎপন্ন X-রশ্মির
 - (a) সর্বোচ্চ কম্পাঙ্ক এবং
 - (b) সর্বনিম্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় করো।
- 11.2 সিজিয়াম ধাতুর কার্য অপেক্ষক 2.14 eV। ধাতব পৃষ্ঠতলে 6×10^{14} Hz কম্পাঙ্কের আলো আপতিত হলে ইলেকট্রনের আলোক নিঃসরণ ঘটে।
 - (a) নিঃসৃত ফটোইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি,
 - (b) নিবৃত্তি বিভব এবং
 - (c) নিঃসৃত ফটোইলেকট্রনের সর্বোচ্চ দ্রুতি নির্ণয় করো।
- 11.3 একটি বিশেষ পরীক্ষায় আলোক তড়িৎ কাট-অফ ভোল্টেজটি 1.5 V হয়। নিঃসৃত ফটো ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি নির্ণয় কর।
- 11.4 একটি হিলিয়াম-নিয়ন লেসার দ্বারা 632.8 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের একবর্ণী আলোক উৎপন্ন হয়। নিঃসরিত ক্ষমতা 9.42 mW।
 - (a) আলোকগুচ্ছে প্রত্যেকটি ফোটনের শক্তি এবং ভরবেগ নির্ণয় করো।
 - (b) এই রশ্মিগুচ্ছ দ্বারা উদ্ভাসিত টার্গেটটিতে গড়ে প্রতি সেকেন্ডে কত সংখ্যক ফোটন পৌঁছাবে? (ধরে নাও যে, টার্গেট ক্ষেত্র অপেক্ষা রশ্মিগুচ্ছের সুসম প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফলটি ছোটো) এবং
 - (c) ফোটনের সমান ভরবেগ লাভ করার জন্য একটি হাইড্রোজেন পরমাণুকে কত বেগে চলতে হবে?
- 11.5 ভূপৃষ্ঠে পৌঁছানো সূর্যালোকের শক্তি ফ্লাক্স 1.388×10^3 W/m² হয়। প্রতি বর্গমিটারে প্রতি সেকেন্ডে কত সংখ্যক ফোটন আপতিত হয়? ধরে নাও যে, সূর্যালোকে ফোটনের গড় তরঙ্গদৈর্ঘ্য 550 nm।
- 11.6 আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার একটি পরীক্ষায় কাট-অফ ভোল্টেজ বনাম আপতিত আলোর কম্পাঙ্কের নতিটি 4.12×10^{-15} V s পাওয়া গেল। এ থেকে প্লাঙ্ক ধ্রুবকের মানটি গণনা করো।
- 11.7 100W একটি সোডিয়াম বাতি সর্বদিকে সুসমভাবে শক্তি বিকিরণ করে। বাতিটিকে এমন এক গোলকের কেন্দ্রে রাখা হয় যে, এর উপর আপতিত সোডিয়াম আলোকে সম্পূর্ণ শোষণ করে নেয়। সোডিয়াম আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য হল 589 nm। (a) সোডিয়াম আলোর সঙ্গে যুক্ত প্রতিটি ফোটনের শক্তি কত? (b) গোলকটিতে কী হারে ফোটন প্রদান করা হচ্ছে?
- 11.8 কোনো ধাতুর সূচনা কম্পাঙ্ক 3.3×10^{14} Hz। যদি ধাতুটির উপর 8.2×10^{14} Hz কম্পাঙ্কের আলো আপতিত হয় তবে আলোক তড়িৎ নিঃসরণের জন্য কাট-অফ ভোল্টেজটি কত হবে?

- 11.9** কোনো ধাতুর কার্য অপেক্ষক 4.2 eV । ধাতুটির উপর 330 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বিকিরণ আপতিত হলে আলোক তড়িৎ নিঃসরণ ঘটবে কী ?
- 11.10** একটি ধাতুর পৃষ্ঠতলে $7.21 \times 10^{14} \text{ Hz}$ কম্পাঙ্কের আলো আপতিত হল। পৃষ্ঠতল থেকে সর্বোচ্চ $6.0 \times 10^5 \text{ m/s}$ দ্রুতিতে ইলেকট্রন নিঃসৃত হল। ইলেকট্রনের আলোক নিঃসরণের জন্য সূচনা কম্পাঙ্ক কত ?
- 11.11** একটি আর্গন লেসার দ্বারা 488 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো উৎপন্ন করা হয় যা আলোক তড়িৎ ক্রিয়ায় ব্যবহৃত হয়। যখন এ বর্ণালী রেখা থেকে আলো নিঃসারকের উপর আপতিত হয় তবে ফটো ইলেকট্রনের নিবৃত্তি (কাট-অফ) বিভব 0.38 V হয়। নিঃসারকটি যে ধাতব পদার্থ দিয়ে তৈরি তার কার্য অপেক্ষকটি নির্ণয় করো।
- 11.12** 56 V বিভব বৈষম্য দ্বারা ত্বরিত ইলেকট্রনের
 (a) ভরবেগ এবং
 (b) ডি-ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য গণনা করো।
- 11.13** 120 eV গতিশক্তি সম্পন্ন ইলেকট্রনের
 (a) ভরবেগ,
 (b) দ্রুতি এবং
 (c) ডি-ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য কী হবে ?
- 11.14** সোডিয়ামের বর্ণালী নিঃসরণ-রেখায় আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য 589 nm । গতিশক্তি নির্ণয় করো, যেখানে
 (a) একটি ইলেকট্রন এবং
 (b) একটি নিউট্রনের একই ডি-ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য থাকবে।
- 11.15** নীচের ক্ষেত্রগুলোতে ডি-ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য কী হবে —
 (a) 0.040 kg ভরের একটি বুলেট 1.0 km/s দ্রুতিতে গতিশীল
 (b) 0.060 kg ভরের একটি বল 1.0 m/s দ্রুতিতে গতিশীল এবং
 (c) $1.0 \times 10^{-9} \text{ kg}$ ভরের একটি ধূলিকণা 2.2 m/s দ্রুতিতে চলমান ?
- 11.16** একটি ইলেকট্রন এবং একটি প্রোটন — প্রত্যেকটির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 1.00 nm ।
 (a) এদের ভরবেগ,
 (b) প্রোটনটির শক্তি এবং
 (c) ইলেকট্রনের গতিশক্তি নির্ণয় করো।
- 11.17** (a) প্রোটনের কোন্ গতিশক্তির জন্য সংশ্লিষ্ট ডি-ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য $1.40 \times 10^{-10} \text{ m}$ হবে ?
 (b) ধাতুর সঙ্গে তাপীয় সাম্যাবস্থায় 300 K তাপমাত্রায় $(3/2) k T$ গড় গতিশক্তি সম্পন্ন একটি নিউট্রনের ডি-ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় করো।
- 11.18** দেখাও যে, তড়িৎচুম্বকীয় বিকিরণের তরঙ্গদৈর্ঘ্যটি এর কোয়ান্টামের (ফোটন) ডি-ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সমান হয়।
- 11.19** 300 K তাপমাত্রায় বায়ুতে একটি নাইট্রোজেন অণুর ডি-ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত হবে ? ধরে নাও যে, এ তাপমাত্রায় অণুটি rms দ্রুতিতে গতিশীল। (নাইট্রোজেনের পারমাণবিক ভর = 14.0076 u)।

অতিরিক্ত অনুশীলনী

- 11.20** (a) একটি বায়ুশূন্য নলের উত্তপ্ত নিঃসারক থেকে নিঃসৃত ইলেকট্রনের দ্রুতি নির্ণয় কর যা নিঃসারক সাপেক্ষে 500 V বিভব প্রভেদে রক্ষিত সংগ্রাহকে প্রবেশ করে। ইলেকট্রনের ক্ষুদ্র প্রারম্ভিক দ্রুতিকে উপেক্ষা করো। ইলেকট্রনের আপেক্ষিক আধান অর্থাৎ এর e/m দেওয়া আছে $1.76 \times 10^{11} \text{ C kg}^{-1}$ ।

বিকিরণ এবং পদার্থের দ্বৈত প্রকৃতি

(b) প্রশ্ন (a) তে প্রযুক্ত সূত্রটি ব্যবহার করে 10 MV বিভবের একটি সংগ্রাহকের জন্য ইলেকট্রনের দ্রুতি নির্ণয় করো। তুমি কী এ সূত্রটিতে কোনো ভুল দেখছ? এ সূত্রটিকে কীভাবে সংশোধন করা যেতে পারে?

11.21 (a) একই শক্তিসম্পন্ন (monoenergetic) ইলেকট্রনগুচ্ছ, যেখানে ইলেকট্রনের দ্রুতি $5.20 \times 10^6 \text{ m s}^{-1}$, একটি $1.30 \times 10^{-4} \text{ T}$ চৌম্বকক্ষেত্র রশ্মিগুচ্ছের বেগের সঙ্গে লম্বভাবে আছে। ইলেকট্রনগুচ্ছের বৃত্তাকার গতিপথের (traced) ব্যাসার্ধ কত হবে, যদি ইলেকট্রনের e/m -এর মান $1.76 \times 10^{11} \text{ C kg}^{-1}$ হয়।

(b) প্রশ্ন (a) তে প্রযুক্ত সূত্রটি কী একটি 20 MeV ইলেকট্রন গুচ্ছের পথের ব্যাসার্ধ গণনাতেও বৈধ হবে? যদি না হয়, তবে কীভাবে সূত্রটি সংশোধন করা যেতে পারে?

[Note: অনুশীলনী 11.20(b) এবং 11.21(b) তোমাকে যে আপেক্ষিকতাবাদী বলবিজ্ঞানের (relativistic mechanics) স্তরে নিয়ে যায় তা এ পুস্তকের বিষয়বস্তুর বাইরে। এদের এখানে অন্তর্ভুক্ত করা হয়েছে শুধু এই বিষয়টিতে জোর দেওয়ার জন্য যে, অনুশীলনীর (a) অংশে তুমি যে সূত্র ব্যবহার করেছ তা অতি উচ্চ দ্রুতিতে বা শক্তিতে বৈধ/যুক্তিযুক্ত নয়। অতি উচ্চ দ্রুতি বা শক্তি বলতে কী বুঝায় তা জানতে সবশেষে দেওয়া উত্তর দেখো।]

11.22 100 V বিভবের সংগ্রাহক যুক্ত একটি ইলেকট্রন গান থেকে নিম্নচাপে ($\sim 10^{-2} \text{ mm}$ পারদ) হাইড্রোজেন ভর্তি গোলকাকার বালবে ইলেকট্রন ছোঁড়া হচ্ছে। $2.83 \times 10^{-4} \text{ T}$ একটি চৌম্বকক্ষেত্র ইলেকট্রনের গতিপথকে 12.0 cm ব্যাসার্ধের বৃত্তাকার কক্ষপথে বাঁকিয়ে দেয়। [গতিপথের গ্যাসীয় আয়নগুলো ইলেকট্রন আকর্ষণ করে এবং ইলেকট্রন শোষণের মাধ্যমে আলো নিঃসরণ দ্বারা ইলেকট্রনগুচ্ছের গতিপথটিকে দেখা যেতে পারে। এই পদ্ধতি সূক্ষ্ম রশ্মিগুচ্ছ নল (fine beam tube) পদ্ধতি হিসেবে পরিচিত।] তথ্যগুলো থেকে e/m নির্ণয় করো।

11.23 (a) একটি X-রশ্মি নল বিকিরণের মাধ্যমে একটি নিরবচ্ছিন্ন বর্ণালী সৃষ্টি করে যার ক্ষুদ্র তরঙ্গদৈর্ঘ্য প্রায় 0.45 \AA হয়। বিকিরণে একটি ফোটনের সর্বোচ্চ শক্তি কত?

(b) (a) প্রশ্নের উত্তর থেকে, ওই ধরনের নলে কোন্ পর্যায়ের ত্বরিত ভোল্টেজের (ইলেকট্রনের জন্য) প্রয়োজন তা অনুমান কর।

11.24 একটি ত্বরক (accelerator) পরীক্ষায় উচ্চশক্তির পজিট্রনের সঙ্গে ইলেকট্রনের সংঘর্ষে, একটি নির্দিষ্ট ঘটনার ব্যাখ্যা ইলেকট্রন-পজিট্রন যুগ্মের মোট শক্তি 10.2 BeV এর সমান শক্তির দুটি γ -রশ্মি রূপে বিনষ্ট হয়। প্রত্যেকটি γ -রশ্মির সঙ্গে যুক্ত তরঙ্গদৈর্ঘ্যটি কত? ($1 \text{ BeV} = 10^9 \text{ eV}$)

11.25 নিম্নলিখিত অনুমেয় সংখ্যা দুটি মজাদার হতে পারে। প্রথম সংখ্যাটি বলবে যে, রেডিও ইঞ্জিনিয়ারদের ফোটন সম্পর্কে অধিক চিন্তিত হওয়ার প্রয়োজন নেই! দ্বিতীয় সংখ্যাটি তোমাকে বলছে, সহজে শনাক্তকরণযোগ্য আলো হলেও কেন আমাদের চোখ কখনো ফোটনকে গণনা করতে পারে না।

(a) 10 kW সামর্থ্যের একটি মধ্য তরঙ্গ (medium wave) ট্রান্সমিটার (যা 500 m তরঙ্গদৈর্ঘ্যের রেডিও তরঙ্গ নিঃসরণ করে) দ্বারা প্রতি সেকেন্ডে নিঃসৃত ফোটন সংখ্যা।

(b) আমরা দেখতে পারি ($\sim 10^{-10} \text{ W m}^{-2}$) এমন ন্যূনতম তীব্রতার সাদা আলোতে উপস্থিত ফোটন সংখ্যা যা প্রতি সেকেন্ডে আমাদের চোখের তারারস্ত্রে প্রবেশ করে। ধরে নাও, তারারস্ত্রটির ক্ষেত্রফল প্রায় 0.4 cm^2 এবং সাদা আলোর গড় কম্পাঙ্ক প্রায় $6 \times 10^{14} \text{ Hz}$ ।

11.26 100 W-এর একটি পারদ উৎস থেকে 2271 \AA তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অতিবেগুনি আলো মলিবডেনাম ধাতুর তৈরি একটি আলোক কোশকে উদ্ভাসিত করে। যদি নিবৃত্তি বিভব -1.3 V হয়, তবে ধাতুটির কার্য অপেক্ষক নির্ণয় করো। একটি He-Ne লেসার দ্বারা উৎপন্ন 6328 \AA তরঙ্গদৈর্ঘ্যের উচ্চ তীব্রতার ($\sim 10^5 \text{ W m}^{-2}$) লাল আলোতে আলোক কোশটি কীভাবে সাড়া দেবে?

11.27 একটি নিয়ন ল্যাম্প থেকে 640.2 nm ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) তরঙ্গদৈর্ঘ্যের একবর্ণী বিকিরণ টাংস্টেনের উপর সিজিয়াম দিয়ে তৈরি আলোক সংবেদী পদার্থকে উদ্ভাসিত করে। এক্ষেত্রে নিবৃত্তি

বিভবের মান 0.54 V পাওয়া গেল। উৎসটি একটি লোহা উৎস দ্বারা প্রতিস্থাপিত করা হল এবং এর 427.2 nm বিকিরণ একই আলোক কোশকে উদ্ভাসিত করে। নতুন নিবৃত্তি বিভবটি কত হবে?

11.28 একটি পারদ ল্যাম্প, আলোক তড়িৎ নিঃসরণের কম্পাঙ্ক নির্ভরতা অধ্যয়ণে এক সুবিধাজনক উৎস। কারণ, একটি দৃশ্যমান বর্ণালীর অতিবেগুনি (UV) থেকে লাল প্রান্ত পর্যন্ত সীমায় অনেক সংখ্যক বর্ণালী রেখা নিঃসৃত করে। রুবিডিয়াম আলোক কোশকে নিয়ে আমাদের পরীক্ষায়, একটি পারদ উৎস থেকে নিম্নলিখিত বর্ণালী রেখাগুলো ব্যবহার করা হল :

$$\lambda_1 = 3650 \text{ \AA}, \lambda_2 = 4047 \text{ \AA}, \lambda_3 = 4358 \text{ \AA}, \lambda_4 = 5461 \text{ \AA}, \lambda_5 = 6907 \text{ \AA},$$

নিবৃত্তি বিভবগুলো, যথাক্রমে মাপা হল :

$$V_{01} = 1.28 \text{ V}, V_{02} = 0.95 \text{ V}, V_{03} = 0.74 \text{ V}, V_{04} = 0.16 \text{ V}, V_{05} = 0 \text{ V}$$

(a) প্লাঙ্কের ধ্রুবক h -এর মান, (b) ধাতুটির জন্য সূচনা কম্পাঙ্ক এবং কার্য অপেক্ষক নির্ণয় করো।

[Note: তুমি লক্ষ করবে যে, তথ্যগুলো থেকে h -এর মান নির্ণয় করতে হলে তোমাকে e -এর মান (যা তুমি $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ ধরে নিতে পারো) জানতে হবে। Na, Li, K প্রভৃতির উপর এ ধরনের পরীক্ষা মিলিকান করেছিলেন। মিলিকান ওনার তেল-বিন্দু/অয়েল-ড্রপ পরীক্ষায় প্রাপ্ত e -এর মানকে ব্যবহার করে আইনস্টাইনের আলোকতড়িৎ সমীকরণের সত্যতা প্রমাণ করেন এবং একই সময়ে h -এর একটি স্বতন্ত্র মান নির্ণয় করেন।]

11.29 নিম্নলিখিত ধাতুগুলোর কার্য-অপেক্ষক দেওয়া হল :

Na: 2.75 eV; K: 2.30 eV; Mo: 4.17 eV; Ni: 5.15 eV. এই ধাতুগুলোর মধ্যে কোন্ ধাতুটির জন্য আলোক কোশ থেকে 1 m দূরে স্থাপিত He-Cd লেসার থেকে 3300 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বিকিরণের জন্য আলোক তড়িৎ নিঃসরণ হবে না? কী হবে যদি লেসারটিকে কোশটির আরও নিকটে আনা হয় এবং 50 cm দূরে রাখা হয়?

11.30 2 cm^2 ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট পৃষ্ঠতলের একটি সোডিয়াম আলোক কোশের উপর 10^{-5} W m^{-2} তীব্রতার আলো পড়ছে। ধরে নাও যে, উপরে সোডিয়ামের 5টি স্তরই আপতিত শক্তি শোষণ করে, তবে বিকিরণের তরঙ্গরূপে আলোক তড়িৎ নিঃসরণের জন্য প্রয়োজনীয় সময় নির্ণয় করো। দেওয়া আছে, ধাতুটির কার্য অপেক্ষক প্রায় 2 eV। তোমার উত্তরের তাৎপর্য কী?

11.31 X-রশ্মি অথবা উপযুক্ত বিভবের মধ্য দিয়ে ত্বরিত ইলেকট্রন ব্যবহার করে কেলাস-অপবর্তন পরীক্ষা সম্পন্ন করা যেতে পারে। কোন্ অনুসন্ধান (probe) অধিক শক্তি আছে? [পরিমাণগত, তুলনার জন্য, ধরো, পরীক্ষায় তরঙ্গদৈর্ঘ্যটি 1 Å-এর সমান যা ঝালরে (lattice) আন্তঃপারমাণবিক ব্যবধানের পর্যায়ে] ($m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$).

11.32 (a) 150 eV গতিশক্তি সম্পন্ন একটি নিউট্রনের ডি-ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্যটি নির্ণয় করো। 11.31 অনুশীলনীতে তুমি যেমন দেখেছ, এই পরিমাণ শক্তির ইলেকট্রন রশ্মিগুচ্ছ কেলাস অপবর্তন পরীক্ষার জন্য উপযুক্ত। একই শক্তির একটি নিউট্রন রশ্মিগুচ্ছ এই পরীক্ষার জন্য সমানভাবে উপযুক্ত হবে কী? ব্যাখ্যা করো। ($m_n = 1.675 \times 10^{-27} \text{ kg}$)

(b) 27 °C ঘরের তাপমাত্রায় তাপীয় নিউট্রনের সঙ্গে যুক্ত ডি-ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্যটি নির্ণয় কর। এর ভিত্তিতে ব্যাখ্যা করো, কেন একটি দ্রুতগামী নিউট্রন রশ্মিগুচ্ছকে নিউট্রন অপবর্তন পরীক্ষায় ব্যবহারের পূর্বে এটিকে পরিবেশের তাপমাত্রার সাথে খাপ খাইয়ে নেওয়ার প্রয়োজন হয়?

11.33 একটি ইলেকট্রন অণুবীক্ষণ যন্ত্র 50 kV ভোল্টেজ দ্বারা ত্বরিত ইলেকট্রন ব্যবহার করে। ইলেকট্রনের সঙ্গে যুক্ত ডি-ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্যটি নির্ণয় করো। যদি অন্য কারণগুলো (যেমন সাংখ্যিক উন্মেষ ইত্যাদি) মোটামুটি একই রাখা হয় তবে একটি ইলেকট্রন অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিশ্লেষণী ক্ষমতাকে কীভাবে হলুদ আলো ব্যবহারকারী একটি আলোকীয় অণুবীক্ষণ যন্ত্রের সঙ্গে তুলনা করা যাবে?

11.34 কোনো বস্তুর বিস্তারিত অনুসন্ধানকারী কোনো তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য মোটামুটিভাবে বস্তুর গঠনের আকারের পরিমাপের সমান হয়। প্রোটন এবং নিউট্রনের কোয়ার্ক গঠন 10^{-15} m বা আরও কম

বিকিরণ এবং পদার্থের দ্বৈত প্রকৃতি

দৈর্ঘ্যের সূক্ষ্ম দৈর্ঘ্যের স্কেলে হয়। এই গঠন সর্বপ্রথম 1970 দশকের শুরুতে, USA-এর স্ট্যানফোর্ডে, একটি রৈখিক ত্বরক (linear accelerator) দ্বারা উৎপন্ন উচ্চ শক্তি ইলেকট্রনের রশ্মিগুচ্ছ ব্যবহার করে অনুসন্ধান করা হয়েছিল। এসব ইলেকট্রন রশ্মিগুচ্ছের শক্তির ক্রমটি অনুমান করো। [ইলেকট্রনের স্থির ভর শক্তি (Rest mass energy) = 0.511 MeV.]

11.35 27 °C ঘরের তাপমাত্রায় এবং 1 বায়ুমণ্ডলীয় চাপে হিলিয়াম গ্যাসে একটি He পরমাণুর সঙ্গে সংশ্লিষ্ট প্রতীকস্বরূপ ডি-ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় করো; এবং এসব পরিস্থিতিতে দুটি পরমাণুর মধ্যে গড় দূরত্বের সঙ্গে এর তুলনা করো।

11.36 কোনো ধাতুতে 27 °C তাপমাত্রায় একটি ইলেকট্রনের প্রতীকি ডি-ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় করো এবং একটি ধাতুতে দুটি ইলেকট্রনের মধ্যে গড় পার্থক্যের সঙ্গে এর তুলনা করো যা প্রায় 2×10^{-10} m দেওয়া আছে।

[*দ্রষ্টব্য*: অনুশীলনী 11.35 এবং 11.36 প্রতীয়মান করে যে, সাধারণ অবস্থায় গ্যাস অণুগুলোর ওয়েভ প্যাকেট সমাপতিত হয় না, কিন্তু একটি ধাতুর ইলেকট্রনগুলোর ওয়েভ প্যাকেট জোড়ালো সমাপতিত হয়। এটি বোঝায় যে, একটি সাধারণ গ্যাসের অণুগুলোকে পৃথকভাবে শনাক্ত করা যেতে পারে, কিন্তু ধাতুর ইলেকট্রনগুলোকে পরস্পর থেকে পৃথক করা যায় না। এই অপৃথকীকরণের অনেক মৌলিক প্রভাব রয়েছে যা তোমরা উচ্চস্তরের পদার্থবিদ্যায় অন্বেষণ করবে।]

11.37 নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলোর উত্তর দাও :

- প্রোটন এবং নিউট্রনের অন্তর্বর্তী কোয়ার্কসমূহ আংশিক আধান বহন করে $[(+2/3)e; (-1/3)e]$ । তাহলে মিলিকানের তৈলবিন্দু পরীক্ষায় কেন এরা আংশিক আধান প্রদর্শন করে না?
- e/m -এর সমন্বয়ে এমন কী বিশেষত্ব রয়েছে? আমরা e এবং m কে পৃথক পৃথকভাবে উল্লেখ করি না কেন?
- স্বাভাবিক চাপে গ্যাস অন্তরক এবং অতি নিম্ন চাপে পরিবাহী হিসাবে কাজ করবে কেন?
- প্রতিটি ধাতুর একটি নির্দিষ্ট কার্য অপেক্ষক রয়েছে। যদি আপতিত বিকিরণ একবর্ণের হয় তবে নির্গত আলোকজ ইলেকট্রনের শক্তি একই হয় না কেন? এক্ষেত্রে আলোকজ ইলেকট্রনের শক্তির বিভাজন হয় কেন?
- একটি ইলেকট্রনের শক্তি এবং ভরবেগ সংশ্লিষ্ট বস্তু-তরঙ্গের কম্পাঙ্ক ও তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সাথে এভাবে সম্পর্কিত :

$$E = h \nu, p = \frac{h}{\lambda}$$

যদিও λ -এর মানের ভৌত তাৎপর্য রয়েছে, তথাপি ν -এর মানের (এবং সেক্ষেত্রে দশা দ্রুতি $\nu \lambda$ মানটির) কোনো ভৌত তাৎপর্য থাকে না কেন?

পরিশিষ্ট

11.1 তরঙ্গ-কণার দ্বৈত প্রকৃতির ইতিহাস (The history of wave-particle flip-flop)

আলো কী? এই প্রশ্নটি মানবজাতিকে দীর্ঘ সময় ধরে তাড়া করে আসছে। কিন্তু প্রায় চার শতাব্দী পূর্বে, বৈজ্ঞানিক এবং শিল্প যুগের প্রারম্ভিক লগ্ন থেকে বিজ্ঞানীগণ ধারাবাহিক পরীক্ষানিরীক্ষা সম্পাদন করেছিলেন। সম সাময়িককালে, ‘আলো কী দিয়ে তৈরি’ এ সম্পর্কিত তাত্ত্বিক মডেলগুলোর উন্নতিসাধন করা হয়েছিল। বিজ্ঞানের যে-কোনো শাখায় যখন কোনো মডেল তৈরি করা হয় তখন সম সাময়িককালের সমস্ত পরীক্ষামূলক পর্যবেক্ষণগুলোকে ওই মডেলটি ব্যাখ্যা করতে সক্ষম কিনা তা দেখা জরুরী। কাজেই সপ্তদশ শতাব্দীতে প্রাপ্ত আলোক সম্পর্কিত কিছু পর্যবেক্ষণের সারমর্ম তৈরি করা যথার্থ হবে।

ওই সময়ে আলোর জ্ঞাত ধর্মাবলির মধ্যে (a) আলোকের সরলরেখায় গমন, (b) সমতলে এবং বক্রতলে আলোকের প্রতিফলন, (c) দুই মাধ্যমের বিভেদতলে প্রতিসরণ, (d) বিভিন্ন বর্ণের আলোর বিচ্ছুরণ, (e) আলোর উচ্চগতি অন্তর্ভুক্ত ছিল। প্রথম চারটি ঘটনার জন্য যথার্থ সূত্রাবলির প্রণয়ন হয়েছিল। উদাহরণস্বরূপ, 1621 সালে স্নেল আলোর প্রতিসরণের সূত্রাবলি প্রণয়ন করেন। গ্যালিলিওর সময়কাল থেকেই আলোর দ্রুতি পরিমাপের জন্যে অনেক বিজ্ঞানী সচেষ্ট ছিল। কিন্তু উনারা তা করতে অসমর্থ হয়েছিলেন। আলোর দ্রুতি তাদের পরিমাপের সীমা অপেক্ষা অনেক বেশি হয়, কেবলমাত্র এই সিদ্ধান্তে উনারা উপনীত হয়েছিলেন।

সপ্তদশ শতাব্দীতে আলোকের আরো দুটি মডেল প্রস্তাবিত হয়েছিল। সপ্তদশ শতাব্দীর প্রারম্ভিক দশকে বিজ্ঞানী ডেকার্তে (Descartes) প্রস্তাব করেছিলেন যে আলো কণার সমন্বয়ে গঠিত, যেখানে 1660-70 সালের আশেপাশে, বিজ্ঞানী হাইগেন্স প্রস্তাব করেছিলেন যে আলো তরঙ্গ দিয়ে গঠিত। ডেকার্তের প্রস্তাবনা কেবলমাত্র একটি দার্শনিক মডেল ছিল যা কোনো পরীক্ষা নিরীক্ষা কিংবা বৈজ্ঞানিক যুক্তি নির্ভর ছিল না। এর অব্যবহিত পরেই, 1660-70 সালের কাছাকাছি সময়ে বিজ্ঞানী নিউটন ডেকার্তের এই কণা মডেলটিকে কণিকাতত্ত্বরূপে (*corpuscular theory*) সম্প্রসারিত করে একটি বিজ্ঞানভিত্তিক তত্ত্ব রূপে তুলে ধরেন এবং এই তত্ত্বের সাহায্যে আলোর বিভিন্ন পরিচিত ধর্মাবলির ব্যাখ্যা করেন। তরঙ্গ এবং কণা রূপে আলো সম্পর্কিত এই মডেলগুলো সম্পূর্ণরূপে পরস্পর থেকে আলাদা। কিন্তু উভয় মডেলই আলোকের সব পরিচিত ধর্ম ব্যাখ্যা করতে পারে। এদের মধ্যে কোনো একটিকে বাছাই করার অবকাশ নেই।

পরবর্তী কয়েক শতাব্দী জুড়ে এই মডেলগুলোর ক্রমবিকাশের ইতিহাস আকর্ষণীয়। 1669 সালে, বিজ্ঞানী বারথোলিনাস (Bartholinus) কিছু কেলাসের মধ্যে আলোকের দ্বি-প্রতিসরণের (double refraction) ঘটনাটি আবিষ্কার করেন এবং 1678 সালে হাইগেন্স উনার আলোকের তরঙ্গতত্ত্বের ভিত্তিতে এর ব্যাখ্যা করেন। এসময়ে, প্রায় একশ বছরেরও বেশি সময় ধরে নিউটনের কণা মডেলটিকে তরঙ্গ মডেল অপেক্ষা অধিক প্রাধান্য দিয়ে দৃঢ়ভাবে বিশ্বাস করা হত। এই দৃঢ় বিশ্বাসের কারণ ছিল কিছুটা তত্ত্বের সরলতা এবং কিছুটা সমসাময়িককালের পদার্থবিদ্যায় নিউটনের প্রভাব।

পরবর্তীতে 1801 সালে, বিজ্ঞানী ইয়ং উনার দ্বি-রেখাছিদ্র পরীক্ষা সম্পন্ন করেন এবং ব্যতিচার ঝালর (interference fringes) নিরীক্ষণ করেন। এই ঘটনার ব্যাখ্যা কেবলমাত্র তরঙ্গ তত্ত্বের সাহায্যেই করা যেতে পারে। এটা উপলব্ধি করা হয়েছিল যে, অপবর্তন (diffraction) হল অন্য এক ঘটনা যার ব্যাখ্যা কেবলমাত্র তরঙ্গ তত্ত্ব দ্বারাই করা যেতে পারে। বাস্তবে এই ঘটনাটি হল অলোকীয় পথের প্রত্যেক বিন্দু থেকে নির্গত গৌণ অণু তরঙ্গ (secondary wavelets) সংক্রান্ত হাইগেন্সের ধারণার স্বাভাবিক পরিণতি। আলো কণার সমন্বয়ে গঠিত ধরে নিয়ে এই পরীক্ষাগুলোর ফলাফল ব্যাখ্যা করা যায় না। 1810 সালের কাছাকাছি সময়ে সমবর্তন (polarisation) নামক অপর একটি ঘটনা আবিষ্কৃত হয়েছিল এবং এই ঘটনাটিও তরঙ্গ তত্ত্বের সাহায্যে স্বাভাবিকভাবে ব্যাখ্যা করা যেতে পারে। এভাবে হাইগেন্সের তরঙ্গ তত্ত্বটি চর্চায় চলে আসে এবং নিউটনের কণা তত্ত্বটি পশ্চাৎপটে চলে যায়। এই ধারণাটি প্রায় এক শতক জুড়ে প্রাধান্য পায়।

উনবিংশ শতাব্দীতে আলোকের দ্রুতি নির্ণয় করার জন্যে উন্নত ধরনের পরীক্ষা নিরীক্ষা সম্পাদন করা হয়েছিল। আরো নির্ভুল পরীক্ষার মাধ্যমে শূন্য মাধ্যমে আলোকের দ্রুতির মান 3×10^8 m/s পাওয়া গেছে। 1860 সালের কাছাকাছি, বিজ্ঞানী ম্যাক্সওয়েল তড়িৎচুম্বকত্ব সম্পর্কিত তাঁর সমীকরণগুলো উপস্থাপন করেন এবং এটা অনুভব করা গেছে যে ওই সময়ে জানা সব তড়িৎচুম্বকীয় সংক্রান্ত ঘটনাগুলোকে ম্যাক্সওয়েলের এই চারটি সমীকরণ দ্বারা ব্যাখ্যা করা যেতে পারে। শীঘ্রই ম্যাক্সওয়েল দেখালেন যে, তড়িৎক্ষেত্র এবং চৌম্বকক্ষেত্র শূন্যস্থানের (মহাশূন্যের) মধ্য দিয়ে তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গাকারে সঞ্চারিত হতে পারে। তিনি এই তরঙ্গগুলোর দ্রুতি গণনা করেন এবং এর একটি তাত্ত্বিক মান 2.998×10^8 m/s পেলেন। এই মান পরীক্ষালব্ধ মানের নিকটবর্তী হওয়ায় এটি বোঝা গেল যে আলোকরশ্মি তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ নিয়ে গঠিত। 1887 সালে, হার্জ এই ধরনের তরঙ্গগুলোর উৎপত্তি এবং শনাক্তকরণ প্রদর্শন করেন। এটি আলোকের তরঙ্গ তত্ত্বের প্রতিষ্ঠার একটি দৃঢ় পদক্ষেপ। যদি আমরা অষ্টাদশ শতাব্দীকে আলোর কণা মডেল যুগ হিসাবে ধরি, তবে উনবিংশ শতাব্দীকে আলোর তরঙ্গ মডেল যুগ হিসাবে অভিহিত করা যায়।

1850-1900 খ্রিস্টাব্দ, এই সময়কালের মধ্যে পদার্থবিদ্যার আরেকটি ক্ষেত্র তাপ এবং এর সাথে সম্পর্কিত ঘটনাবলির উপর বিশাল সংখ্যক

বিকিরণ এবং পদার্থের দ্বৈত প্রকৃতি

পরীক্ষা নিরীক্ষা করা হয়েছিল। গভীর তত্ত্ব এবং তাপগতিবিদ্যার মতো কিছু তত্ত্ব এবং মডেল একটি ছাড়া, অন্যান্য ঘটনাবলিকে সম্পূর্ণ সফলতার সাথে ব্যাখ্যা করেছিল।

প্রত্যেক বস্তু যে-কোনো তাপমাত্রায় সব তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বিকিরণ নিঃসৃত করে। বস্তুটি এর উপর আপতিত বিকিরণকেও শোষণ করে। যে বস্তু নিজের উপর আপতিত সকল বিকিরণকে শোষণ করে, তাকে কৃষ্ণ বস্তু (*black body*) বলে। বিন্দুভর বা সুসম গতির মতো এটিও পদার্থবিদ্যায় একটি আদর্শ ধারণা। একটি বস্তু দ্বারা নিঃসৃত বিকিরণের তীব্রতা বনাম এর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের মধ্যে লেখচিত্রকে কৃষ্ণ বস্তু বর্ণালি বলা হয়। ওই সময়ে কোনো তত্ত্বই কৃষ্ণবস্তু বর্ণালিকে সম্পূর্ণভাবে ব্যাখ্যা করতে পারে নি।

1900 খ্রিস্টাব্দে বিজ্ঞানী প্ল্যাঙ্ক একটি অভিনব ধারণার অবতারণা করেন। উনি বলেছিলেন, যদি আমরা নিঃসৃত বিকিরণকে নিরবচ্ছিন্ন তরঙ্গরূপের পরিবর্তে শক্তির বিচ্ছিন্ন প্যাকেটরূপে বিবেচনা করি, তবে আমরা কৃষ্ণ বস্তু বর্ণালিকে ব্যাখ্যা করতে পারি। প্ল্যাঙ্ক নিজে আলোর পরিবর্তে নিঃসরণ এবং শোষণের বৈশিষ্ট্যরূপে এই কোয়ান্টাম বা প্যাকেটগুলোকে বিবেচনা করেছিলেন। উনি একটি সূত্র প্রতিষ্ঠা করেন যা সমগ্র বর্ণালির সাথে সঙ্গতিপূর্ণ। বিকিরণ কণারূপে নিঃসৃত হয়, তরঙ্গরূপে গমন করে এবং পুনরায় এটি কণারূপে শোষিত হয়, এটি ছিল একটি বিভ্রান্তকর তরঙ্গও কণা ধর্মের সমন্বয়। অধিকন্তু, এই বিষয়টি পদার্থবিদদের এক অনিশ্চয়তার মধ্যে ফেলে দিয়েছিল। কেবলমাত্র একটি ঘটনাকে ব্যাখ্যা করার জন্য পুনরায় আলোর কণা তত্ত্বটিকে আমাদের কী গ্রহণ করা উচিত? তাহলে ব্যতিচার এবং অপবর্তনের মতো ঘটনাগুলোর ক্ষেত্রে কী ঘটবে, আলোর কণা তত্ত্ব দিয়ে যেগুলোকে ব্যাখ্যা করা যায় না?

কিন্তু 1905 সালেই, আইনস্টাইন আলোকের কণা তত্ত্ব ব্যবহার করে আলোক তড়িৎ ক্রিয়া ব্যাখ্যা করেন। 1907 সালে বিজ্ঞানী ডিভাই একটি কেলাসাকার কঠিন পদার্থের জাফরি-কম্পনের (*lattice vibrations*) ক্ষেত্রে কণা তত্ত্বকে ব্যবহার করে নিম্ন তাপমাত্রায় কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক তাপসমূহকে ব্যাখ্যা করেন। পদার্থবিদ্যার সম্পূর্ণ ভিন্ন দুটি ক্ষেত্রের ঘটনাবলিকে কেবলমাত্র কণাতত্ত্ব দ্বারা ব্যাখ্যা করা যায়, কিন্তু তরঙ্গ তত্ত্ব দ্বারা নয়। 1923 সালে কম্পটনের, পরমাণু থেকে x -রশ্মি বিক্ষেপণ পরীক্ষার ফলাফলও কণাতত্ত্বকে সমর্থন করে। এই ঘটনাটি আরো অনিশ্চয়তা সৃষ্টি করেছে।

এভাবে 1923 সাল পর্যন্ত পদার্থবিদরা নিম্নলিখিত পরিস্থিতি সমূহের সম্মুখীন হয়েছিলেন। (a) আলোকের সরলরেখায় গমন, প্রতিফলন, প্রতিসরণের মতো কিছু ঘটনাগুলোকে কণা তত্ত্ব বা তরঙ্গ তত্ত্বের সাহায্যে ব্যাখ্যা করা যেতে পারে। (b) অপবর্তন এবং ব্যতিচারের মতো আলোকের কিছু ঘটনাসমূহের ব্যাখ্যা কেবলমাত্র তরঙ্গ তত্ত্বের সাহায্যে করা যায়, কিন্তু কণা তত্ত্ব দিয়ে নয়। (c) কৃষ্ণ বস্তু বিকিরণ, আলোক তড়িৎ ক্রিয়া এবং কম্পটন বিক্ষেপণের মতো কিছু ঘটনাকে ব্যাখ্যা কেবলমাত্র কণা তত্ত্বের সাহায্যে করা যায়, কিন্তু তরঙ্গ তত্ত্ব দিয়ে নয়। তৎকালীন সময়ে সঙ্গত কারণেই কেউ কেউ মন্তব্য করতেন যে, আলো সোম, বুধ ও শুক্রবার কণার মতো; মঙ্গল, বৃহস্পতি ও শনিবার তরঙ্গের মতো আচরণ করে এবং রবিবারে আলোর আচরণ সম্পর্কে কিছুই বলা যায় না।

1924 সালে ডি ব্রগলি ওনার 'তরঙ্গ কণা দ্বৈত তত্ত্বের' প্রস্তাবনা করেন, যেখানে উনি উল্লেখ করেন যে, শুধুমাত্র আলোর ফোটন কণাই নয়, ইলেকট্রন এবং পরমাণুর মতো পদার্থের কণা সমূহেরও দ্বৈতসত্ত্ব থাকে, কখনো এরা কণা হিসেবে, আবার কখনো এরা তরঙ্গ হিসেবে আচরণ করে। উনি পদার্থের ভর, বেগ, ভরবেগ এই কণা বৈশিষ্ট্য সূচক রাশিগুলোর সাথে তরঙ্গদৈর্ঘ্য, কম্পাংক এই তরঙ্গ বৈশিষ্ট্য সূচক রাশিগুলোর সংযোগ স্থাপনকারী একটি সূত্র প্রদান করেন। 1927 সালে থমসন, ডেভিসন এবং গার্মার পৃথক পৃথকভাবে পরীক্ষার মাধ্যমে দেখান যে, ইলেকট্রন তরঙ্গের মতো আচরণ করে, যেখানে ইলেকট্রনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য ডি ব্রগলির সূত্র থেকে প্রাপ্ত মানের সঙ্গে সঙ্গতিপূর্ণ। ওনারের পরীক্ষাটি, গ্রেটিং-এর ন্যায় আচরণকারী পরমাণুর নিয়মিত বিন্যাসযুক্ত কেলাসিত কঠিন পদার্থের মধ্য দিয়ে ইলেকট্রনের অপবর্তন সংক্রান্ত ছিল। ঠিক অব্যবহিত পর, নিউট্রন এবং প্রোটনের মতো অন্যান্য কণার সাহায্যেও এই অপবর্তন পরীক্ষা সম্পন্ন করা হয়েছিল এবং সেক্ষেত্রেও ডি ব্রগলি সূত্রের যথার্থতা নিরূপিত হয়েছিল। এই ঘটনাটি 'তরঙ্গ-কণা দ্বৈতসত্ত্ব'কে পদার্থবিদ্যার একটি প্রতিষ্ঠিত নীতি হিসাবে মান্যতা দেয়। পদার্থবিদদের ভাবনা অনুযায়ী, এটি এমন একটি নীতি, যা শুধুমাত্র আলোর ক্ষেত্রেই নয় বরং তথাকথিত কণাসমূহের ক্ষেত্রেও পূর্বে উল্লিখিত সকল ঘটনাসমূহকে ব্যাখ্যা করতে সক্ষম।

কিন্তু 'তরঙ্গ-কণা দ্বৈত সত্ত্বটির' কোনো মূল তাত্ত্বিক ভিত্তি ছিল না। ডি-ব্রগলির প্রস্তাবনাটি শুধুমাত্র প্রকৃতির প্রতিসাম্যতার উপর ভিত্তি করে গুণগত যৌক্তিক ধারণা নির্ভর ছিল। তরঙ্গ-কণা দ্বৈত সত্ত্বটি বড়ো জোর একটি নীতি মাত্র ছিল, কোনো দৃঢ় মৌলিক তত্ত্বের ফলাফল নির্ভর ছিল না। একথা সত্য যে ব্যবহারিক পরীক্ষা নিরীক্ষার ধরন যাই হোক না কেন, সংশ্লিষ্ট সকল পরীক্ষার ফলাফলই ডি-ব্রগলি সূত্রের সাথে সঙ্গতিপূর্ণ ছিল। কিন্তু পদার্থবিজ্ঞান এ ধরনের তত্ত্ববিহীন নীতিকে সমর্থন করে না। একদিকে যেমন নীতিটির পরীক্ষামূলক নিশ্চিতকরণ আবশ্যিক, তেমনি অন্যদিকে প্রস্তাবিত নীতিটির দৃঢ় তাত্ত্বিক ভিত্তি থাকাও জরুরি। পরবর্তী দুই দশক ধরে এই লক্ষ্যে বিকাশ ঘটেছে। আনুমানিক 1928 সালে, বিজ্ঞানী ডিরাক ওনার বিকিরণ সংক্রান্ত তত্ত্বের অবতারণা করেন এবং 1930 সালে বিজ্ঞানী হাইজেনবার্গ (Heisenberg) এবং পাউলি (Pauli) এই তত্ত্বকে দৃঢ় ভিত্তির উপর প্রতিষ্ঠা করেন। 1940 সালের শেষদিকে বিজ্ঞানী তোমোনাগা (Tomonaga), শোয়িংগার (Schwinger) এবং ফিনম্যান (Feynman) তত্ত্বটিকে আরো পরিমার্জিত করে এতে নজরে আসা অসংগতিগুলোকে দূর করে উপস্থাপন করেন। মূলত এসকল তত্ত্বগুলো 'তরঙ্গ-কণা দ্বৈত' নীতিকে একটি তাত্ত্বিক ভিত্তির উপর প্রতিষ্ঠা করে।

যদিও তত্ত্ব-বিকাশের এই কাহিনি অব্যাহত রয়েছে ও জটিল থেকে জটিলতর হচ্ছে এবং তা এই বিশেষ অনুচ্ছেদের বর্ণনা করার কোনো সুযোগ নেই। কিন্তু এক্ষেত্রে ঘটনাক্রম সংশ্লিষ্ট আবশ্যিক ধারণাটি আমরা এখানে পেয়েছি এবং চলো এ পর্বে আমরা এইটুকুতেই সন্তুষ্ট থাকি। বিভিন্ন ব্যবহারিক পরীক্ষা-নিরীক্ষায় এবং কখনো কখনো একই পরীক্ষার বিভিন্ন ধাপে তড়িৎচুম্বকীয় বিকিরণ, এমনকি বস্তুকণাও 'তরঙ্গ এবং কণা' উভয় বৈশিষ্ট্যই প্রদর্শন করে, যা পদার্থবিদ্যার এই আধুনিক তত্ত্বের স্বাভাবিক পরিণতি হিসেবে 'দ্বৈততা নীতি'কে সমর্থন করে।

দ্বাদশ অধ্যায়

পরমাণুসমূহ

(ATOMS)



12.1 ভূমিকা

উনবিংশ শতাব্দী পর্যন্ত, পদার্থের পারমাণবিক প্রকল্পের সমর্থনে যথেষ্ট প্রমাণ জড়ো হয়েছিল। 1897 সালে, ইংরেজ পদার্থবিদ জে. জে. টমসন (1856 – 1940) সম্পাদিত গ্যাসের মধ্য দিয়ে তড়িৎক্ষরণের পরীক্ষা থেকে এই সিদ্ধান্তে উপনীত হওয়া যায় যে, বিভিন্ন মৌলের পরমাণুগুলোর মধ্যস্থ আহিত উপাদানগুলো (ইলেকট্রনগুলো) সব পরমাণুর ক্ষেত্রে অভিন্ন। যাই হোক, সামগ্রিকভাবে পরমাণু তড়িৎ নিরপেক্ষ। কাজেই পরমাণুর ইলেকট্রনের ঋণাত্মক আধান প্রশমিত করতে অবশ্যই পরমাণুর মধ্যে ধনাত্মক আধানও থাকে। তাহলে পরমাণুর অভ্যন্তরে ধনাত্মক আধান এবং ইলেকট্রনগুলো কীভাবে রয়েছে? অন্য কথায়, পরমাণুর গঠন কীরূপ?

1898 সালে জে.জে.টমসন পরমাণুর প্রথম মডেলটি প্রস্তাব করেছিলেন। এই মডেল অনুসারে, পরমাণুর ধনাত্মক আধান পরমাণুর সমগ্র আয়তনে সুসমভাবে বণ্টিত এবং এর মধ্যে ঋণাত্মকভাবে আহিত ইলেকট্রনগুলো তরমুজের অভ্যন্তরে থাকা বীজগুলোর মতো গেঁথে থাকে। এই মডেলকে চিত্রানুগভাবে প্লাম পুডিং মডেল (*plum pudding model*) বলা হয়। যাই হোক, এই অধ্যায়ে পরমাণু সম্পর্কিত পরবর্তী অধ্যয়নে দেখানো হয়েছে যে পরমাণুতে ইলেকট্রন এবং ধনাত্মক আধানের বণ্টন এই প্রস্তাবিত মডেল থেকে অনেকটাই ভিন্ন।

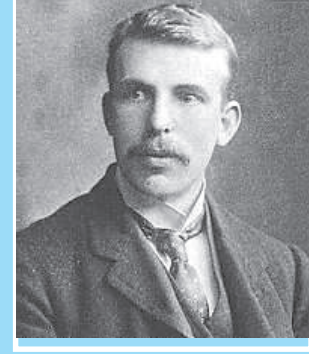
আমরা জানি যে, সকল তাপমাত্রায় ঘনীভূত পদার্থ (কঠিন এবং তরল) এবং ঘন গ্যাস তড়িৎ-চুম্বকীয় বিকিরণ নিঃসরণ করে যার মধ্যে নিরবচ্ছিন্ন বণ্টনের অনেকগুলো তরঙ্গদৈর্ঘ্য বর্তমান, যদিও এদের প্রাবল্য ভিন্ন ভিন্ন হয়। প্রত্যেক পরমাণু বা অণু এর পারিপার্শ্বিকের অপর কোনো অণু বা পরমাণুর পারস্পরিক ক্রিয়ার দ্বারা নিয়ন্ত্রিত পরমাণু বা অণুর স্পন্দনের দরুণ এই বিকিরণ হয় বলে ধরে নেওয়া হয়। বিপরীতক্রমে, শিখায় উত্তপ্ত লঘুকৃত (rarefied) গ্যাস দ্বারা নিঃসৃত আলো অথবা কোনো প্রখর প্রদীপ্ত নলে (*glow*

tube) তাড়িতিকভাবে উত্তেজিত গ্যাস, যেমন পরিচিত নিয়ন সাইন অথবা পারদ বাষ্প বাতিতে কেবলমাত্র নির্দিষ্ট কিছু বিচ্ছিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্য থাকে। এদের বর্ণালী কতগুলো উজ্জ্বল রেখার সমষ্টিরূপে প্রতিভাত। এই ধরনের গ্যাসে পরমাণুগুলোর মধ্যবর্তী গড় ব্যবধান বেশি থাকে। অতএব, বিকিরণ পরমাণু বা অণুগুলোর মধ্যে আন্তঃক্রিয়াজনিত নয়, বরং পৃথক পৃথক পরমাণুগুলোর কারণে নিঃসৃত হয় এরূপ মনে করা যেতে পারে।

উনবিংশ শতাব্দীর প্রারম্ভেই এটি প্রতিষ্ঠিত হয়েছিল যে, প্রতিটি মৌলই বিকিরণের একটি বৈশিষ্ট্যমূলক বর্ণালীর (spectrum) সঙ্গে সংশ্লিষ্ট। উদাহরণস্বরূপ, হাইড্রোজেন সর্বদাই পারস্পরিক স্থির অবস্থানে থাকা কতগুলো রেখার সেট হিসেবে বিকিরণ নিঃসরণ করে। এই ঘটনা কোনো পরমাণুর অভ্যন্তরীণ গঠন এবং এর দ্বারা নিঃসৃত বিকিরণের বর্ণালীর মধ্যে একটি নিবিড় সম্পর্কের ইঙ্গিত দিয়েছিল। 1885 সালে জোহানজেকব বামার (1825 – 1898) পারমাণবিক হাইড্রোজেন থেকে নিঃসৃত রেখাগুলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয়ের জন্য একটি সরল স্থূলসূত্র নির্ণয় করেন। মৌলগুলোর মধ্যে হাইড্রোজেন সরলতম হওয়ায় আমরা এর বর্ণালী সম্পর্কে বিস্তারিতভাবে এই অধ্যায়ে জানবো।

জে.জে. টমসনের একজন প্রাক্তন গবেষক ছাত্র আর্নেস্ট রাদারফোর্ড (1871–1937) কিছু তেজস্ক্রিয় মৌল থেকে নিঃসৃত α -কণা সংক্রান্ত গবেষণা করছিলেন। 1906 সালে উনি পারমাণবিক গঠন অনুসন্ধানের জন্য পরমাণুগুলো দ্বারা α -কণা বিক্ষেপণের একটি উৎকৃষ্ট পরীক্ষার প্রস্তাব দিয়েছিলেন। পরবর্তীতে 1911 সালে হ্যাস গাইগার (1882–1945) এবং আর্নেস্ট মার্সডেন (1889–1970), যিনি 20 বছরের ছাত্র এবং তখনও স্নাতক উপাধি লাভ করেন নি) এই পরীক্ষাটি সম্পাদন করেছিলেন। এটি 12.2 অনুচ্ছেদে বিস্তারিতভাবে আলোচিত হয়েছে। এর ফলাফলের ব্যাখ্যা পরমাণু সম্পর্কিত রাদারফোর্ডের গ্রহ-প্রতিম মডেলের সূত্রপাত ঘটায় (একে পরমাণুর নিউক্লিয়ার মডেলও বলা হয়)। এই মডেল অনুসারে, পরমাণুর সমস্ত ধনাত্মক আধান এবং অধিকাংশ ভর ক্ষুদ্র আয়তনে কেন্দ্রীভূত থাকে, যাকে নিউক্লিয়াস বলে এবং এর চারদিকে ইলেকট্রনসমূহ সূর্যের চারদিকে গ্রহগুলো যেভাবে আবর্তিত হয় ঠিক সেভাবে আবর্তন করে।

বর্তমানে আমরা পরমাণুকে যেভাবে দেখি সেই দিকে একটি মুখ্য পদক্ষেপ হল রাদারফোর্ডের নিউক্লিয় মডেল। যদিও এর সাহায্যে পরমাণু কেন কেবলমাত্র বিচ্ছিন্ন (discrete) তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো নিঃসরণ করে তা ব্যাখ্যা করা যায় না। হাইড্রোজেনের মতো একটি সরল পরমাণু যার মধ্যে একটি ইলেকট্রন ও একটি প্রোটন বিদ্যমান তা কীভাবে নির্দিষ্ট তরঙ্গদৈর্ঘ্যের একটি জটিল বর্ণালী নিঃসৃত করে? একটি পরমাণুর গঠনের সনাতন চিত্রে, গ্রহ যেমন সূর্যের চারদিকে ঘোরে অনেকটা তেমনই ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসের চারদিকে ঘোরে। তথাপি, আমরা দেখাবো যে, এরূপ মডেলকে গ্রহণ করতে কিছু গুরুতর অসুবিধা রয়েছে।



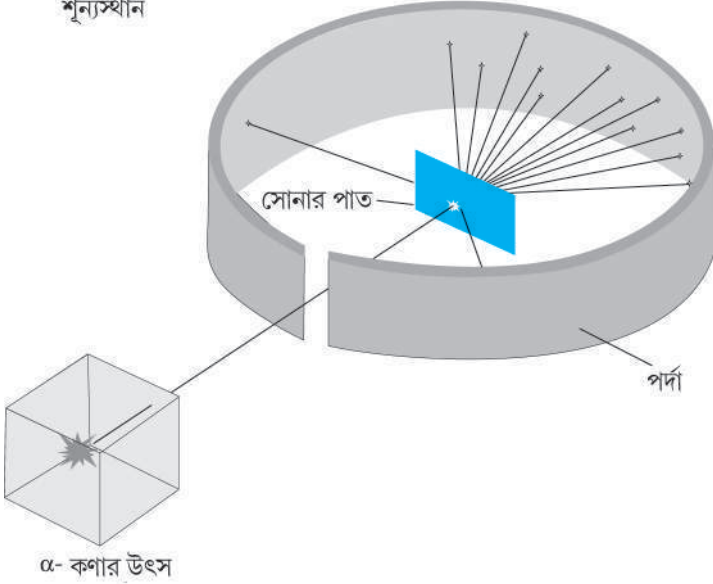
আর্নেস্ট রাদারফোর্ড (1871 – 1937) নিউজিল্যান্ডে জন্মগ্রহণকারী একজন ব্রিটিশ পদার্থবিদ, যিনি তেজস্ক্রিয় বিকিরণের উপর মৌলিক কাজ করেছিলেন। উনি আলফা-রশ্মি এবং বিটা-রশ্মি আবিষ্কার করেছিলেন। উনি ফেড্রিক সাডি সহ উনি তেজস্ক্রিয়তার আধুনিক তত্ত্ব উদ্ভাবন করেন। উনি থোরিয়াম বিকিরণের নিঃসরণকে অধ্যয়ন করেন এবং রেডনের সমস্থানিক একটি নতুন নিষ্ক্রিয় গ্যাস আবিষ্কার করেন। যা বর্তমানে থোরন (thoron) নামে পরিচিত। ধাতব পাতলা পাত্রে আলফা-রশ্মির বিক্ষেপণের দ্বারা উনি পারমাণবিক নিউক্লিয়াস আবিষ্কার করেন এবং পরমাণুর গ্রহ-প্রতিম মডেলের প্রস্তাব করেন। উনি নিউক্লিয়াসের আসন্ন আকারেরও গণনা করেছিলেন।

আর্নেস্ট রাদারফোর্ড (1871 – 1937)

12.2 আলফা-কণার বিক্ষেপণ এবং পরমাণুর রাদারফোর্ডের নিউক্লিয় মডেল (ALPHA-PARTICLE SCATTERING AND RUTHERFORD'S NUCLEAR MODEL OF ATOM)

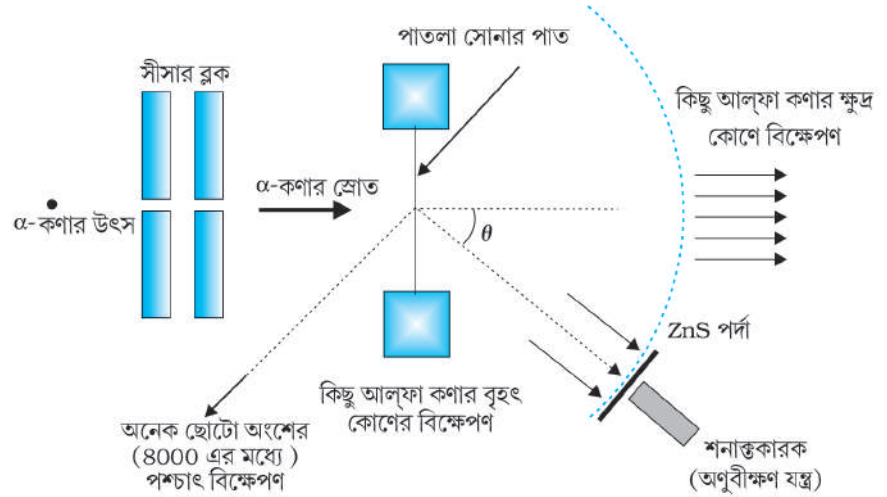
1911 সালে আর্নেস্ট রাদারফোর্ডের প্রস্তাব অনুযায়ী, এইচ গাইগার এবং ই মার্সডেন কিছু পরীক্ষা নিরীক্ষা সম্পাদন করেন। এই পরীক্ষাগুলোর একটিতে, যেমন 12.1 চিত্রে দেখানো হয়েছে, ওনারা

শূন্যস্থান



চিত্র 12.1 গাইগার-মার্সডেন এর বিক্ষেপণ পরীক্ষা। সমগ্র যন্ত্রাদি একটি শূন্য প্রকোষ্ঠে রাখা (যা এই চিত্রে দেখানো হয়নি)।

$^{214}_{83}\text{Bi}$ তেজস্ক্রিয় উৎস থেকে নিঃসৃত 5.5 MeV সম্পন্ন আলফা কণার স্রোত সোনার তৈরি একটি পাতলা ধাতব পাতের উপর ফেলেন। 12.2 চিত্র এই পরীক্ষারই একটি রূপরেখা চিত্রকে প্রদর্শন করছে। $^{214}_{83}\text{Bi}$ তেজস্ক্রিয় উৎস থেকে নিঃসৃত আলফা কণাসমূহ সীসার ব্লকের মধ্য দিয়ে যাওয়ার সময় সবু রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হয়। এই রশ্মিগুচ্ছকে $2.1 \times 10^{-7} \text{ m}$ পুরু স্বর্ণের একটি পাতলা পাতের উপর ফেলা হয়। বিক্ষেপিত আলফা কণাগুলো একটি জিঞ্জা সালফাইডের পর্দা এবং একটি অণুবীক্ষণ দ্বারা গঠিত একটি ঘূর্ণায়মান সনাক্তকরণের পর্যবেক্ষণ করা হয়। বিক্ষেপিত আলফা-কণাগুলো পর্দায় আঘাত করে আলোর ঝলক (flashes) বা স্ফুলিঙ্গ (scintillations) উৎপন্ন করে। এই ঝলক অণুবীক্ষণ যন্ত্রের মধ্য দিয়ে দেখা যেতে পারে এবং বিক্ষেপিত কণার সংখ্যার বন্টন বিক্ষেপণ কোণের অপেক্ষকরূপে অধ্যয়ন করা যেতে পারে।



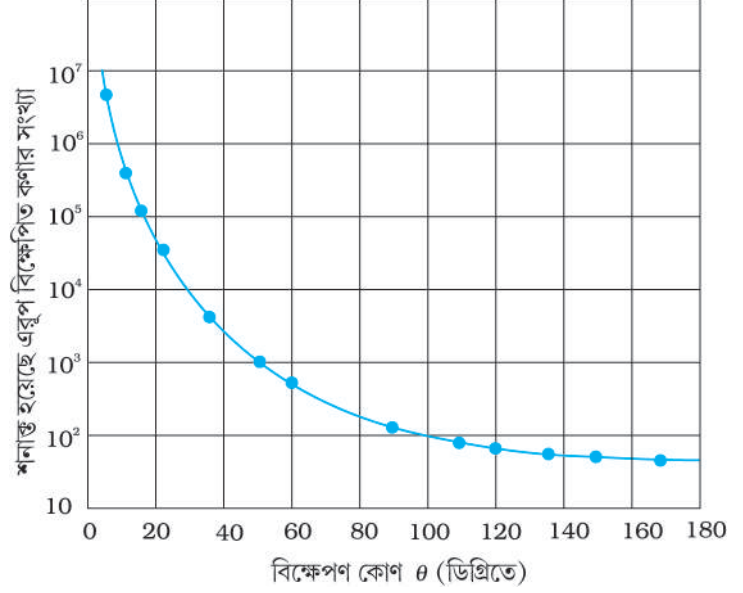
চিত্র 12.2 গাইগার-মার্সডেনের পরীক্ষা ব্যবস্থার রূপরেখা চিত্র।

12.3 চিত্রে প্রদত্ত সময়াবকাশে বিভিন্ন কোণে বিক্ষেপিত মোট α -কণাগুলোর একটি বৈশিষ্ট্যসূচক লেখচিত্র দেখানো হয়েছে। এই লেখচিত্রের বিন্দুগুলো (dots) পরীক্ষালব্ধ তথ্যকে সূচিত করে। লক্ষ্য (target) পরমাণুটির একটি অতি ক্ষুদ্র, ভারী ধনাত্মক তড়িৎচারিত কেন্দ্রক রয়েছে - এই ধারণার উপর ভিত্তি করে অনুমিত তাত্ত্বিক মান মোটা বক্রটি দ্বারা নির্দেশিত হয়। α -কণাগুলোর অধিকাংশই পাতের মধ্য দিয়ে চলে যায়। এর অর্থ এই যে, এরা কোনো প্রকার সংঘর্ষে লিপ্ত হয় না। আপতিত α -কণার কেবলমাত্র প্রায় 0.14% অংশ 1° -এর বেশি কোণে বিক্ষেপিত হয় এবং প্রায় 8000 এর মধ্যে 1টি α -কণা 90° -এর বেশি কোণে বিক্ষেপিত হয়। রাদারফোর্ড যুক্তি দিয়ে

বলেছিলেন যে, α -কণাকে পশ্চাতে বিক্ষেপ করতে এর উপর তীব্র বিকর্ষণ বল ক্রিয়া করতে হবে। এই বল তখনই যোগানো যেতে পারে যখন পরমাণুর ভরের বেশির ভাগ এবং এর ধনাত্মক আধান পরমাণুর কেন্দ্রে আঁটোসাঁটোভাবে ঘনসন্নিবিষ্ট থাকে। তখন আগত α -কণা ধনাত্মক আধানকে ভেদ না করে এর অত্যন্ত কাছাকাছি আসতে পারে এবং এত কাছাকাছি আসার ফলস্বরূপ বেশি বিক্ষেপণ ঘটে। যা নিউক্লিয় পরমাণুর প্রকল্পকে সমর্থন করেছিল। এই কারণে রাদারফোর্ড নিউক্লিয়াস আবিষ্কারকের সম্মান পেয়েছেন।

রাদারফোর্ডের পরমাণুর নিউক্লিয় মডেলে, ইলেকট্রনগুলোকে কিছু দূরে রেখে পরমাণুর সমগ্র ধনাত্মক আধান এবং ভরের অধিকাংশই নিউক্লিয়াসে ঘনসন্নিবিষ্ট থাকে। গ্রহগুলো সূর্যের চারিদিকে যেভাবে আবর্তন করে ঠিক সেভাবে পরমাণুর নিউক্লিয়াসের চারদিকে নির্দিষ্ট কক্ষপথে ইলেকট্রনগুলো আবর্তন করে। রাদারফোর্ডের পরীক্ষা ইঙ্গিত করে যে নিউক্লিয়াসের আকার প্রায় 10^{-15} m থেকে 10^{-14} m হয়। গতিয় তত্ত্ব অনুসারে পরমাণুর আকার 10^{-10} m, যা নিউক্লিয়াসের আকারের চেয়ে প্রায় 10,000 থেকে 100,000 গুণ বেশি হয় (একাদশ শ্রেণির পদার্থবিদ্যার পাঠ্যবইতে 11.6 অনুচ্ছেদ দেখো)। কাজেই, নিউক্লিয়াস থেকে ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসের নিজের আকার থেকে প্রায় 10,000 থেকে 100,000 গুণ দূরে রয়েছে বলে মনে হবে। অর্থাৎ পরমাণুর ভেতরে বেশিরভাগ অংশই ফাঁকা। পরমাণুর বেশিরভাগ অংশ ফাঁকা হওয়ার কারণে এটি সহজেই বোঝা যায় বেশির ভাগ ইলেকট্রনই কেন্দ্র পাতলা ধাতব পাতের মধ্য দিয়ে ঠিক সোজা চলে যায়। যাই হোক, যখনই α -কণা নিউক্লিয়াসের খুব কাছে আসে তখনই তীব্র তড়িৎক্ষেত্র একে বেশিমানের কোণে বিক্ষেপিত করে। খুবই হালকা হওয়ায় পারমাণবিক ইলেকট্রনগুলো α -কণাগুলোকে লক্ষ্যণীয়ভাবে প্রভাবিত করে না।

12.3 চিত্রে প্রদর্শিত বিক্ষেপণ তথ্যগুলোর বিশ্লেষণ রাদারফোর্ডের পরমাণুর নিউক্লিয় মডেল প্রয়োগ করে করা যেতে পারে। সোনার পাত অত্যন্ত পাতলা হওয়ায় ধরে নেওয়া যেতে পারে যে, এর মধ্য দিয়ে অতিক্রমকালে α -কণাগুলোর প্রতিটির একবারের বেশি বিক্ষেপণ হবে না। অতএব, একটিমাত্র নিউক্লিয়াস দ্বারা বিক্ষেপিত একটি আল্ফা কণার গতিপথের গণনাই যথেষ্ট। আল্ফা কণা হল হিলিয়াম পরমাণুর নিউক্লিয়াস, কাজেই এটি দুই একক ধনাত্মক আধান, $2e$ বহন করে এবং এর ভর হিলিয়াম পরমাণুটির ভরের সমান। একটি সোনার নিউক্লিয়াসের আধান Ze , যেখানে Z হল পরমাণুটির পারমাণবিক সংখ্যা; সোনার জন্য $Z = 79$ । যেহেতু সোনার নিউক্লিয়াস একটি α -কণার চেয়ে প্রায় 50গুণ ভারী, তাই এরূপ ধরে নেওয়া যুক্তিসঙ্গত যে নিউক্লিয়াসটি বিক্ষেপণ প্রক্রিয়ায় স্থির থাকে। এই ধারণা অনুসারে, নিউটনের দ্বিতীয় গতিসূত্র এবং আল্ফা কণা ও ধনাত্মক তড়িতে আহিত সোনার নিউক্লিয়াসের মধ্যে ক্রিয়াশীল স্থির তড়িতিক বিকর্ষণ বল সংক্রান্ত কুলম্বের সূত্র প্রয়োগে আল্ফা কণার গতিপথ নির্ণয় করা যায়।



চিত্র 12.3 12.1 এবং 12.2 চিত্রে গাইগার-মার্সডেন দ্বারা ব্যবহৃত ব্যবস্থাপনায় পাতলা পাতের উপর α -কণাগুলোর বিক্ষেপণে বিভিন্ন কোণে প্রাপ্ত পরীক্ষালব্ধ তথ্যসমূহ (বিন্দুরূপে দেখানো হয়েছে)। রাদারফোর্ডের নিউক্লিয় মডেলের ভিত্তিতে অঙ্কিত ভরাট বক্রটি পরীক্ষায় প্রাপ্তফলের সঙ্গে যথেষ্ট সঙ্গতিপূর্ণ।

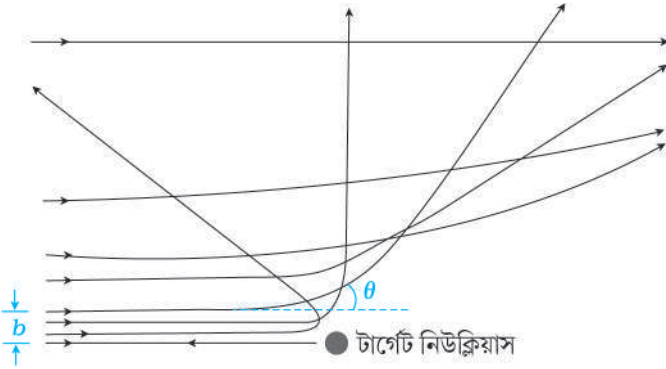
এই বলের মান,

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{(2e)(Ze)}{r^2} \quad (12.1)$$

যেখানে r হল α -কণা ও নিউক্লিয়াসের মধ্যবর্তী দূরত্ব। বলটি α -কণা ও নিউক্লিয়াসের সংযোজক রেখা বরাবর ক্রিয়া করে। α -কণাটি যতই নিউক্লিয়াসের দিকে অগ্রসর হয় কিংবা দূরে সরে যায়, এর উপর ক্রিয়াশীল বলের মান ও দিক ক্রমাগত পরিবর্তিত হতে থাকে।

12.2.1 আলফা কণার গতিপথ (Alpha-particle trajectory)

α -কণার গতিপথটি সংঘর্ষ পরিমাপক রাশি (impact parameter), b -এর উপর নির্ভর করে। এই সংঘর্ষ পরিমাপক রাশিটি হল নিউক্লিয়াসের কেন্দ্র থেকে α -কণার প্রারম্ভিক বেগ ভেক্টরের লম্ব দূরত্ব (চিত্র 12.4)। কোনো নির্দিষ্ট স্রোতের সংঘর্ষ পরিমাপক রাশির (b) এমন এক বণ্টন রয়েছে



চিত্র 12.4 টার্গেট নিউক্লিয়াসের কুলম্বীয় ক্ষেত্রে α -কণার গতিপথ।

b সংঘর্ষ পরিমাপক রাশি এবং θ বিক্ষেপণ কোণকেও চিহ্নিত করা হয়েছে।

যেন α -কণার স্রোত বিভিন্ন দিকে বিভিন্ন সম্ভাব্যতায় বিক্ষেপিত হয়। (এই স্রোতের সব কণারই প্রায় একই গতিশক্তি থাকে।) দেখা যায় নিউক্লিয়াসের নিকটবর্তী (ক্ষুদ্র সংঘর্ষ পরিমাপক রাশি) আলফা কণার বিক্ষেপণ বেশি হয়। মুখোমুখি সংঘর্ষের ক্ষেত্রে সংঘর্ষ পরিমাপক রাশির মান সর্বনিম্ন হয় এবং α -কণা একই পথে ফিরে আসে ($\theta \equiv \pi$)। বৃহৎ মানের সংঘর্ষ পরিমাপক রাশির জন্য α -কণা প্রায় বিচ্যুতিহীন অবস্থায় চলে যায় এবং ক্ষুদ্র বিক্ষেপণ ($\theta \equiv 0$) ঘটে।

আপতিত α -কণা সংখ্যার একটি ক্ষুদ্র অংশমাত্র বিপরীতদিকে ফিরে আসার ঘটনাটি বোঝায় যে মুখোমুখি সংঘর্ষকারী α -কণার সংখ্যা কম। এটি বোঝায় যে, পরমাণুর ভর ক্ষুদ্র আয়তনে কেন্দ্রীভূত। কাজেই রাদারফোর্ডের α -বিক্ষেপণ পরীক্ষা হল নিউক্লিয়াসের

আকারের উর্ধ্বসীমা নির্ণয়ের একটি গুরুত্বপূর্ণ উপায়।

উদাহরণ 12.1 পরমাণু সম্পর্কিত রাদারফোর্ডের নিউক্লিয় মডেলে, নিউক্লিয়াসটি (ব্যাসার্ধ প্রায় 10^{-15} m) সূর্যের সঙ্গে সদৃশ এবং সূর্যের চারদিকে পৃথিবীর আবর্তনের মতো নিউক্লিয়াসের চারদিকের কক্ষপথে (ব্যাসার্ধ $\approx 10^{-10}$ m) ইলেকট্রন আবর্তন করে। যদি সৌরজগতের মাত্রাগুলোর অনুপাতগুলো কোনো পরমাণুর মাত্রাগুলোর অনুপাতের মতো একই হয়, তবে কী পৃথিবী তার প্রকৃত অবস্থানের তুলনায় সূর্যের নিকটে অথবা আরও দূরে থাকবে? পৃথিবীর কক্ষপথের ব্যাসার্ধ প্রায় 1.5×10^{11} m। সূর্যের ব্যাসার্ধ 7×10^8 m ধরে নাও।

সমাধান : ইলেকট্রনের কক্ষপথের ব্যাসার্ধ ও নিউক্লিয়াসের ব্যাসার্ধের অনুপাত (10^{-10} m) / (10^{-15} m) = 10^5 , অর্থাৎ ইলেকট্রনের কক্ষপথের ব্যাসার্ধ নিউক্লিয়াসের ব্যাসার্ধের 10^5 গুণ বেশি হয়। যদি সূর্যের চারদিকে পৃথিবীর কক্ষপথের ব্যাসার্ধ সূর্যের ব্যাসার্ধের 10^5 গুণ বেশি হয়, তবে পৃথিবীর কক্ষপথের ব্যাসার্ধ হবে $10^5 \times 7 \times 10^8$ m = 7×10^{13} m। এটি পৃথিবীর প্রকৃত কক্ষপথের ব্যাসার্ধের 100 গুণ বেশি। তাই পৃথিবী সূর্য থেকে আরও অনেকটা বেশি দূরে থাকবে।

এটি বোঝায় যে, আমাদের সৌর জগতের তুলনায় পরমাণুতে ফাঁকা অংশ অনেক বেশি।

উদাহরণ 12.2 গাইগার-মার্সডেন পরীক্ষায় 7.7 MeV বিশিষ্ট α -কণা নিউক্লিয়াসের ন্যূনতম কত নিকটে অগ্রসর হয়ে (distance of closest approach) ক্ষণিকের জন্য স্থির অবস্থায় আসবে এবং এর অভিমুখ বিপরীতমুখী হবে?

সমাধান এখানে মূল ধারণাটি এই যে, বিক্ষেপণ প্রক্রিয়া চলাকালীন α -কণা এবং সোনার নিউক্লিয়াস নিয়ে গঠিত সংস্থাটির মোট যান্ত্রিক শক্তি সংরক্ষিত থাকে। α -কণা এবং নিউক্লিয়াসের পারস্পরিক ক্রিয়ার আগে সংস্থাটির প্রারম্ভিক যান্ত্রিক শক্তি E_i , α -কণা যখন ক্ষণিকের জন্য থামে তখন এর যান্ত্রিক শক্তি E_f -এর সমান হয়। E_i প্রারম্ভিক শক্তি আগত α -কণার গতিশক্তি K -এর ঠিক সমান হয়। সংস্থাটির তড়িৎ স্থিতিশক্তি U -ই হল সংস্থাটির অন্তিম শক্তি E_f । (12.1)সমীকরণ থেকে স্থিতিশক্তি, U -গণনা করা যেতে পারে।

ধরা যাক, যখন α -কণাটি এর তাৎক্ষণিক বিরাম বিন্দুতে থাকে তখন α -কণার কেন্দ্র ও সোনার নিউক্লিয়াসের কেন্দ্রের মধ্যে দূরত্ব d । সেক্ষেত্রে, শক্তির সংরক্ষণ $E_i = E_f$ অনুসারে আমরা লিখতে পারি যে,

$$K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{(2e)(Ze)}{d} = \frac{2Ze^2}{4\pi\epsilon_0 d}$$

অতএব, অগ্রগামিতার নিকটতম অবস্থানের দূরত্ব,

$$d = \frac{2Ze^2}{4\pi\epsilon_0 K}$$

প্রাকৃতিক উৎস থেকে প্রাপ্ত α -কণার সর্বোচ্চ গতিশক্তির মান 7.7 MeV বা 1.2×10^{-12} J। যেহেতু, $1/4\pi\epsilon_0 = 9.0 \times 10^9$ N m²/C², অতএব $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C-এর জন্য আমরা পাই,

$$d = \frac{(2)(9.0 \times 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2)(1.6 \times 10^{-19} \text{ C})^2 Z}{1.2 \times 10^{-12} \text{ J}} = 3.84 \times 10^{-16} Z \text{ m}$$

পাতের উপাদান সোনার পারমাণবিক সংখ্যা, $Z = 79$, কাজেই

$$d (\text{Au}) = 3.0 \times 10^{-14} \text{ m} = 30 \text{ fm}. [1 \text{ fm (অর্থাৎ ফার্মি)} = 10^{-15} \text{ m}.]$$

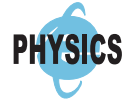
অতএব, সোনার নিউক্লিয়াসের ব্যাসার্ধ 3.0×10^{-14} m থেকে কম। এটি পর্যবেক্ষিত ফলাফলের সঙ্গে খুব বেশি সঙ্গতিপূর্ণ নয়, কেননা সোনার নিউক্লিয়াসের প্রকৃত ব্যাসার্ধ 6 fm। এই অসঙ্গতির কারণটি হল অগ্রগামিতার নিকটতম অবস্থানের দূরত্ব α -কণা এবং সোনার নিউক্লিয়াসের ব্যাসার্ধদ্বয়ের যোগফল অপেক্ষা অনেকটাই বেশি। তাই α -কণা সোনার নিউক্লিয়াসকে প্রকৃতপক্ষে না ছুঁয়েই নিজের গতির অভিমুখ বিপরীতদিকে করে নেয়।

12.2.2 ইলেকট্রন কক্ষপথসমূহ (Electron orbits)

সনাতন ধারণার উপর প্রতিষ্ঠিত রাদারফোর্ডের নিউক্লিয় মডেলে পরমাণুকে গতীয়ভাবে সুস্থিত নিজ নিজ কক্ষপথে আবর্তনরত ইলেকট্রনসমূহ দ্বারা পরিবেষ্টিত তড়িৎ নিরপেক্ষ একটি গোলক হিসেবে চিত্রিত করা হয়েছে যার কেন্দ্রে রয়েছে একটি অতিক্ষুদ্র ভারী এবং ধনাত্মক তড়িদাহিত নিউক্লিয়াস। আবর্তনশীল ইলেকট্রন সমূহ ও নিউক্লিয়াসের মধ্যে ক্রিয়াশীল স্থির তড়িৎ আকর্ষণ বল F_e , ইলেকট্রনকে নিজ কক্ষপথে রাখার জন্য প্রয়োজনীয় অভিকেন্দ্র বল F_c যোগান দেয়। তাই হাইড্রোজেন পরমাণুতে গতীয়ভাবে সুস্থিত (dynamically stable) কক্ষের জন্য

$$F_e = F_c$$

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2} \quad (12.2)$$



Simulate Rutherford scattering experiment
http://www.outreach.phy.cam.ac.uk/camphy/nucleus/nucleus6_1.htm

কাজেই, কক্ষপথের ব্যাসার্ধ এবং ইলেকট্রনের গতিবেগের মধ্যে সম্পর্কটি হল

$$r = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 m v^2} \quad (12.3)$$

হাইড্রোজেন পরমাণুতে ইলেকট্রনের গতিশক্তি K এবং স্থিরতড়িৎ স্থিতিশক্তি U হলে

$$K = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r} \quad \text{এবং} \quad U = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r}$$

(U -এর ঋণাত্মক চিহ্ন সূচিত করে যে স্থির তড়িৎবল $-r$ এর অভিমুখী)। তাই হাইড্রোজেন পরমাণুতে ইলেকট্রনের মোট শক্তি,

$$\begin{aligned} E = K + U &= \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r} - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} \\ &= -\frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r} \end{aligned} \quad (12.4)$$

ইলেকট্রনের মোট শক্তি ঋণাত্মক। এটি বোঝায় যে, ইলেকট্রনটি নিউক্লিয়াসের সাথে আবদ্ধ। যদি E ধনাত্মক হত, তবে ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসের চারদিকে বদ্ধ কক্ষপথে ঘুরত না।

উদাহরণ 12.3 পরীক্ষামূলকভাবে পাওয়া গেছে যে, হাইড্রোজেন পরমাণুকে একটি প্রোটন একটি ইলেকট্রনে পৃথক করতে 13.6 eV শক্তির প্রয়োজন। একটি হাইড্রোজেন পরমাণুতে কক্ষপথের ব্যাসার্ধ এবং ইলেকট্রনের বেগ গণনা করো।

সমাধান হাইড্রোজেন পরমাণুতে ইলেকট্রনটির মোট শক্তি $-13.6 \text{ eV} = -13.6 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J} = -2.2 \times 10^{-18} \text{ J}$ । অতএব, (12.4) সমীকরণ থেকে আমরা পাই,

$$-\frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r} = -2.2 \times 10^{-18} \text{ J}$$

এ থেকে পাওয়া যায়, কক্ষপথের ব্যাসার্ধ

$$\begin{aligned} r &= -\frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 E} = -\frac{(9 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2)(1.6 \times 10^{-19} \text{ C})^2}{(2)(-2.2 \times 10^{-18} \text{ J})} \\ &= 5.3 \times 10^{-11} \text{ m.} \end{aligned}$$

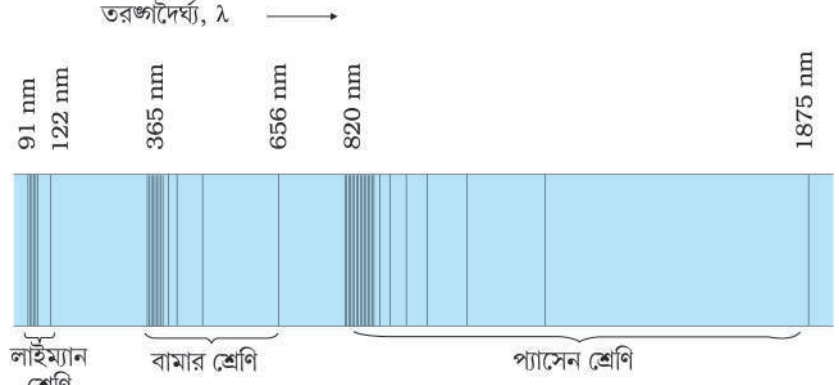
$m = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ধরে 12.3 সমীকরণ থেকে ঘূর্ণনরত ইলেকট্রনের বেগ গণনা করা যেতে পারে,

$$v = \frac{e}{\sqrt{4\pi\epsilon_0 m r}} = 2.2 \times 10^6 \text{ m/s.}$$

12.3 পারমাণবিক বর্ণালি (ATOMIC SPECTRA)

12.1 অনুচ্ছেদ অনুসারে, প্রত্যেক মৌল নিঃসৃত বিকিরণের একটি বৈশিষ্ট্যমূলক বর্ণালি আছে। সাধারণত তড়িৎপ্রবাহ পাঠিয়ে নিম্নচাপে রাখা কোনো একটি পারমাণবিক গ্যাস বা বাষ্পকে উদ্দীপিত করা হল, এর থেকে নিঃসৃত বিকিরণে কিছু নির্দিষ্ট তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বর্ণালি পাওয়া যায়। এই ধরনের বর্ণালিকে নিঃসরণ রেখা বর্ণালি (emission line spectrum) বলে এবং এটি কালো প্রেক্ষাপটের (background) উপর কতগুলো উজ্জ্বল রেখা নিয়ে গঠিত। 12.5 চিত্রে পারমাণবিক হাইড্রোজেন

দ্বারা নিঃসৃত বর্ণালিকে দেখানো হয়েছে। অতএব কোনো গ্যাসের শনাক্তকরণে ওই পদার্থের নিঃসরণ রেখা বর্ণালির অধ্যয়ন 'ফিজ্জার প্রিন্ট' রূপে কাজ করে। যখন সাদা আলো কোনো গ্যাসের মধ্য দিয়ে যায় এবং আমরা একটি বর্ণালিবীক্ষণ যন্ত্র ব্যবহার করে নিঃসৃত আলোর বিশ্লেষণ করি, তখন বর্ণালিতে কিছু কালো রেখা পাওয়া যায়। এই কালো রেখাগুলো গ্যাসটির নিঃসরণ রেখা বর্ণালিতে পাওয়া তরঙ্গদৈর্ঘ্যের হুবহু একইরকম হয়। এটিকে গ্যাসটির উপাদানের *শোষণ বর্ণালি (absorption spectrum)* বলা হয়।



চিত্র 12.5 হাইড্রোজেন বর্ণালিতে নিঃসরণ রেখাসমূহ।

12.3.1 বর্ণালি রেখাগুচ্ছ বা শ্রেণি (Spectral series)

আমরা এরূপ আশা করতে পারি যে, কোনো একটি নির্দিষ্ট মৌল থেকে নিঃসৃত আলোর কম্পাঙ্ক কিছু সুসম সজ্জা (pattern) প্রদর্শন করবে। হাইড্রোজেন পরমাণুই সরলতম পরমাণু, তাই এর নিঃসৃত বর্ণালিও সরলতম হয়। যাই হোক, একনজরে পর্যবেক্ষিত বর্ণালিতে বর্ণালি রেখাগুলোর ক্রম বা ধারাবাহিকতার কোনো সদৃশতা রয়েছে বলে মনে হয় না। কিন্তু হাইড্রোজেন বর্ণালির সেট সমূহে রেখাগুলোর মধ্যকার দূরত্ব নিয়মিতরূপে কমতে থাকে (চিত্র 12.5)। এই সেটগুলোর প্রত্যেকটিকে একটি বর্ণালি রেখাগুচ্ছ বা শ্রেণি বলা হয়। 1885 সালে সুইডেনের একজন স্কুল শিক্ষক জোহানজেকব বামার (1825–1898) হাইড্রোজেন বর্ণালির দৃশ্যমান অঞ্চলে এ ধরনের একটি শ্রেণিকে প্রথম দেখতে পান। এই শ্রেণিকে বলা হয় *বামার শ্রেণি* (চিত্র 12.6)। 656.3 nm সর্বোচ্চ তরঙ্গদৈর্ঘ্য বিশিষ্ট লাল রঙের রেখাকে H_α বলে; 486.1 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের লাল-সবুজ বর্ণের পরবর্তী রেখাকে H_β ; 434.1 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বেগুনি রঙের তৃতীয় রেখাকে H_γ বলা হয় এবং এরূপে অন্যান্য রেখাগুলোকে সূচিত করা হয়। তরঙ্গদৈর্ঘ্য কমার সাথে সাথে রেখাগুলো ক্রমশঃ পরস্পরের কাছাকাছি আসতে থাকে এবং এদের তীব্রতাও কমতে থাকে। বামার বর্ণালির পর্যবেক্ষিত তরঙ্গদৈর্ঘ্যের জন্য একটি সরল স্থূল (empirical) সূত্র দিয়েছিলেন,

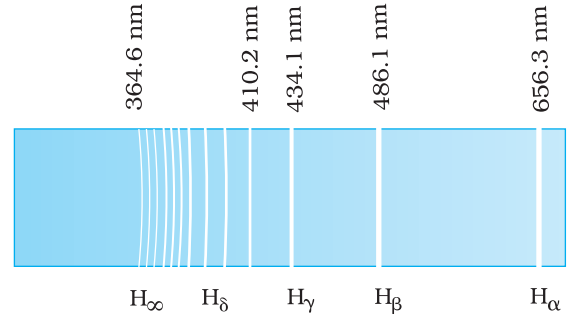
$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (12.5)$$

যেখানে λ হল তরঙ্গদৈর্ঘ্য, R একটি ধ্রুবক যাকে রিডবার্গ-ধ্রুবক বলা হয় এবং n -এর মান 3, 4, 5 ইত্যাদি পূর্ণসংখ্যা হতে পারে। R -এর মান $1.097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$ । এই সূত্রকে বামার সূত্রও বলা হয়।

(12.5) সমীকরণটিতে $n = 3$ বসিয়ে, H_α রেখার তরঙ্গদৈর্ঘ্য পাওয়া যায় :

$$\frac{1}{\lambda} = 1.097 \times 10^7 \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right) \text{ m}^{-1} = 1.522 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$$

অর্থাৎ, $\lambda = 656.3 \text{ nm}$



চিত্র 12.6 হাইড্রোজেনের নিঃসরণ বর্ণালিতে বামার শ্রেণি।

$n = 4$ -এর জন্য H_{β} রেখার তরঙ্গদৈর্ঘ্য পাওয়া যায় ইত্যাদি। $n = \infty$ -এর জন্য $\lambda = 364.6$ nm হয়, যা বর্ণালি শ্রেণির সীমা। এটি বামার শ্রেণির ক্ষুদ্রতম তরঙ্গদৈর্ঘ্য। এই সীমার বাইরে আর কোনো স্পর্শ রেখা দেখা যায় না, কেবলমাত্র নিরবচ্ছিন্ন বর্ণালি দেখা যায়।

পরবর্তীকালে হাইড্রোজেনের অন্যান্য বর্ণালি শ্রেণিগুলো আবিষ্কৃত হয়েছিল। আবিষ্কারের নামানুসারে এরা লাইম্যান (Lyman), প্যাসেন (Paschen), ব্র্যাকেট (Brackett) এবং ফাণ্ড (Pfund) শ্রেণি নামে পরিচিত। নিম্নের সূত্রগুলোর সাহায্যে এদের প্রকাশ করা যায় :

লাইম্যান শ্রেণি :

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n = 2, 3, 4, \dots \quad (12.6)$$

প্যাসেন শ্রেণি :

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n = 4, 5, 6, \dots \quad (12.7)$$

ব্র্যাকেট শ্রেণি :

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n = 5, 6, 7, \dots \quad (12.8)$$

ফাণ্ড শ্রেণি :

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n = 6, 7, 8, \dots \quad (12.9)$$

লাইম্যান শ্রেণি অতিবেগুনি অঞ্চলে, প্যাসেন ও ব্র্যাকেট শ্রেণি অবলোহিত অঞ্চলের অন্তর্গত।

$$c = v\lambda$$

বা $\frac{1}{\lambda} = \frac{v}{c}$ ব্যবহার করে বামার সূত্র (12.5) সমীকরণকে আলোকের কম্পাঙ্কের মাধ্যমে

লেখা যেতে পারে।

তাই (12.5) সমীকরণের পরিবর্তিত রূপটি হল

$$v = Rc \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (12.10)$$

(12.5) – (12.9) সমীকরণগুলোর মতো সরল সূত্র দ্বারা কেবলমাত্র কিছু সংখ্যক মৌলের (হাইড্রোজেন, একক-আয়নিত হিলিয়াম এবং দ্বি-আয়নিত লিথিয়াম) বর্ণালি রেখা প্রকাশ করা যেতে পারে।

(12.5) – (12.9) সমীকরণগুলো গুরুত্বপূর্ণ কেননা এদের সাহায্যে হাইড্রোজেন পরমাণুগুলোর বিকিরিত বা শোষিত তরঙ্গদৈর্ঘ্য সমূহ পাওয়া যায়। যাই হোক, এই ফলাফলগুলো অনুভূতিমূলক অনুমান নির্ভর (empirical) এবং এরা হাইড্রোজেন বর্ণালিতে কেবলমাত্র কিছু নির্দিষ্ট কম্পাঙ্ক কেন লক্ষ করা যায় এর কোনো কারণ ব্যাখ্যা করতে পারে না।

12.4 হাইড্রোজেন পরমাণু সম্পর্কিত বোর মডেল (BOHR MODEL OF THE HYDROGEN ATOM)

সৌরজগতের অনুকরণে রাদারফোর্ডের প্রস্তাবিত পরমাণুর মডেল অনুসারে পরমাণু একটি কেন্দ্রীয় নিউক্লিয়াস এবং ঘূর্ণনরত ইলেকট্রন নিয়ে গঠিত, যা অনেকটা সৌরজগতের ন্যায় সুস্থিত। তথাপি, এই দুটি ক্ষেত্রের মধ্যে কিছু মৌলিক পার্থক্য রয়েছে। গ্রহমণ্ডলী মহাকর্ষীয় বল দ্বারা আবৃত, কিন্তু

নিউক্লিয়াস-ইলেকট্রন সংস্থাটি আহিত হওয়ায় এদের আন্তঃক্রিয়া বলের কুলম্বের সূত্র অনুযায়ী হয়। আমরা জানি যে, বৃত্তপথে পরিভ্রমণরত কোনো বস্তু প্রতিনিয়ত ত্বরিত হয় এবং প্রকৃতিগতভাবে এই ত্বরণটি অভিকেন্দ্র ত্বরণ। সনাতন তড়িৎচুম্বকীয় তত্ত্ব অনুসারে, ত্বরিত আহিত কণা তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গরূপে বিকিরণ নিঃসরণ করে। ফলে ত্বরিত ইলেকট্রনের শক্তি ক্রমাগত হ্রাস পাবে। ইলেকট্রনটি সর্পিলাকারে ভেতরের দিকে বেঁকে যাবে এবং অবশেষে নিউক্লিয়াসের উপর গিয়ে পড়বে (চিত্র 12.7)। তাই, এই ধরনের পরমাণু কখনোই সুস্থিত হতে পারে না। উপরন্তু, সনাতন তড়িৎচুম্বকীয় তত্ত্ব অনুসারে, আবর্তনরত ইলেকট্রন দ্বারা নিঃসৃত তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গের কম্পাঙ্ক ইলেকট্রনের আবর্তনের কম্পাঙ্কের সমান হয়। যেহেতু ইলেকট্রনগুলো সর্পিলাকারে ভেতর দিকে বাঁকে, তাই এদের কৌণিক বেগ এবং কম্পাঙ্ক ক্রমাগত পরিবর্তিত হতে থাকবে, ফলস্বরূপ, নিঃসৃত আলোর কম্পাঙ্কও পরিবর্তিত হবে। কাজেই এরা পর্যবেক্ষিত রেখা বর্ণালির পরিবর্তে বর্ণালি নিঃসরণ করবে। স্পষ্টতই, রাদারফোর্ডের মডেল বোঝায় যে, পারমাণবিক গঠনকে ব্যাখ্যা করতে সনাতন ধারণাগুলো যথেষ্ট নয়।



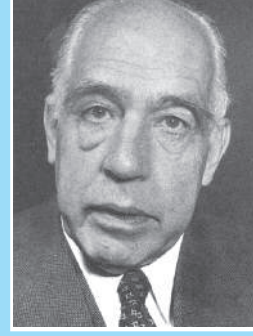
চিত্র 12.7 একটি ত্বরিত পারমাণবিক ইলেকট্রন শক্তি হারিয়ে অবশ্যই সর্পিলাকারে নিউক্লিয়াসের দিকে বেঁকে যাবে।

উদাহরণ 12.4 সনাতন তড়িৎচুম্বকীয় তত্ত্ব অনুসারে, হাইড্রোজেন পরমাণুতে প্রোটনের চারদিকে আবর্তনরত ইলেকট্রন দ্বারা নিঃসৃত আলোকের প্রারম্ভিক কম্পাঙ্ক গণনা করো।

সমাধান উদাহরণ 12.3 থেকে আমরা জানতে পারি যে, হাইড্রোজেন পরমাণুতে প্রোটনের চারদিকে $5.3 \times 10^{-11} \text{ m}$ ব্যাসার্ধের কক্ষপথে আবর্তনরত ইলেকট্রনের গতিবেগ $2.2 \times 10^6 \text{ m/s}$ । তাই, প্রোটনের চারদিকে আবর্তনরত ইলেকট্রনের কম্পাঙ্ক হয়

$$v = \frac{v}{2\pi r} = \frac{2.2 \times 10^6 \text{ m s}^{-1}}{2\pi (5.3 \times 10^{-11} \text{ m})} \approx 6.6 \times 10^{15} \text{ Hz.}$$

সনাতন তড়িৎচুম্বকীয় তত্ত্ব অনুসারে আমরা জানতে পারি যে, আবর্তনরত ইলেকট্রন দ্বারা নিঃসৃত তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গের কম্পাঙ্ক, এর নিউক্লিয়াসের চারদিকে আবর্তনের কম্পাঙ্কের সমান। কাজেই নিঃসৃত আলোকের প্রারম্ভিক কম্পাঙ্ক $6.6 \times 10^{15} \text{ Hz}$ ।



নীলস হেনরিক ডেভিড বোর [Niels Henrik David Bohr (1885 – 1962)] ডেনমার্কের একজন পদার্থ বিজ্ঞানী যিনি কোয়ান্টাম ধারণাগুলোর উপর ভিত্তি করে হাইড্রোজেন বর্ণালি ব্যাখ্যা করেন। তিনি নিউক্লিয়াসের তরল-বিন্দু মডেলের উপর ভিত্তি করে নিউক্লিয়াস বিভাজনের একটি তত্ত্ব দিয়েছিলেন। কোয়ান্টাম বলবিদ্যায় পরিপূরক নীতি (complementary principle) প্রস্তাবের মাধ্যমে কিছু ধারণাগত (conceptual) সমস্যার স্পষ্টীকরণে তিনি অবদান রাখেন।

নীলস হেনরিক ডেভিড বোর (1885 – 1962)

নব উদ্ভাবিত ও বিকাশশীল কোয়ান্টাম প্রকল্পের ধারণাগুলো যুক্ত করে নীলস বোর-ই [Niels Bohr (1885 – 1962)] রাদারফোর্ড মডেলের কিছু পরিবর্তন সাধন করেন। 1912 সালে নীলস বোর বেশ কয়েক মাসের জন্য রাদারফোর্ডের পরীক্ষাগারে অধ্যয়ন করেছিলেন এবং উনি রাদারফোর্ডের নিউক্লিয় মডেলের যথার্থতা সম্পর্কে নিশ্চিত হয়েছিলেন। উপরে বর্ণিত বিভ্রান্তির সম্মুখীন হয়ে 1913 সালে বোর সিদ্ধান্ত নিয়েছিলেন যে তড়িৎচুম্বকীয় তত্ত্ব, বৃহৎ স্তরের ঘটনাবলির ব্যাখ্যায় সক্ষম হলেও এই তত্ত্বকে পারমাণবিক স্তরের প্রক্রিয়াগুলোতে প্রয়োগ করা যাবে না। এটি স্পষ্ট যে পরমাণুর গঠন এবং পারমাণবিক বর্ণালির সাথে পারমাণবিক গঠনের সম্পর্ক বুঝতে হলে সনাতন বলবিদ্যা এবং তড়িৎচুম্বকত্বের প্রতিষ্ঠিত নীতিগুলো থেকে আমূল সরে যাওয়ার প্রয়োজন হয়। বোর সনাতন তত্ত্ব ও গোড়ার দিকে কোয়ান্টাম তত্ত্বের মধ্যে সমন্বয় সাধন করেন এবং তিনটি স্বীকার্যের মাধ্যমে তাঁর তত্ত্ব উপস্থাপন করেন। স্বীকার্যগুলো হল :

(i) বোরের প্রথম স্বীকার্যটি হল যে, পরমাণু মধ্যস্থ কোনো ইলেকট্রন বিকীর্ণ শক্তি নিঃসরণ না করেই কিছু নির্দিষ্ট স্থায়ী কক্ষপথে আবর্তন করতে পারে, যা তড়িৎচুম্বকীয় তত্ত্বের সিদ্ধান্তের বিরোধী। এই স্বীকার্য অনুযায়ী, প্রত্যেক পরমাণুর নির্দিষ্ট কতগুলো স্থায়ী স্তর রয়েছে যেখানে ইলেকট্রন থাকতে পারে এবং প্রত্যেক সম্ভাব্য স্তরের নির্দিষ্ট মোট শক্তি রয়েছে। এগুলোকে বলা হয় পরমাণুর স্থায়ী স্তর (stationary states)।

(ii) বোরের দ্বিতীয় স্বীকার্যটি এসকল স্থায়ী কক্ষপথকে সংজ্ঞায়িত করে। এই স্বীকার্য অনুযায়ী, নিউক্লিয়াসের চারপাশে ইলেকট্রনগুলো শুধুমাত্র সেইসকল কক্ষপথে আবর্তন করে, যেসকল কক্ষপথে ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ $h/2\pi$ -এর কোনো পূর্ণ সংখ্যার গুণিতক হবে। যেখানে h হল প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক ($= 6.6 \times 10^{-34}$ J s)। তাই, আবর্তনশীল ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ (L) কোয়ান্টায়িত। অর্থাৎ

$$L = nh/2\pi \quad (12.11)$$

(iii) বোরের তৃতীয় স্বীকার্যে প্ল্যাঙ্ক এবং আইনস্টাইন দ্বারা উদ্ভাবিত প্রারম্ভিক কোয়ান্টাম ধারণাগুলো পারমাণবিক তত্ত্বে অন্তর্ভুক্ত করা হয়েছিল। এর বিবৃতিটি হল, ‘একটি ইলেকট্রনের কোনো একটি নির্দিষ্ট অ-বিকিরণযোগ্য (non-radiating) কক্ষপথ থেকে নিম্নতর শক্তির অপর কক্ষপথে সংক্রমণ করতে পারে। যখন এরূপ ঘটে তখন একটি ফোটন নিঃসৃত হয়, যার শক্তি প্রারম্ভিক এবং অন্তিম স্তরের শক্তির অন্তরফলের সমান হয়।’ নিঃসৃত ফোটনের কম্পাঙ্ক নিম্নরূপে পাওয়া যায়

$$hv = E_i - E_f \quad (12.12)$$

যেখানে E_i এবং E_f হল যথাক্রমে প্রারম্ভিক এবং অন্তিম স্তরের শক্তি এবং $E_i > E_f$ ।

একটি হাইড্রোজেন পরমাণুর ক্ষেত্রে, বিভিন্ন শক্তিস্তরের শক্তি নির্ণয়ের রাশিমালাগুলো (12.4) সমীকরণ ব্যবহার করে পাওয়া যায়। কিন্তু সেক্ষেত্রে এই সমীকরণে ইলেকট্রনের কক্ষপথের ব্যাসার্ধ r -এর প্রয়োজন হয়। r -এর মান নির্ণয়ে ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ সম্পর্কিত বোরের দ্বিতীয় স্বীকার্য কোয়ান্টায়ন শর্ত ব্যবহার করা হয়। কৌণিক ভরবেগ,

$$L = mvr$$

কোয়ান্টায়ন সম্পর্কিত বোরের দ্বিতীয় স্বীকার্যে বলা হয়েছে যে, কৌণিক ভরবেগের অনুমোদিত মানগুলো $h/2\pi$ -এর পূর্ণসংখ্যার গুণিতক।

$$L_n = mv_n r_n = \frac{nh}{2\pi} \quad (12.13)$$

যেখানে n একটি পূর্ণসংখ্যা, r_n হল n -তম সম্ভাব্য কক্ষপথের ব্যাসার্ধ এবং v_n হল n -তম কক্ষপথে গতিশীল ইলেকট্রনের দ্রুতি। n -এর মান অনুসারে অনুমোদিত কক্ষগুলোকে 1, 2, 3, দ্বারা

চিহ্নিত করা হয়; n -কে মুখ্য কোয়ান্টাম সংখ্যা (*principal quantum number*) বলা হয়।

(12.3) সমীকরণ অনুযায়ী, v_n এবং r_n -এর মধ্যে সম্পর্কটি হয়

$$v_n = \frac{e}{\sqrt{4\pi\epsilon_0 m r_n}}$$

একে (12.13) সমীকরণের সঙ্গে সমন্বিত করে v_n এবং r_n -এর জন্য আমরা নিম্নের রাশিমালাটি পাই,

$$v_n = \frac{1}{n} \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{(h/2\pi)} \quad (12.14)$$

এবং

$$r_n = \left(\frac{n^2}{m}\right) \left(\frac{h}{2\pi}\right)^2 \frac{4\pi\epsilon_0}{e^2} \quad (12.15)$$

(12.14) সমীকরণ থেকে বোঝা যায় যে, n -তম কক্ষপথে ইলেকট্রনের কক্ষিক দ্রুতি $1/n$ অংশে নেমে আসে। (12.15) সমীকরণ ব্যবহার করে সবচেয়ে অভ্যন্তরীণ কক্ষপথের ($n = 1$) আকার নিম্নরূপে নির্ণয় করা যেতে পারে —

$$r_1 = \frac{h^2 \epsilon_0}{\pi m e^2}$$

একে বোর ব্যাসার্ধ বলা হয়, যা a_0 দ্বারা সূচিত হয়। অর্থাৎ,

$$a_0 = \frac{h^2 \epsilon_0}{\pi m e^2} \quad (12.16)$$

h , m , ϵ_0 এবং e -এর মান প্রতিস্থাপন করে পাওয়া যায় $a_0 = 5.29 \times 10^{-11} \text{ m}$ ।

(12.15) সমীকরণ থেকে আরও দেখা যায় যে, কক্ষপথগুলোর ব্যাসার্ধ n^2 পরিমাণে বেড়েছে।

কক্ষপথের ব্যাসার্ধের মান (12.4) সমীকরণে প্রতিস্থাপন করে হাইড্রোজেনের স্থির স্তরগুলোতে ইলেকট্রনের মোট শক্তির পরিমাণ নির্ণয় করা যেতে পারে।

$$E_n = -\left(\frac{e^2}{8\pi\epsilon_0}\right) \left(\frac{m}{n^2}\right) \left(\frac{2\pi}{h}\right)^2 \left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0}\right)$$

$$\text{বা, } E_n = -\frac{m e^4}{8 n^2 \epsilon_0^2 h^2} \quad (12.17)$$

মানসমূহ প্রতিস্থাপন করে (12.17) সমীকরণ থেকে পাওয়া যায়,

$$E_n = -\frac{2.18 \times 10^{-18}}{n^2} \text{ J} \quad (12.18)$$

পারমাণবিক শক্তিকে প্রায়ই জুলের পরিবর্তে ইলেকট্রন-ভোল্ট (eV) এককে প্রকাশ করা হয়। যেহেতু $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$, তাই (12.18) সমীকরণকে পুনরায় লেখা যেতে পারে

$$E_n = -\frac{13.6}{n^2} \text{ eV} \quad (12.19)$$

একটি কক্ষপথে গতিশীল ইলেকট্রনের মোট শক্তির ঋণাত্মক চিহ্নটির অর্থ এই যে, ইলেকট্রনটি নিউক্লিয়াসের সাথে আবদ্ধ। তাই কোনো ইলেকট্রনকে হাইড্রোজেন পরমাণুর নিউক্লিয়াস থেকে (বা হাইড্রোজেন পরমাণুতে প্রোটন থেকে) অসীম দূরত্ব পর্যন্ত সরিয়ে নিয়ে যেতে শক্তির প্রয়োজন।

পদার্থবিদ্যা

(12.17) – (12.19) সমীকরণগুলোর প্রতিষ্ঠায় ইলেকট্রনীয় কক্ষপথগুলো বৃত্তাকার এই ধারণাটিকে ধরে নেওয়া হয়েছে; যদিও ব্যস্ত বর্গ বলের অধীনে কক্ষপথগুলো সাধারণতঃ উপবৃত্তাকার হয়। (গ্রহগুলো সূর্যের ব্যস্ত বর্গ মহাকর্ষীয় বলের অধীনে উপবৃত্তাকার কক্ষপথে গতিশীল।) যাই হোক, এটি জার্মান পদার্থবিদ আর্নল্ড সমারফিল্ড (1868 – 1951) দেখিয়েছেন যে, যখন বৃত্তীয় কক্ষপথের সীমাবদ্ধতা শিথিল করা হয়, তখন এই সমীকরণগুলো উপবৃত্তীয় কক্ষপথের জন্যও প্রযোজ্য হবে।

পরমাণুতে ইলেকট্রনের কক্ষপথ বনাম অবস্থা (কক্ষীয় চিত্রণ) [ORBIT VS STATE (ORBITAL PICTURE) OF ELECTRON IN ATOM]

পদার্থবিদ্যার কোনো না কোনো পর্যায়ে এক বা একাধিক বার বোরের পারমাণবিক মডেলের সাথে আমাদের পরিচয় ঘটে থাকে। কোয়ান্টাম বলবিদ্যার ইতিহাসে বিশেষত পরমাণুর গঠন ব্যাখ্যায় এই মডেলের বিশেষ অবদান রয়েছে। একটি ত্বরিত কণার বিকিরণ ব্যাখ্যায় প্রয়োজনীয় সনাতন তত্ত্বের বিপরীতে, ইলেকট্রনের ক্ষেত্রে বোর প্রদত্ত নির্দিষ্ট শক্তির কক্ষপথ সম্পর্কিত যুগান্তকারী ধারণাটি মাইল ফলক হিসেবে পরিণত হয়েছে। বোর নির্দিষ্ট কক্ষপথগুলোতে গতিশীল ইলেকট্রনগুলোর কৌণিক ভরবেগের কোয়ান্টায়নের ধারণাও দিয়েছিলেন। তাই এটি হল পরমাণু গঠনের একটি আংশিক সনাতন (semi-classical) তত্ত্ব।

এখন, কোয়ান্টাম বলবিদ্যার উন্নতিসাধনের সাথে সাথে পরমাণুর গঠন সম্পর্কে ভালো ধারণা হয়েছে। শ্রোডিঞ্জারের (Schrödinger) তরঙ্গ সমীকরণের সমাধানগুলো প্রোটনগুলোর আকর্ষণ বলের অধীনে পরমাণুর সঙ্গে আবদ্ধ ইলেকট্রনগুলোকে তরঙ্গরূপে বর্ণনা করে।

বোর মডেলে ইলেকট্রনের কোনো কক্ষপথ হল নিউক্লিয়াসের চারদিকে গতিশীল একটি ইলেকট্রনের বৃত্তাকার গতিপথ। কিন্তু কোয়ান্টাম বলবিদ্যা অনুসারে, আমরা কোনো একটি নির্দিষ্ট পথকে একটি পরমাণুতে থাকা ইলেকট্রনগুলোর গতির সঙ্গে সমন্বিত করতে পারি না। আমরা কেবলমাত্র নিউক্লিয়াসের চারদিকের দেশে (space) কোনো একটি নির্দিষ্ট অঞ্চলে ইলেকট্রনকে পাওয়ার সম্ভাবনা সম্পর্কে বলতে পারি। এই সম্ভাবনাটি কক্ষক (orbital) নামক একক ইলেকট্রন তরঙ্গ অপেক্ষক থেকে অনুমান করা যেতে পারে। এই অপেক্ষক কেবলমাত্র ইলেকট্রনটির স্থানাঙ্কের উপর নির্ভর করে।

অতএব, এটি অপরিহার্য যে, দুটি মডেলের মধ্যে সূক্ষ্ম পার্থক্যের যে অস্তিত্ব রয়েছে তা আমাদের বোঝা প্রয়োজন :

- বোর মডেল কেবলমাত্র এক-ইলেকট্রন পরমাণু সমূহ / আয়নসমূহের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য; এই মডেলে প্রত্যেক কক্ষের জন্য নির্ধারিত শক্তির পরিমাণ মুখ্য কোয়ান্টাম সংখ্যা n -এর উপর নির্ভর করে। আমরা জানি যে, এক ইলেকট্রন পরমাণুগুলো / আয়নগুলোর জন্য, একটি ইলেকট্রনের স্থির অবস্থার সঙ্গে সংশ্লিষ্ট শক্তি কেবলমাত্র n -এর উপর নির্ভর করে। বহু ইলেকট্রন-পরমাণু / আয়নের জন্য, এটি সত্য নয়।
- হাইড্রোজেনের মতো পরমাণু সমূহ / আয়নসমূহের জন্য প্রাপ্ত শ্রোডিঞ্জারের তরঙ্গ সমীকরণের সমাধান, যাকে তরঙ্গ অপেক্ষক বলা হয়, নিউক্লিয়াসের চারদিকের বিভিন্ন অঞ্চলের মধ্যে একটি ইলেকট্রনকে পাওয়ার সম্ভাবনার তথ্য প্রদান করে। এই কক্ষক (orbital) এবং বোর মডেলে ইলেকট্রনের জন্য সংজ্ঞায়িত কক্ষপথের মধ্যে কোনো সাদৃশ্য নেই।

উদাহরণ 12.5 8000 km ব্যাসার্ধের একটি কক্ষপথে 10 kg-এর একটি উপগ্রহ পৃথিবীর চারদিকে প্রতি 2 h -এ একবার বৃত্তাকারে আবর্তন করে। ধরে নাও, বোরের কৌণিক ভরবেগের স্বীকার্য হাইড্রোজেন পরমাণুতে একটি ইলেকট্রনের ক্ষেত্রে যেমন প্রযোজ্য ঠিক তেমনই উপগ্রহের ক্ষেত্রেও প্রয়োগ করা যায়। উপগ্রহটির কক্ষপথের কোয়ান্টাম সংখ্যা নির্ণয় করো।

সমাধান

(12.13) সমীকরণ থেকে, আমরা পাই

$$m v_n r_n = nh/2\pi$$

এখানে $m = 10 \text{ kg}$ এবং $r_n = 8 \times 10^6 \text{ m}$ ।

ঘূর্ণায়মান উপগ্রহের পর্যায়কাল $T = 2h = 7200 \text{ s}$ ।

অতএব বেগ $v_n = 2\pi r_n/T$ ।

উপগ্রহটির কক্ষপথের কোয়ান্টাম সংখ্যা $n = (2\pi r_n)^2 \times m/(T \times h)$ ।

মানগুলো প্রতিস্থাপন করে পাওয়া যায়,

$$n = (2\pi \times 8 \times 10^6 \text{ m})^2 \times 10/(7200 \text{ s} \times 6.64 \times 10^{-34} \text{ J s}) \\ = 5.3 \times 10^{45}$$

লক্ষ করো, উপগ্রহটির গতির ক্ষেত্রে কোয়ান্টাম সংখ্যাটি খুবই বৃহৎ। বাস্তবে এরূপ বৃহৎ কোয়ান্টাম সংখ্যার জন্য কোয়ান্টায়ন শর্তের ফলাফল সনাতন পদার্থবিদ্যার ফলাফলের দিকে যাওয়ার প্রবণতা দেখায়।

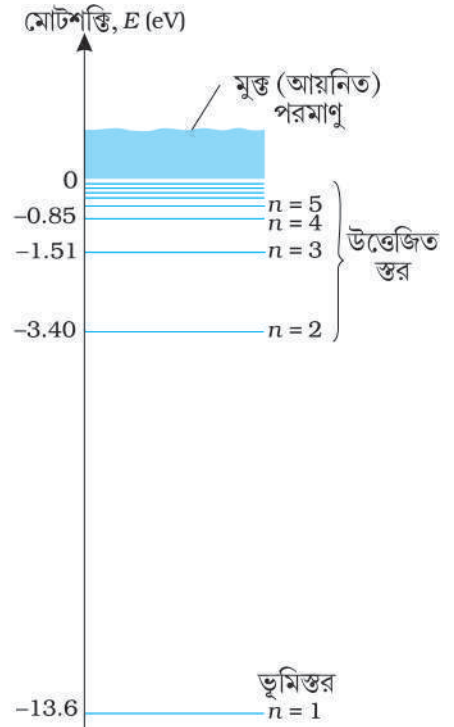
12.4.1 শক্তিস্তর সমূহ (Energy levels)

একটি পরমাণুর শক্তি তখনই ন্যূনতম (সর্বোচ্চ ঋণাত্মক মান) হয় যখন এর ইলেকট্রন পরমাণুর নিউক্লিয়াসের নিকটতম অর্থাৎ ($n = 1$) কক্ষপথে পরিক্রমণ করে। $n = 2, 3, \dots$, এর জন্য শক্তির পরম মান অপেক্ষাকৃত কম, ফলে বাইরের কক্ষপথগুলোতে শক্তি ক্রমশ বাড়তে থাকে। ক্ষুদ্রতম ব্যাসার্ধ তথা বোর ব্যাসার্ধের (a_0) কক্ষপথে আবর্তনরত ইলেকট্রনের সাথে সংশ্লিষ্ট সর্বনিম্ন শক্তিবিশিষ্ট পরমাণুর সর্বনিম্ন স্তরটিকে ভূমিস্তর (*ground state*) বলে। এই স্তরের ($n = 1$) শক্তি $E_1 = -13.6 \text{ eV}$ । সুতরাং, হাইড্রোজেন পরমাণুর ভূমিস্তর থেকে একটি ইলেকট্রনকে মুক্ত করতে প্রয়োজনীয় শক্তি 13.6 eV । একে হাইড্রোজেনের 'আয়ননশক্তি' (*ionisation energy*) বলা হয়। বোর মডেলের এই ধারণাটির সাথে আয়নন শক্তির পরীক্ষালব্ধ মানটির যথেষ্ট মিল রয়েছে।

ঘরের তাপমাত্রায় বেশিরভাগ হাইড্রোজেন পরমাণুই ভূমিস্তরে থাকে। ইলেকট্রন সংঘর্ষের মতো প্রক্রিয়ার দ্বারা যখন হাইড্রোজেন পরমাণু শক্তি লাভ করে, তখন সেই পরমাণুটি ইলেকট্রনকে উচ্চতর শক্তিস্তরে উন্নীত করার জন্য যথেষ্ট পরিমাণ শক্তিলভ করতে পারে। এই অবস্থায় পরমাণুটি উত্তেজিত স্তরে (*excited state*) রয়েছে বলা হয়। সমীকরণ (12.19) অনুযায়ী $n = 2$ -এর জন্য শক্তি $E_2 = -3.40 \text{ eV}$ হয়। এটি বোঝায় যে, একটি হাইড্রোজেন পরমাণুতে একটি ইলেকট্রনকে এর প্রথম উত্তেজিত শক্তিস্তরে উন্নীত করতে প্রয়োজনীয় শক্তি, $E_2 - E_1 = -3.40 \text{ eV} - (-13.6 \text{ eV}) = 10.2 \text{ eV}$ -এর সমান হয়। একইভাবে, $E_3 = -1.51 \text{ eV}$ এবং $E_3 - E_1 = 12.09 \text{ eV}$ অর্থাৎ, হাইড্রোজেন পরমাণুকে তার ভূমিস্তর ($n = 1$) থেকে দ্বিতীয় উত্তেজিত শক্তিস্তরে ($n = 3$) উন্নীত করতে প্রয়োজনীয় শক্তি 12.09 eV , এইভাবে একইক্রমে চলতে থাকে। এই উত্তেজিত স্তরগুলো থেকে ইলেকট্রন একটি ফোটন নিঃসরণ করে আবার তার নিম্নশক্তি স্তরগুলোতে নেমে আসতে পারে। অতএব, হাইড্রোজেন পরমাণুর উদ্দীপনা (*excitation*) বাড়ার সাথে সাথে (অর্থাৎ n যত বাড়তে থাকে) উত্তেজিত পরমাণু (*excited atom*) থেকে ইলেকট্রন মুক্ত করতে প্রয়োজনীয় ন্যূনতম শক্তি কমতে থাকে।

সমীকরণ (12.19) অনুযায়ী গণনাকৃত হাইড্রোজেন পরমাণুর সুস্থিত (অবস্থার) শক্তিস্তরের রেখাচিত্র* 12.8 চিত্রে দেখানো হয়েছে। মুখ্য কোয়ান্টাম সংখ্যা n -এর দ্বারা সুস্থিত শক্তিস্তরগুলোকে

* কোনোও ইলেকট্রনের মোট শক্তি $E = 0 \text{ eV}$ -এর চেয়ে বেশি যে-কোনো মানের হতে পারে। এই অবস্থায় ইলেকট্রন মুক্ত (*free*) থাকে। কাজেই 12.8 চিত্র অনুযায়ী $E = 0 \text{ eV}$ -এর শক্তিস্তরের নিরবচ্ছিন্নতা (*continuous*) রয়েছে।



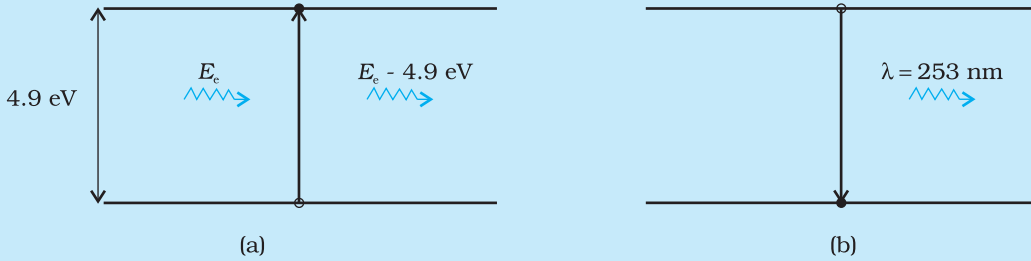
চিত্র 12.8 হাইড্রোজেন পরমাণুর শক্তিস্তরের চিত্র। ঘরের তাপমাত্রায় একটি হাইড্রোজেন পরমাণুতে ইলেকট্রন অধিকাংশ সময়ই তার ভূমিস্তরে থাকে। একটি হাইড্রোজেন পরমাণুকে আয়নিত করতে ভূমিস্তরের ইলেকট্রনকে অবশ্যই 13.6 eV শক্তি দিতে হয়। (অনুভূমিক রেখাগুলো অনুমোদিত শক্তিস্তরের উপস্থিতিকে সূচিত করে।)

পদার্থবিদ্যা

শক্তির মানের উর্ধ্বক্রমানুসারে সূচিত করা হয়েছে। এই চিত্রে সর্বোচ্চ শক্তিস্তরটি (12.19) সমীকরণে $n = \infty$ -এর আনুষঙ্গিক এবং এই স্তরের শক্তি 0 eV হয়। এটি হচ্ছে পরমাণুর সেই শক্তি যখন ইলেকট্রনকে ($r = \infty$) নিউক্লিয়াস থেকে সম্পূর্ণভাবে অপসারণ করা হয় এবং এটি স্থিরাবস্থায় থাকে। লক্ষ করে দেখো যে n -এর মান বাড়ার সাথে সাথে উত্তেজিত শক্তিস্তরগুলো কীভাবে পরস্পরের কাছাকাছি চলে আসে।

ফ্র্যাঙ্ক-হার্জ পরীক্ষা (FRANCK – HERTZ EXPERIMENT)

1914 সালে জেমস ফ্র্যাঙ্ক (James Franck) এবং গুস্তভ হার্জ (Gustav Hertz) একটি পরমাণুর বিচ্ছিন্ন শক্তিস্তরের অস্তিত্বের যথার্থতা সরাসরি নিরূপণ করেন। ওনারা পারদবাস্পের মধ্য দিয়ে বিভিন্ন গতিশক্তিসম্পন্ন ইলেকট্রন পাঠিয়ে ওই পারদ বাস্পের বর্ণালি পর্যবেক্ষণ করেন। এক্ষেত্রে পরিবর্তনশীল তীব্রতার (varying strength) তড়িৎক্ষেত্র প্রয়োগ করে ইলেকট্রনগুলোর শক্তির পরিবর্তন ঘটানো হয়। ইলেকট্রনগুলো পারদ-পরমাণু সমূহের সঙ্গে সংঘর্ষে লিপ্ত হয় এবং পারদ পরমাণু সমূহে শক্তির স্থানান্তর ঘটাতে পারে। এটি একমাত্র তখনই সম্ভব যখন ইলেকট্রনটির শক্তি, একটি ইলেকট্রন দ্বারা অধিকৃত (occupied) পারদের একটি শক্তিস্তর এবং একটি উচ্চতর অনধিকৃত (unoccupied) শক্তিস্তরের শক্তির পার্থক্যের চেয়ে বেশি হয় (চিত্র দেখো)। উদাহরণস্বরূপ, পারদের একটি অধিকৃত শক্তিস্তর এবং একটি উচ্চতর অনধিকৃত শক্তিস্তরের শক্তির পার্থক্য 4.9 eV। যদি একটি ইলেকট্রন 4.9 eV বা তার চেয়ে বেশি শক্তি নিয়ে পারদের মধ্য দিয়ে যায়, পারদ পরমাণুর একটি ইলেকট্রন সেই সংঘর্ষকারী ইলেকট্রন থেকে শক্তি শোষণ করতে পারে এবং উদ্দীপিত হয়ে উচ্চতর শক্তিস্তরে উন্নীত হয় [চিত্র (a)]। সংঘর্ষকারী ইলেকট্রনের গতিশক্তি ওই পরিমাণে হ্রাস পায়।



উত্তেজিত ইলেকট্রনটি পরবর্তী সময়ে বিকিরণ নিঃসরণ করে ভূমিস্তরে নেমে আসে। [চিত্র (b)] নিঃসৃত বিকিরণের (emitted radiation) তরঙ্গদৈর্ঘ্য :

$$\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{6.625 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{4.9 \times 1.6 \times 10^{-19}} = 253 \text{ nm}$$

সরাসরি পরিমাপের দ্বারা ফ্র্যাঙ্ক এবং হার্জ দেখতে পেলেন যে, পারদের নিঃসরণ বর্ণালিতে এই তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সংশ্লিষ্ট (corresponding) একটি রেখা রয়েছে। পরীক্ষার মাধ্যমে পরমাণুতে বিচ্ছিন্ন শক্তিস্তরের অস্তিত্ব সংক্রান্ত বোরের মৌলিক ধারণা এবং ফোটন নিঃসরণের পদ্ধতির যথার্থতা নিরূপণের জন্য 1925 সালে ফ্র্যাঙ্ক এবং হার্জ নোবেল পুরস্কার লাভ করেন।

12.5 হাইড্রোজেন পরমাণুর রেখা বর্ণালি (THE LINE SPECTRA OF THE HYDROGEN ATOM)

বোরের মডেলের তৃতীয় স্বীকার্য অনুযায়ী, একটি পরমাণু যখন n_i কোয়ান্টাম সংখ্যাবিশিষ্ট উচ্চতর শক্তিস্তর থেকে n_f ($n_f < n_i$) কোয়ান্টাম সংখ্যা বিশিষ্ট নিম্নতর শক্তিস্তরে সংক্রমিত (transition) হয়, তখন দুটি স্তরের শক্তি পার্থক্যের সমান শক্তিসম্পন্ন ν_{if} কম্পাঙ্কের একটি ফোটন নির্গত হয়, যেন

$$h\nu_{if} = E_{n_i} - E_{n_f} \quad (12.20)$$

E_{n_f} এবং E_{n_i} -এর জন্য সমীকরণ (12.16) ব্যবহার করে আমরা পাই

$$h\nu_{if} = \frac{me^4}{8\epsilon_0^2 h^2} \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \quad (12.21)$$

$$\text{অথবা, } \nu_{if} = \frac{me^4}{8\epsilon_0^2 h^3} \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \quad (12.22)$$

সমীকরণ (12.21) হল হাইড্রোজেন বর্ণালির ক্ষেত্রে রিডবার্গের সূত্র। এই সম্পর্কটিতে যদি আমরা $n_f = 2$ এবং $n_i = 3, 4, 5, \dots$ ধরে নিই, এটি বামার শ্রেণির জন্য সমীকরণ (12.10)-এর অনুরূপ একটি আকার লাভ করে। এর থেকে আমরা রিডবার্গ ধ্রুবককে নিম্নরূপে সংজ্ঞায়িত করতে পারি

$$R = \frac{me^4}{8\epsilon_0^2 h^3 c} \quad (12.23)$$

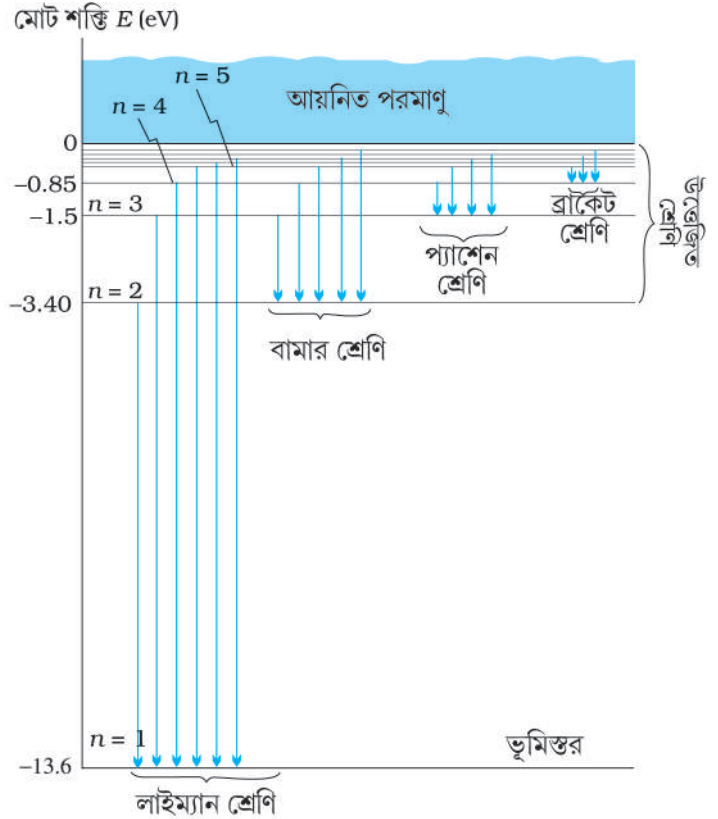
আমরা (12.23) সমীকরণে বিভিন্ন ধ্রুবকগুলোর মান বসিয়ে পাই

$$R = 1.03 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$$

এই মানটি বামারের অনুভূতিমূলক অনুমান নির্ভর সূত্র (empirical Balmer formula) থেকে প্রাপ্ত মান ($1.097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$)-এর খুব কাছাকাছি হয়। রিডবার্গ ধ্রুবকের এই তাত্ত্বিক ও পরীক্ষালব্ধ মানের মধ্যে সঙ্গতি বোর মডেলকে একটি নিখুঁত ও প্রত্যক্ষ স্বীকৃতি প্রদান করে।

(12.22) সমীকরণে n_f এবং n_i উভয়ই পূর্ণসংখ্যা হওয়ায় এটি প্রত্যক্ষভাবে বোঝায় যে, বিভিন্ন পারমাণবিক শক্তিস্তরের মধ্যে সংক্রমণ (transitions) ঘটলে বিভিন্ন বিচ্ছিন্ন কম্পাঙ্কের বিকিরণ নিঃসৃত হয়। হাইড্রোজেন বর্ণালিতে বামার সূত্রের সঙ্গে সংশ্লিষ্ট কোয়ান্টাম সংখ্যা $n_f = 2$ এবং $n_i = 3, 4, 5, \dots$ ইত্যাদি হয়। বোরের মডেলের সিদ্ধান্তসমূহ হাইড্রোজেন বর্ণালিতে $n_i = 2, 3, \dots$ ইত্যাদি থেকে $n_f = 1$ এবং $n_i = 4, 5, 6, \dots$ ইত্যাদি থেকে $n_f = 3$ -এ এবং অনুরূপ বিভিন্ন সংক্রমণের আনুষঙ্গিক অন্যান্য বর্ণালি শ্রেণির উপস্থিতির ধারণা প্রদান করে। বর্ণালিবীক্ষণিক অনুসন্ধানের (spectroscopic investigation) দ্বারা এই শ্রেণিগুলো শনাক্ত করা হয়। এই শ্রেণিগুলো লাইম্যান, বামার, প্যাশেন, ব্র্যাকেট, ফাউ শ্রেণি নামে পরিচিত। এই শ্রেণিগুলোর সংশ্লিষ্ট ইলেকট্রন সংক্রমণ 12.9 চিত্রে দেখানো হয়েছে।

ইলেকট্রন যখন উচ্চতর শক্তিস্তর থেকে নিম্নতর শক্তিস্তরে লাফিয়ে পড়ে এবং ফোটন নিঃসরণ করে তখন পারমাণবিক বর্ণালিতে বিভিন্ন রেখার উৎপত্তি ঘটে। এই বর্ণালি রেখাগুলোকে নিঃসরণ রেখা (emission lines) বলে। কিন্তু একটি ইলেকট্রনের নিম্ন শক্তিস্তর থেকে উচ্চ শক্তিস্তরে সংক্রমণের জন্য প্রয়োজনীয় শক্তির যথাযথভাবে সমান শক্তিসম্পন্ন একটি ফোটন যখন একটি পরমাণু দ্বারা শোষিত হয়, তখন সেই পদার্থটিকে শোষণ (absorption) বলা হয়। যদি কোনো নিরবচ্ছিন্ন



চিত্র 12.9 শক্তিস্তরসমূহের মধ্যে সংক্রমণের ফলে রেখা বর্ণালির উৎপত্তি।

বিস্তৃতির (continuous range) কম্পাঙ্কবিশিষ্ট ফোটন সমূহ একটি তনুভূত (rarefied) গ্যাসের মধ্য দিয়ে অতিক্রম করার পর একটি বর্ণালীবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে এর বিশ্লেষণ করা হয় তবে নিরবচ্ছিন্ন বর্ণালিতে একটি অন্ধকার শোষণ বর্ণালি রেখা শ্রেণি দেখা যায়। অন্ধকার রেখাগুলো সেই কম্পাঙ্কগুলোকে নির্দেশ করে, যেগুলো গ্যাসের পরমাণু দ্বারা শোষিত হয়।

বোর মডেলের সাহায্যে দেওয়া হাইড্রোজেন পরমাণুর বর্ণালির ব্যাখ্যা এর এক অসাধারণ অবদান, যা আধুনিক কোয়ান্টাম তত্ত্বের অগ্রগতিকে বিশেষভাবে প্রভাবিত করেছে। 1922 সালে বিজ্ঞানী বোরকে পদার্থবিদ্যায় নোবেল পুরস্কারে ভূষিত করা হয়।

উদাহরণ 12.6 রিডবার্গ সূত্র ব্যবহার করে লাইম্যান শ্রেণির প্রথম চারটি রেখার তরঙ্গদৈর্ঘ্য গণনা করো।

সমাধান রিডবার্গ সূত্রটি হল —

$$hc/\lambda_{if} = \frac{me^4}{8\epsilon_0^2 h^2} \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

লাইম্যান শ্রেণির প্রথম চারটি রেখার সংশ্লিষ্ট সংক্রমণ হল, $n_i = 2, 3, 4, 5$ থেকে $n_f = 1$ -এ আমরা জানি,

$$\frac{me^4}{8\epsilon_0^2 h^2} = 13.6 \text{ eV} = 21.76 \times 10^{-19} \text{ J}$$

সুতরাং,

$$\begin{aligned} \lambda_{i1} &= \frac{hc}{21.76 \times 10^{-19} \left(\frac{1}{1} - \frac{1}{n_i^2} \right)} \text{ m} \\ &= \frac{6.625 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8 \times n_i^2}{21.76 \times 10^{-19} \times (n_i^2 - 1)} \text{ m} = \frac{0.9134 n_i^2}{(n_i^2 - 1)} \times 10^{-7} \text{ m} \\ &= 913.4 n_i^2 / (n_i^2 - 1) \text{ \AA} \end{aligned}$$

এই রাশিমালায়, $n_i = 2, 3, 4, 5$, বসিয়ে পাই, $\lambda_{21} = 1218 \text{ \AA}$, $\lambda_{31} = 1028 \text{ \AA}$, $\lambda_{41} = 974.3 \text{ \AA}$, এবং $\lambda_{51} = 951.4 \text{ \AA}$ ।

12.6 ডি-ব্রগলি দ্বারা কোয়ান্টায়ন সংক্রান্ত বোরের দ্বিতীয় স্বীকার্যের ব্যাখ্যা (DE BROGLIE'S EXPLANATION OF BOHR'S SECOND POSTULATE OF QUANTISATION)

বোরের পরমাণু মডেলের সকল স্বীকার্যগুলোর মধ্যে সম্ভবত দ্বিতীয় স্বীকার্যটি সবচেয়ে বেশি বিভ্রান্তিকর। এর বিবৃতি অনুযায়ী, নিউক্লিয়াসের চারদিকে আবর্তনরত ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ কোয়ান্টায়িত (অর্থাৎ, $L_n = nh/2\pi$; $n = 1, 2, 3 \dots$)। কৌণিক ভরবেগের একমাত্র ওই মানগুলোই কেন থাকে, যেগুলো $h/2\pi$ -এর পূর্ণসংখ্যা গুণিতক হয়? বোরের পরমাণু মডেল প্রস্তাবনার দশ বছর পরে 1923 সালে ফরাসী বিজ্ঞানী লুইস ডি ব্রগলি এই বিভ্রান্তির (puzzle) ব্যাখ্যা দেন।

আমরা একাদশ অধ্যায়ে ডি ব্রগলির প্রকল্প সম্পর্কে জেনেছি, যার বিবৃতি অনুযায়ী ইলেকট্রনের মতো পদার্থকণা সমূহেরও তরঙ্গ প্রকৃতি রয়েছে। সি.জে.ডেভিসন (C. J. Davisson) এবং এল.এইচ.গার্মার (L. H. Germer) পরবর্তীকালে, 1927 সালে পরীক্ষার মাধ্যমে ইলেকট্রনের তরঙ্গ প্রকৃতির যথার্থতা নিরূপণ করেন। লুইস ডি ব্রগলি যুক্তি দিয়ে বলেন যে, বোরের প্রস্তাবনা

পরমাণুসমূহ

অনুযায়ী বৃত্তীয় কক্ষপথে আবর্তনরত ইলেকট্রনকে অবশ্যই কণা তরঙ্গ হিসেবে ভাবতে হবে। একটি তারের উপর গতিশীল তরঙ্গ সমূহের মতো কণা তরঙ্গগুলোও অনুনাদী অবস্থায় (resonant conditions) স্থানু তরঙ্গ উৎপন্ন করতে পারে। একাদশ শ্রেণির পদার্থবিদ্যার পাঠ্যবইয়ের পঞ্চদশ অধ্যায় থেকে আমরা জানি, যখন একটি তারকে টেনে ছেড়ে দেওয়া হয় তখন বহু সংখ্যক তরঙ্গদৈর্ঘ্য উৎপন্ন হয়। যদিও যে সকল তরঙ্গদৈর্ঘ্যের জন্য প্রাস্তীয় অবস্থানগুলোতে নিঃস্পন্দ বিন্দু থাকে শুধুমাত্র সেগুলোরই অস্তিত্ব থাকে এবং ওরা তারে স্থানুতরঙ্গ উৎপন্ন করে। এর অর্থ হল স্থানুতরঙ্গ তখনই গঠিত হবে যখন তারের মধ্য দিয়ে যাতায়াতে তরঙ্গের মোট অতিক্রান্ত দূরত্ব তরঙ্গদৈর্ঘ্যের এক, দুই বা যে-কোনো পূর্ণ সংখ্যার সরল গুণিতকের সমান হয়। অন্যান্য তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তরঙ্গগুলোর প্রতিফলনের ফলে এদের পরস্পরের মধ্যে ব্যতিচার ঘটে এবং তাদের বিস্তার খুব দ্রুত শূন্য মানে পৌঁছায়, r_n ব্যাসার্ধের n তম কক্ষপথে গতিশীল একটি ইলেকট্রনের মোট অতিক্রান্ত দূরত্ব, কক্ষপথের পরিধি $2\pi r_n$ -এর সমান। অতএব

$$2\pi r_n = n\lambda, \quad n = 1, 2, 3... \quad (12.24)$$

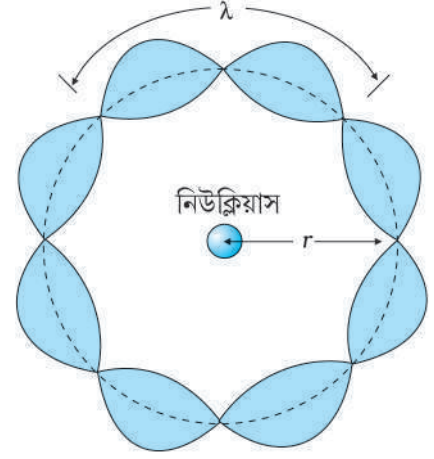
12.10 চিত্র $n = 4$ বিশিষ্ট বৃত্তাকার কক্ষপথের উপর একটি স্থানু কণা তরঙ্গ চিত্রায়িত করছে। অর্থাৎ, $2\pi r_n = 4\lambda$, যেখানে λ হল n তম কক্ষপথে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য। একাদশ অধ্যায়ে আমরা জেনেছি $\lambda = h/p$; যেখানে p হল ইলেকট্রনের ভরবেগের মান। ইলেকট্রনের দ্রুতি যদি আলোর দ্রুতির চেয়ে অনেক কম হয়, তাহলে ভরবেগের সমান mv_n হয়। অতএব, $\lambda = h/mv_n$, (12.24) সমীকরণ থেকে আমরা পাই

$$2\pi r_n = n h/mv_n \quad \text{অথবা} \quad m v_n r_n = nh/2\pi$$

এটি হল ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগের জন্য বোরের প্রস্তাবিত কোয়ান্টাম শর্ত (সমীকরণ 12.13)। 12.5 পরিচ্ছেদে, আমরা দেখেছি যে, এই সমীকরণটি হাইড্রোজেন পরমাণুতে বিচ্ছিন্ন কক্ষপথ ও শক্তিস্তরের ব্যাখ্যার মূল ভিত্তি। এভাবে ডি ব্রগলি প্রকল্প কক্ষপথে আবর্তনরত ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগের কোয়ান্টায়ন সংক্রান্ত বোরের দ্বিতীয় স্বীকার্যটির একটি ব্যাখ্যা প্রদান করে। ইলেকট্রনের তরঙ্গ প্রকৃতির জন্যই ইলেকট্রনের কক্ষপথ এবং শক্তিস্তর কোয়ান্টায়িত হয় এবং কেবলমাত্র অনুনাদী স্থানুতরঙ্গই স্থায়ী হতে পারে।

সনাতন গতিপথের চিত্র (নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করে আবর্তনরত গ্রহ সদৃশ ইলেকট্রন) সম্বলিত বোর মডেল হাইড্রোজেন সদৃশ পরমাণুগুলোর* প্রধান বৈশিষ্ট্যসমূহ সম্পর্কে সঠিকভাবে ধারণা দেয়। যাইহোক, এই মডেলের বহু সীমাবদ্ধতা রয়েছে। এগুলো হচ্ছে :

- (i) বোর মডেল হাইড্রোজেন সদৃশ পরমাণুর ক্ষেত্রে প্রযোজ্য। এটিকে হিলিয়ামের মতো দুই ইলেকট্রনযুক্ত পরমাণুর ক্ষেত্রেও প্রয়োগ করা যায় না। হাইড্রোজেন সদৃশ পরমাণুর জন্য বোর মডেলের রূপরেখা অনুযায়ী একাধিক ইলেকট্রনযুক্ত পরমাণুর বিশ্লেষণ করার চেষ্টা করা হয়, কিন্তু সেই প্রচেষ্টা সফল হয়নি। এখানে সমস্যা হল - প্রতিটি ইলেকট্রন শুধুমাত্র ধনাত্মক আধানযুক্ত নিউক্লিয়াসের সঙ্গেই ক্রিয়া করে তা নয়, অন্যান্য ইলেকট্রনগুলোর সঙ্গেও পারস্পরিক ক্রিয়া করে। ধনাত্মক আধানযুক্ত নিউক্লিয়াস এবং ইলেকট্রনের মধ্যে ক্রিয়াশীল তাড়িতিক বলের (electrical



চিত্র 12.10 একটি বৃত্তাকার কক্ষপথে একটি স্থানুতরঙ্গ দেখানো হয়েছে, যেখানে চারটি ডি ব্রগলি পূর্ণতরঙ্গ কক্ষপথের পরিধিতে সঠিকভাবে জায়গা করে নিয়েছে।

* হাইড্রোজেন সদৃশ পরমাণুগুলো হল সেই পরমাণু যাদের মধ্যে $+Ze$ ধনাত্মক আধানযুক্ত নিউক্লিয়াস এবং একটি একক ইলেকট্রন রয়েছে। যেখানে Z হল প্রোটন সংখ্যা। উদাহরণস্বরূপ হাইড্রোজেনের পরমাণু, একক আধানে আহিত হিলিয়াম, দুইটি আধানে আহিত লিথিয়াম প্রভৃতি। এই পরমাণুগুলোতে অধিকতর জটিল ইলেকট্রন-ইলেকট্রন পারস্পরিক ক্রিয়ার (interaction) কোনো অস্তিত্ব থাকে না।

পদার্থবিদ্যা

force) ভিত্তিতে বোর মডেল প্রতিষ্ঠিত। ইলেকট্রন সমূহের মধ্যে ক্রিয়াশীল তাড়িতিক বল যা বহু ইলেকট্রন পরমাণু সমূহের মধ্যে অত্যাৱশ্যকভাবে দেখা যায়, তা বোরের মডেলের অন্তর্গত নয়।

- (ii) বোরের মডেল যদিও হাইড্রোজেন সদৃশ পরমাণুগুলো থেকে নিঃসৃত আলোর কম্পাঙ্কগুলো সম্পর্কে সঠিক ধারণা দেয়, কিন্তু বর্ণালিতে উপস্থিত কম্পাঙ্কগুলোর আপেক্ষিক তীব্রতার কোনো ব্যাখ্যা দিতে পারে নি। হাইড্রোজেন নিঃসরণ বর্ণালীতে দৃশ্যমান কিছু কম্পাঙ্কের তীব্রতা ক্ষীণ হয় এবং অন্যান্য কম্পাঙ্কের তীব্রতা প্রবল হয়। এমনটা কেন হয়? পরীক্ষালব্ধ পর্যবেক্ষণ থেকে দেখা যায় যে কিছু কিছু সংক্রমণ (transition) অন্যান্য সংক্রমণের চেয়ে বেশি গ্রহণযোগ্য। বোরের মডেল বিধি সংক্রমণের তীব্রতা বিভিন্ন হওয়ার কোনোও ব্যাখ্যা দিতে পারেনি।

বোরের মডেল একটি পরমাণুর পরিষ্কার চিত্র উপস্থাপন করে কিন্তু জটিল পরমাণু সমূহের জন্য এর সাধারণীকরণ (generalised) করা যায় না। জটিল পরমাণুর ক্ষেত্রে আমাদের কোয়ান্টাম বলবিজ্ঞানের নতুন এবং মৌলিক তত্ত্ব ব্যবহার করতে হয় যা পরমাণুর গঠনের সম্পূর্ণ চিত্র বর্ণনা করে।

লেসার আলো (LASER LIGHT)

একটি ভীড়বহুল বাজার অথবা একটি রেলওয়ে প্ল্যাটফর্মের কল্পনা করো যেখানে অনেক লোক একটি দরজা (gate) দিয়ে ঢুকে সকল দিকে যায়। এদের পদক্ষেপ অনিয়মিত এবং এদের মধ্যে কোনো দশা সম্পর্ক নেই। পক্ষান্তরে, একটি বহু সংখ্যক সেনার নিয়ন্ত্রিত পদযাত্রা কল্পনা করো। এদের পদক্ষেপের মধ্যে স্পর্ষবৃত্তে পারস্পরিক সম্পর্ক ভাল অনুবন্ধ (well correlated) রয়েছে। পাশের চিত্রটি দেখো।

এটি একটি সাধারণ আলোক উৎস যেমন একটি মোমবাতি অথবা একটি বাস থেকে নিঃসৃত আলো এবং লেসার নিঃসৃত আলোর মধ্যে পার্থক্যের অনুরূপ। LASER শব্দটির পূর্ণরূপ হচ্ছে — Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation। 1960 সালে এর বিকাশ লাভের পর থেকে বিজ্ঞান ও প্রযুক্তির সকল ক্ষেত্রে এটি ব্যবহৃত হচ্ছে। পদার্থবিদ্যা, রসায়ন, জীববিদ্যা, ঔষধ, শল্য চিকিৎসা, ইঞ্জিনিয়ারিং ইত্যাদিতে এর প্রয়োগ রয়েছে। পেন্সিল লেসার (pencil laser) নামক 0.5 mW মানের স্বল্প ক্ষমতার লেসার নির্দেশক (pointer) হিসেবে কাজ করে। বিভিন্ন ক্ষমতার LASER রয়েছে যেগুলো চোখের অথবা পাকস্থলীর বিভিন্ন গ্রন্থির সূক্ষ্ম অস্ত্রোপচারের জন্য যথোপযুক্ত। পরিশেষে বলা যায়, এমন সব লেসারও রয়েছে যেগুলো ইস্পাত কাটা ও ঝালাই-এর কাজে ব্যবহার করা যায়। আলো কোনো উৎস থেকে তরঙ্গ প্যাকেটের (wave packets) আকারে নির্গত হয়। একটি সাধারণ উৎস থেকে নির্গত আলোতে বহু সংখ্যক তরঙ্গদৈর্ঘ্য মিশ্রিত থাকে। এই বিভিন্ন তরঙ্গগুলোর মধ্যে কোনো দশা সম্পর্কও থাকে না। সুতরাং এমন আলো একটি ছিদ্র দিয়ে নির্গত হলেও খুব দ্রুত ছাড়িয়ে পড়ে এবং দূরত্ব বাড়ার সঙ্গে সঙ্গে আলোক রশ্মির আকার দ্রুত বাড়তে থাকে। লেসার আলোর ক্ষেত্রে প্রতিটি প্যাকেটের তরঙ্গদৈর্ঘ্য প্রায় একই থাকে। আবার তরঙ্গের প্যাকেটগুলোর গড় দৈর্ঘ্যও অনেকটা বেশি হয়। অর্থাৎ এক দীর্ঘ সময়ব্যাপী (duration of time) অপেক্ষাকৃত ভালো পারস্পরিক দশা সম্পর্ক দেখা যায়। ফলে লেসার রশ্মির অপসারিতা যথেষ্ট হ্রাস পায়।

যদি একটি উৎসে I তীব্রতা যুক্ত আলোক নিঃসরণকারী N সংখ্যক পরমাণু থাকে, তাহলে একটি সাধারণ উৎস থেকে নির্গত আলোর তীব্রতা NI -এর সমানুপাতিক হয়। পক্ষান্তরে, একটি লেসার উৎসের ক্ষেত্রে এটি N^2I -এর সমানুপাতিক হয়। N খুব বৃহৎ মানের হলে সাধারণ উৎস থেকে নির্গত আলো অপেক্ষা লেসার থেকে নির্গত আলো অধিকতর তীব্র হতে পারে।

যখন অ্যাপোলা মিশনের মহাকাশচারীরা চন্দ্র অভিযানে যায় তখন তারা চন্দ্রপৃষ্ঠে একটি দর্পণকে পৃথিবীর দিকে মুখ করে স্থাপন করে। ফলে পৃথিবী থেকে বিজ্ঞানীরা একটি তীব্র লেসার রশ্মি প্রেরণ করলে যেটি চন্দ্রে স্থাপিত দর্পণ দ্বারা প্রতিফলিত হওয়ার পর পুনরায় পৃথিবী কর্তৃক গৃহীত হয়। প্রতিফলিত আলোক রশ্মির আকার এবং আলোর যাতায়াতের মোট সময় পরিমাপ করা হয়। এর সাহায্যে নিখুঁতভাবে (a) একটি লেসার রশ্মির অত্যন্ত ক্ষুদ্র অপসারণ এবং (b) পৃথিবী থেকে চাঁদের দূরত্ব নির্ণয় করা যায়।



(a) বাস থেকে পাওয়া আলো

(b) লেসার আলো

সারাংশ

1. সামগ্রিকভাবে একটি পরমাণু নিস্তড়িত হয় এবং সেই কারণে পরমাণুতে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আধান সমপরিমাণে থাকে।
2. থমসনের মডেলে একটি পরমাণু হল ধনাত্মক আধানসমূহের গোলীয় মেঘ যাতে ইলেকট্রনগুলো প্রোথিত (embedded) থাকে।
3. রাদারফোর্ডের মডেলে, পরমাণুর বেশিরভাগ ভর এবং সকল ধনাত্মক আধান একটি ক্ষুদ্র নিউক্লিয়াসে (সাধারণত একটি পরমাণুর আকারের দশ হাজার ভাগের একভাগ) কেন্দ্রীভূত থাকে এবং ইলেকট্রনগুলো এর চারদিকে আবর্তন করে।
4. রাদারফোর্ডের নিউক্লিয় মডেলের সাহায্যে পরমাণুর গঠন বিন্যাস ব্যাখ্যায় দুইটি মুখ্য ত্রুটি পরিলক্ষিত হয় : (a) এই মডেল অনুযায়ী পরমাণুসমূহ সুস্থিত নয়, কারণ নিউক্লিয়াসের চারদিকে পরিক্রমণরত ত্বরণযুক্ত ইলেকট্রনগুলো অবশ্যই সর্পিলাপথে নিউক্লিয়াসের উপর গিয়ে পড়বে। এটি পদার্থের সুস্থিতির বিরুদ্ধাচরণ করে। (b) এটি বিভিন্ন মৌলের পরমাণুর বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা বর্ণালি ব্যাখ্যা করতে পারে না।
5. প্রতিটি মৌলের পরমাণুগুলো সুস্থিত এবং বৈশিষ্ট্যমূলক বর্ণালি নিঃসরণ করে। এই বর্ণালিতে পৃথক একগুচ্ছ সমান্তরাল রেখা দেখা যায় যাকে রেখা বর্ণালি নাম দেওয়া হয়েছে। এটি পরমাণুর গঠন বিন্যাসের কার্যকরী তথ্য প্রদান করে।
6. পারমাণবিক হাইড্রোজেন বিভিন্ন শ্রেণির রেখা বর্ণালি নিঃসরণ করে। একটি শ্রেণির যে-কোনো রেখার কম্পাঙ্ককে দুটি পদের (terms) অন্তরফল রূপে প্রকাশ করা যায়।

$$\text{লাইম্যান শ্রেণি (Lyman series)} : v = Rc \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right); n = 2, 3, 4, \dots$$

$$\text{বামার শ্রেণি (Balmer series)} : v = Rc \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right); n = 3, 4, 5, \dots$$

$$\text{প্যাশেন শ্রেণি (Paschen series)} : v = Rc \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right); n = 4, 5, 6, \dots$$

$$\text{ব্র্যাকট শ্রেণি (Brackett series)} : v = Rc \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2} \right); n = 5, 6, 7, \dots$$

$$\text{ফাণ্ড শ্রেণি (Pfund series)} : v = Rc \left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2} \right); n = 6, 7, 8, \dots$$

7. পরমাণু থেকে নিঃসৃত রেখা বর্ণালি এবং পরমাণুর সুস্থিতি ব্যাখ্যা করার জন্য বিজ্ঞানী নীলস্ বোর (Niels Bohr) হাইড্রোজেন সদৃশ (একক ইলেকট্রনযুক্ত) পরমাণুর ক্ষেত্রে একটি মডেল প্রস্তাব করেন। তিনি তিনটি স্বীকার্য প্রদান করেন এবং কোয়ান্টাম বলবিদ্যার ভিত্তি স্থাপন করেন:
 - (a) হাইড্রোজেন পরমাণুতে একটি ইলেকট্রন শক্তি নিঃসরণ না করেই কতগুলো নির্দিষ্ট সুস্থিত কক্ষপথে (যাদের স্থায়ী কক্ষপথ বলা হয়) আবর্তন করে।
 - (b) স্থায়ী কক্ষপথ সেগুলোই যাদের জন্য কৌণিক ভরবেগ $h/2\pi$ -এর পূর্ণ সংখ্যার গুণিতক হয় (বোরের কোয়ান্টায়ন শর্ত)। অর্থাৎ $L = nh/2\pi$; যেখানে n হল একটি পূর্ণসংখ্যা যাকে কোয়ান্টাম সংখ্যা বলা হয়।
 - (c) তৃতীয় স্বীকার্য অনুযায়ী, একটি ইলেকট্রন এর সুনির্দিষ্ট অবিকিরণী (non-radiating) কক্ষপথ থেকে অন্য একটি নিম্নতর শক্তির কক্ষপথে সংক্রমণ করে। যখন এরূপ ঘটে প্রারম্ভিক এবং অন্তিম শক্তিস্তরের শক্তির পার্থক্যের সমান শক্তিসম্পন্ন একটি ফোটন নিঃসৃত হয়। নিঃসৃত ফোটনটির কম্পাঙ্ক (ν) নীচের সম্পর্কটি দ্বারা প্রকাশ করা হয় :

$$h\nu = E_i - E_f$$

একটি পরমাণু যে কম্পাঙ্কের বিকিরণ নিঃসরণ করে সেই কম্পাঙ্কের বিকিরণই শোষণ করে যখন ইলেকট্রনটি n -এর উচ্চতর মান সম্পন্ন কক্ষপথে স্থানান্তরিত হয়।

$$E_i + hv = E_f$$

8. কৌণিক ভরবেগের কোয়ান্টায়ন শর্তের ফলস্বরূপ, ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসকে শুধুমাত্র কয়েকটি নির্দিষ্ট ব্যাসার্ধের কক্ষপথেই আবর্তন করে। হাইড্রোজেন পরমাণুর জন্য এর মান হল

$$r_n = \left(\frac{n^2}{m} \right) \left(\frac{h}{2\pi} \right)^2 \frac{4\pi\epsilon_0}{e^2}$$

এক্ষেত্রে, মোট শক্তিও কোয়ান্টায়িত থাকে :

$$E_n = -\frac{me^4}{8n^2\epsilon_0^2h^2} = -13.6 \text{ eV}/n^2$$

$n = 1$ স্তরটিকে ভূমিস্তর বলে। হাইড্রোজেন পরমাণুতে ভূমিস্তরের শক্তি হল -13.6 eV । n -এর উচ্চতর মানগুলো ($n > 1$) উত্তেজিত শক্তিস্তরগুলোকে নির্দেশ করে। পরমাণুগুলো অন্যান্য পরমাণু বা ইলেকট্রন সমূহের সঙ্গে সংঘর্ষের মাধ্যমে অথবা উপযুক্ত কম্পাঙ্কের ফোটনের শোষণ দ্বারা উচ্চতর শক্তিস্তরে উদ্দীপিত (excited) হয়।

9. ইলেকট্রনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য $\lambda = h/mv$, ডি ব্রাগলির এই স্বীকার্যটি তরঙ্গকণার দ্বৈত স্বভাব ব্যবহার করে বোরের কোয়ান্টায়িত কক্ষপথের একটি ব্যাখ্যা দেয়। এই কক্ষপথগুলো বৃত্তাকার স্থানান্তরজোর সঙ্গে সঙ্গতিপূর্ণ, যেখানে কক্ষপথের পরিধি তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পূর্ণসংখ্যার গুণিতকের সমান হয়।
10. বোরের মডেল কেবলমাত্র হাইড্রোজেন সদৃশ (একক ইলেকট্রন যুক্ত) পরমাণুর ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য। বহু সংখ্যক ইলেকট্রনযুক্ত এমনকি দ্বি-ইলেকট্রনযুক্ত পরমাণু, যেমন হিলিয়ামের ক্ষেত্রেও এটি প্রযোজ্য হয় না। হাইড্রোজেন সদৃশ পরমাণু থেকে নিঃসৃত কম্পাঙ্কের আপেক্ষিক তীব্রতা ব্যাখ্যা করতেও এই মডেল অসমর্থ হয়।

ভেবে দেখার বিষয়সমূহ

1. থমসনের মডেল এবং রাদারফোর্ডের মডেল উভয়ই একটি অস্থির (unstable) সংস্থাকে নির্দেশ করে। থমসনের মডেলটি স্থির তাত্ত্বিকভাবে অস্থির, আবার কক্ষপথে পরিক্রমণরত ইলেকট্রনগুলোর তড়িৎচুম্বকীয় বিকিরণের পরিপ্রেক্ষিতে রাদারফোর্ড মডেলটিও সুস্থিত হয় না।
2. বোর কেন কৌণিক ভরবেগকেই (দ্বিতীয় স্বীকার্য) কোয়ান্টায়িত করলেন, অন্য কোনো রাশিকে নয়? লক্ষ করো, h -এর মাত্রা কৌণিক ভরবেগের মাত্রার সমান এবং বৃত্তাকার কক্ষপথের ক্ষেত্রে কৌণিক ভরবেগ একটি খুবই প্রাসঙ্গিক রাশি। দ্বিতীয় স্বীকার্যটি তাই খুবই স্বাভাবিক!
3. হাইড্রোজেন পরমাণুর বোর মডেলের কক্ষীয় চিত্র অনিশ্চয়তা নীতির (uncertainty principle) সঙ্গে সঙ্গতিপূর্ণ নয়। এটি আধুনিক কোয়ান্টাম বলবিজ্ঞান দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়েছে। এখানে বোরের কক্ষপথগুলো হল এমন অঞ্চল যেখানে ইলেকট্রন থাকার যথেষ্ট সম্ভাবনা রয়েছে।
4. সৌরজগতে প্রত্যেক গ্রহের উপর সূর্যের মহাকর্ষ বল তুলনামূলকভাবে গ্রহ-গ্রহ মহাকর্ষ বলের চেয়ে অনেক বেশি (কারণ সূর্যের ভর যে-কোনো গ্রহের ভরের তুলনায় অনেক বেশি), পক্ষান্তরে পরমাণুতে ইলেকট্রন-ইলেকট্রন পারস্পরিক ক্রিয়াজনিত তাত্ত্বিক বল ইলেকট্রন-নিউক্লিয়াস তাত্ত্বিক বলের মানের সঙ্গে তুলনীয় হয় কারণ এক্ষেত্রে আধান ও দূরত্ব একই ক্রম এবং একই মান সম্পন্ন হয়। এই কারণেই গ্রহ সদৃশ ইলেকট্রন যুক্ত বোরের মডেল বহু ইলেকট্রনযুক্ত পরমাণুর ক্ষেত্রে প্রযোজ্য হয় না।
5. কতকগুলো সুনির্দিষ্ট কক্ষপথের (যেগুলোতে থাকাকালীন ইলেকট্রনগুলো কোনো শক্তি বিকিরণ

করে না) পরিকল্পনার মাধ্যমে বোর কোয়ান্টাম তত্ত্বের ভিত্তি স্থাপন করেন। বোরের মডেলে একটিমাত্র কোয়ান্টাম সংখ্যা n রয়েছে। কোয়ান্টাম বলবিদ্যা নামক নতুন তত্ত্ব বোরের স্বীকার্যকে সমর্থন করে। যাই হোক, কোয়ান্টাম বলবিদ্যা (যা অধিকতর গ্রহণযোগ্য) একটি নির্দিষ্ট শক্তিস্তর একটিমাত্র কোয়ান্টাম স্তরকে নাও নির্দেশ করতে পারে। উদাহরণস্বরূপ, একটি স্তর (state) কে চারটি কোয়ান্টাম সংখ্যা (n, l, m , এবং s) দ্বারা নির্দেশ করা হয়। কিন্তু একটি বিশুদ্ধ কুলম্ব বিভবের জন্য (হাইড্রোজেন পরমাণুর মতো) শক্তি শুধুমাত্র n -এর উপর নির্ভর করে।

6. বোর মডেলে, একটি ইলেকট্রনের নিজের কক্ষপথে আবর্তনের কম্পাঙ্ক বর্ণালি রেখার কম্পাঙ্কের সঙ্গে সম্পর্কিত নয়, যা সনাতন পদার্থবিদ্যার সাধারণ ধারণার পরিপন্থী। এখানে পরেরটি অর্থাৎ বর্ণালি রেখার কম্পাঙ্ক, দুটি কক্ষের শক্তির পার্থক্যকে h দিয়ে ভাগ করলে যে ভাগফল পাওয়া যায় তার সমান। যাই হোক বৃহৎ মানের কোয়ান্টাম সংখ্যার (n থেকে $n-1$, n -এর মান বৃহৎ) মধ্যে সংক্রমণের জন্য, এই দুটির মান সমাপতিত হয়।
7. সনাতন পদার্থবিদ্যা এবং আধুনিক পদার্থবিদ্যার কিছু কিছু ধারণার উপর ভিত্তি করে গঠিত বোরের আংশিক সনাতনী মডেলও (semiclassical model) সরলতম হাইড্রোজেন সদৃশ পরমাণুর সঠিক চিত্র প্রকাশ করতে পারে না। বাস্তবে, কোয়ান্টাম বলবিদ্যা থেকে সঠিক চিত্রটি পাওয়া যায়, যার সঙ্গে বোরের মডেলের অনেক মৌলিক পার্থক্য রয়েছে। কিন্তু বোরের মডেলটি যদি সর্বতোভাবে সঠিক নাই হয় তাহলে আমরা কেন এর সম্পর্কে ভাববো? তবুও বোরের মডেলকে যে কারণগুলো ব্যবহারের উপযোগী করে সেগুলো হল :
 - (i) বোরের মডেলটি তিনটিমাত্র স্বীকার্যের ভিত্তিতে প্রতিষ্ঠিত, কিন্তু হাইড্রোজেন বর্ণালিতে প্রায় সকল সাধারণ বৈশিষ্ট্যই এটি ব্যাখ্যা করে।
 - (ii) সনাতন পদার্থবিদ্যায় আমরা যে বিষয়বস্তু গুলো সম্পর্কে অবগত হয়েছি, তার অনেকগুলোই এই মডেলে অন্তর্ভুক্ত রয়েছে।
 - (iii) এই মডেল দর্শায় যে, পূর্বানুমানের আশায় কীভাবে একজন তাত্ত্বিক পদার্থবিদকে মাঝে মাঝেই কয়েকটি সমস্যা সম্পূর্ণ আক্ষরিক অর্থে উপেক্ষা করতে হয়। তত্ত্ব বা মডেলের পূর্বানুমান যদি পরীক্ষার সঙ্গে মিলে যায়, একজন তত্ত্ববিদের তখন সেই উপেক্ষাকৃত বিষয়ের ব্যাখ্যা বা যৌক্তিকতা বিশ্লেষণ করা উচিত।

অনুশীলনী

12.1 প্রতিটি বিবৃতির শেষে দেওয়া তথ্যগুলো থেকে সঠিক বিকল্পটি চয়ন করো :

- (a) থমসন মডেলে পরমাণুর আকার, রাদারফোর্ড মডেলে পরমাণুর আকারের চেয়ে (অনেক বেশি / পৃথক নয় / অনেক কম।)
- (b) এর ভূমিস্তরে ইলেকট্রন সুস্থির সাম্যাবস্থায় থাকে পক্ষান্তরে, ইলেকট্রন সর্বদা একটি মোট বল অনুভব করে। (থমসন মডেল / রাদারফোর্ড মডেল।)
- (c) মডেলের ভিত্তিতে প্রতিষ্ঠিত সনাতনী পরমাণুর স্থায়িত্ব নিশ্চিতভাবে বিনষ্ট হয়। (থমসনের মডেল / রাদারফোর্ডের মডেল।)
- (d) একটি এ একটি পরমাণুর ভর বণ্টন (mass distribution) প্রায় নিরবচ্ছিন্ন হয় কিন্তু এ ভরবণ্টন অত্যন্ত অসম হয়। (থমসনের মডেল / রাদারফোর্ডের মডেল।)
- (e) এ পরমাণুর ধনাত্মকভাবে আহিত অংশ অধিকাংশ ভর ধারণ করে। (রাদারফোর্ডের মডেল / উভয় মডেল।)

- 12.2** ধরে নাও, তোমাকে সোনার পাতের পরিবর্তে একটি কঠিন হাইড্রোজেনের পাত ব্যবহার করে আলফা কণা বিক্ষেপণ পরীক্ষাটির পুনরাবৃত্তি করার সুযোগ দেওয়া হল। (14 K-এর নীচের তাপমাত্রায় হাইড্রোজেন একটি কঠিন পদার্থ।) তুমি কী ফলাফল আশা করো ?
- 12.3** প্যাশেন শ্রেণিতে উপস্থিত বর্ণালি রেখাগুলোতে ক্ষুদ্রতম তরঙ্গদৈর্ঘ্যটি কী ?
- 12.4** একটি পরমাণুতে দুটি শক্তিস্তরের মধ্যে পার্থক্য 2.3 eV। পরমাণুটির উচ্চতর স্তর থেকে নিম্নতর স্তরে সংক্রমণ ঘটলে নিঃসৃত বিকিরণের কম্পাঙ্ক কত হবে ?
- 12.5** হাইড্রোজেন পরমাণুর ভূমিস্তর শক্তি -13.6 eV। এই স্তরে ইলেকট্রনের গতিশক্তি এবং স্থিতিশক্তি কত ?
- 12.6** প্রাথমিক অবস্থায় ভূমিস্তরে থাকা একটি হাইড্রোজেন পরমাণু একটি ফোটন শোষণ করে যা একে $n = 4$ স্তরে উদ্দীপিত করে। ফোটনটির তরঙ্গদৈর্ঘ্য এবং কম্পাঙ্ক নির্ণয় করো।
- 12.7** (a) বোরের মডেল ব্যবহার করে একটি হাইড্রোজেন পরমাণুতে $n = 1, 2$, এবং 3 স্তরে থাকা একটি ইলেকট্রনের দ্রুতি গণনা করো।
(b) এই স্তরগুলোর প্রতিটিতে কক্ষীয় পর্যায়কাল গণনা করো।
- 12.8** একটি হাইড্রোজেন পরমাণুর সবচেয়ে ভিতরের ইলেকট্রন কক্ষপথের ব্যাসার্ধ 5.3×10^{-11} m। $n = 2$ এবং $n = 3$ কক্ষপথের ব্যাসার্ধগুলো কী কী ?
- 12.9** ঘরের তাপমাত্রায় গ্যাসীয় হাইড্রোজেনকে প্রবলভাবে আঘাত করতে একটি 12.5 eV ইলেকট্রন রশ্মি ব্যবহার করা হয়। কোন্ কোন্ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের শ্রেণি নিঃসৃত হবে ?
- 12.10** বোরের মডেলের সঙ্গে সঙ্গতি রেখে সেই কোয়ান্টাম সংখ্যাটি নির্ণয় করো যেটি সূর্যের চারদিকে 1.5×10^{11} m ব্যাসার্ধের কক্ষপথে পৃথিবীর প্রদক্ষিণকে নির্দেশ করে যেখানে পৃথিবীর কক্ষীয় দ্রুতি 3×10^4 m/s। (পৃথিবীর ভর = 6.0×10^{24} kg।)

অতিরিক্ত অনুশীলনী

- 12.11** নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলোর উত্তর দাও, যা তোমাকে থমসন মডেল এবং রাদারফোর্ড মডেলের মধ্যে পার্থক্যকে আরো ভালোভাবে বুঝতে সাহায্য করবে।
- (a) থমসন মডেল অনুযায়ী, একটি সোনার পাতের দ্বারা α -কণার গড় কৌণিক বিক্ষেপণের মান রাদারফোর্ড মডেল অনুযায়ী এই মানের তুলনায় অনেক কম, প্রায় সমান না অনেক বেশি ?
- (b) থমসন মডেল অনুযায়ী পশ্চাদমুখী বিক্ষেপণের (অর্থাৎ α -কণার 90° -এর চেয়ে বেশি কৌণিক বিক্ষেপণ) মান রাদারফোর্ড মডেল অনুযায়ী এই মানের চেয়ে অনেক কম, প্রায় সমান না অনেক বেশি ?
- (c) পরীক্ষালব্ধভাবে দেখা যায় যে, অন্যান্য বিষয় স্থির রেখে ক্ষুদ্র বেধ t -এর জন্য মাঝামাঝি (moderate) কোণে বিক্ষেপিত α -কণার সংখ্যা t -এর সঙ্গে সমানুপাতিক। t -এর সঙ্গে এই রৈখিক সম্পর্ক (linear dependence) কী ইঙ্গিত করে ?
- (d) কোন্ মডেলে একটি পাতলা পাতের দ্বারা α -কণার 'গড় বিক্ষেপণ কোণ' গণনায় বহু বিক্ষেপণকে (multiple scattering) উপেক্ষা করা সম্পূর্ণভাবে ভুল হবে ?
- 12.12** একটি হাইড্রোজেন পরমাণুতে একটি ইলেকট্রন এবং একটি প্রোটনের মধ্যে মহাকর্ষীয় বল, কুলম্বীয় আকর্ষণ বলের তুলনায় 10^{-40} গুণ দুর্বলতর। এই বিষয়টিকে একটি বিকল্পপথে দেখার উপায় হল — ইলেকট্রন এবং প্রোটন মহাকর্ষীয় বল দ্বারা আবদ্ধ ধরে হাইড্রোজেন পরমাণুর প্রথম বোর কক্ষের ব্যাসার্ধ গণনা করা। তুমি এর একটি মজাদার উত্তর পাবে।

- 12.13** একটি হাইড্রোজেন পরমাণুর n স্তর থেকে $(n-1)$ স্তরে সংক্রমিত হলে নিঃসৃত বিকিরণের কম্পাঙ্কের রাশিমালা নির্ণয় করো। বৃহৎ n -এর জন্য দেখাও যে, এই কম্পাঙ্ক সনাতন পদার্থবিদ্যা অনুযায়ী, কক্ষপথে ইলেকট্রনের পরিক্রমণের কম্পাঙ্কের সমান।
- 12.14** সনাতন পদার্থবিদ্যা অনুযায়ী, একটি ইলেকট্রন পরমাণুর নিউক্লিয়াসের চারদিকে যে-কোনো কক্ষপথে থাকতে পারে। তাহলে সাধারণ পারমাণবিক আকার কীসের দ্বারা নির্ধারিত হয়? কেন একটি পরমাণু এর সাধারণ আকারের চেয়ে হাজার গুণ বৃহত্তর হয় না? এই প্রশ্নটি বোরকে তাঁর বিখ্যাত পরমাণু মডেলে (যার সম্পর্কে তোমরা পাঠ্যপুস্তকে পড়েছো) পৌঁছানোর আগে পর্যন্ত ভীষণ সমস্যায় ফেলেছিল। তাঁর এই আবিষ্কারের আগে তিনি কী কাজ করে থাকতে পারেন; এর অনুকরণ করার জন্য প্রকৃতির মৌলিক ধ্রুবকগুলো নিয়ে চলো আমরা নিম্নলিখিত কাজগুলো করি এবং দেখি দৈর্ঘ্যের মাত্রা সম্পন্ন একটি রাশি পাওয়া যায় কিনা যা পরমাণুর আকারের প্রায় সমান ($\sim 10^{-10}\text{m}$)।
- (a) e , m_e , এবং c এই মৌলিক ধ্রুবকগুলো থেকে দৈর্ঘ্যের মাত্রা সম্পন্ন একটি রাশি গঠন করো এবং এর সাংখ্যমান নির্ণয় করো।
- (b) তুমি দেখতে পাবে যে, (a) তে পাওয়া দৈর্ঘ্যের মান পারমাণবিক আকারের মানের চেয়ে বহুক্রমের ক্ষুদ্রতর হয়। আবার এতে c অন্তর্ভুক্ত রয়েছে। কিন্তু পরমাণু সমূহের শক্তি বেশির ভাগই রয়েছে আপেক্ষিক নয় এমন ক্ষেত্রে (non-relativistic domain), যেখানে c -এর কোনো ভূমিকা রয়েছে বলে আশা করা যায় না। এটিই সম্ভবত বোরকে সঠিক পারমাণবিক আকার নির্ধারণের জন্য c কে বাদ দিয়ে অন্য কিছুর স্থান করার প্রেরণা যুগিয়েছিল। আবার প্লাঙ্কের ধ্রুবক h ইতোমধ্যেই অন্য কোথাও নিজের অস্তিত্ব প্রকাশ করেছিল। সঠিক পারমাণবিক আকার নির্ধারণের জন্য h , m_e , এবং e কে চিহ্নিত করার মধ্যে ছিল বোরের গভীর অসুদৃষ্টি। h , m_e , এবং e থেকে দৈর্ঘ্যের মাত্রাবিশিষ্ট একটি রাশি গঠন করো এবং নিশ্চিত করো যে এর সাংখ্যমান সঠিক মানের ক্রম বিশিষ্ট হয়।
- 12.15** হাইড্রোজেন পরমাণুর প্রথম উত্তেজিত স্তরে একটি ইলেকট্রনের মোট শক্তি প্রায় -3.4 eV ।
- (a) এই স্তরে ইলেকট্রনটির গতিশক্তি কত?
- (b) এই স্তরে ইলেকট্রনটির স্থিতিশক্তি কত?
- (c) স্থিতিশক্তির শূন্যস্তর চয়নে পরিবর্তন করা হলে উপরের কোন্ উত্তরটি পরিবর্তিত হবে?
- 12.16** যদি বোরের কোয়ান্টায়ন স্বীকার্য (কৌণিক ভরবেগ $= nh/2\pi$) প্রকৃতির একটি মৌলিক নিয়ম হয়, গ্রহের গতির ক্ষেত্রেও এটি সমভাবে প্রযোজ্য হওয়া উচিত। তাহলে কেন আমরা সূর্যের চারদিকে গ্রহদের কক্ষপথগুলোর কোয়ান্টায়ন-এর কথা বলি না?
- 12.17** মিউওনিক (muonic) হাইড্রোজেন পরমাণুর (অর্থাৎ একটি পরমাণু যার মধ্যে ঋণাত্মক আধানে আহিত একটি মিউওন (μ^-) আছে যার ভর $207m_e$ এবং যেটি প্রোটনকে পরিক্রমণ করে) প্রথম বোর ব্যাসার্ধ এবং ভূমিস্তরের শক্তি নির্ণয় করো।

ত্রয়োদশ অধ্যায়

নিউক্লিয়াস বা কেন্দ্রক

(NUCLEI)



13.1 ভূমিকা

পূর্ববর্তী অধ্যায়ে আমরা জেনেছি যে, প্রত্যেকটি পরমাণুর কেন্দ্রের খুব ক্ষুদ্র অংশে ধনাত্মক আধান এবং ভর ঘন সন্নিবিষ্ট থেকে তার কেন্দ্রক বা নিউক্লিয়াসটি গঠন করে। কোনো একটি নিউক্লিয়াসের সম্পূর্ণ আকার (dimensions) সেই পরমাণুর আকারের তুলনায় খুবই নগণ্য। α -কণা বিক্ষেপন পরীক্ষা থেকে দেখা যায় যে, নিউক্লিয়াসের ব্যাসার্ধ ওই পরমাণুর ব্যাসার্ধের তুলনায় 10^{-4} গুণ, এর অর্থ হল একটি নিউক্লিয়াসের আয়তন পরমাণুটির আয়তনের 10^{-12} গুণ। অন্যভাবে বলা যায়, পরমাণুর প্রায় সম্পূর্ণ অংশই ফাঁকা। যদি একটি পরমাণুর আকার বৃদ্ধি করে একটি শ্রেণিকক্ষের সমান করা হয় তবে নিউক্লিয়াসটির আকার হবে একটি পিনের অগ্রভাগের সমান। তা সত্ত্বেও, পরমাণুর সম্পূর্ণ ভর (99.9% অপেক্ষা বেশি অংশ) নিউক্লিয়াস বা কেন্দ্রকেই অবস্থিত।

পরমাণুর পারমাণবিক গঠনের মতো নিউক্লিয়াসেরও গঠন আছে কি? যদি থাকে, তবে তার উপাদানগুলো কী কী? এরা কীভাবে একত্রে অবস্থান করছে? এ অধ্যায়ে আমরা এ ধরনের প্রশ্নগুলোর উত্তর জানবো। এখন আমরা নিউক্লিয়াসের বিভিন্ন বৈশিষ্ট্যাবলি যেমন তাদের আকার, ভর, স্থায়িত্ব এবং আনুষঙ্গিক নিউক্লিয় ঘটনাবলি যেমন তেজস্ক্রিয়তা, নিউক্লিয় বিভাজন, নিউক্লিয় সংযোজন ইত্যাদি নিয়ে আলোচনা করব।

13.2 পরমাণুর ভর এবং নিউক্লিয়াসের গঠন (ATOMIC MASSES AND COMPOSITION OF NUCLEUS)

এক কিলোগ্রামের তুলনায় একটি পরমাণুর ভর খুবই কম; উদাহরণস্বরূপ কার্বন পরমাণুর (^{12}C) ভর হল $1.992647 \times 10^{-26} \text{ kg}$ । এ ধরনের ক্ষুদ্র পরিমাপের জন্য কিলোগ্রাম উপযুক্ত একক পদ্ধতি নয়। সুতরাং পরমাণুর ভর পরিমাপের জন্য অন্য ভর একক পদ্ধতি ব্যবহৃত হয়, যা হল পারমাণবিক ভর একক (atomic mass unit, u) থাকে কার্বন (^{12}C) পরমাণু ভরের $1/12$ অংশ হিসেবে সংজ্ঞায়িত করা হয়। এ সংজ্ঞানুযায়ী,

$$\begin{aligned} 1u &= \frac{\text{একটি } ^{12}\text{C পরমাণুর ভর}}{12} \\ &= \frac{1.992647 \times 10^{-26} \text{ kg}}{12} \\ &= 1.660539 \times 10^{-27} \text{ kg} \end{aligned} \quad (13.1)$$

বিভিন্ন মৌলের পারমাণবিক ভর এককে প্রকাশিত মানগুলো একটি হাইড্রোজেন পরমাণুর ভরের প্রায় পূর্ণ সংখ্যার সরল গুণিতক হয়। যদিও এ নিয়মের অনেক লক্ষণীয় ব্যতিক্রম আছে। উদাহরণস্বরূপ, ক্লোরিন পরমাণুর পারমাণবিক ভর হল 35.46 u ।

পরমাণুর ভরের সঠিক পরিমাপ করা হয় ভরবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে। পরমাণুর ভর পরিমাপের ফলে এটা প্রকাশ পেয়েছে যে একই মৌলের বিভিন্ন পরমাণুর ভিন্ন ভিন্ন ভর থাকে যাদের রাসায়নিক ধর্ম এক কিন্তু ভর বিভিন্ন হয়। একই মৌলের এ ধরনের বিভিন্ন ভর সম্পন্ন পরমাণুগুলোকে বলে ‘আইসোটোপ’। (গ্রীসে আইসোটোপের অর্থ হল একই স্থান অর্থাৎ মৌলের পর্যায় সারণির একই স্থানে এরা অবস্থান করে।) বাস্তবে প্রতিটি মৌলই তার বিভিন্ন আইসোটোপগুলোর মিশ্রণে গঠিত। বিভিন্ন মৌলের ক্ষেত্রে এই আইসোটোপের আপেক্ষিক ভিন্নতা বিভিন্ন প্রকার হয়ে থাকে। উদাহরণস্বরূপ, ক্লোরিনের দুটো আইসোটোপ আছে যাদের ভরগুলো হল 34.98 u এবং 36.98 u , যারা হাইড্রোজেন পরমাণুর ভরের প্রায় সরল পূর্ণ সংখ্যার গুণিতক। এ আইসোটোপগুলোর আপেক্ষিক প্রতুলতা (relative abundances) যথাক্রমে 75.4 এবং 24.6 শতাংশ। তাই ক্লোরিন পরমাণুর গড় ভর তার আইসোটোপ দুটির ভরের গড় মান নিয়ে এভাবে পাওয়া যায়

$$\begin{aligned} &= \frac{75.4 \times 34.98 + 24.6 \times 36.98}{100} \\ &= 35.47 \text{ u} \end{aligned}$$

যা ক্লোরিন পরমাণুর ভরের সমান।

এমনকি সবচেয়ে হালকা মৌলিক হাইড্রোজেনের তিনটি ভিন্ন ভরের আইসোটোপ যথাক্রমে 1.0078u , 2.0141 u , এবং 3.0160 u আছে। হাইড্রোজেনের সবচেয়ে হালকা পরমাণুর নিউক্লিয়াস যা তুলনামূলকভাবে 99.985% থাকে, তাকে প্রোটন বলে। প্রোটনের ভর হল

$$m_p = 1.00727 \text{ u} = 1.67262 \times 10^{-27} \text{ kg} \quad (13.2)$$

এ মান একটি হাইড্রোজেন পরমাণুর ভর ($= 1.00783\text{u}$) থেকে একটি ইলেকট্রনের ভরকে ($m_e = 0.00055 \text{ u}$) বাদ দিলে যে মান পাওয়া যায় তার সমান। হাইড্রোজেনের অন্য দুটি আইসোটোপ হল ডিউটেরিয়াম ও ট্রাইটিয়াম। ট্রাইটিয়াম নিউক্লিয়াস হল অস্থায়ী, তাই এদের বাস্তবে পাওয়া যায় না এবং একে কৃত্রিমভাবে গবেষণাগারে প্রস্তুত করা হয়।

নিউক্লিয়াসের ধনাত্মক আধান হল প্রোটনের আধান। একটি প্রোটন এক একক মৌলিক আধান বহন করে এবং এটি স্থায়ী। পূর্বে এটা ভাবা হত যে, নিউক্লিয়াসে ইলেকট্রন থাকতে পারে কিন্তু কোয়ান্টাম তত্ত্বের ভিত্তিতে যুক্তির মাধ্যমে এ ভাবনাকে বাতিল করা হয়। কোনো একটি পরমাণুর সবগুলো ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসের বাইরে অবস্থান করে। আমরা জানি যে, নিউক্লিয়াসের বাইরে অবস্থিত পরমাণুর এই ইলেকট্রনগুলোর সংখ্যা Z যা হল পারমাণবিক সংখ্যা (atomic number)। এভাবে পরমাণুর ইলেকট্রনগুলোর মোট আধান $(-Ze)$, এবং যেহেতু পরমাণু নিষ্কৃতিত হয় তাই নিউক্লিয়াসের আধান হল $(+Ze)$ । সুতরাং পরমাণুর নিউক্লিয়াসে প্রোটনের সংখ্যা হুবহু Z -এর সমান, যা পরমাণুর পারমাণবিক সংখ্যা।

নিউট্রন আবিষ্কার (Discovery of Neutron)

যেহেতু ডিউটেরিয়াম ও ট্রাইটিয়ামের নিউক্লিয়াসগুলো হাইড্রোজেনের আইসোটোপ, তাই তাদের প্রত্যেকের একটিমাত্র প্রোটনই থাকবে। কিন্তু হাইড্রোজেন, ডিউটেরিয়াম ও ট্রাইটিয়ামের নিউক্লিয়াসগুলোর ভরের অনুপাত হল $1:2:3$ । তাই ডিউটেরিয়াম এবং ট্রাইটিয়াম পরমাণুর নিউক্লিয়াসে প্রোটন ছাড়াও কিছু নিস্তরিত উপাদান অবশ্যই থাকবে। এ সকল আইসোটোপে নিস্তরিত উপাদানের উপস্থিতিতে প্রোটনের ভর এককে প্রকাশ করা হয় যারা মোটামুটিভাবে যথাক্রমে এক এবং দুই এককের সমান। এ ঘটনা থেকে এটা বোঝা যায় যে পরমাণুর নিউক্লিয়াসে প্রোটন ছাড়া মৌলিক এককের গুণিতক হারে অন্য নিস্তরিত বস্তু উপস্থিত থাকে। α -কণা (α -কণা হল হিলিয়াম নিউক্লিয়াস, পরবর্তী অনুচ্ছেদে আলোচিত হবে) দ্বারা বেরিলিয়াম নিউক্লিয়াসকে আঘাতের ফলে নিস্তরিত বিকিরণ নিঃসরণের ঘটনার দ্বারা 1932 খ্রিস্টাব্দে জেমস্-চ্যাডউইক এ প্রকল্পের সত্যতা যাচাই করেন। এটা লক্ষ্য করা গেছে যে, হিলিয়াম, কার্বন এবং নাইট্রোজেনের মতো হালকা নিউক্লিয়াসগুলোতে এই নিস্তরিত বিকিরণ থেকে প্রোটন বেরিয়ে আসে। তখনকার সময়ে একমাত্র জানা নিস্তরিত বিকিরণ হল ফোটন (তড়িৎ চুম্বকীয় বিকিরণ)। শক্তি ও ভরবেগের সংরক্ষণ সূত্র প্রয়োগের ফলে দেখা গেছে যে, যদি এই নিস্তরিত বিকিরণ ফোটন দ্বারা গঠিত হয় তবে ওই ফোটনের শক্তি α -কণা দ্বারা বেরিয়াম নিউক্লিয়াস বিঘটনে প্রাপ্ত শক্তি অপেক্ষা অনেক বেশি হতে বাধ্য। নিস্তরিত বিকিরণ নিউট্রন কণা নামক এক প্রকার নতুন কণা নিয়ে গঠিত ধরে নিয়ে চ্যাডউইক সম্ভাষণকভাবেই এ সমস্যার সমাধান করেছিলেন। শক্তি ও ভরবেগের সংরক্ষণ সূত্র থেকে তিনি ‘প্রোটনের ভরের খুব কাছাকাছি ভরসম্পন্ন’ এই নতুন কণার ভর পরিমাপ করতে সমর্থ হয়েছিলেন।

বর্তমানে নিউট্রনের ভর অত্যন্ত নিখুঁতভাবেই জানা গেছে এবং তা হল

$$m_n = 1.00866 \text{ u} = 1.6749 \times 10^{-27} \text{ kg} \quad (13.3)$$

চ্যাডউইক নিউট্রন আবিষ্কারের জন্য 1935 খ্রিস্টাব্দে নোবেল পুরস্কারে ভূষিত হন।

একটি মুক্ত প্রোটনের মতোই একটি মুক্ত নিউট্রন অস্থায়ী হয়। এটি বিঘটিত হয়ে একটি প্রোটন, একটি ইলেকট্রন এবং একটি নিউট্রিনোতে (আরেকটি মৌলিক কণা) পরিণত হয় এবং এর গড় আয়ু প্রায় 1000s। কিন্তু নিউক্লিয়াসের অভ্যন্তরে একটি স্থায়ী।

বর্তমানে নিউক্লিয়াসের গঠন নিম্নলিখিত পদ ও চিহ্ন ব্যবহার করে বর্ণনা করা হয় :

$$Z - \text{পারমাণবিক সংখ্যা} = \text{প্রোটনের সংখ্যা} \quad (13.4(a))$$

$$N - \text{নিউট্রন সংখ্যা} = \text{নিউট্রনের সংখ্যা} \quad (13.4(b))$$

$$A - \text{ভরসংখ্যা} = Z + N = \text{প্রোটন ও নিউট্রনের মোট সংখ্যা} \quad (13.4(c))$$

একটি প্রোটন বা একটি নিউট্রনকে বোঝাতে নিউক্লিয়ন পদটিও ব্যবহার করা হয়। সুতরাং, পরমাণুর নিউক্লিয়াসের নিউক্লিয়ন সংখ্যা হল তার ভরসংখ্যা A ।

মৌলের নিউক্লিয়াস বা নিউক্লিয়াইডসকে ${}^A_Z X$ চিহ্ন দ্বারা প্রকাশ করা হয়, যেখানে X হল মৌলটির রাসায়নিক চিহ্ন। উদাহরণস্বরূপ, গোল্ড বা স্বর্ণের নিউক্লিয়াসকে ${}^{197}_{79} \text{Au}$ দ্বারা প্রকাশ করা হয়। এর

197টি নিউক্লিয়ন আছে যার মধ্যে 79টি প্রোটন এবং বাকি 118টি হল নিউট্রন।

বর্তমানে মৌলের আইসোটোপের উপাদানগুলোর ব্যাখ্যা সহজেই করা যায়। একটি প্রদত্ত মৌলের আইসোটোপগুলোর নিউক্লিয়াসগুলো সমান সংখ্যক প্রোটন নিয়ে গঠিত, কিন্তু নিউট্রন সংখ্যায় এরা পরস্পর থেকে ভিন্ন হয়। ডিউটেরিয়াম (Deuterium, ${}^2_1\text{H}$) হল হাইড্রোজেনের আইসোটোপ যাতে একটি প্রোটন ও একটি নিউট্রন থাকে। এর অন্য আইসোটোপটি হল ট্রাইটিয়াম (${}^3_1\text{H}$) যেটি একটি প্রোটন ও দুটি নিউট্রন নিয়ে গঠিত। $A=173$ থেকে $A=204$ সীমার মধ্যে গোল্ড মৌলের 32টি আইসোটোপ আছে। আমরা আগেই উল্লেখ করেছি যে, মৌলের রাসায়নিক ধর্ম নির্ভর করে তাদের ইলেকট্রনীয় গঠনের উপর। যেহেতু পরমাণুর আইসোটোপগুলো ইলেকট্রনীয় গঠনে একই, তাই তারা রাসায়নিক ধর্মে একই এবং মৌলের পর্যায় সারণিতে একই স্থানে অবস্থান করে।

একই ভরসংখ্যা (A) সম্পন্ন সকল নিউক্লিয়াসগুলোকে *আইসোবার* বলে। উদাহরণস্বরূপ, ${}^3_1\text{H}$ এবং ${}^3_2\text{He}$ নিউক্লিয়াসগুলো আইসোবার। একই নিউট্রন সংখ্যা (N) এবং ভিন্ন ভিন্ন পারমাণবিক সংখ্যা (Z) বিশিষ্ট নিউক্লিয়াস, যেমন ${}^{198}_{80}\text{Hg}$ এবং ${}^{197}_{79}\text{Au}$ কে বলে পরস্পরের *আইসোটোন*।

13.3 নিউক্লিয়াসের আকার (SIZE OF THE NUCLEUS)

দ্বাদশ অধ্যায়ে আমরা দেখেছি যে, পরমাণুতে নিউক্লিয়াসের অস্তিত্বের স্বীকার্য এবং প্রমাণ সর্বপ্রথম উপস্থাপন করেন রাদারফোর্ড। রাদারফোর্ডের পরামর্শে, গাইগার এবং মার্সডেন পাতলা স্বর্ণের পাতের ভেতর দিয়ে α -কণা বিক্ষেপণের উল্লেখযোগ্য পরীক্ষা সম্পন্ন করেন। তাদের এই পরীক্ষা থেকে প্রকাশিত হয় যে, 5.5 MeV গতিশক্তি সম্পন্ন একটি α -কণার, স্বর্ণের (গোল্ড) পরমাণুর নিউক্লিয়াসের সর্বপেক্ষা নিকটবর্তী অবস্থার দূরত্ব (distance of closest approach) হয় প্রায় $4.0 \times 10^{-14} \text{ m}$ । ‘বিক্ষেপণের জন্য শুধুমাত্র কুলম্বের বিকর্ষণ বলই দায়ী’ এটা ধরে নিয়ে রাদারফোর্ড স্বর্ণের পাত দ্বারা α -কণার বিক্ষেপণকে বুঝতে সক্ষম হয়েছিলেন। যেহেতু ধনাত্মক আধান শুধুমাত্র নিউক্লিয়াসে আবদ্ধ থাকে, তাই নিউক্লিয়াসের প্রকৃত আকার $4.0 \times 10^{-14} \text{ m}$ অপেক্ষা ছোটো হবে।

যদি আমরা 5.5 MeV অপেক্ষী বেশি শক্তিসম্পন্ন α -কণা ব্যবহার করি তবে স্বর্ণের পরমাণুর ‘নিকটবর্তী অবস্থার দূরত্ব’ কমে যাবে এবং কিছু ক্ষেত্রে স্বল্প বিস্তারের নিউক্লিয় বলের জন্য বিক্ষেপণ বিঘ্নিত হবে যা রাদারফোর্ডের গণনাকৃত মান থেকে ভিন্ন। রাদারফোর্ডের গণনা সম্পূর্ণরূপে ধনাত্মক আধান সম্পন্ন α -কণা এবং গোল্ড নিউক্লিয়াসের উপর ভিত্তি করে প্রতিষ্ঠিত। যে দূরত্ব থেকে বাঁক নেওয়া (বিক্ষেপণ) শুরু হবে নিউক্লিয়াসের আকার সে পর্যন্ত অনুমিত হতে পারে।

আঘাতকারী হিসেবে α -কণার পরিবর্তে দ্রুতগতি সম্পন্ন ইলেকট্রন কণা নিয়ে বিভিন্ন মৌলকে টার্গেট হিসাবে ব্যবহার করে তাদের নিউক্লিয়াসের আকার সঠিকভাবে পরিমাপ করা গেছে।

দেখা গেছে যে, A ভরসম্পন্ন একটি নিউক্লিয়াসের ব্যাসার্ধ

$$R = R_0 A^{1/3} \quad (13.5)$$

যেখানে $R_0 = 1.2 \times 10^{-15} \text{ m}$ (=1.2 fm; 1 fm = 10^{-15} m)। এর অর্থ হল নিউক্লিয়াসের আয়তন R^3 তথা A -এর সমানুপাতী। তাই সব নিউক্লিয়াসের ঘনত্ব একটি ধ্রুবক এবং A -এর উপর নির্ভরশীল নয়। বিভিন্ন নিউক্লিয়াসগুলো একই ঘনত্বের তরল বিন্দুর মতো। নিউক্লিয় উপাদানের ঘনত্ব প্রায় $2.3 \times 10^{17} \text{ kg m}^{-3}$ । এই ঘনত্ব সাধারণ পদার্থের ঘনত্বের যেমন জলের ঘনত্ব 10^3 kg m^{-3} -এর তুলনায় অনেক বেশি। এটা বোধগম্য, যেহেতু ইতোমধ্যেই আমরা জানি যে, পরমাণুর অধিকাংশ স্থানই ফাঁকা। পরমাণু নিয়ে গঠিত সাধারণ পদার্থের অধিকাংশ স্থানই ফাঁকা থাকে।

উদাহরণ 13.1 দেওয়া আছে আয়রণ (লোহা) পরমাণুর নিউক্লিয়াসের ভর $55.85u$ এবং $A=56$ । এর নিউক্লিয়াসের ঘনত্ব বের কর।

সমাধান

$$m_{Fe} = 55.85, \quad u = 9.27 \times 10^{-26} \text{ kg}$$

$$\text{নিউক্লিয়াসের ঘনত্ব} = \frac{\text{ভর}}{\text{আয়তন}} = \frac{9.27 \times 10^{-26}}{(4\pi/3)(1.2 \times 10^{-15})^3} \times \frac{1}{56}$$

$$= 2.29 \times 10^{17} \text{ kg m}^{-3}$$

এই ঘনত্ব নিউট্রন স্টারে (মহাজাগতিক বস্তু) থাকা পদার্থের ঘনত্বের সঙ্গে তুলনীয়। এর অর্থ হল এসকল বস্তুতে থাকা পদার্থ এমনভাবে সংকুচিত হয়েছে যেন এর আকার একটি *বৃহদাকৃতি নিউক্লিয়াসের* অনুরূপ হয়।

13.4 ভর-শক্তি এবং নিউক্লিয় বন্ধন শক্তি (MASS-ENERGY AND NUCLEAR BINDING ENERGY)

13.4.1 ভর-শক্তি (Mass – Energy)

আইনস্টাইন তার বিশেষ আপেক্ষিকতাবাদ তত্ত্ব (theory of special relativity) থেকে দেখিয়েছেন যে, ভরকে শক্তির আরেকটি রূপ হিসেবে ধরে নেওয়া প্রয়োজন। তার বিশেষ আপেক্ষিকতাবাদ তত্ত্ব আবিষ্কারের পূর্বে ধরে নেওয়া হত যে-কোনো বিক্রিয়াতেই ভর এবং শক্তি পৃথক পৃথকভাবে সংরক্ষিত থাকে। যদিও আইনস্টাইন দেখিয়েছেন যে ভর হল শক্তির আরেকটি রূপ এবং যে কেউ ভর-শক্তিকে অন্যরূপ শক্তিতে যেমন গতিশক্তিতে রূপান্তরিত করতে পারবে অথবা বিপরীতটাও সম্ভব।

আইনস্টাইন বিখ্যাত ভর-শক্তির তুল্যতার সম্পর্কটি এভাবে দিয়েছেন

$$E = mc^2 \quad (13.6)$$

এখানে শক্তির সমতুল্য ভর m উপরের সমীকরণটি দ্বারা সম্পর্কিত এবং c হল শূন্য মাধ্যমে আলোর বেগ যার মান প্রায় $3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ ।

উদাহরণ 13.2 1 g পদার্থের সমতুল্য শক্তির গণনা করো।

সমাধান

$$\text{শক্তি (E)} = 10^{-3} \times (3 \times 10^8)^2 \text{ J}$$

$$E = 10^{-3} \times 9 \times 10^{16} = 9 \times 10^{13} \text{ J}$$

তাই যদি 1 gm পদার্থকে শক্তিতে, রূপান্তরিত করা হয় তবে বিশাল পরিমাণ শক্তি নির্গত হয়।

নিউক্লিয়ন, নিউক্লিয়াস, ইলেকট্রন এবং অন্যান্য সদ্য আবিষ্কৃত কণার নিউক্লিয় বিক্রিয়ার অধ্যয়নে আইনস্টাইনের ভর-শক্তি সম্পর্কটি পরীক্ষামূলকভাবে প্রমাণিত হয়েছে। শক্তির সংরক্ষণ সূত্রানুযায়ী কোনো একটি বিক্রিয়ায় প্রারম্ভিক ও অন্তিম শক্তি সমান থাকবে যদি ভরের সমতুল্য শক্তিকেও সংযুক্ত করা হয়। নিউক্লিয় ভর ও বিভিন্ন নিউক্লিয়াসের মধ্যে পারস্পরিক ক্রিয়া অনুধাবন করার জন্য এই ধারণা খুবই গুরুত্বপূর্ণ। পরবর্তী কয়েকটি অনুচ্ছেদের বিষয়বস্তু এ থেকেই সৃষ্টি।

13.4.2 নিউক্লিয়াসের বন্ধন শক্তি (Nuclear binding energy)

13.2 অনুচ্ছেদে আমরা দেখেছি যে, পরমাণুর নিউক্লিয়াস গঠিত হয় নিউট্রন ও প্রোটন দ্বারা। সূত্রাং, এটা আশা করা যেতে পারে যে, নিউক্লিয়াসের ভর স্বতন্ত্র প্রোটন এবং নিউট্রনগুলোর ভরের সমষ্টির সমান।

নিউক্লিয়াস বা কেন্দ্রক

যদিও নিউক্লিয়াসের ভর M কে সর্বদা এ থেকে কম পাওয়া যায়। উদাহরণস্বরূপ, $^{16}_8\text{O}$ পরমাণুর নিউক্লিয়াসের কথা বিবেচনা করি, যার ৪টি নিউট্রন ও ৪টি প্রোটন আছে। সুতরাং,

$$৪টি নিউট্রনের ভর = ৪ \times 1.00866 \text{ u}$$

$$৪টি প্রোটনের ভর = ৪ \times 1.00727 \text{ u}$$

$$৪টি ইলেকট্রনের ভর = ৪ \times 0.00055 \text{ u}$$

$$\begin{aligned} \text{তাই আশা করতে পারি, } ^{16}_8\text{O নিউক্লিয়াসের ভর} \\ = ৪ \times 2.01593 \text{ u} = 16.12744 \text{ u.} \end{aligned}$$

ভর স্পেকট্রোস্কোপি পরীক্ষায় $^{16}_8\text{O}$ পরমাণুর ভর 15.99493 u পাওয়া গেছে। এই মান থেকে ৪টি ইলেকট্রনের ($৪ \times 0.00055 \text{ u}$) ভর বিয়োগ করলে $^{16}_8\text{O}$ পরমাণুর নিউক্লিয়াসের পরীক্ষণীয় ভর হয় 15.99053 u।

সুতরাং, আমরা দেখতে পাচ্ছি যে, $^{16}_8\text{O}$ নিউক্লিয়াসের ভর তার উপাদান নিউক্লিয়নগুলোর মোট ভর থেকে 0.13691u কম। নিউক্লিয়াসের ভর এবং তার উপাদান নিউক্লিয়নগুলোর মোট ভরের এই পার্থক্য ΔM কে বলা হয় ভরত্রুটি (*mass defect*) এবং একে প্রকাশ করা হয়

$$\Delta M = [Zm_p + (A - Z)m_n] - M \quad (13.7)$$

ভরত্রুটির অর্থ কী বোঝায়? এক্ষেত্রে আইনস্টাইনের ভর এবং শক্তির তুল্যতার ভূমিকা আছে। যেহেতু অক্সিজেন নিউক্লিয়াসের ভর তার উপাদান নিউক্লিয়নগুলোর (বাধাহীন অবস্থায় ৪টি প্রোটন ও ৪টি নিউট্রনের) মোট ভর অপেক্ষা কম তাই উপাদান নিউক্লিয়নগুলোর মোট ভরের তুল্য শক্তি অপেক্ষা নিউক্লিয়াসের ভরের তুল্য শক্তি কম হয়। যদি কেউ অক্সিজেন নিউক্লিয়াসকে ভেঙে ৪টি প্রোটন ও ৪টি নিউট্রনকে পৃথক করতে চায় তবে তাকে অতিরিক্ত $\Delta M c^2$ পরিমাণ শক্তি সরবরাহ করতে হবে। এই প্রয়োজনীয় শক্তি E_b ভরত্রুটির সঙ্গে এভাবে সম্পর্কিত

$$E_b = \Delta M c^2 \quad (13.8)$$

উদাহরণ 13.3 জুল এবং MeV এককে এক পারমাণবিক ভর এককের (One atomic mass unit) তুল্য শক্তির মান বের কর। এটা ব্যবহার করে $^{16}_8\text{O}$ -এর ভরত্রুটিতে MeV/ c^2 -এ প্রকাশ করো।

সমাধান

$$1\text{u} = 1.6605 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

একে শক্তির এককে পরিবর্তন করার জন্য আমরা c^2 দ্বারা গুণ করে তুল্য শক্তির মান পাই

$$\begin{aligned} &= 1.6605 \times 10^{-27} \times (2.9979 \times 10^8)^2 \text{ kg m}^2/\text{s}^2 \\ &= 1.4924 \times 10^{-10} \text{ J} \end{aligned}$$

$$= \frac{1.4924 \times 10^{-10}}{1.602 \times 10^{-19}} \text{ eV}$$

$$= 0.9315 \times 10^9 \text{ eV}$$

$$= 931.5 \text{ MeV}$$

$$\text{বা, } 1\text{u} = 931.5 \text{ MeV}/c^2$$

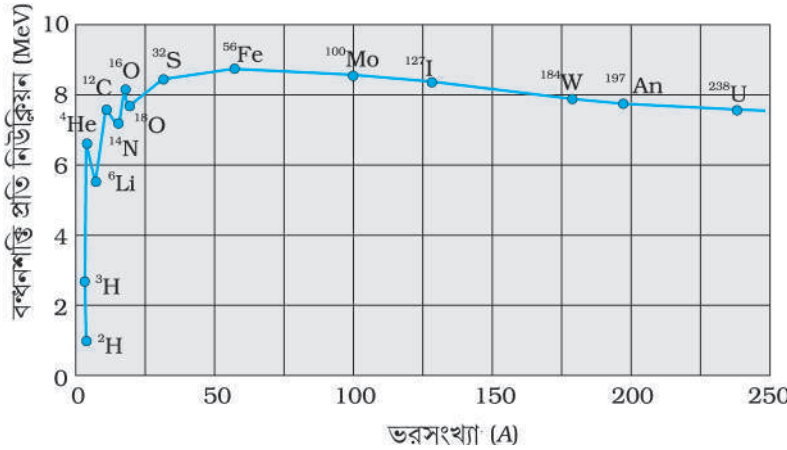
$$\begin{aligned} \text{অক্সিজেনের ক্ষেত্রে, } \Delta M &= 0.13691 \text{ u} = 0.13691 \times 931.5 \text{ MeV}/c^2 \\ &= 127.5 \text{ MeV}/c^2 \end{aligned}$$

সুতরাং, $^{16}_8\text{O}$ -এর উপাদান নিউক্লিয়নগুলোকে পৃথক করতে 127.5 MeV/ c^2 শক্তির প্রয়োজন।

যদি নির্দিষ্ট সংখ্যক নিউট্রন ও প্রোটনকে একত্রে কাছাকাছি এনে একটি নির্দিষ্ট ভর ও আধানের নিউক্লিয়াস তৈরি করা হয়, তবে এতে E_b পরিমাণ শক্তি নির্গত হবে। এই শক্তি E_b কে বলা হয় নিউক্লিয়াসের বন্ধনশক্তি (*binding energy*)। যদি আমরা একটি নিউক্লিয়াসকে তার উপাদান নিউক্লিয়নসমূহে পৃথক করি তাহলে আমাদেরকে E_b পরিমাণ শক্তি সরবরাহ করতে হবে। যদিও বা আমরা একটি নিউক্লিয়াসকে এভাবে পৃথক করতে পারি না। তা সত্ত্বেও একটি নিউক্লিয়াস কীভাবে আবদ্ধ আছে, তা বোঝার ক্ষেত্রে নিউক্লিয় বন্ধনশক্তিই হল তার সুবিধাজনক পরিমাপ। একটি নিউক্লিয়াসের উপাদান নিউক্লিয়নগুলো কীভাবে নিজেদের মধ্যে আবদ্ধ তার অধিকতর উপযোগী পরিমাপ হল প্রতি নিউক্লিয়নে বন্ধনশক্তি (*binding energy per nucleon*), E_{bn} , যা হল একটি নিউক্লিয়াসের বন্ধন শক্তি E_b এবং নিউক্লিয়াসে উপস্থিত মোট নিউক্লিয়ন সংখ্যা A -এর অনুপাত :

$$E_{bn} = E_b / A \quad (13.9)$$

আমরা ধরে নিতে পারি যে, কোনো নিউক্লিয়াসের নিউক্লিয়নগুলোকে পৃথক করতে প্রয়োজনীয় শক্তির পরিমাণই হল প্রতিটি নিউক্লিয়নে বন্ধন শক্তি।



চিত্র 13.1 ভরসংখ্যার অপেক্ষকরূপে প্রতি নিউক্লিয়নে বন্ধনশক্তি।

13.1 চিত্রে বহু সংখ্যক নিউক্লিয়াসের বন্ধনশক্তি প্রতি নিউক্লিয়ন E_{bn} বনাম ভরসংখ্যা A -এর লেখচিত্র দেখানো হয়েছে। লেখচিত্রে নিম্নলিখিত মূল বৈশিষ্ট্যগুলো আমরা লক্ষ করছি:

- (i) বাস্তবে মাঝামাঝি মানের ভরসংখ্যা বিশিষ্ট ($30 < A < 170$) নিউক্লিয়াসগুলোর ক্ষেত্রে বন্ধনশক্তি প্রতি নিউক্লিয়ন, E_{bn} -এর মান ধ্রুবক। অর্থাৎ ভরসংখ্যার উপর নির্ভর করে না। $A = 56$ মানের জন্য লেখ-এর সর্বাধিক মান 8.75 MeV এবং $A = 238$ মানের জন্য 7.6 MeV।
- (ii) হালকা নিউক্লিয়াস ($A < 30$) এবং ভারী নিউক্লিয়াস ($A > 170$)-এর জন্য উভয়ক্ষেত্রেই E_{bn} -এর মান কম।

এই দুটি পর্যবেক্ষণ থেকে আমরা নিম্নলিখিত কিছু কিছু সিদ্ধান্তে উপনীত হতে পারি :

- (i) বলটি আকর্ষণধর্মী এবং যথেষ্ট শক্তিশালী যা প্রতি নিউক্লিয়নে কয়েক MeV পরিমাণ বন্ধনশক্তি সৃষ্টি করতে পারে।
- (ii) $30 < A < 170$ সীমার মধ্যে বন্ধনশক্তি ধ্রুবক হওয়ার অর্থ হল যে নিউক্লিয় বল হল স্বল্প বিস্তারের (short-ranged) বল। একটি খুব বড়ো নিউক্লিয়াসের অভ্যন্তরে একটি নিউক্লিয়নের কথা চিন্তা করলে দেখা যায় যে, নিউক্লিয়নটির উপর নিউক্লিয় বলের পরিসরে অবস্থিত অল্প কয়েকটি পারিপার্শ্বিক নিউক্লিয়নের প্রভাব থাকে। যদি অন্য কোনো নিউক্লিয়ন, বিবেচনাধীন নিউক্লিয়নটি থেকে নিউক্লিয় বলের সীমার বাইরে অবস্থিত হয়, তবে বিবেচনাধীন নিউক্লিয়নটির বন্ধন শক্তিতে এর কোনো প্রভাব থাকবে না। নিউক্লিয় বলের সীমায় যদি একটি বিবেচনাধীন নিউক্লিয়নের পাশাপাশি সর্বাধিক p সংখ্যক প্রতিবেশী থাকতে পারে তবে তার বন্ধনশক্তি p -এর সমানুপাতিক হবে। ধরো, একটি নিউক্লিয়াসের বন্ধনশক্তি pk , যেখানে k হল শক্তির মাত্রাসম্পন্ন একটি ধ্রুবক। যদি নিউক্লিয়ন যুক্ত করে A -এর মান বৃদ্ধি করা হয় তবে তারা অভ্যন্তরীণ নিউক্লিয়ন প্রতি বন্ধনশক্তির মানকে প্রভাবিত করতে পারবে না। যেহেতু একটি বড়ো নিউক্লিয়াসের মধ্যে অধিকাংশ নিউক্লিয়নগুলো নিউক্লিয়াসটির অভ্যন্তরে থাকে এবং পৃষ্ঠের দিকে থাকে না, তাই প্রতি নিউক্লিয়নে বন্ধনশক্তির মানের পরিবর্তন খুবই সামান্য। বন্ধনশক্তি

নিউক্লিয়াস বা কেন্দ্রক

প্রতি নিউক্লিয়ন হল ধ্রুবক এবং এর মান প্রায় pk -এর সমান। একটি বিবেচনাধীন নিউক্লিয়ন শুধুমাত্র কাছাকাছি থাকা নিউক্লিয়নগুলোকে প্রভাবিত করে, এই ধর্ম আবার নিউক্লিয় বলের সম্পৃক্ততা ধর্মের সঙ্গে সম্পর্কযুক্ত।

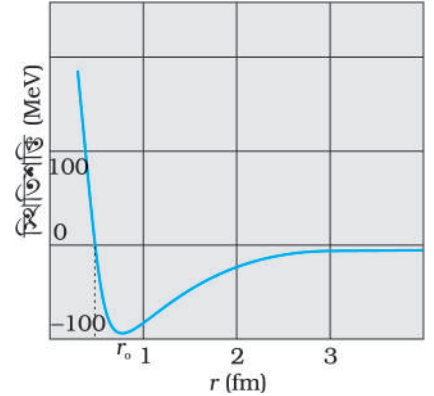
- (iii) $A = 240$ -এর মতো একটি অত্যন্ত ভারী নিউক্লিয়াসের বন্ধনশক্তি প্রতি নিউক্লিয়নের মান $A = 120$ নিউক্লিয়াসের বন্ধনশক্তি প্রতি নিউক্লিয়ন অপেক্ষা তুলনামূলক কম হয়। তাই একটি $A = 240$ নিউক্লিয়াস ভেঙে দুটি $A = 120$ নিউক্লিয়াস তৈরি হয় তাহলে নিউক্লিয়নগুলো অধিকতর দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ থাকবে। এর অর্থ হল এই প্রক্রিয়ায় শক্তির নির্গত হয়। এর একটি খুবই গুরুত্বপূর্ণ প্রয়োগ নিউক্লিয় বিভাজন (*fission*) প্রক্রিয়াতে শক্তি উৎপাদনে লক্ষ করা যায়, যা পরবর্তীতে 13.7.1নং অনুচ্ছেদে আলোচনা করা হবে।
- (iv) ধরো দুটি খুবই হালকা নিউক্লিয়াস ($A \leq 10$) যুক্ত হয়ে একটি ভারী নিউক্লিয়াস গঠন করেছে। হালকা নিউক্লিয়াসগুলোর তুলনায় উৎপন্ন ভারী নিউক্লিয়াসটির বন্ধনশক্তি প্রতি নিউক্লিয়নের মান বেশি হয়। এর অর্থ হল প্রাথমিক সংস্থাগুলোর তুলনায় চূড়ান্ত সংস্থাটি অধিকতর দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ। আবার এধরনের নিউক্লিয় সংযোজন (*fusion*) প্রক্রিয়ায় শক্তির উৎপাদন হবে। এটাই সূর্যে শক্তি উৎপাদনের উৎস। যা 13.7.3 নং অনুচ্ছেদে পরবর্তীতে আলোচিত হবে।

13.5 নিউক্লিয় বল (NUCLEAR FORCE)

পরমাণুর ইলেকট্রনের গতি নিয়ন্ত্রণকারী বল হল সুপরিচিত কুলম্ব বল। আমরা দেখেছি যে গড় ভরের নিউক্লিয়াসগুলোর বন্ধন শক্তি প্রতি নিউক্লিয়নের মান প্রায় 8 MeV, যা পরমাণুর বন্ধন শক্তি অপেক্ষা অনেক বেশি। সুতরাং, নিউক্লিয়াসকে একত্রে বেঁধে রাখতে গেলে সম্পূর্ণ ভিন্ন ধরনের শক্তিশালী আকর্ষণ জাতীয় বল অবশ্যই থাকতে হবে। এর মান অবশ্যই এত বেশি শক্তিশালী হতে হবে যাতে করে (ধনাত্মক আধানবাহী) প্রোটনগুলোর মধ্যবর্তী বিকর্ষণ বলকে অতিক্রম করতে এবং নিউক্লিয় আয়তনের মতো এত ক্ষুদ্র অংশে প্রোটন ও নিউট্রনগুলো আবদ্ধ থাকতে পারে। ইতোমধ্যেই আমরা দেখেছি যে, বন্ধনশক্তি প্রতি নিউক্লিয়ন-এর মান স্বল্প পাল্লার ভিত্তিতে উপলব্ধি করা গেছে। নিউক্লিয় বন্ধন বলের অনেকগুলো বৈশিষ্ট্য নিম্নে সারাংশ আকারে লিপিবদ্ধ করা হল। 1930 থেকে 1950 সালের মধ্যে সম্পন্ন হওয়া বিভিন্ন পরীক্ষা থেকে এদেরকে পাওয়া গেছে।

- (i) আধানের মধ্যবর্তী কুলম্বীয় বল বা একাধিক ভরের মধ্যে ক্রিয়াশীল মহাকর্ষীয় বলের তুলনায় নিউক্লিয় বল অনেক বেশি শক্তি সম্পন্ন। নিউক্লিয় বন্ধনশক্তিকে নিউক্লিয়াসের অভ্যন্তরীণ প্রোটনগুলোর মধ্যবর্তী বিকর্ষণ বল থেকে অধিকতর প্রভাবশালী হতে হবে। এটা শুধুমাত্র সম্ভব কারণ নিউক্লিয় বল কুলম্বীয় বল অপেক্ষা অনেক বেশি শক্তিশালী। মহাকর্ষীয় বল কুলম্বীয় বল অপেক্ষা অনেক দুর্বল।
- (ii) যদি দুটি নিউক্লিয়নের মধ্যবর্তী দূরত্ব কয়েক ফ্যামটোমিটার অপেক্ষা বেশি হয় তবে তাদের মধ্যবর্তী নিউক্লিয় বলের মান দ্রুত হ্রাস পেয়ে শূন্য হয়। একটি মাধ্যম বা বৃহদাকার নিউক্লিয়াসের ক্ষেত্রে এই বল সম্পৃক্ত হয় (*saturation of forces*)। বন্ধনশক্তি প্রতি নিউক্লিয়নের ধ্রুবক মানের কারণ হিসেবে এটি প্রধান ভূমিকা পালন করে।

দুটি নিউক্লিয়নের মধ্যবর্তী স্থিতিশক্তিকে দূরত্বের অপেক্ষকরূপে ব্যবহার করে মোটামুটি পাওয়া লেখচিত্রকে 13.2 নং চিত্রে দেখানো হয়েছে। দূরত্ব r_0 -এর মান মোটামুটি 0.8 fm হলে স্থিতিশক্তি সর্বনিম্ন। এর অর্থ হল, 0.8 fm অপেক্ষা বেশি দূরত্বের জন্য এ বল আকর্ষণধর্মী আবার তারা যদি 0.8 fm অপেক্ষা কম দূরত্বের ব্যবধানে থাকে তবে এ বল হবে বিকর্ষণধর্মী।



চিত্র 13.2 একজোড়া নিউক্লিয়নের স্থিতিশক্তিকে পারস্পরিক ব্যবধানের অপেক্ষক রূপে প্রকাশ করা হয়েছে। ব্যবধানের মান r_0 অপেক্ষা বেশি হলে বল হবে আকর্ষণ জাতীয় এবং ব্যবধানের মান r_0 অপেক্ষা কম হলে বল হয় তীব্র বিকর্ষণ জাতীয়।

- (iii) নিউট্রন-নিউট্রন, প্রোটন-নিউট্রন এবং প্রোটন-প্রোটনের মধ্যবর্তী নিউক্লিয় বলের মান প্রায় সমান। নিউক্লিয় বল তড়িৎ আধানের উপর নির্ভর করে না।
কুলম্বের সূত্র বা নিউটনের মহাকর্ষ সূত্রের গাণিতিকরূপের মতো নিউক্লিয় বলের কোনো সাধারণ গাণিতিক রূপ থাকে না।

13.6 তেজস্ক্রিয়তা (RADIOACTIVITY)

সম্পূর্ণ আকস্মিকভাবে 1896 খ্রিস্টাব্দে (A.H.Becquerel) এ.এই. ব্যাকোরেল তেজস্ক্রিয়তা আবিষ্কার করেন। দৃশ্যমান আলো দ্বারা যৌগে উদ্ভাসিত প্রতিপ্রভা (fluorescence) এবং অনুপ্রভা (phosphorescence) অধ্যয়নের সময় ব্যাকোরেল এক আশ্চর্যজনক ঘটনা লক্ষ্য করলেন। কয়েক টুকরো ইউরেনিয়াম-পটাশিয়াম-সালফেট কে দৃশ্যমান আলো দ্বারা উদ্ভাসিত (illuminating) করে তিনি এগুলোকে কালো কাগজে মুড়ে এক টুকরো রূপা (silver) দ্বারা ফটোগ্রাফিক প্লেট (আলোক চিত্র ফলক) থেকে পৃথক করে রাখেন না। কয়েক ঘণ্টা অনাবৃত অবস্থায় রেখে ফটোগ্রাফিক প্লেটকে ডেভেলপ (developed) করে এতে কোনো কারণ সৃষ্ট কালো কালো দাগ লক্ষ্য করলেন, যা অবশ্যই ওই যৌগ থেকে নিঃসৃত এবং যা কালো কাগজ ও রূপাকে ভেদ করতে সক্ষম।

পরবর্তীকালে সংঘটিত পরীক্ষার ফলাফল থেকে দেখা গেছে যে, তেজস্ক্রিয়তা হল নিউক্লিয়াস সংক্রান্ত ঘটনা যাতে একটি অস্থায়ী নিউক্লিয়াসের ভাঙ্গন বা বিঘটন হতে থাকে। একে তেজস্ক্রিয় ভাঙ্গন বা তেজস্ক্রিয় বিঘটন হিসেবে উল্লেখ করা হয়। বাস্তবে তিন প্রকার তেজস্ক্রিয় বিঘটন হয় :

- α -বিঘটন, যেখানে হিলিয়াম নিউক্লিয়াস ${}^4_2\text{He}$ নিঃসৃত হয়;
- β -বিঘটন, যেখানে ইলেকট্রন বা পজিট্রন (ইলেকট্রনের সমভর এবং ঠিক সমান কিন্তু বিপরীত আধান সম্পন্ন) নিঃসৃত হয়;
- γ -বিঘটন, যেখানে উচ্চ শক্তিসম্পন্ন (কয়েকশ keV বা তার বেশি) ফোটন নিঃসৃত হয়। পরবর্তী উপ-অনুচ্ছেদগুলোতে পৃথক পৃথকভাবে এদের আলোচনা করা হবে।

13.6.1 তেজস্ক্রিয় বিঘটন সূত্র (Law of radioactive decay)

যে-কোনো তেজস্ক্রিয় নমুনায় যেখানে α , β বা γ -বিঘটন হয়, দেখা গেছে, একক সময়ে বিঘটিত নিউক্লিয়াসের সংখ্যা নমুনাতে উপস্থিত নিউক্লিয়াসের সংখ্যার সমানুপাতিক। যদি নমুনাতে N সংখ্যক নিউক্লিয়াস থাকে এবং Δt সময়ে বিঘটিত নিউক্লিয়াসের সংখ্যা হয় ΔN তবে

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} \propto N$$

বা, $\Delta N/\Delta t = \lambda N$,

$$(13.10)$$

যেখানে λ হল তেজস্ক্রিয় ভাঙ্গন ধ্রুবক বা অবক্ষয় ধ্রুবক।

নমুনাতে* Δt সময়ে নিউক্লিয়াস সংখ্যার পরিবর্তন হল $dN = -\Delta N$ । সুতরাং, ($\Delta t \rightarrow 0$ সীমায়) N -এর পরিবর্তনের হার

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

* ΔN হল বিঘটিত নিউক্লিয়াসের সংখ্যা এবং এর মান সর্বদা ধনাত্মক। dN হল N -এর পরিবর্তন যা উভয় চিহ্নযুক্ত হতে পারে। এখানে এটা ঋণাত্মক, কারণ মোট N নিউক্লিয়াসের মধ্যে ΔN সংখ্যক বিঘটিত হয়েছে এবং অবশিষ্ট তেজস্ক্রিয় নিউক্লিয়াস হল $(N-\Delta N)$ ।

নিউক্লিয়াস বা কেন্দ্রক

$$\text{বা, } \frac{dN}{N} = -\lambda dt$$

সমীকরণটির উভয়পক্ষে সমাকলন করে পাই,

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -\lambda \int_{t_0}^t dt \quad (13.11)$$

$$\text{বা, } \ln N - \ln N_0 = -\lambda (t - t_0) \quad (13.12)$$

এখানে N_0 হল যে-কোনো স্বেচ্ছাধীন সময় t_0 তে তেজস্ক্রিয় নিউক্লিয়াসের সংখ্যা এবং পরবর্তী t সময় পর তেজস্ক্রিয় পরমাণুর সংখ্যা হল N । (13.12) নং সমীকরণে $t_0 = 0$ বসিয়ে এবং সমীকরণকে পুনরায় সজ্জিত করে পাই

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t \quad (13.13)$$

$$\text{বা, } N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (13.14)$$

লক্ষনীয় বিষয় হল, আলো উৎপাদনকারী বাস্তুগুলো (উদাহরণস্বরূপ) এ ধরনের বিঘটনের সূচকীয় সূত্র মেনে চলে না। যদি আমরা 1000টি বাস্তু নিয়ে তাদের আয়ুষ্কাল (life) (পুড়ে যাওয়া বা ফিউজ হয়ে যাওয়ার পূর্ব পর্যন্ত সময়) পরীক্ষা করি, আমরা আশা করব যে, তাদের অবক্ষয় (পুড়ে ধ্বংস হয়ে যাবে) মোটামুটি একই সময়ে হবে। তেজস্ক্রিয় নিউক্লিয়াসের অবক্ষয় সম্পূর্ণ ভিন্ন একটি সূত্র মেনে হয় যেটি তেজস্ক্রিয়তার ‘অবক্ষয় সূত্র’ বা ‘বিঘটন সূত্র’ বা ‘ভাজন সূত্র’ (*law of radioactive decay*) নামে পরিচিত এবং একে (13.14) নং সমীকরণের সাহায্যে প্রকাশ করা হয়।

একটি নমুনার সম্পূর্ণ অবক্ষয়ের হার R হল একক সময়ে বিঘটিত নিউক্লিয়াসের সংখ্যা। ধরো dt সময় অবকাশে অবক্ষয়ের পরিমিত মান হল ΔN । এবং $dN = -\Delta N$ ।

ধনাত্মক রাশি R কে এভাবে সংজ্ঞায়িত করা যায়

$$R = -\frac{dN}{dt}$$

সমীকরণ 13.14 কে অবকলন করে আমরা পাই,

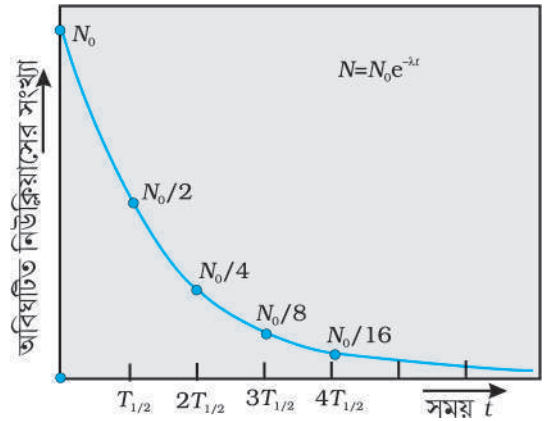
$$R = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$$

$$\text{বা, } R = R_0 e^{-\lambda t} \quad (13.15)$$

যেহেতু সমীকরণ (13.15) কে সমাকলন করে পুনরায় (13.14) নং সমীকরণটি পাওয়া যায়, তাই এই সমীকরণটি তেজস্ক্রিয় বিঘটন সূত্রের সঙ্গে তুলনীয়। স্পষ্টতই $t = 0$ তে বিঘটনের হার বা অবক্ষয়ের হার হল $R_0 = \lambda N_0$ । নির্দিষ্ট সময় t তে বিঘটনের হার R এবং একই সময়ে বিঘটিত না হওয়া নিউক্লিয়াসের সংখ্যা N নিম্নলিখিতভাবে সম্পর্কিত

$$R = \lambda N \quad (13.16)$$

কোনো একটি নমুনার তেজস্ক্রিয় নিউক্লিয়াসের পরিবর্তে ‘বিঘটনের হার’ রাশিটিকে অধিকতর সহজভাবে পরীক্ষাগারে পরিমাপ করা যায়, এবং এটি যে বিশেষ নামে পরিচিত তা হল : সক্রিয়তা (*activity*)। ‘হেনরি ব্যাকরেল’ কর্তৃক তেজস্ক্রিয়তা আবিষ্কারের জন্য সক্রিয়তার SI এককের নাম দেওয়া হয়েছে ‘ব্যাকরেল’ (*becquerel*)।



চিত্র 13.3 এক প্রকার তেজস্ক্রিয় মৌলের সূচকীয় বিঘটন। $T_{1/2}$ সময় ব্যবধান পরে প্রদত্ত নমুনা মৌলের নিউক্লিয়াসের ঘনত্ব 2 গুণিতক হ্রাস পায়।

পদার্থবিদ্যা

এক সেকেন্ড সময়ে 1টি অবক্ষয় বা 1টি ভাঙ্গন হলে তাকে সহজে 1 ব্যাকরেল (Bq) বলে। বহুল প্রচলিত আরেকটি একক হল 'কুরি' (curie) যেটি SI এককটির সঙ্গে এভাবে সম্পর্কিত :

$$1 \text{ কুরি} = 1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ অবক্ষয় প্রতি সেকেন্ড} \\ = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$



মেরি স্কলডস্কা কুরি [Marie Skłodowska Curie (1867-1934)] পোলাণ্ডে জন্মগ্রহণ করেন। তিনি পদার্থবিদ ও রসায়নবিদ উভয়ক্ষেত্রে স্বীকৃতি পেয়েছিলেন। হেনরি ব্যাকরেল কর্তৃক 1896 খ্রিঃ তেজস্ক্রিয়তার আবিষ্কার মেরি এবং তার স্বামী পিয়ের কুরিকে (Pierre Curie) তাদের গবেষণা ও বিশ্লেষণে অনুপ্রাণিত করেছিল, যার ফলস্বরূপ রেডিয়াম ও পোলোনিয়াম মৌলের পৃথক অস্তিত্ব। তিনিই হলেন প্রথম মানুষ যিনি 1903 খ্রিস্টাব্দে পদার্থবিদ্যার জন্য এবং 1911 খ্রিস্টাব্দে রসায়নবিদ্যার জন্য নোবেল পুরস্কারে ভূষিত হয়েছিলেন।

মেরি স্কলডস্কা কুরি (1867-1934)

বিভিন্ন তেজস্ক্রিয় নিউক্লিয়াসের অবক্ষয়ের হারের অনেক পার্থক্য। এ বৈশিষ্ট্যকে সাধারণত অর্ধায়ু বা অর্ধজীবন কাল (half-life) ধারণার সাহায্যে ব্যাখ্যা করা হয়। যে সময়ে কোনো একটি তেজস্ক্রিয় নমুনার শুরুরে থাকা নিউক্লিয়াস, ধরো N_0 সংখ্যক নিউক্লিয়াস কমে $N_0/2$ সংখ্যায় পৌঁছায় তাকে তেজস্ক্রিয় মৌলটির অর্ধজীবনকাল ($T_{1/2}$ দ্বারা চিহ্নিত) বলে। (13.14) নং সমীকরণে $N = N_0/2$ এবং $t = T_{1/2}$ বসিয়ে আমরা পাই,

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda} \quad (13.17)$$

স্পষ্টতই $T_{1/2}$ সময়ে N_0 হ্রাস পেয়ে অর্ধেক মানে পৌঁছায়, তাই (13.16) সমীকরণ অনুযায়ী R_0 ও একই সময়ে অর্ধেক হ্রাস পাবে।

তেজস্ক্রিয়তার আরেকটি সম্পর্কিত পরিমাপ হল 'গড় আয়ু' (average or mean life) τ । একে আবার সমীকরণ (13.14) থেকে পাওয়া যেতে পারে। t থেকে $t + \Delta t$ সময় অবকাশে বিঘটিত নিউক্লিয়াসের সংখ্যা হল $R(t)\Delta t (= \lambda N_0 e^{-\lambda t} \Delta t)$ । তাদের প্রত্যেকের জীবনকাল বা আয়ুষ্কাল হল t । তাই এই নিউক্লিয়াসগুলোর সকলের মোট জীবনকাল হবে $t \lambda N_0 e^{-\lambda t} \Delta t$ । এটা পরিষ্কার যে, এদের মধ্যে কিছু সংখ্যকের আয়ুষ্কাল কম এবং বাকি অন্যদের বেশি হতে পারে। তাই 'গড় আয়ু' পেতে হলে আমাদেরকে 0 থেকে ∞ সময়ব্যাপী এই রাশিমালাকে যোগ (সমাকলন) এবং প্রারম্ভিক ($t = 0$) সময়ের পরমাণুর সংখ্যা N_0 দ্বারা ভাগ করতে হবে। অতএব

$$\tau = \frac{\int_0^{\infty} t \lambda N_0 e^{-\lambda t} dt}{N_0} = \lambda \int_0^{\infty} t e^{-\lambda t} dt$$

এ সমাকলনটি সম্পন্ন করে এটি দেখা যায় যে, $\tau = 1/\lambda$

এ ফলাফলকে আমরা এভাবে সংক্ষেপিত করতে পারি :

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \tau \ln 2 \quad (13.18)$$

ট্রিটিয়াম, প্লোটোনিয়াম-এর মতো তেজস্ক্রিয় মৌলগুলো, যাদের ক্ষণস্থায়ী আয়ুষ্কাল অর্থাৎ যাদের অর্ধ জীবনকাল বিশ্ব ব্রহ্মাণ্ডের বয়সের (~ 15 বিলিয়ন বা 1500 কোটি বছর) তুলনায় খুবই নগণ্য, তারা অনেক আগেই বিঘটিত হয়ে গেছে এবং প্রকৃতিতে এদের অস্তিত্ব নেই। যদিও এদেরকে কৃত্রিমভাবে নিউক্লিয় বিক্রিয়ার সৃষ্টি করা যায়।

উদাহরণ 13.4 α -বিঘটন হচ্ছে এরূপ ${}_{92}^{238}\text{U}$ -এর অর্ধজীবনকাল হল 4.5×10^9 বছর। 1g নমুনার ${}_{92}^{238}\text{U}$ -এর সক্রিয়তা কত?

সমাধান

$$T_{1/2} = 4.5 \times 10^9 \text{ y} \\ = 4.5 \times 10^9 \text{ y} \times 3.16 \times 10^7 \text{ s/y} \\ = 1.42 \times 10^{17} \text{ s}$$

উদাহরণ 13.4

যে-কোনো আইসোটোপের 1 kmol-এ অ্যাভোগাড্রো সংখ্যক পরমাণু থাকে। তাই 1g $^{238}_{92}\text{U}$ -এ আছে

$$\frac{1}{238 \times 10^{-3}} \text{ kmol} \times 6.025 \times 10^{26} \text{ atoms/kmol} \\ = 25.3 \times 10^{20} \text{ atoms.}$$

ভাঙ্গনের হার বা অবক্ষয়ের হার (R)

$$R = \lambda N$$

$$= \frac{0.693}{T_{1/2}} N = \frac{0.693 \times 25.3 \times 10^{20}}{1.42 \times 10^{17}} \text{ s}^{-1}$$

$$= 1.23 \times 10^4 \text{ s}^{-1} = 1.23 \times 10^4 \text{ Bq}$$

উদাহরণ 13.4

উদাহরণ 13.5 বিটা বিঘটন হচ্ছে এরূপ ট্রাইটিয়াম-এর অর্ধজীবনকাল 12.5 y। 25 y পর একটি আদর্শ ট্রাইটিয়াম নমুনার কত ভগ্নাংশ অবিঘটিত অবস্থায় থাকবে?

সমাধান

অর্ধজীবনকালের সংজ্ঞানুযায়ী, 12.5 y বছর পর প্রারম্ভিক নমুনার অর্ধেক পরিমাণ অবিঘটিত থাকে। পরবর্তী 12.5 y-এ অবশিষ্ট পরিমাণের অর্ধেক পরিমাণ বিঘটিত হবে। তাই প্রারম্ভিক নমুনার এক চতুর্থাংশ পরিমাণ অবিঘটিত অবস্থায় থাকবে।

উদাহরণ 13.5

13.6.2 আলফা বিঘটন (Alpha decay)

$^{238}_{92}\text{U}$ থেকে হিলিয়াম নিউক্লিয়াস ^4_2He নিঃসৃত হয়ে $^{234}_{90}\text{Th}$ -এ পরিণত হওয়া আলফা বিঘটনের সবচেয়ে সুপরিচিত উদাহরণ।



α -বিঘটনে, সৃষ্ট নিউক্লিয়াসের (দুহিতা নিউক্লিয়াস) ভরসংখ্যা বিঘটিত নিউক্লিয়াসের (জনক নিউক্লিয়াস) ভরসংখ্যা অপেক্ষা চার কম হয় এবং পারমাণবিক সংখ্যা দুই কম হয়। সাধারণত α -বিঘটনে জনক নিউক্লিয়াস ^A_ZX থেকে দুহিতা নিউক্লিয়াস $^{A-4}_{Z-2}\text{Y}$ সৃষ্টি হয়।



আইনস্টাইনের ভর-শক্তির তুল্যতা সম্পর্ক (13.6 নং সমীকরণ) এবং শক্তির সংরক্ষণ থেকে এটা স্পষ্ট যে স্বতঃস্ফূর্ত বিঘটন শুধুমাত্র তখনই সম্ভব যখন বিঘটনে প্রাপ্ত ভর প্রারম্ভিক নিউক্লিয়াসের ভর অপেক্ষা কম হয়। ভরের এই পার্থক্য সৃষ্ট উপাদানের গতিশক্তি রূপে প্রকাশিত হয়। নিউক্লিয়াসের ভরের সারণি থেকে যে কেউ হিসাব করতে পারবে যে $^{234}_{90}\text{Th}$ এবং ^4_2He -এর মোট ভর $^{238}_{92}\text{U}$ অপেক্ষা বস্তুত কম হয়।

বিঘটন শক্তি (disintegration energy) বা নিউক্লিয় বিক্রিয়ার Q -মান হল প্রারম্ভিক ভর-শক্তি এবং উৎপাদিত বিঘটিত মোট ভর-শক্তির অন্তরফল। α -বিঘটনের জন্য

$$Q = (m_X - m_Y - m_{\text{He}}) c^2 \quad (13.21)$$

এই প্রক্রিয়ায় অর্জিত মোট গতিশক্তি Q অথবা প্রারম্ভিক নিউক্লিয়াস X যদি স্থির থাকে তবে সৃষ্ট মৌলগুলোর গতিশক্তি হবে Q । স্পষ্টতই তাপ উৎপাদী প্রক্রিয়াগুলো (exothermic process) যেমন α -বিঘটনের ক্ষেত্রে $Q > 0$ হবে।

উদাহরণ 13.6 নিম্নলিখিত আণবিক ভরগুলো দেওয়া আছে :

$${}^{238}_{92}\text{U} = 238.05079 \text{ u} \quad {}^4_2\text{He} = 4.00260 \text{ u}$$

$${}^{234}_{90}\text{Th} = 234.04363 \text{ u} \quad {}^1_1\text{H} = 1.00783 \text{ u}$$

$${}^{237}_{91}\text{Pa} = 237.05121 \text{ u}$$

এখানে Pa চিহ্ন দ্বারা প্রোটেকটেনিয়াম ($Z = 91$) কে বোঝানো হয়েছে।

(a) ${}^{238}_{92}\text{U}$ -এর α -বিঘটনে নিঃসৃত শক্তি গণনা করো।

(b) দেখাও যে, ${}^{238}_{92}\text{U}$ স্বতঃস্ফূর্তভাবে একটি প্রোটন নিঃসরণ করতে পারে না।

সমাধান

(a) ${}^{238}_{92}\text{U}$ -এর α -বিঘটনকে (13.20) নং সমীকরণে দেওয়া আছে। এই প্রক্রিয়ায় মুক্ত শক্তির পরিমাণ

$$Q = (M_{\text{U}} - M_{\text{Th}} - M_{\text{He}}) c^2$$

তথ্যে দেওয়া আণবিক ভরগুলোকে বসিয়ে আমরা পাই

$$\begin{aligned} Q &= (238.05079 - 234.04363 - 4.00260) \text{u} \times c^2 \\ &= (0.00456 \text{ u}) c^2 \\ &= (0.00456 \text{ u})(931.5 \text{ MeV/u}) = 4.25 \text{ MeV}. \end{aligned}$$

(b) যদি ${}^{238}_{92}\text{U}$ স্বতঃস্ফূর্তভাবে একটি প্রোটন নিঃসৃত করে তবে বিঘটনটি হবে



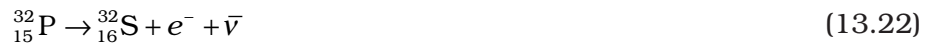
এ প্রক্রিয়ায় সংঘটিত Q হল

$$\begin{aligned} &= (M_{\text{U}} - M_{\text{Pa}} - M_{\text{H}}) c^2 \\ &= (238.05079 - 237.05121 - 1.00783) \text{u} \times c^2 \\ &= (-0.00825 \text{ u}) c^2 \\ &= -(0.00825 \text{ u})(931.5 \text{ MeV/u}) = -7.68 \text{ MeV} \end{aligned}$$

এ প্রক্রিয়ায় প্রাপ্ত Q ঋণাত্মক এবং তাই স্বতঃস্ফূর্ত নিঃসরণ সম্ভব নয়। তাই ${}^{238}_{92}\text{U}$ নিউক্লিয়াস থেকে একটি প্রোটন নিঃসরণ করতে হলে আমাদের অবশ্যই 7.68 MeV শক্তি সরবরাহ করতে হবে।

13.6.3 বিটা বিঘটন (Beta decay)

বিটা বিঘটনে একটি নিউক্লিয়াস থেকে স্বতঃস্ফূর্তভাবে একটি ইলেকট্রন (β^- বিঘটনে) বা একটি পজিট্রন (β^+ বিঘটনে) নিঃসৃত হয়। β^- বিঘটনের একটি পরিচিত উদাহরণ হল



অন্যদিকে β^+ বিঘটনের উদাহরণ হল



এ বিঘটনগুলো (13.14) এবং (13.15) নং সমীকরণ দ্বারা নিয়ন্ত্রিত, তাই কোন্ নিউক্লিয়াসটি বিঘটিত হবে সেটা পূর্বানুমান করা যায় না, কিন্তু অর্ধজীবনকাল $T_{1/2}$ দ্বারা যে কেউ বিঘটনটির বৈশিষ্ট্যকে সূচিত করতে পারবে। উদাহরণস্বরূপ, উপরের বিঘটন দুটির ক্ষেত্রে $T_{1/2}$ হল যথাক্রমে 14.3 d এবং 2.6y। β^- বিঘটনে ইলেকট্রন নিঃসরণের সঙ্গে অ্যান্টি-নিউট্রিনো ($\bar{\nu}$) এবং β^+ বিঘটনে নিউট্রিনো (ν) সৃষ্টি হয়। নিউট্রিনোগুলো হল বাস্তব কণা যাদের ভর খুবই কম (এমনকি শূন্যও হতে পারে) এবং ইলেকট্রনের

নিউক্লিয়াস বা কেন্দ্রক

ভরের সঙ্গে তুলনীয়। অন্যান্য কণাদের সঙ্গে এদের ক্ষীণ আন্তঃক্রিয়া থাকে। এ কণাগুলো যেহেতুকোনো প্রকার আন্তঃক্রিয়া ছাড়াই অনেক পদার্থের (এমনকি পৃথিবীর) মধ্য দিয়ে ভেদ করে চলে যেতে পারে, তাই তাদেরকে শনাক্ত করা খুবই কঠিন।

β^- এবং β^+ বিঘটনের উভয়ক্ষেত্রেই ভরসংখ্যা (A) অপরিবর্তনীয় থাকে। β^- বিঘটনে পারমাণবিক সংখ্যা (Z) এক একক বৃদ্ধি পায় এবং β^+ বিঘটনে এক একক হ্রাস পায়। β^- বিঘটন সংক্রান্ত নিউক্লিয় বিক্রিয়ায় মূলত একটি নিউট্রন একটি প্রোটনে রূপান্তরিত হয়



অন্যদিকে β^+ বিঘটনে প্রোটন রূপান্তরিত হয় নিউট্রনে

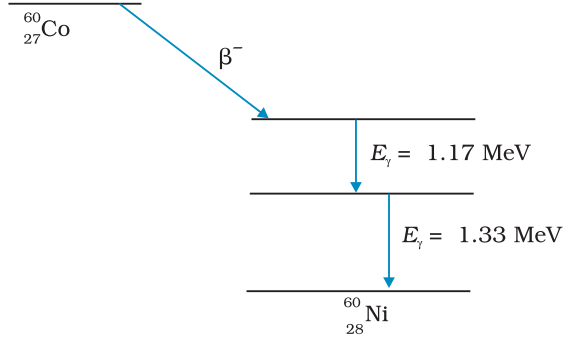


লক্ষণীয় যে একটি মুক্ত নিউট্রন প্রোটনে বিঘটিত হয়, কিন্তু (13.25) নং সমীকরণের মতো প্রোটন নিউট্রনে বিঘটিত হওয়া সম্ভব শুধুমাত্র নিউক্লিয়াসের অভ্যন্তরে, কারণ প্রোটনের ভর নিউট্রনের ভর অপেক্ষা কম।

13.6.4 গামা বিঘটন (Gamma decay)

পরমাণুর মতো নিউক্লিয়াসেরও স্বতন্ত্র শক্তিস্তর আছে — ভূমিস্তর এবং উত্তেজিত স্তর, যদিও এক্ষেত্রে শক্তি মাত্রাতে অনেক পার্থক্য থাকে। পরমাণুর শক্তিস্তরের শক্তি পার্থক্যের মাত্রা eV এককে, কিন্তু নিউক্লিয় শক্তিস্তরের পার্থক্য MeV মাত্রায়। যখন উত্তেজিত স্তরে থাকা কোনো একটি নিউক্লিয়াস অনবরত বিঘটিত হয়ে ভূমিস্তরে (বা অন্যকোনো নিম্নস্তরে) নেমে আসে, তখন নিউক্লিয়াসটির এ দুই শক্তিস্তরের পার্থক্যের সমান শক্তিসম্পন্ন একটি ফোটন নিঃসৃত হয়। যাকে আমরা গামা বিঘটন বলি। এই বিকিরণের শক্তি অতি ক্ষুদ্র তরঙ্গদৈর্ঘ্যের, যা X-রশ্মির পাল্লা থেকেও কম।

সাধারণত যখন কোনো নিউক্লিয়াস হতে একটি α বা β বিঘটন হয়ে নিউক্লিয়াসটি একটি উদ্দীপিত দুহিতা নিউক্লিয়াসে পরিণত হয় তখন একটি গামা রশ্মি নির্গত হয়। অতঃপর তা থেকে এক বা একাধিক ফোটন নিঃসরণের মাধ্যমে ভূমিস্তরে ফিরে আসে। এ ধরনের, 1.17 MeV এবং 1.33 MeV শক্তিসম্পন্ন পরপর দুটি গামা রশ্মি বিকিরণের অতি সুপরিচিত উদাহরণ হল $^{60}_{27}\text{Co}$ নিউক্লিয়াস থেকে β^- বিঘটনের মাধ্যমে $^{60}_{28}\text{Ni}$ নিউক্লিয়াসে অবনমন।



চিত্র 13.4 $^{60}_{28}\text{Ni}$ নিউক্লিয়াস থেকে β^- -বিঘটন হওয়ার পর দুটি γ রশ্মি নির্গত হয়ে উদ্দীপিত নয় এরূপ দুহিতা নিউক্লিয়াস $^{60}_{28}\text{Ni}$ সৃষ্টি হয়।

13.7 নিউক্লিয় শক্তি (NUCLEAR ENERGY)

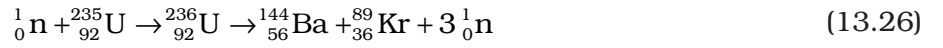
13.1 নং চিত্রে প্রদত্ত বন্ধনশক্তি প্রতি নিউক্লিয়নের (E_{bn}) লেখটিতে $A = 30$ এবং $A = 170$ সীমার মধ্যে লেখচিত্রটিকে দীর্ঘ ও সমতল পাওয়া যায়। এ সীমার মধ্যে বন্ধনশক্তি প্রতি নিউক্লিয়নের মান প্রায় ধ্রুবক (8.0 MeV)। আমরা আগেই উল্লেখ করেছি যে হালকা নিউক্লিয়াস ($A < 30$) এবং ভারি নিউক্লিয়াসের ক্ষেত্রে ($A > 170$) বন্ধন শক্তি প্রতি নিউক্লিয়নের মান 8.0 MeV অপেক্ষা কম হয়। কোনো একটি আবদ্ধ সংস্থার বন্ধনশক্তির মান বেশি হলে মোট ভর হয় কম, যেমনটি দেখা যায় নিউক্লিয়াসের ক্ষেত্রে। ফলস্বরূপ যদি মোট বন্ধনশক্তির মান কম এরূপ নিউক্লিয়াসগুলো বেশি বন্ধনশক্তি সম্পন্ন নিউক্লিয়াসে পরিণত হয় এক্ষেত্রে শক্তির নির্গমন ঘটে। যা ঘটতে দেখা যায় নিউক্লিয় বিভাজনে (*fission*), যেখানে একটি ভারি নিউক্লিয়াস বিঘটিত হয়ে দুই বা ততোধিক মাঝারি ভরের নিউক্লিয়াসে পরিণত হয় অথবা নিউক্লিয় সংযোজন (*fusion*) যেখানে কতগুলো হালকা নিউক্লিয়াস সংযোজিত হয়ে একটি ভারি নিউক্লিয়াস গঠন করে।

কয়লা, পেট্রোলিয়ামের মতো প্রচলিত শক্তি উৎসগুলো তাপ উৎপাদী রাসায়নিক বিক্রিয়ার অন্তর্গত। এদের ক্ষেত্রে সৃষ্ট শক্তির পরিমাণ হল ইলেকট্রন ভোল্ট ক্রমের। অন্যদিকে নিউক্লিয় বিক্রিয়ায় মুক্ত শক্তির পরিমাণ হল MeV ক্রমের। তাই সম পরিমাণ ভর থেকে নিউক্লিয় বিক্রিয়ায় সৃষ্ট শক্তির পরিমাণ রাসায়নিক বিক্রিয়াতে সৃষ্ট শক্তি অপেক্ষা দশ লক্ষ গুণ বেশি। উদাহরণস্বরূপ, 1 kg ইউরেনিয়াম বিভাজনে 10^{14} J শক্তি উৎপন্ন হয়; যার তুলনায় 1 kg কয়লার দহনে 10^7 J শক্তি পাওয়া যায়।

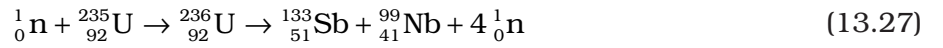
13.7.1 নিউক্লিয় বিভাজন (Fission)

প্রাকৃতিক তেজস্ক্রিয় বিঘটন ব্যতিত প্রোটন, নিউট্রন, α -কণা ইত্যাদির মতো নিউক্লিয় কণা দ্বারা নিউক্লিয়াসকে আঘাত করলে সৃষ্ট নিউক্লিয় বিক্রিয়া নিয়ে অধ্যয়ন করলেও কিছু নতুন সম্ভাবনার সৃষ্টি হয়।

নিউট্রন কণা দ্বারা আঘাত করে সৃষ্ট সর্বাপেক্ষা গুরুত্বপূর্ণ নিউক্লিয় বিক্রিয়া হল নিউক্লিয় বিভাজন। এর একটি উদাহরণ হল, একটি নিউট্রন কণা দ্বারা ইউরেনিয়াম আইসোটোপ $^{235}_{92}\text{U}$ কে আঘাত করে দুটি মাঝামাঝি ভরের টুকরোতে পরিণত করা হয়



একই বিক্রিয়াটি অপর এক জোড়া অন্তর্বর্তী ভরের টুকরোও তৈরি করতে পারে



অথবা, অপর একটি সম্ভাব্য বিক্রিয়ার উদাহরণ



উৎপন্ন টুকরোগুলো হল তেজস্ক্রিয় নিউক্লিয়াস; তারা পরবর্তীতে β কণা নির্গমনের মাধ্যমে স্থায়ী মৌলে পরিণত হয়।

ইউরেনিয়াম নিউক্লিয়াসের মতো স্থায়ী নিউক্লিয় বিভাজনে নির্গত শক্তির পরিমাণ (Q মান) প্রতি বিভাজনক্ষম নিউক্লিয়াসে 200 MeV ক্রমে হয়। এটাকে নিম্নরূপে গণনা করা যায় :

ধরো $A = 240$ মানের একটি নিউক্লিয়াস ভেঙে দুটি টুকরোতে পরিণত হয়েছে যাদের প্রত্যেকের ক্ষেত্রে $A = 120$ । সুতরাং,

$$A = 240 \text{ নিউক্লিয়াসের জন্য } E_{bn} \text{-এর মান প্রায় } 7.6 \text{ MeV,}$$

$$A = 120 \text{ টুকরো নিউক্লিয়াস দুটির জন্য } E_{bn} \text{-এর মান প্রায় } 8.5 \text{ MeV.}$$

\therefore নিউক্লিয়নগুলো মোটামুটি 0.9 MeV বন্ধন শক্তি অর্জন করে।

তাই সর্বমোট অর্জিত বন্ধনশক্তি হল 240×0.9 বা 216 MeV।

নিউক্লিয় বিভাজনের এই শক্তিকে প্রথমে বিভাজন সৃষ্ট টুকরোগুলো এবং নিউট্রনগুলোর গতিশক্তিরূপে দেখা যায়। অবশেষে পারমাণবিক বস্তুতে এর তাপশক্তিরূপে আত্মপ্রকাশ ঘটে। তড়িৎ উৎপাদী নিউক্লিয় রিয়েক্টর সমূহের শক্তি উৎসটি হল নিউক্লিয় বিভাজন। অ্যাটম বোমার সৃষ্ট বিশাল পরিমাণ শক্তির উৎস হল অনিয়ন্ত্রিত নিউক্লিয় বিভাজন বিক্রিয়া। একটি নিউক্লিয় রিয়েক্টরের কার্যাবলি পরবর্তী অনুচ্ছেদে আমরা আলোচনা করব।

13.7.2 নিউক্লিয় রিয়েক্টর (Nuclear reactor)

(13.26) থেকে (13.28) নং সমীকরণকে ভালোভাবে লক্ষ করলে দেখতে পাবে যে, প্রতিটি নিউক্লিয় বিভাজন বিক্রিয়ায় অতিরিক্ত একাধিক নিউট্রন নিঃসৃত হচ্ছে। ইউরেনিয়ামের নিউক্লিয় বিভাজনে গড়ে $2\frac{1}{2}$ টি নিউট্রন নিঃসৃত হয়। এটি একটি ভগ্নাংশ, কারণ, কোনো একটি বিভাজনে 2টি, কোনো বিভাজনে 3টি ইত্যাদি নিঃসৃত হয়। উৎপন্ন এই অতিরিক্ত নিউট্রনগুলো পরবর্তী পর্যায়ের নিউক্লিয় বিভাজন প্রক্রিয়াকে আরম্ভ করে এবং পুনরায় আরো অধিক সংখ্যক নিউট্রন তৈরি হয় এবং এভাবে এই প্রক্রিয়া চলতে থাকে।

ভারতের পারমাণবিক শক্তির কার্যক্রম

হোমি জে.ভাবার (1909-1966) নেতৃত্বে মোটামুটি ভারতের স্বাধীনতার সময়কাল থেকে ভারতবর্ষে পারমাণবিক শক্তি কার্যক্রমের শুরুর সূত্র হয়। প্রথম ভারতীয় নিউক্লিয়ার রিয়েক্টরের (অপ্সরা নামধারী) নকসা ও গঠনের ক্ষেত্রে এক পূর্বতন ঐতিহাসিক সাফল্য ছিল, যা 1956 খ্রিস্টাব্দের 4 আগস্ট তারিখে সংকটের সম্মুখীন হয়েছিল। এটাতে জ্বালানি হিসাবে উন্নত ইউরেনিয়াম এবং মডারেটর হিসেবে জল ব্যবহৃত হত। নিম্নলিখিতটি হল আরেকটি উল্লেখযোগ্য সাফল্য : 1960 সালে নির্মিত CIRUS (Canada India Research U.S.) রিয়েক্টর। 40 MW ক্ষমতার এই রিয়েক্টরে জ্বালানি হিসেবে প্রাকৃতিক ইউরেনিয়াম এবং মডারেটর হিসেবে ভারি জল ব্যবহৃত হত। অপ্সরা ও CIRUS মৌলিক এবং প্রায়োগিক নিউক্লিয় পদার্থ বিজ্ঞানের বিশদ পরিসরে গবেষণার জন্য অনুপ্রাণিত করেছিল। প্রথম দুই দশকে এ কর্মসূচীর একটি উল্লেখযোগ্য সাফল্য হল দেশীয় নক্সা এবং প্রযুক্তিতে নির্মিত ট্রান্সমের প্লুটোনিয়াম প্ল্যান্ট, যা ভারতে জ্বালানীর পুনঃপ্রক্রিয়াকরণের প্রযুক্তিবিদ্যার (রিয়েক্টরে ব্যবহৃত জ্বালানী থেকে নিউক্লিয় বিভাজনের জন্য প্রয়োজনীয় এবং উর্বর নিউক্লিয় উপাদান পৃথকীকরণ) সূচনা করেছিল। গবেষণাধর্মী যেসকল রিয়েক্টরগুলো পর্যায়ক্রমে অনুমোদিত হয়েছিল তাদের মধ্যে ZERLINA, PURNIMA (I, II এবং III), DHRUVA এবং KAMINI অন্তর্ভুক্ত আছে। KAMINI হল দেশে গবেষণাধর্মী বৃহদাকার রিয়েক্টর যাতে সর্বপ্রথম জ্বালানী হিসেবে U-233 ব্যবহৃত হয়। নাম অনুসারে গবেষণাধর্মী রিয়েক্টরগুলোর মুখ্য উদ্দেশ্য শক্তি উৎপাদন নয়, বরং নিউইক্লয় বিজ্ঞান ও প্রযুক্তির বিভিন্ন ক্ষেত্রে গবেষণার জন্য সুযোগ তৈরি করা। গবেষণাধর্মী রিয়েক্টরগুলো আবার বিভিন্ন তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ তৈরির উৎস হিসেবে ব্যবহৃত হয় যাদেরকে বিভিন্ন ক্ষেত্রে যেমন শিল্প, চিকিৎসা এবং কৃষিতে ব্যবহার করা হয়।

ভারতীয় পারমাণবিক শক্তি কার্যক্রমের মূল লক্ষ্য হল দেশের সামাজিক ও অর্থনৈতিক উন্নতিকল্পে নিরাপদ ও নির্ভরযোগ্য বিদ্যুৎ উৎপাদন করা এবং নিউক্লিয় প্রযুক্তির সর্ববিষয়ে দেশ যেন স্বনির্ভর হয়ে ওঠে তার ব্যবস্থা করা। পঞ্চাশের দশকের প্রথমদিকে পারমাণবিক খনিজ নিয়ে তত্ত্বানুসন্ধান এটা ইঙ্গিত দেয় যে ভারতবর্ষে ইউরেনিয়াম ভাণ্ডার সীমিত, কিন্তু থোরিয়ামের বিপুল ভাণ্ডার আছে। সে অনুযায়ী নিউক্লিয় শক্তি উৎপাদনের ক্ষেত্রে আমাদের দেশ ত্রিস্তরীয় কৌশল নিয়েছে। প্রথম পর্যায়ে প্রাকৃতিক ইউরেনিয়াম জ্বালানী হিসেবে ব্যবহৃত হয় এবং মডারেটর হিসেবে ভারি জল। রিয়েক্টর থেকে নির্গত জ্বালানীর পুনঃপ্রক্রিয়াকরণে প্রাপ্ত প্লুটোনিয়াম-239 কে জ্বালানীরূপে ব্যবহার করা হয় দ্বিতীয় পর্যায়ে যা হল দ্রুত উৎপাদনকারী রিয়েক্টর (fast breeder reactors)। এদের এরূপ নামাকরণের কারণ হল এদের মধ্যে শৃঙ্খল বিক্রিয়ার ধারাবাহিকতাকে বজায় রাখার জন্য দ্রুতগতিসম্পন্ন নিউট্রন ব্যবহার করা হয় (তাই কোনো মডারেটরের প্রয়োজন পড়ে না) এবং এক্ষেত্রে শক্তি উৎপাদনের পাশাপাশি বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণকারী প্লুটোনিয়াম থেকেও আরো অধিক সংখ্যক বিভাজন সৃষ্টি উপাদান (প্লুটোনিয়াম) সৃষ্টি হয়। তৃতীয় পর্যায়ে যা দীর্ঘদিন যাবৎ খুবই গুরুত্বপূর্ণ, এক্ষেত্রে দ্রুত উৎপাদনকারী রিয়েক্টর ব্যবহার করে থোরিয়াম-232 থেকে ইউরেনিয়াম-233 সৃষ্টি করা হয় এবং এদের (U-233) উপর ভিত্তি করেই শক্তি উৎপাদনকারী রিয়েক্টরগুলো তৈরি করা হয়।

বর্তমানে ভারতবর্ষ দ্বিতীয় পর্যায়ের কর্মসূচীতে খুবই অগ্রগতি করেছে আবার তৃতীয় পর্যায়ের কার্যক্রমেও উল্লেখযোগ্য কাজ করেছে অর্থাৎ থোরিয়ামকে কাজে লাগানোর পর্যায়ে। আমাদের দেশ খনিজ অনুসন্ধান এবং খনন সম্বন্ধীয় প্রযুক্তি, জ্বালানী সমন্বীয় ব্যবস্থাপনা, ভারি জল উৎপাদন, রিয়েক্টরের নক্সা প্রস্তুতি, নির্মাণ ও কার্যনীতি এবং জ্বালানীর পুনঃপ্রক্রিয়াকরণের মতো জটিল প্রযুক্তিগুলোর ক্ষেত্রে বিশেষ অগ্রণী ভূমিকা আয়ত্ত্ব করেছে। দেশের বিভিন্ন প্রান্তে গড়ে ওঠা প্রেসারাইজড হেভি ওয়াটার রিয়েক্টর (PHWRs)গুলো থেকে এটা প্রমাণিত হয় যে, প্রথম পর্যায়ের কার্যক্রমে ভারত অভীষ্টপূরণ করতে সক্ষম হয়েছে। ভারি জল উৎপাদনে ভারতবর্ষ স্বনির্ভর থেকেও অধিক অগ্রগতি লাভ করেছে। রিয়েক্টরের প্রযুক্তি এবং কার্যনীতি উভয় ক্ষেত্রেই বিস্তৃতভাবে নিরাপত্তামূলক ব্যবস্থা গ্রহণ করেছে, যা তেজস্ক্রিয় বিকিরণ নিরাপত্তামূলক কঠোর মান বজায় রাখার জন্য নির্দিষ্ট মানদণ্ড, তাতে ভারতীয় পারমাণবিক শক্তি কার্যক্রমগুলো দৃষ্টান্ত স্থাপন করেছে।

এভাবেই শৃঙ্খল বিক্রিয়ার সূচনা - যা অ্যানরিকো ফার্মি সর্বপ্রথম প্রস্তাব করেছিলেন। যদি শৃঙ্খল বিক্রিয়াকে সঠিকভাবে নিয়ন্ত্রিত করা যায়, তাহলে আমরা ধারাবাহিক শক্তি সরবরাহ পাবো। নিউক্লিয়ার রিয়েক্টরে এটাই ঘটে। আর যদি নিউক্লিয় বিভাজন বিক্রিয়া অনিয়ন্ত্রিত হয়, তাহলে তা থেকে বিপুল বিস্ফোরক শক্তি নির্গত হয়, যে নিউক্লিয় বোমাতে দেখা যায়।

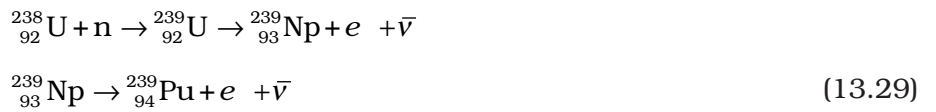
যদিও বাস্তবে উল্লিখিত নিউক্লিয় শৃঙ্খল বিক্রিয়া সংঘটিত করতে বাধার সম্মুখীন হতে হয়। পরীক্ষা থেকে জানা গেছে যে, দ্রুতগতির নিউট্রনের চেয়ে ধীরগতির নিউট্রনই (তাপীয় নিউট্রন) ${}_{92}^{235}\text{U}$ -এর বিভাজন বিক্রিয়া সংঘটিত করানোর জন্য বেশি উপযোগি। আবার বিভাজন বিক্রিয়ায় নির্গত দ্রুতগতির নিউট্রনগুলো পরবর্তী পর্যায়ে আরেকটি নিউক্লিয় বিভাজন বিক্রিয়া সংঘটিত না করে মুক্ত হয়ে যেতে পারে।

${}_{92}^{235}\text{U}$ -এর নিউক্লিয় বিভাজন বিক্রিয়ায় উৎপন্ন নিউট্রনের গড় শক্তি হল 2 MeV। যদি শৃঙ্খল বিক্রিয়াতে বিশাল পরিমাণ নিউক্লিয় বিভাজনক্ষম পদার্থ ব্যবহার না করা হয় বা উৎপন্ন এসকল দ্রুতগতির নিউট্রনগুলোর গতি কমানো না হয়, তবে তারা ইউরেনিয়ামের সঙ্গে বিক্রিয়া না করে রিয়েক্টর থেকে মুক্ত হয়ে যাবে। দ্রুতগতিসম্পন্ন নিউট্রনগুলোকে ধীরগতি সম্পন্ন করার জন্য যা করা দরকার তা হল হাঙ্কা নিউক্লিয়াসের সঙ্গে এর স্থিতিস্থাপক সংঘর্ষ ঘটানো। প্রকৃতপক্ষে চ্যাডউইকের পরীক্ষা থেকে দেখা যায় যে, হাইড্রোজেনের সঙ্গে নিউট্রনের স্থিতিস্থাপক সংঘাতে নিউট্রনগুলো প্রায় থেমে যায় এবং প্রোটনগুলো সেই শক্তি বহন করে। এটির মতো একই রকম ঘটনা হল যখন একটি মার্বেল আরেকটি স্থির মার্বেলের সঙ্গে মুখোমুখি সংঘর্ষে লিপ্ত হয়। তাই নিউক্লিয় রিয়েক্টরে দ্রুতগতিসম্পন্ন নিউট্রনগুলোর বেগ কমানোর জন্য, মন্দনক (*moderator*) নামধারী হাঙ্কা নিউক্লিয়াসগুলোকে বিভাজনে ব্যবহৃত নিউক্লিয়াসগুলোর সঙ্গে মিশিয়ে ব্যবহার করা হয়। প্রচলিত মন্দনকগুলো হল জল, ভারি জল (D_2O) এবং গ্রাফাইট। মুম্বাইর ভাবা অ্যাটমিক রিসার্চ সেন্টারের (BARC) অঙ্গরা রিয়েক্টরে মন্দনক হিসেবে জল ব্যবহার করা হয়। ভারতের শক্তি উৎপাদনকারী অন্যান্য রিয়েক্টরগুলোতে মন্দনক হিসেবে ভারি জলকে ব্যবহার করা হচ্ছে।

মন্দনক (*moderator*) ব্যবহারের ফলেই উৎপন্ন ও প্রদত্ত পর্যায়ের (*generation*) নিউট্রনের অনুপাত K -এর মান হয়তো বা এক অপেক্ষা বেশি হওয়া সম্ভব হয়েছে। এ অনুপাতকে বলে মালটিপ্লিকেশন ফ্যাক্টর, যা রিয়েক্টরের নিউট্রন বৃদ্ধির হারকে প্রকাশ করে। $K = 1$ হলে, তাকে রিয়েক্টরটির সক্রিয়তা বা ক্রিয়াকলাপের সংকটপূর্ণ অবস্থা বলা হয়, যা আমরা স্থির মানের শক্তি সরবরাহের (*steady power operation*) জন্য চাই। যদি K -এর মান এক অপেক্ষা বেশি হয় তবে বিক্রিয়ার হার এবং রিয়েক্টরের ক্ষমতা সূচকীয় হারে বৃদ্ধি পেতে থাকে। K -এর মানকে কমিয়ে 1-এর কাছাকাছি না আনলে রিয়েক্টরটি অতিরিক্ত সংকটপূর্ণ অবস্থায় পৌঁছবে এবং এতে এমনকি বিস্ফোরণও হতে পারে। 1986 সালে ইউক্রেনের চেরনোবিলে সংঘটিত বিস্ফোরণ দুঃখের সাথে আমাদেরকে স্মরণ করিয়ে দেয় যে, নিউক্লিয় রিয়েক্টরের দুর্ঘটনা চরম বিপর্যয় ঘটায়।

ক্যাডমিয়ামের মতো নিউট্রন শোষণকারী উপাদানকে শোষকদণ্ড হিসাবে ব্যবহার করে বিক্রিয়ার গতিকে মন্দীভূত করা হয়। রিয়েক্টরে শোষক দণ্ড ছাড়াও নিরাপত্তামূলক দণ্ডের ব্যবস্থা থাকে, যাদেরকে প্রয়োজন মতো রিয়েক্টরের অভ্যন্তরে প্রবেশ করানো যায় এবং K -এর মানকে দ্রুত কমিয়ে 1-এর নীচে আনা হয়।

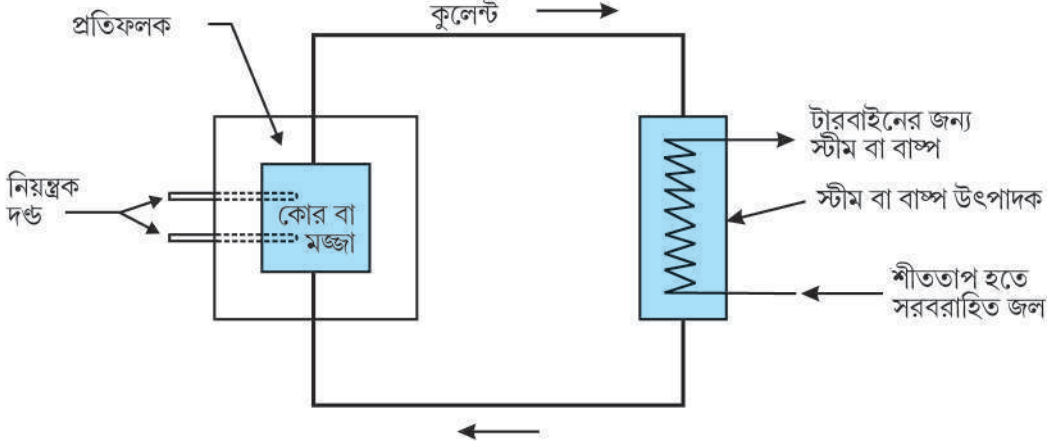
প্রকৃতিতে প্রাপ্ত ইউরেনিয়ামের মধ্যে ${}_{92}^{238}\text{U}$ আইসোটোপের প্রাচুর্য অনেক বেশি কিন্তু এটি বিভাজিত (নিউক্লিয়) হয় না। যখন এটি একটি নিউট্রন শোষণ করে, তখন এটি নিম্নের সমীকরণের মতো অতি তীব্র তেজস্ক্রিয় প্লুটোনিয়াম সৃষ্টি করে :



প্লুটোনিয়ামে ধীরগতির নিউট্রন দ্বারা নিউক্লিয় বিভাজন হয়।

13.5 চিত্রে তাপজ নিউট্রনের উপর ভিত্তি করে গঠিত নিউক্লিয় রিয়েক্টরের রূপরেখা চিত্র দেখানো হয়েছে। রিয়েক্টরটির কোর বা মজ্জাটি হল ক্ষেত্র বা অঞ্চল যেখানে নিউক্লিয় বিভাজনটি সংঘটিত করা হয়।

নিউক্লিয়াস বা কেন্দ্রক



চিত্র 13.5 তাপীয় নিউক্লিয় বিভাজন বিক্রিয়ার উপর ভিত্তি করে গঠিত একটি নিউক্লিয় রিয়েক্টরের রূপরেখাচিত্র।

এতে উপযুক্তভাবে গড়া জ্বালানী উপাদান ধারণ করা থাকে। এ জ্বালানীকে সমৃদ্ধ ইউরেনিয়াম (অর্থাৎ এতে প্রাকৃতিক উপায়ে পাওয়া ইউরেনিয়াম থেকে অনেক বেশি পরিমাণ $^{235}_{92}\text{U}$ থাকে) বলা যেতে পারে। কোর বা মজ্জাতে থাকে মডারেটর বা মন্দনক যা নিউট্রনের গতিকে কমায়। মজ্জার চারিদিক প্রতিফলক দ্বারা বেষ্টিত থাকে। যাতে করে ফুটো ছিদ্র হতে না পারে। বিভাজনে সৃষ্ট শক্তিকে (তাপ) উপযুক্ত কুলেন্ট দ্বারা প্রতিনিয়ত স্থানান্তরিত করা হয়। একটি নিয়ন্ত্রক পাত্র বিভাজন বিক্রিয়ায় সৃষ্ট তেজস্ক্রিয় উপাদানগুলোকে মুক্ত হতে বাধা দেয়। সম্পূর্ণ ব্যবস্থাটিকে ঢাকনা দেওয়ার ব্যবস্থা থাকে যাতে করে ক্ষতিকারক বিকিরণ এ থেকে বেরিয়ে আসতে না পারে। রিয়েক্টরকে অর্থাৎ বিক্রিয়াকে অধিক নিউট্রন শোষণকারী দণ্ড (উদাহরণস্বরূপ, ক্যাডমিয়াম দণ্ড) ব্যবহার করে বন্ধ করা যেতে পারে। কুলেন্ট তাপশক্তিকে নিয়ে কার্যকারী প্রবাহীতে হস্তান্তর করে যা পালাক্রমে বাষ্প তৈরি করে। এই বাষ্প টারবাইনকে চালায় এবং তড়িৎ উৎপাদন করে।

অন্যান্য শক্তি উৎপাদনকারী রিয়েক্টরের মতো নিউক্লিয়ার রিয়েক্টরও যথেষ্ট পরিমাণ বর্জ্য উৎপন্ন করে। কিন্তু নিউক্লিয় বর্জ্য পদার্থের জন্য বিশেষ ব্যবস্থা করতে হয় কারণ তারা তেজস্ক্রিয় এবং বিপজ্জনক। এজন্য রিয়েক্টরের ক্রিয়া এবং ব্যবহৃত জ্বালানীর পরিচালন ও পুনঃপ্রক্রিয়াকরণ উভয় ক্ষেত্রেই বিশদ নিরাপত্তামূলক ব্যবস্থা গ্রহণ করা আবশ্যিক। এসকল নিরাপত্তামূলক পদক্ষেপগুলো হল ভারতীয় পারমাণবিক শক্তি প্রকল্পের বিশেষ বৈশিষ্ট্য। তেজস্ক্রিয় বর্জ্যপদার্থগুলোর সক্রিয়তা হ্রাস করে স্বল্প আয়ুর পদার্থে পরিণত করার সম্ভাবনা নিয়ে অধ্যয়ন করার সঠিক পরিকল্পনা গ্রহণ করা হয়েছে।

13.7.3 নিউক্লিয় সংযোজন - নক্ষত্রে শক্তি উৎপাদন (Nuclear fusion – energy generation in stars)

যখন দুটি হাল্কা নিউক্লিয়াস একত্রিত হয়ে একটি ভারি নিউক্লিয়াস গঠন করে, শক্তি নির্গত হয়, কারণ 13.1 চিত্রে দেখানো বন্ধনশক্তির লেখচিত্র অনুযায়ী অপেক্ষাকৃত ভারি নিউক্লিয়াসগুলো অধিক দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ থাকে। নিউক্লিয় সংযোজনে শক্তি নির্গত হওয়ার এ ধরনের কয়েকটি উদাহরণ হল :



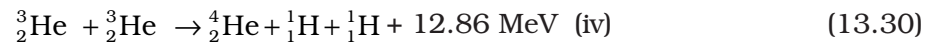
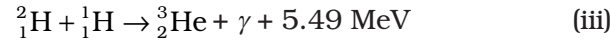
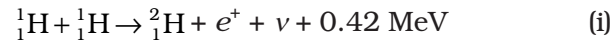
প্রথম সমীকরণটিতে দুটি প্রোটন একত্রিত হয়ে একটি ডিউটেরন এবং একটি পজিট্রন গঠন করার সাথে সাথে 0.42 MeV শক্তি নির্গত করে। (13.29b) বিক্রিয়াতে দুটি ডিউটেরন মিলিত হয়ে হিলিয়ামের হাল্কা আইসোটোপ গঠন করে। (13.29b) সমীকরণে দুটি ডিউটেরন মিলিত হয়ে একটি ট্রাইটন (${}^3_1\text{H}$) এবং একটি প্রোটন গঠন করে। সংযোজন সংঘটিত হওয়ার জন্য, এই দুটি নিউক্লিয়াসকে অবশ্যই যথেষ্ট পরিমাণ কাছাকাছি আসতে হবে যাতে করে স্বল্প পাল্লার আকর্ষণধর্মী নিউক্লিয় বল এদেরকে প্রভাবিত করতে পারে। যদিও তারা উভয়েই ধনাত্মক আধানবাহী কণা। তাই তারা পরস্পর কুলম্বীয় বিকর্ষণ বল অনুভব করে। সুতরাং, তাদের প্রচুর পরিমাণে শক্তি থাকতে হবে যাতে করে তারা কুলম্বীয় বিভব প্রাচীরটি অতিক্রম করতে পারে। এ কুলম্বীয় বিভব প্রাচীরের মান ক্রিয়াশীল দুটি নিউক্লিয়াসের আধান ও ব্যাসার্ধগুলোর উপর নির্ভরশীল। উদাহরণস্বরূপ, এটা দেখানো যেতে পারে যে, দুটি প্রোটনের ক্ষেত্রে এই কুলম্বীয় বিভব প্রাচীরের মান হল $\sim 400 \text{ keV}$, এবং এর মান অধিক আধানবাহী নিউক্লিয়াসের ক্ষেত্রে আরো বেশি হয়। যে তাপমাত্রায় প্রোটন গ্যাসে থাকা দুটি প্রোটনের (গড়ে) যে পরিমাণ শক্তি থাকলে তারা কুলম্বীয় বিকর্ষণ বলকে উপেক্ষা করতে পারে তার গণনা আমরা এভাবে করতে পারি :

$$(3/2)k T = K \simeq 400 \text{ keV}, \text{ যা থেকে পাওয়া যায় } T \sim 3 \times 10^9 \text{ K.}$$

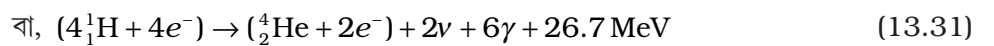
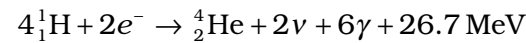
সংস্থার তাপমাত্রা বৃদ্ধি করে যখন নিউক্লিয় সংযোজন করা হয় যেখানে কণাগুলোর গতিশক্তি এমন যথেষ্ট হয় যেন তারা পারস্পরিক কুলম্বীয় বিকর্ষণ বলকে উপেক্ষা করতে পারে, তখন তাকে তাপীয় নিউক্লিয় সংযোজন বিক্রিয়া বলে।

নক্ষত্রের অভ্যন্তরে শক্তির উৎস হল তাপীয় নিউক্লিয় সংযোজন বিক্রিয়া। সূর্যের অভ্যন্তরের তাপমাত্রা হল $1.5 \times 10^7 \text{ K}$, যা সাধারণ তাপমাত্রায় থাকা কণার নিউক্লিয় সংযোজনের জন্য প্রয়োজনীয় গণনাকৃত তাপমাত্রা অপেক্ষা অনেক কম। স্পষ্টতই সূর্যে সংঘটিত নিউক্লিয় সংযোজনে অংশগ্রহণকারী প্রোটনগুলোর শক্তি গড়শক্তি অপেক্ষা অনেক বেশি হয়।

সূর্যে সংঘটিত নিউক্লিয় সংযোজন হল একটি বহুধাপে সংঘটিত প্রক্রিয়া যেখানে হাইড্রোজেন জ্বলে হিলিয়ামে পরিণত হয়। তাই সূর্যের কেন্দ্রের শক্তি উৎস হল হাইড্রোজেন। এই সংঘটিত প্রোটন-প্রোটন (p, p) চক্রকে নিম্নলিখিত বিক্রিয়াগুলো দ্বারা প্রকাশ করা যায় :



চতুর্থ বিক্রিয়াটি সংঘটিত হওয়ার জন্য প্রথম তিনটি বিক্রিয়া অবশ্যই দুবার করে সংঘটিত হতে হবে এবং সেক্ষেত্রে দুটি হাল্কা হিলিয়াম নিউক্লিয়াস একটি সাধারণ হিলিয়াম নিউক্লিয়াসে পরিণত হয়। যদি আমরা $2(\text{i}) + 2(\text{ii}) + 2(\text{iii}) + (\text{iv})$ সমবায়ের কথা বিবেচনা করি, তবে নীচ ফল হয়



অতএব, চারটি হাইড্রোজেন পরমাণু একত্রিত হয়ে একটি ${}^4_2\text{He}$ পরমাণু গঠন করে এবং 26.7 MeV শক্তির নির্গমন ঘটে।

নক্ষত্রের অভ্যন্তরে শুধুমাত্র হিলিয়াম মৌলই সংশ্লেষিত হয় এমন নয়। যেহেতু কেন্দ্রে হাইড্রোজেন হ্রাস পেয়ে হিলিয়ামে পরিণত হয়, তাই নক্ষত্রের কেন্দ্রক ঠাণ্ডা হতে শুরু করে। নক্ষত্রটি তার নিজস্ব

নিউক্লিয়াস বা কেন্দ্রক

মাধ্যাকর্ষণের জন্য সংকুচিত হতে শুরু করে যা কেন্দ্রকের তাপমাত্রা বৃদ্ধি করতে থাকে। যদি তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেয়ে 10^8 K মানের কাছাকাছি পৌঁছায়, পুনরায় নিউক্লিয় সংযোজন সংঘটিত হয়। সংযোজনের মাধ্যমে এ ধরনের প্রক্রিয়া উচ্চ ও উচ্চতর আণবিক ভরের মৌল উৎপন্ন করতে পারে। কিন্তু 13.1 নং চিত্রে প্রদর্শিত বন্ধনশক্তির লেখচিত্রের সর্বোচ্চ বন্ধনশক্তি সম্পন্ন মৌলগুলো অপেক্ষা অধিক ভারি মৌল সৃষ্টি হতে পারে না।

সূর্যের বয়স মোটামুটি 5×10^9 y এবং এটা গণনা করে পাওয়া গেছে যে এখনো সূর্যে এত বেশি হাইড্রোজেন আছে যে আরো 5 বিলিয়ন বছর পর্যন্ত এ প্রক্রিয়া চলবে। তারপরে হাইড্রোজেনের জ্বলন বন্ধ হয়ে যাবে এবং সূর্য ঠাণ্ডা হতে শুরু করবে এবং মাধ্যাকর্ষণের জন্য সংকোচিত হতে শুরু করবে, যা কেন্দ্রকের তাপমাত্রা বৃদ্ধি ঘটবে। সূর্যের বাইরের আচ্ছাদন বৃদ্ধি পাবে এবং তথাকথিত লোহিত দানবে (*red giant*) পরিণত করবে।

নিউক্লিয়াস গঠিত ধ্বংসাবলি (NUCLEAR HOLOCAUST)

একটিমাত্র ইউরেনিয়ামের নিউক্লিয় বিভাজনে মোটামুটি 0.9×235 MeV (≈ 200 MeV) শক্তি নির্গত হয়। যদি 50 kg ^{235}U -এর প্রতিটি নিউক্লিয়াসের বিভাজন সংঘটিত হয় তবে যে শক্তির নির্গমন ঘটবে তার পরিমাণ হল প্রায় 4×10^{15} J। এই শক্তি 20,000 টন TNT-এর সমতুল্য, যা মহাবিস্ফোরণ ঘটানোর জন্য যথেষ্ট। অনিয়ন্ত্রিত নিউক্লিয় শক্তির নির্গমনকে বলে পারমাণবিক বিস্ফোরণ। 1945 খ্রিস্টাব্দের 6 আগস্ট যুদ্ধের জন্য প্রথম ব্যবহৃত হয়েছিল পারমাণবিক যন্ত্র। জাপানের হিরোসীমাতে আমেরিকা পারমাণবিক বোমা ফেলেছিল। ওই বিস্ফোরণটি ছিল 20,000 টন TNT-এর সমতুল্য। সঙ্গে সঙ্গেই সৃষ্ট তেজস্ক্রিয়তা শহরটির 10 বর্গকিমি স্থানকে বিধ্বস্ত করেছিল যেখানে ছিল 3,43,000 লোকের বসবাস। যার মধ্যে 66,000 মারা গিয়েছিল এবং 69,000 আহত হয়েছিল, শহরের 67% অপেক্ষাও বেশি গঠন কাঠামো ধ্বংস হয়ে গিয়েছিল।

নিউক্লিয় সংযোজনের জন্য প্রয়োজনীয় উচ্চ তাপমাত্রার শর্তকে নিউক্লিয় বিভাজন বোমা দ্বারা পূরণ করা যায়। 1954 খ্রিস্টাব্দে 10 মেগাটন বিস্ফোরণ ক্ষমতাসম্পন্ন TNT-এর সমতুল্য মহা-বিস্ফোরণের পরীক্ষা করা হয়েছিল। যে সকল বোমাতে হাইড্রোজেনের আইসোটোপ, ডিউটেরিয়াম এবং ট্রাইটিয়াম-এর নিউক্লিয় সংযোজনকে কাজে লাগানো হয়, তাদেরকে হাইড্রোজেন বোমা বলা হয়। এটা হিসাবে এসেছে যে বর্তমানে মজুত থাকা নিউক্লিয় অস্ত্রের এক বোতামের এক চাপই এ গ্রহে থাকা সমস্ত প্রজাতির জীবকুলকে কয়েকবার ধ্বংস করার জন্য যথেষ্ট। নিউক্লিয়াস গঠিত এ ধরনের ব্যাপক ধ্বংস লীলা শুধুমাত্র বর্তমানে থাকা জীবকেই ধ্বংসই করবে না উপরন্তু এর তেজস্ক্রিয় প্রভাব সকল সময়ের জন্য এ গ্রহকে জীবন সৃষ্টির অযোগ্য করে তুলবে। তাত্ত্বিক গণনা দীর্ঘকালীন নিউক্লিয় শীতকালের ভবিষ্যতবাণী করে, কারণ তেজস্ক্রিয় বর্জ্য পৃথিবীর বায়ুমণ্ডলে মেঘের মতো ঝুলে থাকবে এবং সূর্যের বিকিরণকে শোষণ করবে।

13.7.4 নিয়ন্ত্রিত তাপ নিউক্লিয় বিক্রিয়া (Controlled thermonuclear fusion)

নক্ষত্রে সংঘটিত তাপ নিউক্লিয় সংযোজন প্রক্রিয়াকে তাপ নিউক্লিয় সংযোজন যন্ত্রে অবিকলভাবে সম্পন্ন করা হয়। নিয়ন্ত্রিত সংযোজন রিয়েক্টরের মূল লক্ষ্য হল, নিউক্লিয় জ্বালানীকে 10^8 K তাপমাত্রার সীমায় উত্তপ্ত করে নিরবিচ্ছিন্ন শক্তি উৎপাদন করা। এ তাপমাত্রাকে জ্বালানী হল ধনাত্মক আয়ন এবং ইলেকট্রনের (প্লাজমা) মিশ্রণ। মূল সমস্যা হল এই প্লাজমাকে সংকীর্ণ স্থানে আবদ্ধ করা, কারণ এমন কোনো পাত্র নেই যা এত উচ্চ তাপমাত্রাকে সহ্য করতে পারে। ভারত সহ পৃথিবীর বিভিন্ন দেশ এক্ষেত্রে প্রযুক্তির উন্নতি সাধনের জন্য চেষ্টা করছে। যদি সফল হওয়া যায়, তবে আশা করা যায় নিউক্লিয়ার সংযোজন রিয়েক্টর মানব কল্যাণে অফুরন্ত শক্তি সরবরাহ করতে সক্ষম হবে।

উদাহরণ 13.7 নীচের প্রশ্নগুলোর উত্তর দাও :

- রাসায়নিক সমীকরণে যেভাবে ব্যালেন্স বা সমতা বজায় থাকে (যেমন $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$), নিউক্লিয় বিক্রিয়াগুলোতেও (যেমন 13.7 অনুচ্ছেদে দেওয়া) সে অর্থে ব্যালেন্স বা সমতা বজায় থাকে কিনা? যদি না হয়, তবে তাদের বেলায় উভয়পক্ষে কোন্ দিক দিয়ে সমতা (balanced) সম্পন্ন?
- যদি প্রতিটি নিউক্লিয় বিক্রিয়ায় প্রোটন ও নিউট্রন সংখ্যা উভয়েরই সংরক্ষিত থাকে তাহলে একটি নিউক্লিয় বিক্রিয়ায় কীভাবে ভর শক্তিতে রূপান্তরিত হয় বা শক্তি ভরে রূপান্তরিত হয়?
- একটা সাধারণ বিশ্বাস হল এই যে, শুধুমাত্র নিউক্লিয় বিক্রিয়াতেই ভর-শক্তির পারস্পরিক পরিবর্তন সংঘটিত হয় এবং রাসায়নিক বিক্রিয়াতে তা কখনোই হয় না। প্রকৃতপক্ষে নিখুঁতভাবে বলতে গেলে এটা ঠিক নয় — ব্যাখ্যা করো।

সমাধান

- একটি রাসায়নিক সমীকরণের উভয়পক্ষে প্রতিটি পরমাণুর সংখ্যা সমান থাকে - এ অর্থে এটি ব্যালেন্স বা সমতা বজায় থাকে। একটি রাসায়নিক বিক্রিয়াতে শুধুমাত্র পরমাণুগুলোর মূল সজ্জার পরিবর্তন হয়। নিউক্লিয় বিক্রিয়াতে মৌলগুলোই অন্য ভিন্ন মৌলে রূপান্তরিত হতে পারে। তাই নিউক্লিয় বিক্রিয়াতে প্রতিটি মৌলের পরমাণুর সংখ্যা ধ্রুবক থাকে না। যদিও নিউক্লিয় বিক্রিয়াতে পৃথক পৃথকভাবে প্রোটন সংখ্যা ও নিউট্রন সংখ্যা ধ্রুবক থাকে। [প্রকৃতপক্ষে, অতি উচ্চ শক্তির ক্ষেত্রে এটাও ঠিক নয় — যেটা যথাযথভাবে সংরক্ষিত থাকে তা হল “মোট আধান” এবং “মোট বেরিয়ন সংখ্যা”। এ ব্যাপারে আমরা এখানে আর অন্বেষণ করবো না।] নিউক্লিয় বিক্রিয়াতে (উদাহরণস্বরূপ 13.26 সমীকরণে), বিক্রিয়ার উভয়পক্ষে মোট প্রোটন সংখ্যা এবং নিউট্রন সংখ্যা সমান আছে।
- আমরা জানি যে, বন্ধনশক্তি প্রতি নিউক্লিয়ন নিউক্লিয়াসের উপর একটি ঋণাত্মক প্রভাব দেয় (ভর ত্রুটি)। যেহেতু একটি নিউক্লিয় বিক্রিয়াতে প্রোটন সংখ্যা ও নিউট্রন সংখ্যা ধ্রুবক থাকে তাই বিক্রিয়ার উভয়পক্ষে প্রোটনগুলো ও নিউট্রনগুলোর স্থির ভর একই থাকবে। কিন্তু বামপক্ষের নিউক্লিয়াসগুলোর মোট বন্ধনশক্তি ডানপক্ষের নিউক্লিয়াসগুলোর মোট বন্ধনশক্তির সমান হওয়ার প্রয়োজন হয় না। বন্ধনশক্তির এ পার্থক্যই নিউক্লিয় বিক্রিয়াতে শক্তির নির্গমন বা শক্তির শোষণ হিসেবে আত্মপ্রকাশ করে। যেহেতু বন্ধনশক্তি হল ভরেরই অবদান, তাই আমরা বলতে পারি যে, উভয়পক্ষের নিউক্লিয়াসের ভরের পার্থক্যই শক্তিতে রূপান্তরিত হয় বা বিপরীতভাবেও এটা সত্য। এটা এভাবে ঠিক যে, একটি নিউক্লিয় বিক্রিয়া হল ভর-শক্তির পারস্পরিক পরিবর্তনের উদাহরণ।
- ভর-শক্তির পারস্পরিক রূপান্তরের দৃষ্টিকোণে একটি রাসায়নিক বিক্রিয়া ও কণার নিউক্লিয় বিক্রিয়ার মধ্যে সামঞ্জস্য বজায় থাকে। একটি রাসায়নিক বিক্রিয়াতে শোষিত বা নিঃসৃত শক্তিকে চিহ্নিত করা সম্ভব হয় বিক্রিয়ার উভয়পক্ষের অণু ও পরমাণুগুলোর রাসায়নিক (নিউক্লিয় নয়) বন্ধন শক্তির পার্থক্যের দ্বারা। অতএব, নিখুঁতভাবে বলতে গেলে, রাসায়নিক বন্ধনশক্তি অণু ও পরমাণুর মোট ভরের উপর একটি ঋণাত্মক প্রভাব (ভর-ত্রুটি) সৃষ্টি করে, তুল্যরূপে আমরা বলতে পারি যে, রাসায়নিক বিক্রিয়ার উভয়পক্ষের অণু ও পরমাণুগুলোর মোট ভরের পার্থক্যই শক্তিতে রূপান্তরিত হয় বা বিপরীতভাবেও তা সত্য হয়। যদিও, কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়াতে সংঘটিত ভর-ত্রুটির পরিমাণ নিউক্লিয় বিক্রিয়ায় সংঘটিত ভর-ত্রুটির তুলনায় দশ লক্ষ ভাগের একভাগ হয় (অনেক কম)। তাই সাধারণের মধ্যে এরকম বিশ্বাস লক্ষ করা যায়, (যেটা ঠিক নয়) যে রাসায়নিক বিক্রিয়াতে ভর ও শক্তির পারস্পরিক রূপান্তর হয় না।

সারাংশ

1. একটি পরমাণুর একটি নিউক্লিয়াস থাকে। নিউক্লিয়াসটি ধনাত্মক আধানগ্রন্থ হয়। পরমাণুর ব্যাসার্ধের তুলনায় নিউক্লিয়াসের ব্যাসার্ধ 10^{-4} গুণক (factor) ছোটো হয়। পরমাণুর সম্পূর্ণ ভরের 99.9% অপেক্ষাও বেশি ভর ওর নিউক্লিয়াসে কেন্দ্রীভূত থাকে।
2. পারমাণবিক স্কেলে ভরকে পারমাণবিক ভর এককে (u) পরিমাপ করা হয়। সংজ্ঞানুযায়ী 1 পারমাণবিক ভর একক (1u) হল একটি ^{12}C পরমাণুর ভরের $1/12$ অংশ;
 $1\text{u} = 1.660563 \times 10^{-27} \text{ kg}$.
3. যে-কোনো নিউক্লিয়াসে নিউট্রন নামক এক ধরনের নিস্তড়িত কণা থাকে। এর ভর প্রোটনের ভরের প্রায় সমান।
4. কোনো একটি মৌলের পারমাণবিক সংখ্যা Z হল ওই মৌলটির নিউক্লিয়াসে উপস্থিত মোট প্রোটন সংখ্যা। পারমাণবিক নিউক্লিয়াসে উপস্থিত প্রোটন ও নিউট্রনের মিলিত সংখ্যাই হল ওর ভরসংখ্যা A , $A = Z + N$; এখানে N নিউক্লিয়াসের নিউট্রন সংখ্যাকে প্রকাশ করছে। নিউক্লিয়াসের নমুনা বা নিউক্লিয়াইডকে ${}^A_Z\text{X}$ দ্বারা প্রকাশ করা হয়, যেখানে X হল এর রাসায়নিক চিহ্ন।

একই পারমাণবিক সংখ্যা Z এবং বিভিন্ন নিউট্রন সংখ্যা N বিশিষ্ট নিউক্লিয়াইডগুলোকে বলা হয় আইসোটোপ। একই ভরসংখ্যা (A) বিশিষ্ট নিউক্লিয়াইডগুলোকে পরস্পরের আইসোবার বলে এবং নিউক্লিয়াইডগুলো একই নিউট্রন সংখ্যা (N) বিশিষ্ট হলে তাদেরকে পরস্পরের আইসোটোন বলে।

অধিকাংশ মৌলই দুই বা ততোধিক আইসোটোপের মিশ্রণ। কোনো মৌলের পারমাণবিক ভর হল ওই মৌলের আইসোটোপগুলোর ভরের ভারযুক্ত গড় (weighted average)। মৌল সমূহের ভর প্রকৃতিতে ওর আইসোটোপগুলোর আপেক্ষিক প্রাচুর্যতাকে সূচিত করে।

5. নিউক্লিয়াসকে একটি নির্দিষ্ট ব্যাসার্ধের গোলক হিসেবে ধরা হয়। ইলেকট্রন বিক্ষেপণ পরীক্ষার সাহায্যে নিউক্লিয়াসের ব্যাসার্ধ পরিমাপ করা যায়; নিউক্লিয়াসের ব্যাসার্ধের পরিমাপের সূত্রকে নিম্নরূপে প্রকাশ করা যায়

$R = R_0 A^{1/3}$, যেখানে $R_0 =$ একটি ধ্রুবক $= 1.2 \text{ fm}$ । এ থেকে বোঝা যায় যে, নিউক্লিয়াসের ঘনত্ব A -এর উপর নির্ভরশীল নয়। এর মানের পাল্লা 10^{17} kg/m^3 ।

6. নিউক্লিয়াসের অভ্যন্তরে নিউট্রন ও প্রোটনগুলো একটি ক্ষুদ্র পাল্লার শক্তিশালী নিউক্লিয় বলের অধীনে আবদ্ধ থাকে। নিউট্রন ও প্রোটন ভেদে নিউক্লিয় বলের কোনো প্রভেদ থাকে না।
7. নিউক্লিয়াসের ভর M সর্বদা তার উপাদান নিউক্লিয়নগুলোর মোট ভর, Σm , অপেক্ষা কম হয়। উপাদান নিউক্লিয়নগুলোর মোট ভর এবং নিউক্লিয়াসের ভরের পার্থক্যকে ভর ত্রুটি (mass defect) বলা হয়,

$$\Delta M = (Z m_p + (A - Z)m_n) - M$$

আইনস্টাইনের ভর-শক্তির সম্পর্ক ব্যবহার করে ভরের এই পার্থক্যকে আমরা শক্তির সাহায্যেও এভাবে প্রকাশ করতে পারি, $\Delta E_b = \Delta M c^2$

ΔE_b শক্তি নিউক্লিয়াসের বন্ধনশক্তিকে প্রকাশ করে। ভরসংখ্যা A -এর 30 থেকে 170 পাল্লায় নিউক্লিয়ন প্রতি বন্ধনশক্তির মান প্রায় ধ্রুবক থাকে এবং এর মান প্রায় 8 MeV/নিউক্লিয়ন।

8. রাসায়নিক প্রক্রিয়ার শক্তির তুলনায় নিউক্লিয় প্রক্রিয়ার শক্তি প্রায় 10 লক্ষ গুণ বেশি।
9. নিউক্লিয় প্রক্রিয়ার Q -মান হল

$$Q = \text{চূড়ান্ত গতিশক্তি} - \text{প্রারম্ভিক গতিশক্তি}।$$

ভর-শক্তির সংরক্ষণের জন্য Q কে নিম্নরূপে লেখা যায়

$$Q = (\text{মোট প্রারম্ভিক ভর} - \text{মোট চূড়ান্ত ভর})c^2$$

10. তেজস্ক্রিয়তা হল একটি পদার্থ যাতে কোনো প্রদত্ত নমুনায় নিউক্লিয়াস α বা β বা γ রশ্মি নিঃসরণের মাধ্যমে রূপান্তরিত হয়; α -রশ্মি হল হিলিয়াম নিউক্লিয়াস; β -রশ্মি হল

ইলেকট্রন; γ -রশ্মি হল X -রশ্মি অপেক্ষা ক্ষুদ্র তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তড়িৎ-চুম্বকীয় বিকিরণ।

11. তেজস্ক্রিয় ভাঙ্গনের সূত্রটি হল : $N(t) = N(0) e^{-\lambda t}$, যেখানে λ হল ক্ষয় ধ্রুবক।
যে সময়ে তেজস্ক্রিয় পরমাণু সংখ্যা N হ্রাস পেয়ে এর প্রারম্ভিক মানের অর্ধেক হয়, সেই সময়ে
ওই তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধজীবনকাল $T_{1/2}$ বলে। গড় মান τ হল - যে সময়ে তেজস্ক্রিয়
পরমাণু সংখ্যা N হ্রাস পেয়ে তার প্রারম্ভিক মানের e^{-1} অংশে পরিণত হয়

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \tau \ln 2$$

12. যখন অপেক্ষাকৃত শিথিলভাবে আবদ্ধ নিউক্লিয়াস রূপান্তরিত হয়ে অধিক দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ
নিউক্লিয়াসে পরিণত হয় তখন শক্তি নির্গত হয়। নিউক্লিয় বিভাজনে $^{235}_{92}\text{U}$ এর মতো ভারি
নিউক্লিয়াস বিভাজিত হয়ে দুটি ছোটো টুকরোয় পরিণত হয়, উদাহরণস্বরূপ,
 $^{235}_{92}\text{U} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{133}_{51}\text{Sb} + ^{99}_{41}\text{Nb} + 4^1_0\text{n}$
13. নিউক্লিয় বিভাজনে যত সংখ্যক নিউট্রন শোষিত হয় তার থেকে অধিক সংখ্যক নিউট্রন উৎপন্ন
হয় যাদের প্রত্যেকটি আরেকটি নিউক্লিয় বিভাজন ঘটিয়ে শৃঙ্খল বিক্রিয়ার সম্ভাবনা সৃষ্টি করে।
নিউক্লিয় বোমা বিস্ফোরণে সংঘটিত নিউক্লিয় বিভাজন বিক্রিয়া হল অনিয়ন্ত্রিত ও খুব দ্রুত।
আবার নিউক্লিয়ার রিয়েক্টরে এই বিক্রিয়ার হার নিয়ন্ত্রিত ও স্থির মানের হয়। নিউক্লিয়ার রিয়েক্টরে
নিউট্রন গুণক k -এর মানকে 1-এ বজায় রাখা হয়।
14. নিউক্লিয় সংযোজনে কতগুলো হালকা নিউক্লিয়াস যুক্ত হয়ে একটি ভারি নিউক্লিয়াস গঠন করে।
সূর্য সহ সমস্ত পরমাণুর নিউক্লিয় সংযোজনের মাধ্যমে হিলিয়াম নিউক্লিয়াসে পরিণত হওয়া।

ভৌত রাশি	প্রতীক	মাত্রা	একক	মন্তব্য
পারমাণবিক ভর একক		[M]	u	পরমাণু বা অণুর ভর প্রকাশ করতে ব্যবহৃত হয় এবং এটা ভরের একক। এক পারমাণবিক ভর একক ^{12}C পরমাণুর ভরের 1/12 অংশের সমান।
ভাঙ্গন ধ্রুবক বা ক্ষয় ধ্রুবক	λ	[T ⁻¹]	s ⁻¹	
অর্ধ জীবনকাল	$T_{1/2}$	[T]	s	কোনো তেজস্ক্রিয় নমুনায় যে সময়ে প্রারম্ভিক নিউক্লিয়াসের অর্ধেক সংখ্যক নিউক্লিয়াসের ভাঙ্গন ঘটে।
গড় আয়ু	τ	[T]	s	যে সময়ে তেজস্ক্রিয় মৌলের নিউক্লিয়াসের সংখ্যা হ্রাস পেয়ে প্রারম্ভিক সংখ্যার e^{-1} তে পৌঁছায়।
তেজস্ক্রিয় নমুনার সক্রিয়তা	R	[T ⁻¹]	Bq	তেজস্ক্রিয় উৎসের সক্রিয়তার পরিমাপ।

ভেবে দেখার বিষয়সমূহ

1. নিউক্লিয় পদার্থের ঘনত্ব তার নিউক্লিয়াসের আকারের উপর নির্ভরশীল নয়। পরমাণুর ভর ঘনত্বের
মান এই নিয়ম মানে না।
2. α -কণা বিক্ষেপের সাহায্যে নিউক্লিয়াসের ব্যাসার্ধের নির্ণীত মান অপেক্ষা ইলেকট্রন বিক্ষেপের
সাহায্যে নির্ণীত মান সামান্য পরিমাণ ভিন্ন হয়। এর কারণ হল নিউক্লিয়াসের আধান বণ্টনের

দ্রুণ ইলেকট্রন বিক্ষেপ ঘটে। পক্ষান্তরে α -কণাও সদৃশ কণা সমূহের বিক্ষেপ ঘটে নিউক্লিয় পদার্থের প্রভাবজনিত কারণে।

3. আইনস্টাইন কর্তৃক ভর-শক্তির তুল্যতা সূত্র $E = mc^2$ প্রতিষ্ঠার পর থেকে আমরা আর আলাদাভাবে ভরের সংরক্ষণ সূত্র বা শক্তির সংরক্ষণ সূত্রের কথা বলতে পারি না, এখন আমাদেরকে ভর ও শক্তির একত্রীকৃত সূত্রের কথা বলতে হবে। প্রকৃতিতে এ নীতির বাস্তবায়নের সর্বাপেক্ষা নির্ভরযোগ্য প্রমাণ আমরা নিউক্লিয় পদার্থবিদ্যায় দেখতে পাই। নিউক্লিয় শক্তিকে অনুধাবন করা এবং একে শক্তির উৎসরূপে ব্যবহারের মূলে রয়েছে এই নীতি। এই সূত্রকে কাজে লাগিয়ে নিউক্লিয় প্রক্রিয়ার (বিঘটন বা বিক্রিয়া) Q কে প্রারম্ভিক ও অন্তিম ভরের সাহায্যেও প্রকাশ করা যেতে পারে।
4. বন্ধনশক্তির (প্রতি নিউক্লিয়ন) লেখচিত্রের প্রকৃতি থেকে বোঝা যায় যে, তাপ উৎপাদী নিউক্লিয় বিক্রিয়াগুলো তখনই সম্ভব যখন দুটি হালকা নিউক্লিয়াস একত্রিত হয় অথবা একটি ভারি নিউক্লিয়াস বিভাজিত হয়ে মাঝামাঝি ভরের একাধিক নিউক্লিয়াসে পরিণত হয়।
5. নিউক্লিয় সংযোজনের ক্ষেত্রে, কুলম্বীয় বিভব প্রাচীরকে অতিক্রমণের জন্য হালকা নিউক্লিয়াসগুলোর যথেষ্ট পরিমাণে প্রাথমিক শক্তি থাকা প্রয়োজন। একারণেই নিউক্লিয় সংযোজনে অতি উচ্চ তাপমাত্রার প্রয়োজন হয়।
6. বন্ধন শক্তি (প্রতি নিউক্লিয়ন) লেখচিত্রটি সুসম এবং ধীরে ধীরে পরিবর্তনশীল, এবং ${}^4\text{He}$, ${}^{16}\text{O}$ ইত্যাদি নিউক্লিয়াসগুলোর ক্ষেত্রে চূড়া লক্ষ্য করা যায়। একে নিউক্লিয়াসের পরমাণু সদৃশ খোলকীয় গঠনের (shell structure) পক্ষে প্রমাণ হিসাবে ধরা হয়।
7. ইলেকট্রন এবং পজিট্রন হল কণা-প্রতিকণা (antiparticle) যুগল। ভরের দিক দিয়ে এরা সদৃশ; তাদের আধানের মান সমান এবং বিপরীতধর্মী। (দেখা গেছে যে, যখন ইলেকট্রন ও পজিট্রন একত্রিত হয় তখন তারা পরস্পর বিলুপ্ত হয়ে γ -রশ্মি ফোটনরূপে শক্তি নির্গত করে।
8. β^- বিঘটনে (ইলেকট্রন নিঃসরণে), ইলেকট্রনের সঙ্গে যে কণাটি নিঃসৃত হয় তা হল অ্যান্টি নিউট্রিনো ($\bar{\nu}$)। অন্যদিকে β^+ বিঘটনে (পজিট্রন নিঃসরণে) নিঃসৃত কণাটি হল নিউট্রিনো (ν)। নিউট্রিনো ও অ্যান্টি নিউট্রিনো হল কণা-প্রতিকণা যুগল। প্রতিটি কণার (particle) সংশ্লিষ্ট প্রতিকণা থাকবেই। প্রোটনের প্রতিকণা অ্যান্টি-প্রোটন কেমন হওয়া উচিত?
9. একটি মুক্ত নিউট্রন সুস্থিত নয় ($n \rightarrow p + e + \bar{\nu}$)। কিন্তু মুক্ত প্রোটনের অনুরূপ বিঘটন সম্ভব নয় কারণ একটি প্রোটনের ভর একটি নিউট্রনের ভর থেকে (সামান্য) কম হয়।
10. সাধারণত α -নিঃসরণ কিংবা β -নিঃসরণের ঠিক পর পরই γ রশ্মির নিঃসরণ ঘটে। উত্তেজিত স্তরে থাকা নিউক্লিয়াসে γ ফোটন নিঃসরণের মাধ্যমে নিম্নস্তরে পৌঁছায়। α -কণা বা β -কণা নিঃসরণ করার পরও একটি নিউক্লিয়াস উত্তেজিত স্তরে থেকে যেতে পারে। একই নিউক্লিয়াস থেকে পরপর γ রশ্মি নিঃসরণের ঘটনা (যেমনটা ${}^{60}\text{Ni}$ -এর ক্ষেত্রে, চিত্র 13.4-এ দেখানো) স্পষ্টভাবে প্রমাণ করে যে, নিউক্লিয়াসে ও পরমাণুর মতো বিচ্ছিন্ন শক্তিস্তর আছে।
11. তেজস্ক্রিয়তা নিউক্লিয়াসের অস্থায়িত্ব নির্দেশ করে। হালকা নিউক্লিয়াসের ক্ষেত্রে সুস্থিত হওয়ার শর্ত হল নিউট্রন ও প্রোটনের অনুপাত মোটামুটি 1:1 হওয়া। ভারি নিউক্লিয়াসের ক্ষেত্রে এই অনুপাতের মান বেড়ে প্রায় 3:2 হয়। (প্রোটনগুলোর পারস্পরিক বিকর্ষণের প্রভাবকে অতিক্রম করার জন্য বেশি সংখ্যক নিউট্রনের প্রয়োজন হয়।) যে সকল নিউক্লিয়াস সুস্থিতি অনুপাত থেকে দূরে থাকে অর্থাৎ যে সকল নিউক্লিয়াসে অতিরিক্ত সংখ্যক নিউট্রন বা প্রোটন থাকে তারা সুস্থিত হয় না। যদিও জানা সমস্ত আইসোটোপগুলোর (সব মৌলের) মাত্র 10% সুস্থিত। অন্যগুলো হয়তো বা পরীক্ষাগারে α , p, d, n বা অন্যান্য কণা দ্বারা সুস্থিত নিউক্লিয়াসকে আঘাত করে কৃত্রিমভাবে তৈরি করা হয়েছে নতুবা এ মহাবিশ্বের বস্তু সমূহের জ্যোতির্বেজ্ঞানিক পর্যবেক্ষণ দ্বারা চিহ্নিত করা হয়েছে।

অনুশীলনী

অনুশীলনীগুলো সমাধান করার সময় নিম্নলিখিত কথ্যগুলো (data) প্রয়োজন পড়বে :

$$e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \quad N = 6.023 \times 10^{23} \text{ per mole}$$

$$1/(4\pi\epsilon_0) = 9 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2 \quad k = 1.381 \times 10^{-23} \text{ J } ^\circ\text{K}^{-1}$$

$$1 \text{ MeV} = 1.6 \times 10^{-13} \text{ J} \quad 1 \text{ u} = 931.5 \text{ MeV}/c^2$$

$$1 \text{ year} = 3.154 \times 10^7 \text{ s}$$

$$m_{\text{H}} = 1.007825 \text{ u} \quad m_{\text{n}} = 1.008665 \text{ u}$$

$$m({}^4_2\text{He}) = 4.002603 \text{ u} \quad m_{\text{e}} = 0.000548 \text{ u}$$

- 13.1** (a) লিথিয়ামের দুটি সুস্থিত আইসোটোপ ${}^6_3\text{Li}$ এবং ${}^7_3\text{Li}$ -এর প্রাচুর্যতা যথাক্রমে 7.5% এবং 92.5%। তাদের ভর যথাক্রমে 6.01512 u এবং 7.01600 u। লিথিয়ামের পারমাণবিক ভর বের করো।
- (b) বোরণের সুস্থিত দুটি আইসোটোপ হল ${}^{10}_5\text{B}$ এবং ${}^{11}_5\text{B}$ । তাদের ভর যথাক্রমে 10.01294 u এবং 11.00931 u। বোরণের পারমাণবিক ভর হল 10.811 u। ${}^{10}_5\text{B}$ এবং ${}^{11}_5\text{B}$ -এর প্রাচুর্যতা নির্ণয় করো।
- 13.2** নিয়নের তিনটি সুস্থিত আইসোটোপ : ${}^{20}_{10}\text{Ne}$, ${}^{21}_{10}\text{Ne}$ এবং ${}^{22}_{10}\text{Ne}$ -এর প্রাচুর্যতা হল যথাক্রমে 90.51%, 0.27% এবং 9.22%। এই আইসোটোপগুলোর পারমাণবিক ভর যথাক্রমে 19.99 u, 20.99 u এবং 21.99 u। নিয়নের গড় পারমাণবিক ভর বের করো।
- 13.3** নাইট্রোজেন নিউক্লিয়াসের (${}^{14}_7\text{N}$) MeV এককে বন্ধনশক্তির মান নির্ণয় করো। দেওয়া আছে $m({}^{14}_7\text{N}) = 14.00307 \text{ u}$
- 13.4** নিম্নলিখিত তথ্যগুলোর সাহায্য নিয়ে ${}^{56}_{26}\text{Fe}$ এবং ${}^{209}_{83}\text{Bi}$ নিউক্লিয়াস দুটোর বন্ধনশক্তির মান MeV এককে বের করো :
- $$m({}^{56}_{26}\text{Fe}) = 55.934939 \text{ u} \quad m({}^{209}_{83}\text{Bi}) = 208.980388 \text{ u}$$
- 13.5** একটি প্রদত্ত মুদ্রার ভর 3.0 g। এর সমস্ত প্রোটন ও নিউট্রনগুলোকে পরস্পর থেকে পৃথক করতে প্রয়োজনীয় শক্তির পরিমাণ নির্ণয় করো। সুবিধার জন্য ধরে নাও যে, মুদ্রাটি পুরোপুরিভাবে ${}^{63}_{29}\text{Cu}$ পরমাণু (ভর 62.92960 u) দ্বারা তৈরি।
- 13.6** নিম্নলিখিত ক্ষেত্রগুলোর জন্য নিউক্লিয় বিক্রিয়া লেখো :
- (i) ${}^{226}_{88}\text{Ra}$ -এর α -বিঘটন (ii) ${}^{242}_{94}\text{Pu}$ -এর α -বিঘটন
- (iii) ${}^{32}_{15}\text{P}$ -এর β^- -বিঘটন (iv) ${}^{210}_{83}\text{Bi}$ -এর β^- -বিঘটন
- (v) ${}^{11}_6\text{C}$ -এর β^+ -বিঘটন (vi) ${}^{97}_{43}\text{Tc}$ -এর β^+ -বিঘটন
- (vii) ${}^{120}_{54}\text{Xe}$ -এর ইলেকট্রন শোষণ।
- 13.7** একটি তেজস্ক্রিয় আইসোটোপের অর্ধজীবন কাল T বছর। এর সক্রিয়তা প্রাথমিক মানের a) 3.125%, এবং b) 1%-এ হ্রাস করতে কত সময় লাগবে?
- 13.8** কার্বন উপস্থিত এরূপ একটি সজীব পদার্থের সাধারণ সক্রিয়তা হল প্রতি গ্রাম কার্বনের জন্য 'প্রতি মিনিটে 15টি বিঘটন'। এ সক্রিয়তা সৃষ্টি হয় কার্বনের ${}^{12}_6\text{C}$ আইসোটোপের সঙ্গে সামান্য পরিমাণ

নিউক্লিয়াস বা কেন্দ্রক

তেজস্ক্রিয় $^{14}_6\text{C}$ -এর উপস্থিতির জন্য। যখন একটি জীব মরে যায়, তখন পরিবেশের সঙ্গে এর অন্তঃক্রিয়া (যা উপরিউক্ত সক্রিয়তাকে বজায় রাখে) থেমে যায় এবং এর সক্রিয়তা হ্রাস পেতে শুরু করে। $^{14}_6\text{C}$ -এর জানা অর্ধজীবনকাল (5730 বছর) এবং পরিমিত সক্রিয়তা থেকে নমুনাটির আনুমানিক বয়স পরিমাপ করা হয়। এটাই হল প্রত্নতাত্ত্বিক বিভাগে ব্যবহৃত $^{14}_6\text{C}$ ডেটিং-এর মূলনীতি। ধরো মহেঞ্জোদারো থেকে পাওয়া একটি নমুনার সক্রিয়তা হল প্রতি গ্রাম কার্বনের প্রতি মিনিট 9টি বিঘটন। সিন্থু উপত্যকার সভ্যতার আনুমানিক বয়স গণনা করো।

13.9 8.0 mCi শক্তির তেজস্ক্রিয় উৎস পেতে কত পরিমাণ $^{60}_{27}\text{Co}$ প্রয়োজন, তা নির্ণয় করো। $^{60}_{27}\text{Co}$ -এর অর্ধজীবনকাল হল 5.3 বছর।

13.10 $^{90}_{38}\text{Sr}$ -এর অর্ধ জীবনকাল হল 28 বছর। এই আইসোটোপের 15 mg -এর ভাঙ্গনের হার কত?

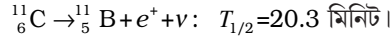
13.11 গোল্ড আইসোটোপ $^{197}_{79}\text{Au}$ এবং সিলভার (রূপা) আইসোটোপ $^{107}_{47}\text{Ag}$ -এর নিউক্লিয়াসের ব্যাসার্ধের আনুমানিক অনুপাত নির্ণয় করো।

13.12 α -বিঘটনে (a) $^{226}_{88}\text{Ra}$ এবং (b) $^{220}_{86}\text{Rn}$ থেকে যে α -কণা নিঃসৃত হয় তাদের Q-মান এবং গতিশক্তির মান নির্ণয় করো। দেওয়া আছে

$$m(^{226}_{88}\text{Ra}) = 226.02540 \text{ u}, \quad m(^{220}_{86}\text{Rn}) = 220.01137 \text{ u},$$

$$m(^{222}_{86}\text{Rn}) = 222.01750 \text{ u}, \quad m(^{216}_{84}\text{Po}) = 216.00189 \text{ u}.$$

13.13 $^{11}_6\text{C}$ তেজস্ক্রিয় নিউক্লিয়াসটি নিম্নলিখিতভাবে বিঘটিত হয়



নিঃসৃত পজিট্রনটির সর্বাধিক গতিশক্তির মান হল 0.960 MeV।

ভরের প্রদত্ত মানগুলো :

$$m(^{11}_6\text{C}) = 11.011434 \text{ u} \text{ এবং } m(^{11}_5\text{B}) = 11.009305 \text{ u},$$

Q-এর মান গণনা করো এবং একে নিঃসৃত পজিট্রনটির সর্বোচ্চ শক্তির সঙ্গে তুলনা করো।

13.14 $^{23}_{10}\text{Ne}$ নিউক্লিয়াস থেকে β^- নিঃসৃত হচ্ছে। β^- -বিঘটনের সমীকরণটি লেখো এবং নিঃসৃত ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তির মান গণনা করো। দেওয়া আছে :

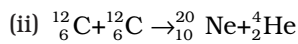
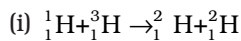
$$m(^{23}_{10}\text{Ne}) = 22.994466 \text{ u}$$

$$m(^{23}_{11}\text{Na}) = 22.089770 \text{ u}.$$

13.15 $A + b \rightarrow C + d$ নিউক্লিয় বিক্রিয়াটির Q মান নিম্নরূপে সংজ্ঞায়িত :

$$Q = [m_A + m_b - m_C - m_d]c^2$$

যেখানে ভরগুলো হল নির্দিষ্ট নিউক্লিয়াসগুলোর। প্রদত্ত তথ্যগুলোর (data) সাহায্য নিয়ে নিম্নলিখিত সমীকরণগুলোর Q-মান বের করো এবং সমীকরণগুলো তাপ উৎপাদী নাকি তাপগ্রাহী তা উল্লেখ করো



প্রদত্ত পারমাণবিক ভরগুলো হল

$$m(^2_1\text{H}) = 2.014102 \text{ u}$$

$$m(^3_1\text{H}) = 3.016049 \text{ u}$$

$$m({}^{12}_6\text{C}) = 12.000000 \text{ u}$$

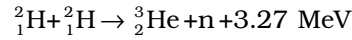
$$m({}^{20}_{10}\text{Ne}) = 19.992439 \text{ u}$$

13.16 ধরো, নিউক্লিয় বিভাজন প্রক্রিয়াতে একটি ${}^{56}_{26}\text{Fe}$ বিভাজিত হয়ে দুটো সমান টুকরো ${}^{28}_{13}\text{Al}$ -এ পরিণত হল। এ বিভাজন বিক্রিয়াটি শক্তির হিসেব অনুযায়ী হওয়া সম্ভব কিনা? Q নির্ণয়ের দ্বারা তোমার উত্তরের স্বপক্ষে যুক্তি দাও। দেওয়া আছে $m({}^{56}_{26}\text{Fe}) = 55.93494 \text{ u}$ এবং $m({}^{28}_{13}\text{Al}) = 27.98191 \text{ u}$ ।

13.17 ${}^{239}_{94}\text{Pu}$ -এর নিউক্লিয় বিভাজনের বৈশিষ্ট্যাবলি ${}^{235}_{92}\text{U}$ -এর সঙ্গে যথেষ্ট সাদৃশ্যপূর্ণ। প্রতি নিউক্লিয় বিভাজন প্রক্রিয়াতে গড়ে 180 MeV শক্তি নির্গত হয়। যদি 1 kg বিশুদ্ধ ${}^{239}_{94}\text{Pu}$ -এ উপস্থিত পরমাণুর নিউক্লিয় বিভাজন হয় তবে MeV এককে কত শক্তির নির্গত হবে তা বের করো।

13.18 একটি 1000 MW ক্ষমতার বিভাজন রিয়েক্টর 5.00 y-এ তাতে থাকা জ্বালানীর অর্ধেক পরিমাণ ব্যয় করে। শুরুতে কত পরিমাণ ${}^{235}_{92}\text{U}$ ছিল? ধরে নাও - রিয়েক্টরটি 80% সময় কাজ করে, সমস্ত শক্তি সৃষ্টি হয় ${}^{235}_{92}\text{U}$ -এর বিভাজন থেকে এবং নিউক্লিয়াসগুলো শুধুমাত্র বিভাজন প্রক্রিয়াতেই ব্যয় হয়।

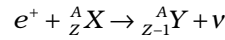
13.19 2.0 kg ডিউটেরিয়াম-এর নিউক্লিয় সংযোজনের দ্বারা একটি 100W ক্ষমতার একটি বৈদ্যুতিক বাস্তু কত সময়ব্যাপী জ্বলতে থাকবে? সংযোজন প্রক্রিয়াটি হল :



13.20 দুটি ডিউটেরনের মুখোমুখি সংঘর্ষের বিভব বাধা (potential barrier) কত মানের হয় গণনা করো। (ইঙ্গিত : যখন দুটি ডিউটেরন পরস্পরকে স্পর্শ করে থাকে তখন কুলম্বীয় বিকর্ষণ বিভব বাধা প্রদান করে। ধরে নাও, ওরা 2.0 fm ব্যাসার্ধের শক্ত গোলক)

13.21 $R = R_0 A^{1/3}$ সম্পর্ক থেকে দেখাও যে, নিউক্লিয় উপাদানের ঘনত্ব প্রায় ধ্রুবক (অর্থাৎ A -এর উপর নির্ভরশীল নয়), যেখানে R_0 একটি ধ্রুবক এবং A হল নিউক্লিয়াসটির ভরসংখ্যা।

13.22 একটি নিউক্লিয়াস থেকে β^+ নিঃসরণের (পজিট্রন নিঃসরণ) পাশাপাশি আরেকটি প্রক্রিয়াও ঘটে থাকে। আমরা একে ইলেকট্রন শোষণ বলে থাকি (নিউক্লিয়াস দ্বারা ভিতরের কক্ষ থেকে, ধরো K -কক্ষ থেকে ইলেকট্রন শোষণ এবং একটি নিউট্রিনো নিঃসরণ)।



দেখাও যে, যদি β^+ নিঃসরণ শক্তির হিসেব অনুযায়ী সম্ভব হয় তবে ইলেকট্রন শোষণ অবশ্যই সম্ভব হবে কিন্তু বিপরীত প্রক্রিয়াগুলো সম্ভব নয়।

অতিরিক্ত অনুশীলনী

13.23 একটি পর্যায় সারণিতে (periodic table) ম্যাগনেসিয়ামের 'গড় পারমাণবিক ভর' 24.312 u দেওয়া আছে। পৃথিবীতে প্রাপ্ত ম্যাগনেসিয়ামের বিভিন্ন আইসোটোপগুলোর আপেক্ষিক প্রাচুর্যতার উপর নির্ভর করে গড় মানটি নেওয়া হয়। আইসোটোপ তিনটি এবং তাদের ভরগুলো হল যথাক্রমে ${}^{24}_{12}\text{Mg}$ -এর 23.98504u, ${}^{25}_{12}\text{Mg}$ -এর 24.98584u এবং ${}^{26}_{12}\text{Mg}$ -এর 25.98259u। ভরের বিচারে ${}^{24}_{12}\text{Mg}$ -এর প্রাচুর্য হল 78.99%। অন্য দুটো আইসোটোপের প্রাচুর্য কত নির্ণয় করো।

নিউক্লিয়াস বা কেন্দ্রক

- 13.24** একটি নিউক্লিয়াস থেকে একটি নিউট্রনকে পৃথক করতে যে পরিমাণ শক্তি প্রয়োজন হয় তাকে নিউট্রন পৃথকীকরণ শক্তি বলে। ${}_{20}^{41}\text{Ca}$ এবং ${}_{13}^{27}\text{Al}$ নিউক্লিয়াসগুলোর নিম্নলিখিত তথ্যগুলো (data) ব্যবহার করে ওদের নিউট্রন পৃথকীকরণ শক্তির মানগুলো বের করো :

$$m({}_{20}^{40}\text{Ca}) = 39.962591 \text{ u}$$

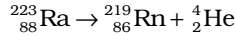
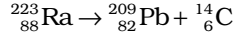
$$m({}_{20}^{41}\text{Ca}) = 40.962278 \text{ u}$$

$$m({}_{13}^{26}\text{Al}) = 25.986895 \text{ u}$$

$$m({}_{13}^{27}\text{Al}) = 26.981541 \text{ u}$$

- 13.25** একটি তেজস্ক্রিয় উৎসে দুটি তেজস্ক্রিয় ফসফরাস নিউক্লিয়াস ${}_{15}^{32}\text{P}$ ($T_{1/2} = 14.3\text{d}$) এবং ${}_{15}^{33}\text{P}$ ($T_{1/2} = 25.3\text{d}$) আছে। শুরুর 10% অবক্ষয় এসেছে ${}_{15}^{33}\text{P}$ থেকে। এভাবে 90% অবক্ষয় পৌঁছাতে কত সময় লাগবে ?

- 13.26** বিশেষ পরিস্থিতিতে একটি নিউক্লিয়াস α -কণার চেয়েও ভারি একটি কণা নিঃসরণের মাধ্যমে বিঘটিত হতে পারে। নিম্নের বিঘটনটি বিবেচনা করো :



এ দুটো বিঘটনের Q -মান নির্ণয় করো এবং দেখাও যে, উভয় বিক্রিয়াই শক্তির হিসেব অনুযায়ী সমানভাবে সম্ভব।

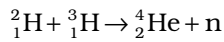
- 13.27** দ্রুতগতির নিউট্রন দ্বারা ${}_{92}^{238}\text{U}$ -এর বিভাজনকে বিবেচনা করো। একটি বিভাজনে কোনো নিউট্রন নিঃসৃত হলে না এবং বিভাজিত প্রাথমিক খণ্ডগুলো বিটা বিঘটন শেষে ${}_{58}^{140}\text{Ce}$ এবং ${}_{44}^{99}\text{Ru}$ -এ পরিণত হয়। নিউক্লিয় বিভাজনটির জন্য Q -এর মান গণনা করো। প্রাসঙ্গিক পরমাণু ও কণাগুলোর ভর হল :

$$m({}_{92}^{238}\text{U}) = 238.05079 \text{ u}$$

$$m({}_{58}^{140}\text{Ce}) = 139.90543 \text{ u}$$

$$m({}_{44}^{99}\text{Ru}) = 98.90594 \text{ u}$$

- 13.28** ডিউটেরিয়াম-ট্রাইটিয়াম সংযোজন বিক্রিয়ার (D-T reaction) সমীকরণটি বিবেচনা করো:



- (a) নিম্নলিখিত তথ্যগুলো ব্যবহার করে বিক্রিয়াটি থেকে MeV এককে নিঃসৃত শক্তির মান হিসাব করো :

$$m({}^2_1\text{H}) = 2.014102 \text{ u}$$

$$m({}^3_1\text{H}) = 3.016049 \text{ u}$$

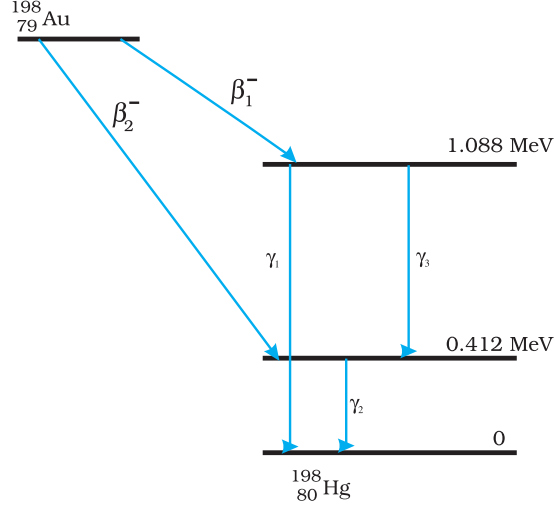
- (b) ধরো, ডিউটেরিয়াম এবং ট্রাইটিয়াম উভয়ের ব্যাসার্ধ প্রায় 2.0 fm। দুটো নিউক্লিয়াসের মধ্যবর্তী ক্রিয়াশীল কুলম্বীয় বিকর্ষণকে অতিক্রম করতে কত গতিশক্তির প্রয়োজন পড়বে? এ বিক্রিয়াটি শুরু করতে গ্যাসটিকে ন্যূনতম কত তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করতে হবে?

ইঞ্জিত : একটি বিভাজন বিক্রিয়া ঘটাতে প্রয়োজনীয় গতিশক্তি = বিক্রিয়াশীল কণাগুলোতে থাকার গড় তাপীয় গতিশক্তি = $2(3kT/2)$; k = বোল্টজম্যান ধ্রুবক, T = পরম তাপমাত্রা।

13.29 13.6 নং চিত্রে দেখানো ভাঙ্গনে β -কণার সর্বোচ্চ গতিশক্তি এবং γ -বিখটনে নিঃসৃত বিকিরণের কম্পাঙ্ক বের করো। দেওয়া আছে

$$m(^{198}\text{Au}) = 197.968233 \text{ u}$$

$$m(^{198}\text{Hg}) = 197.966760 \text{ u}$$



চিত্র 13.6

13.30 a) সূর্যের অভ্যন্তরে 1.0 kg হাইড্রোজেনের বিভাজনে সৃষ্ট শক্তির মান এবং b) নিউক্লিয় বিভাজন রিয়েক্টরে 1.0 kg ^{235}U বিভাজনের শক্তির মান নির্ণয় করো। এই দুইক্ষেত্রে উৎপন্ন শক্তির তুলনা করো।

13.31 ধরো, ভারতবর্ষ 2020 AD তে 200,000 MW বিদ্যুৎ উৎপাদনের লক্ষ্যমাত্রা নিয়েছে, যার মধ্যে দশ শতাংশ নিউক্লিয় শক্তি উৎপাদন ক্ষেত্রগুলো থেকে পাওয়া যাবে। ধরো, রিয়েক্টরে উৎপন্ন তাপশক্তির ব্যবহারিক দক্ষতা (অর্থাৎ তড়িৎশক্তিতে পরিবর্তন) 25%। আমাদের দেশে 2020 সাল নাগাদ প্রতি বছর গড়ে কত পরিমাণ বিভাজনক্ষম ইউরেনিয়াম প্রয়োজন পড়বে? ধরো, ^{235}U -এর প্রতি বিভাজনে সৃষ্ট শক্তির পরিমাণ হল 200MeV।

চতুর্দশ অধ্যায়

অর্ধপরিবাহী ইলেকট্রনিক্স : উপাদান পদার্থ, যন্ত্রাদি এবং সরল বর্তনীসমূহ

(SEMICONDUCTOR ELECTRONICS:
MATERIALS, DEVICES AND SIMPLE CIRCUITS)

14.1 ভূমিকা

বৈদ্যুতিন বর্তনীর মৌলিক বিল্ডিং ব্লক হল, সে সকল যন্ত্রাদি যেগুলোতে ইলেকট্রনের নিয়ন্ত্রিত প্রবাহ পাওয়া যায়। 1948 সালে ট্রানজিস্টার আবিষ্কারের আগে এই যন্ত্রগুলোর বেশিরভাগই ছিল বায়ুশূন্য নল [(vacuum tubes) এদের ভাল্ভও বলা হয়]। যেমন বায়ুশূন্য ডায়োড : যার দুটো তড়িৎদ্বার রয়েছে — অ্যানোড (প্লেট নামেও পরিচিত) এবং ক্যাথোড; ট্রায়োড : যার তিনটি তড়িৎদ্বার রয়েছে - ক্যাথোড, প্লেট এবং গ্রিড; টেট্রোড এবং পেন্টোড (যথাক্রমে 4 এবং 5 তড়িৎদ্বার বিশিষ্ট)। বায়ুশূন্য নলে একটি উত্তপ্ত ক্যাথোড দ্বারা ইলেকট্রন সরবরাহিত হয় এবং বিভিন্ন তড়িৎদ্বারের মধ্যে বিভবের পরিবর্তন ঘটিয়ে বায়ুশূন্য স্থানে ইলেকট্রনের নিয়ন্ত্রিত প্রবাহ পাওয়া যায়। তড়িৎদ্বার মধ্যবর্তী অঞ্চলে ‘বায়ুশূন্যতা’ (vacuum) প্রয়োজন হয়, অন্যথা ইলেকট্রনগুলো এদের গতিপথে বায়ুর অণুগুলোর সঙ্গে সংঘর্ষের মাধ্যমে শক্তি হারাতে পারে। এই সকল যন্ত্রগুলোতে ইলেকট্রন শুধুমাত্র ক্যাথোড থেকে অ্যানোডের দিকে প্রবাহিত হয় (অর্থাৎ শুধুমাত্র একটি অভিমুখে)। এজন্যই এই যন্ত্রগুলোকে সাধারণতঃ ভাল্ভও বলা হয়। এই ‘বায়ুশূন্য নল’ গুলো সাধারণত স্থূলকায় এবং এরা উচ্চ ক্ষমতা ব্যয় করে এবং উচ্চ ভোল্টেজে (~100 V) ক্রিয়াশীল হয়। এদের আয়ুষ্কাল সীমিত (limited life) এবং নির্ভর যোগ্যতা কম হয়। আধুনিক কঠিন অবস্থার অর্ধপরিবাহী ইলেকট্রনিক্সের (modern solid-state semiconductor electronics) বিকাশের মূলবীজ প্রোথিত হয়েছে 1930 সালে নেওয়া একটি ধারণার মধ্যে, যেখানে ধারণা করা হয়েছিল যে কিছু কিছু কঠিন অবস্থার অর্ধপরিবাহী এবং তাদের সংযোগস্থলগুলোর মধ্য দিয়ে প্রবাহিত আধান বাহকের সংখ্যা ও প্রবাহের অভিমুখ নিয়ন্ত্রণ ক্ষমতার সম্ভাবনা রয়েছে। আলো, তাপ অথবা প্রযুক্ত ক্ষুদ্র ভোল্টেজের মতো সাধারণ উদ্দীপনাগুলো একটি অর্ধপরিবাহীতে গতিশীল আধান সমূহের (mobile charges) সংখ্যা পরিবর্তন করতে পারে। লক্ষ করে দেখো, অর্ধপরিবাহী যন্ত্রাদিতে আধান বাহকদের সরবরাহ এবং প্রবাহ

শুধুমাত্র কঠিনের মধ্যেই সীমাবদ্ধ থাকে। পক্ষান্তরে প্রথমদিকের বায়ুশূন্য নল/ভাল্ভগুলোতে একটি তপ্ত ক্যাথোড থেকে গতিশীল ইলেকট্রন পাওয়া যেত এবং একটি বায়ুশূন্য অঞ্চল (*evacuated space*) অথবা শূন্যস্থানের মধ্য দিয়ে এদের পাঠানো হত। অর্ধপরিবাহী যন্ত্রাদিতে কোনো বাহ্যিক উত্তাপন বা বিস্তৃত বায়ুশূন্য অঞ্চলের প্রয়োজন হয় না। এরা আকারে ক্ষুদ্র, স্বল্প শক্তি ব্যয় করে, নিম্ন ভোল্টেজে কাজ করে এবং এদের দীর্ঘ আয়ুষ্কাল ও উচ্চ নির্ভরযোগ্যতা রয়েছে। এমনকি টেলিভিশন এবং কম্পিউটার মনিটরে ব্যবহৃত ক্যাথোড রশ্মি নল (Cathode Ray Tubes - CRT) যারা ‘বায়ুশূন্য নল’-এর নীতিতে কাজ করে, তাদেরকেও কঠিন অবস্থার ইলেকট্রনিক্স নির্ভর LCD (liquid crystal display) মনিটর দ্বারা প্রতিস্থাপিত করা হচ্ছে। অর্ধপরিবাহী যন্ত্রাদির কার্যকারিতা সম্পূর্ণ ও যথাযথভাবে বুঝে ওঠার অনেক আগে থেকেই প্রাকৃতিকভাবে প্রাপ্ত একটি কেলাস গ্যালেনার (লেড সালফাইড, PbS) সাথে একটি ধাতব বিন্দু সংযোগ যুক্ত করে রেডিও তরঙ্গের সনাক্তকারক (*detector*) হিসেবে ব্যবহৃত হত।

পরবর্তী অনুচ্ছেদগুলোতে আমরা অর্ধপরিবাহী পদার্থবিদ্যার মৌলিক ধারণাগুলো সম্পর্কে জানবো এবং কয়েকটি অর্ধপরিবাহী যন্ত্র, যেমন - সংযোগ ডায়োড [(*junction diodes*) একটি দুই তড়িৎদ্বার বিশিষ্ট যন্ত্র] এবং একটি দ্বিমেরু সংযোগ ট্রানজিস্টার (একটি তিন তড়িৎদ্বার বিশিষ্ট যন্ত্র) সম্পর্কে আলোচনা করবো। এদের ব্যবহারিক প্রয়োগ বিষয়ক কিছু বর্তনী সম্পর্কেও বিশদ বর্ণনা করা হবে।

14.2 ধাতু, পরিবাহী এবং অর্ধপরিবাহীর শ্রেণিবিন্যাস (CLASSIFICATION OF METALS, CONDUCTORS AND SEMICONDUCTORS)

পরিবাহিতার ভিত্তিতে

তড়িৎ পরিবাহিতা (σ) অথবা রোধাঙ্কের ($\rho = 1/\sigma$) আপেক্ষিক মানের ভিত্তিতে কঠিন পদার্থকে সাধারণত: নিম্নের কয়েকটি শ্রেণিতে বিভক্ত করা যায় :

(i) **ধাতু** : এরা খুব নিম্ন রোধাঙ্ক (অথবা উচ্চ পরিবাহিতা) বিশিষ্ট হয়।

$$\rho \sim 10^{-2} - 10^{-8} \Omega \text{ m}$$

$$\sigma \sim 10^2 - 10^8 \text{ S m}^{-1}$$

(ii) **অর্ধপরিবাহী** : এদের রোধাঙ্ক বা পরিবাহিতার মান ধাতু ও অন্তরকের মধ্যবর্তী মানের হয়।

$$\rho \sim 10^{-5} - 10^6 \Omega \text{ m}$$

$$\sigma \sim 10^5 - 10^{-6} \text{ S m}^{-1}$$

(iii) **অন্তরক** : এরা উচ্চ রোধাঙ্ক (অথবা নিম্ন পরিবাহিতা) বিশিষ্ট হয়।

$$\rho \sim 10^{11} - 10^{19} \Omega \text{ m}$$

$$\sigma \sim 10^{-11} - 10^{-19} \text{ S m}^{-1}$$

উপরে প্রদত্ত মানগুলো ρ এবং σ -এর মানের নির্দেশক মাত্র, এই পাল্লার যথেষ্ট বাইরেও এদের মান থাকতে পারে। রোধাঙ্কের আপেক্ষিক মানগুলোই ধাতু, অন্তরক এবং অর্ধপরিবাহী সমূহকে পরস্পর থেকে পৃথক করার একমাত্র নির্ণায়ক শর্ত নয়। অন্যান্য কিছু পার্থক্য রয়েছে, যেগুলো এই অধ্যায়ে যত অগ্রসর হব ততই সুস্পষ্ট হয়ে উঠবে।

এই অধ্যায়ে আমাদের আগ্রহের বিষয় হচ্ছে অর্ধপরিবাহী সমূহের অধ্যয়ন - যেখানে রয়েছে :

(i) **মৌলিক অর্ধপরিবাহী** : Si এবং Ge

(ii) **যৌগিক অর্ধপরিবাহী** : উদাহরণস্বরূপ

• অর্জিব : CdS, GaAs, CdSe, InP ইত্যাদি।

• জৈব : অ্যানথ্রাসিন, ডোপড থ্যালোসায়ানিন ইত্যাদি।

• জৈব পলিমার : পলিপাইরোল, পলি অ্যানিলিন, পলি থায়োফিন ইত্যাদি।

অর্ধপরিবাহী ইলেকট্রনিক্স : উপাদান পদার্থ, যন্ত্রাদি এবং সরল বর্তনীসমূহ

বর্তমানে সহজলভ্য অধিকাংশ অর্ধপরিবাহী যন্ত্রগুলো মৌলিক অর্ধপরিবাহী Si অথবা Ge এবং যৌগিক অর্ধপরিবাহী পদার্থের উপর ভিত্তি করে গঠিত। যদিও 1990 সালের পরে জৈব অর্ধপরিবাহী এবং অর্ধপরিবাহী পলিমার নির্ভর কিছু অর্ধপরিবাহী যন্ত্রের বিকাশ ভবিষ্যতে পলিমার ইলেকট্রনিক্স এবং আণবিক ইলেকট্রনিক্স প্রযুক্তির উদ্ভবের সম্ভাবনাকে নির্দেশ করে। এই অধ্যায়ে আমরা আমাদের আলোচনাকে অর্ধপরিবাহী বিশেষত মৌলিক অর্ধপরিবাহী Si এবং Ge-এর অধ্যয়নের মধ্যেই সীমাবদ্ধ রাখবো। এখানে উপস্থাপিত মৌলিক অর্ধপরিবাহীর সাধারণ ধারণা কমবেশি সামগ্রিকভাবে মৌলিক অর্ধপরিবাহীগুলোর বেশির ভাগের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য।

শক্তিপটীর ভিত্তিতে (On the basis of energy band)

বোরের পারমাণবিক মডেল অনুযায়ী একটি বিচ্ছিন্ন পরমাণুর যে-কোনো একটি ইলেকট্রনের শক্তি তার আবর্তন কক্ষপথের দ্বারা নির্ধারিত হয়। কিন্তু পরমাণুগুলো কঠিন পদার্থ গঠনের উদ্দেশ্যে একজোট হয়ে পরস্পরের খুব কাছাকাছি চলে আসে। ফলে পার্শ্ববর্তী পরমাণুর ইলেকট্রনের কক্ষপথগুলো পরস্পরের খুব কাছাকাছি চলে আসে, এমনকি পরস্পর উপরিপাতিতও হতে পারে। এটি কঠিন পদার্থে ইলেকট্রনের গতি প্রকৃতিকে একটি বিচ্ছিন্ন পরমাণুর তুলনায় পৃথক করে।

কেলাসের অভ্যন্তরে প্রতিটি ইলেকট্রনের একটি অনন্য (unique) অবস্থান রয়েছে এবং কোনো দুটি ইলেকট্রনের ঠিক একইরকম পরিবেশনকারী আধান বিন্যাস দেখা যায় না। এই কারণে প্রতিটি ইলেকট্রনের একটি ভিন্ন শক্তিস্তর রয়েছে। নিরবচ্ছিন্ন শক্তির পার্থক্য বিশিষ্ট এইরূপ বিভিন্ন শক্তিস্তরগুলোকে শক্তিপটি (energy bands) বলে। যোজ্যতা ইলেকট্রনের শক্তির স্তরগুলো যে শক্তিপটীর অন্তর্ভুক্ত তাকে যোজ্যতা পটি (valence band) বলা হয়। যোজ্যতাপটীর উপরের শক্তিপটিকে পরিবহন পটি (conduction band) বলা হয়। বাহ্যিক শক্তি ব্যতীত সকল যোজ্যতা ইলেকট্রন যোজ্যতা পটিতে অবস্থান করে। যদি পরিবহন পটীর নিম্নতম স্তর যোজ্যতা পটীর উচ্চতম স্তরের চেয়ে নিম্নতর হয়, যোজ্যতা পটি থেকে ইলেকট্রনগুলো সহজেই পরিবহন পটিতে চলে যেতে পারে। সাধারণত পরিবহন পটি ফাঁকা থাকে। কিন্তু যখন এটি যোজ্যতা পটীর উপর সমাপতিত হয় ইলেকট্রনগুলো মুক্তভাবে এর মধ্যে চলে যেতে পারে। ধাতব পরিবাহীর ক্ষেত্রে এমনটাই ঘটে।

যদি পরিবহন পটি এবং যোজ্যতা পটীর মাঝখানে কোনো ব্যবধান থাকে তবে যোজ্যতা পটীর ইলেকট্রনগুলো যোজ্যতা পটিতেই আবদ্ধ থাকবে এবং পরিবহন পটিতে কোনো মুক্ত ইলেকট্রন পাওয়া যাবে না। এটি পদার্থটিকে একটি অন্তরক-এ পরিণত করে। কিন্তু যোজ্যতা পটীর কিছু সংখ্যক ইলেকট্রন পরিবহন পটি ও যোজ্যতা পটীর শক্তির পার্থক্য অতিক্রম করার মতো বাহ্যিক শক্তি লাভ করতে পারে। এই ইলেকট্রনগুলো পরিবহন পটিতে চলে যায় এবং একই সময়ে এরা যোজ্যতা পটিতে ফাঁকা (vacant) শক্তিস্তর তৈরি করে, যেখানে অন্যান্য যোজ্যতা ইলেকট্রনগুলোও চলাচল করতে পারে। এভাবে এই প্রক্রিয়াটি পরিবহন পটিতে ইলেকট্রনের উপস্থিতির জন্য এবং যোজ্যতা পটিতে ইলেকট্রন শূন্যতার জন্য পরিবহনের সম্ভাবনা সৃষ্টি করে।

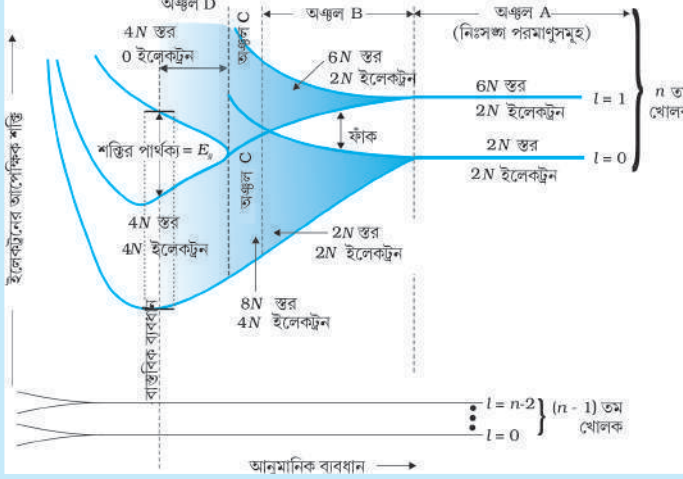
চলো দেখা যাক, N সংখ্যক পরমাণু সম্পন্ন Si অথবা Ge কেলাসের ক্ষেত্রে কী ঘটে। Si-এর ক্ষেত্রে সর্ববহিঃস্থ কক্ষটি হল তৃতীয় কক্ষ ($n = 3$), পক্ষান্তরে Ge-এর ক্ষেত্রে এটি হল চতুর্থ কক্ষ ($n = 4$)। সর্ববহিঃস্থ কক্ষে ইলেকট্রনের সংখ্যা 4 ($2s$ এবং $2p$ ইলেকট্রনসমূহ)। ফলে কেলাসে বহিঃস্থ ইলেকট্রনের মোট সংখ্যা $4N$ হয়। বহিঃস্থ কক্ষে সর্বাধিক সম্ভাব্য ইলেকট্রনের সংখ্যা 8 ($2s + 6p$ ইলেকট্রন), ফলে $4N$ যোজ্যতা ইলেকট্রনের জন্য $8N$ সংখ্যক লভ্য শক্তিস্তর পাওয়া যাবে। কেলাসে পরমাণুগুলোর পারস্পরিক দূরত্বের উপর নির্ভর করে এই $8N$ বিচ্ছিন্ন শক্তিস্তরগুলো হয় নিরবচ্ছিন্ন পটি তৈরি করতে পারে, নতুবা ওরা বিভিন্ন পটিতে শ্রেণিবদ্ধ হতে পারে (কঠিনের পটিতত্ত্বের বস্তুটি দেখো)।

Si এবং Ge-এর কেলাস জাফরির পরমাণুগুলোর মধ্যবর্তী দূরত্বে এই $8N$ শক্তিস্তরের শক্তিপটিগুলো E_g শক্তি পার্থক্যের দুটি স্তরে বিভক্ত হয় (চিত্র 14.1)। পরমশূন্য তাপমাত্রায় $4N$ যোজ্যতা ইলেকট্রন দ্বারা

পদার্থবিদ্যা

সম্পূর্ণভাবে অধিকৃত নিম্নতর শক্তি পটিকে যোজ্যতা পটি বলে। $4N$ শক্তিস্তর নিয়ে গঠিত পরিবহন পটি নামক অপর পটিটি পরমশূন্য তাপমাত্রায় সম্পূর্ণ ফাঁকা থাকে।

কঠিন পদার্থের পটিতত্ত্ব (BAND THEORY OF SOLIDS)



ধরি, Si অথবা Ge কেলাসে N সংখ্যক পরমাণু আছে। প্রতিটি পরমাণুর ইলেকট্রনগুলোর বিভিন্ন কক্ষপথে বিচ্ছিন্ন শক্তি রয়েছে। প্রতিটি ইলেকট্রনের শক্তি সমান হবে যদি প্রতিটি পরমাণু নিঃসঙ্গ (isolated) থাকে, অর্থাৎ পরস্পর থেকে অধিক দূরত্বে থাকে। কিন্তু একটি কেলাসে পরমাণুগুলো পরস্পরের খুবই কাছাকাছি (2 থেকে 3 \AA) থাকে, ফলে ইলেকট্রনগুলো পরস্পরের সঙ্গে এবং পারিপার্শ্বিক পরমাণুগুলোর কেন্দ্রকের সঙ্গে পারস্পরিক ক্রিয়ারত থাকে। এই সমাপন (বা পারস্পরিক ক্রিয়া) সর্ববহিঃস্থ কক্ষের ইলেকট্রন সমূহ দ্বারা অধিকতর অনুভূত হয়। পক্ষান্তরে অভ্যন্তরীণ কক্ষে থাকা ইলেকট্রনসমূহের শক্তি

প্রভাবিত নাও হতে পারে। সুতরাং Si অথবা Ge কেলাসের ইলেকট্রনসমূহের শক্তি বোঝার জন্য শুধুমাত্র সর্ববহিঃস্থ কক্ষের ইলেকট্রনের শক্তির পরিবর্তনকে বিবেচনায় আনতে হবে। Si-এর জন্য সর্ববহিঃস্থ কক্ষটি হল তৃতীয় কক্ষ ($n = 3$), পক্ষান্তরে Ge-এর জন্য এটি হল চতুর্থ কক্ষ ($n = 4$)। সর্ববহিঃস্থ কক্ষে ইলেকট্রনের সংখ্যা হল 4 ($2s$ এবং $2p$ ইলেকট্রন সমূহ)। কাজেই কেলাসের সর্ববহিঃস্থ ইলেকট্রনের মোট সংখ্যা $4N$ । কক্ষটিতে সর্বাধিক সম্ভাব্য বহিঃস্থ ইলেকট্রন সংখ্যা 8 ($2s + 6p$ ইলেকট্রন)। ফলে, $4N$ ইলেকট্রনের মধ্যে $2N$ ইলেকট্রন রয়েছে $2N$ s -স্তরে (কক্ষীয় কোয়ান্টাম সংখ্যা $l = 0$) এবং $2N$ ইলেকট্রনসমূহ রয়েছে $6N$ p -স্তরে। স্পষ্টতই কিছু p -ইলেকট্রন স্তর ফাঁকা থাকে, ঠিক যেমনটি চিত্রের সবচেয়ে ডানদিকে দেখানো হয়েছে। এইরূপ ঘটনা যথেষ্ট পৃথকীকৃত বা বিচ্ছিন্ন পরমাণুদের ক্ষেত্রেই ঘটে (চিত্রের A অঞ্চল)।

ধরা যাক, এই পরমাণুগুলো কঠিন পদার্থ তৈরির উদ্দেশ্যে পরস্পরের কাছাকাছি আসতে শুরু করে। বিভিন্ন পরমাণুর ইলেকট্রনগুলোর মধ্যে পারস্পরিক ক্রিয়ার ফলে সর্ববহিঃস্থ কক্ষের এই ইলেকট্রন সমূহের শক্তি পরিবর্তিত (বৃদ্ধি বা হ্রাস) হতে পারে। $l = 1$ এর জন্য $6N$ স্তরগুলো যাদের শক্তি বিচ্ছিন্ন বা পৃথকীকৃত পরমাণুসমূহের জন্য সর্বতোভাবে একই রকম হয়, এরা ছড়িয়ে পড়ে এবং শক্তিপটি তৈরি করে (চিত্রের B অঞ্চল)। একইভাবে $l = 0$ -এর জন্য $2N$ স্তর যাদের পৃথকীকৃত পরমাণুতে সর্বতোভাবে একইরকম শক্তি রয়েছে। এরা প্রথম পটি থেকে নির্দিষ্ট শক্তির ব্যবধানে বিচ্ছিন্ন হয়ে দ্বিতীয় আরেকটি পটি গঠন করে (চিত্রের B অঞ্চলটিকে মনোযোগ সহকারে লক্ষ্য করো)।

যাই হোক, আরো কম ব্যবধানে একটি অঞ্চল আসে, যেখানে পটিগুলো একে অপরের সঙ্গে মিশে যায়। উচ্চতর পারমাণবিক স্তর থেকে বিচ্ছিন্ন হওয়া নিম্নতম শক্তিস্তরটিকে, নিম্নতর পারমাণবিক স্তর থেকে বিচ্ছিন্ন হওয়া উচ্চতম শক্তি স্তরটির নীচে নেমে আসে বলে মনে হয়। এই অঞ্চলে (চিত্রের C অঞ্চলে) যেখানে উচ্চতর এবং নিম্নতর শক্তিস্তর পরস্পর মিশে যায়। সেখানে কোনো শক্তির ব্যবধান থাকে না।

অবশেষে যদি পরমাণুগুলোর মধ্যবর্তী দূরত্ব আরো কমে যায়, তাহলে শক্তিপটিগুলো আবারও বিভাজিত হয় এবং এরা শক্তি ব্যবধান E_g দ্বারা পৃথকীকৃত থাকে (চিত্রে D অঞ্চল)। $8N$ সংখ্যক সম্ভাব্য শক্তিস্তরগুলো দুটি ভিন্ন পটিতে পুনর্বিন্যস্ত হয় (নিম্নতর এবং উচ্চতর শক্তি পটির প্রতিটিতে $4N$ সংখ্যক স্তর থাকে)। এখানে তাৎপর্যপূর্ণ বিষয়টি হল পরমাণুগুলো ($4N$) থেকে যতসংখ্যক যোজ্যতা ইলেকট্রন পাওয়া সম্ভব নিম্নশক্তি পটিটিতে ঠিক তত সংখ্যক ($4N$) শক্তিস্তর থাকে।

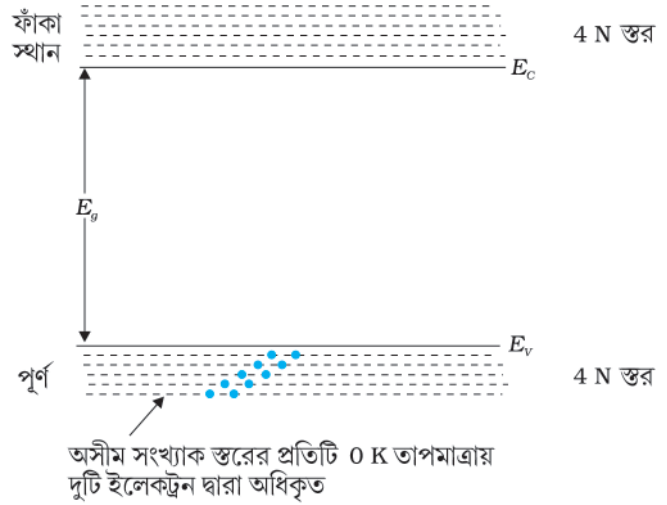
অতএব, এটি পটি (যাকে যোজ্যতা পটি বলা হয়) সম্পূর্ণভাবে পরিপূর্ণ থাকে। যেখানে উচ্চতর পটিটি সম্পূর্ণ ফাঁকা থাকে। উচ্চতর পটিটিকে পরিবহন পটি (conduction band) বলা হয়।

অর্ধপরিবাহী ইলেকট্রনিক্স : উপাদান পদার্থ, যন্ত্রাদি এবং সরল বর্তনীসমূহ

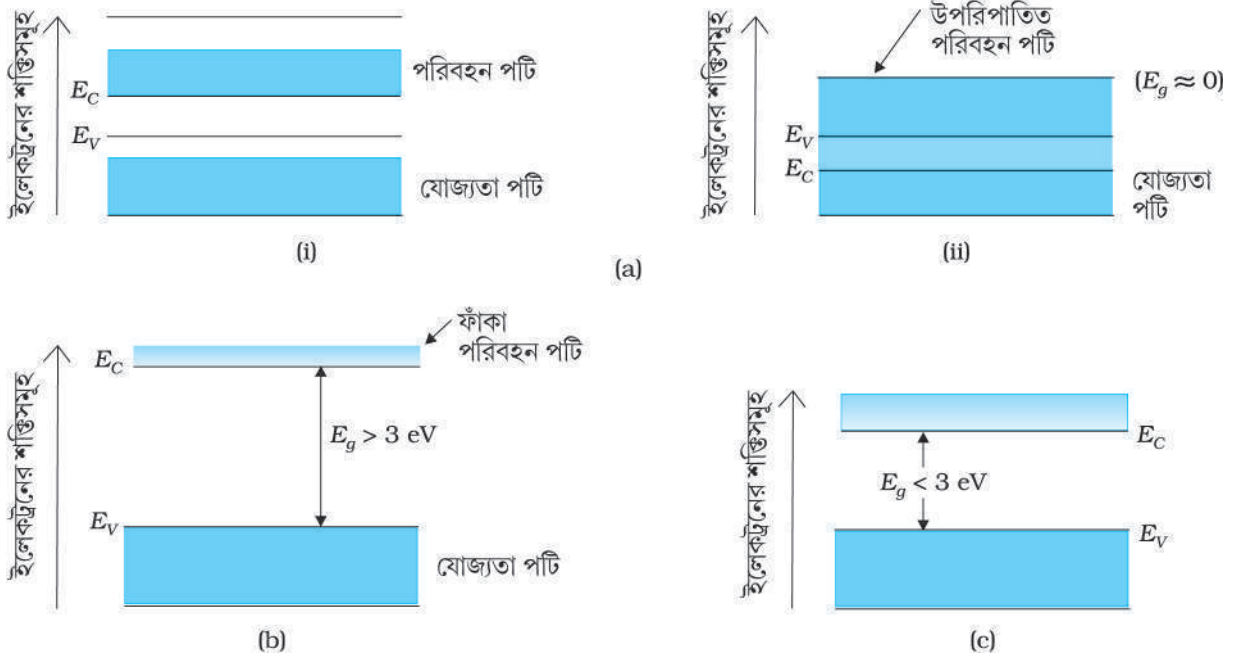
পরিবহন পটির নিম্নতম শক্তিস্তরকে E_C রূপে দেখানো হয়েছে এবং যোজ্যতা পটির উচ্চতম শক্তিস্তরকে E_V রূপে দেখানো হয়েছে। E_C -এর উপরে এবং E_V -এর নিচে বহু সংখ্যক ঘন সন্নিবিষ্ট শক্তিস্তর রয়েছে, ঠিক যেমনটি 14.1 চিত্রে দেখানো হয়েছে।

যোজ্যতা পটির উপরিস্তর থেকে পরিবহন পটির নিম্নস্তরের মধ্যে যে ব্যবধান থাকে তাকে শক্তিপটি ব্যবধান (শক্তি পার্থক্য E_g) বলা হয়। পদার্থের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে এটি বৃহৎ, ক্ষুদ্র বা শূন্যমানের হতে পারে। 14.2 চিত্রে এই বিভিন্ন অবস্থাগুলো চিত্রিত হয়েছে এবং নিচে এই বিষয়ে আলোচনা করা হল :

ক্ষেত্র I: এটি 14.2(a) চিত্রে প্রদর্শিত অবস্থাকে নির্দেশ করে। কোনো একটি ধাতুর ক্ষেত্রে পরিবহন পটি আংশিকভাবে পূর্ণ এবং যোজ্যতা পটি আংশিক ফাঁকা থাকতে পারে অথবা পরিবহন পটি এবং যোজ্যতা পটি পরস্পর উপরিপাতিত হয়। যখন এইরূপ উপরিপাতন ঘটে তখন ইলেকট্রন সমূহ সহজেই যোজ্যতা পটি থেকে পরিবহন পটিতে চলে যেতে পারে। এই অবস্থায় পরিবহন পটিতে তড়িৎ পরিবহনের জন্য প্রচুর সংখ্যক ইলেকট্রন পাওয়া যায়। যখন যোজ্যতা পটি আংশিক ফাঁকা থাকে, ইলেকট্রনগুলো নিম্নতর স্তর থেকে উচ্চতর স্তরে উন্নীত হয়ে পরিবহন সম্ভবপর করে তোলে। ফলে এধরনের পদার্থের রোধ কম এবং পরিবাহিতা বেশি হয়।



চিত্র 14.1 0 K তাপমাত্রায় একটি অর্ধপরিবাহীতে শক্তিপটির অবস্থান। উচ্চতর পটি যা পরিবহন পটি নামে পরিচিত। অসীম সংখ্যক ঘন সন্নিবিষ্ট শক্তিস্তর নিয়ে গঠিত হয়। নিম্নতর পটি, যা যোজ্যতা পটি নামে পরিচিত। ঘন সন্নিবিষ্ট সম্পূর্ণভাবে পরিপূর্ণ শক্তিস্তর নিয়ে গঠিত।



চিত্র 14.2 (a) ধাতু, (b) অন্তরক এবং (c) অর্ধপরিবাহীর ক্ষেত্রে — শক্তি পটিগুলোর পার্থক্য।

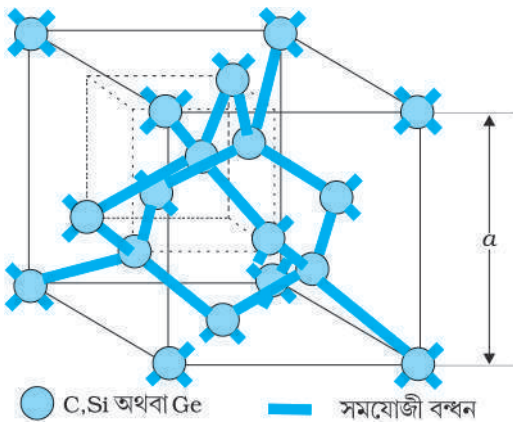
ক্ষেত্র II: এরূপক্ষেত্রে শূন্য পরিবহন পটি ও যোজ্যতা পটির মধ্যে, 14.2(b) চিত্রের ন্যায় একটি বিরাট শক্তি পটি ব্যবধান ($E_g > 3 \text{ eV}$) থাকে। পরিবহন পটিতে কোনো ইলেকট্রন না থাকায় কোনোরূপ তাড়িতিক পরিবহন সম্ভব হয় না। লক্ষ করো, এই ‘শক্তি ব্যবধানটি’ এতই বড়ো হয় যে, তাপীয় উত্তেজনা দ্বারা ইলেকট্রন সমূহকে যোজ্যতা পটি থেকে পরিবহন পটিতে উন্নীত করা যায় না। অন্তরক পদার্থের ক্ষেত্রে এমনটা ঘটে।

ক্ষেত্র III: 14.2(c) চিত্রে এই অবস্থাটি দেখানো হয়েছে। এখানে সসীম কিন্তু ক্ষুদ্র পটি ব্যবধান ($E_g < 3 \text{ eV}$) রয়েছে। ক্ষুদ্র পটি ব্যবধানের দ্বারা ঘরের তাপমাত্রাতেই যোজ্যতা পটিতে থাকা কিছু ইলেকট্রন পর্যাপ্ত শক্তি অর্জন করে এবং এই ক্ষুদ্র শক্তি ব্যবধানটি অতিক্রম করে পরিবহন পটিতে উন্নীত হয়, যারা অর্ধপরিবাহীতে পরিবহন সম্ভবপর করে তোলে। এই ইলেকট্রনগুলো (যদিও সংখ্যায় স্বল্প) পরিবহন পটিতে চলাচল করতে পারে। তাই অর্ধপরিবাহীর রোধ, অন্তরকের রোধের মতো উচ্চমানের হয় না।

এই অনুচ্ছেদে আমরা ধাতু পরিবাহী এবং অর্ধপরিবাহী সমূহের মধ্যে সাধারণ শ্রেণি বিভাজন করেছি। পরবর্তী অনুচ্ছেদে আমরা অর্ধপরিবাহীতে পরিবহন সম্পর্কে জানবো।

14.3 বিশুদ্ধ বা স্বকীয় অর্ধপরিবাহী (INTRINSIC SEMICONDUCTOR)

আমরা সবচেয়ে সাধারণ উদাহরণ হিসেবে Ge এবং Si কে নিয়ে আলোচনা করবো, যাদের জাফরি বিন্যাস (lattice structure) 14.3 চিত্রে দেখানো হয়েছে। এই গঠন বিন্যাসটিকে হীরক সদৃশ বিন্যাস বলে। প্রতিটি পরমাণু নিকটতম চারটি প্রতিবেশী পরমাণু দ্বারা পরিবেষ্টিত থাকে। আমরা জানি যে, Si এবং Ge-এর চারটি করে যোজ্যতা ইলেকট্রন রয়েছে। এইরূপ কেলাসাকার গঠন বিন্যাসে প্রতিটি Si অথবা Ge পরমাণুতে থাকা চারটি যোজ্যতা ইলেকট্রনের একটি, পার্শ্ববর্তী নিকটতম 4টি পরমাণুর এক-একটির সাথে সমভাবে ভাগ করে নেওয়ার প্রবণতা দেখায় এবং পার্শ্ববর্তী এমন প্রতিটি পরমাণু থেকে একটি করে যোজ্যতা ইলেকট্রনের ভাগ নেওয়ারও প্রবণতা দেখায়। এই অংশীদারী ইলেকট্রন যুগল সমযোজী বন্ধন (covalent bond) বা আরো সরলভাবে যোজ্যতা বন্ধন (valence bond) গঠন করেছে বলা হয়। বন্ধনে অংশগ্রহণকারী এই ইলেকট্রন দুটি সংশ্লিষ্ট পরমাণুগুলোর মধ্যে সামনে পেছনে যাতায়াতের মাধ্যমে সংশ্লিষ্ট পরমাণু দুটিকে দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ রাখে। 14.3 চিত্রে প্রদর্শিত Si এবং Ge-এর গঠন বিন্যাসকে সমযোজী বন্ধনের উপর অতিরিক্ত গুরুত্ব আরোপ করে 14.4 চিত্রে দ্বিমাত্রিকরূপে দেখানো হয়েছে। এটি একটি আদর্শায়িত চিত্র প্রদর্শন করে যাতে কোনো বন্ধনই ভেঙে যায় না (সকল বন্ধনই অটুট



চিত্র 14.3 যথাক্রমে 3.56, 5.43 এবং 5.66 Å মানের a ব্যবধান যুক্ত কার্বন, সিলিকন অথবা জার্মেনিয়ামের ত্রিমাত্রিক হীরক সদৃশ কেলাস গঠন বিন্যাস।

থাকে)। নিম্ন তাপমাত্রায় এমন অবস্থার সৃষ্টি হয়। তাপমাত্রা বাড়লে এই ইলেকট্রনগুলোর তাপীয় শক্তি বৃদ্ধি পায় এবং এদের মধ্যে কিছু ইলেকট্রন বিচ্ছিন্ন হয়ে যায় (তাই মুক্ত ইলেকট্রনসমূহ পরিবহনে অংশগ্রহণ করে)। তাপীয় উদ্দীপনা কেলাসাকার জাফরির কয়েকটি মাত্র পরমাণুকে কার্যকরীভাবে আয়নিত করে এবং বন্ধনটিতে একটি শূন্যস্থান (vacancy) সৃষ্টি করে যেমনটা 14.5(a) চিত্রে দেখানো হয়েছে। পার্শ্ববর্তী অঞ্চল, যেখান থেকে মুক্ত ইলেকট্রনটি ($-q$ আধান নিয়ে) বেরিয়ে আসে সেখানে ($+q$) কার্যকরী আধানযুক্ত একটি শূন্যস্থান (vacancy) সৃষ্টি করে। এই কার্যকরী ধনাত্মক তাড়িতিক আধানযুক্ত আপাত মুক্ত কণা (apparent free particle) হিসেবে আচরণ করে।

বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীতে মুক্ত ইলেকট্রনের সংখ্যা n_e , গর্ত সংখ্যা n_h -এর সমান হয়। অর্থাৎ

$$n_e = n_h = n_i \quad (14.1)$$

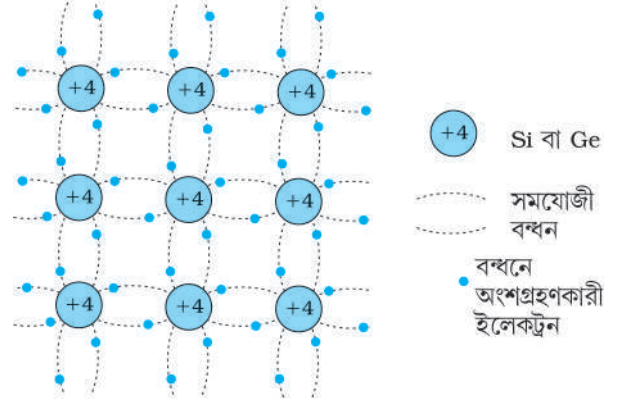
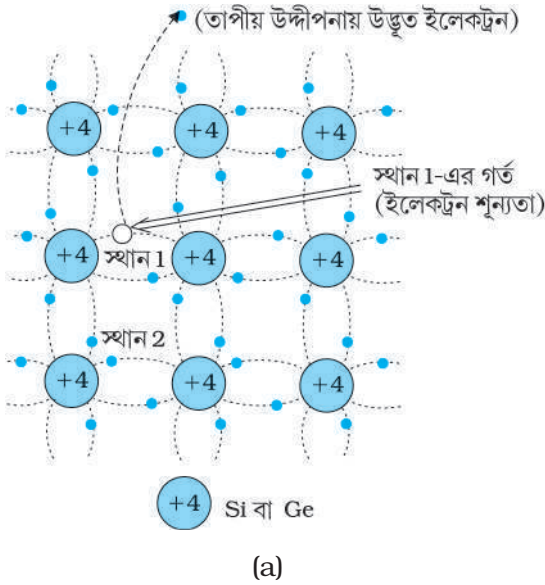
যেখানে n_i কে স্বকীয় বাহক ঘনত্ব (intrinsic carrier concentration) বলা হয়।

অর্ধপরিবাহী ইলেকট্রনিক্স : উপাদান পদার্থ, যন্ত্রাদি এবং সরল বর্তনীসমূহ

অর্ধপরিবাহী একটি স্বতন্ত্র বৈশিষ্ট্য বহন করে যেখানে ইলেকট্রনের সাথে সাথে গর্তগুলোও গতিশীল হয়। ধরো 14.5(a) চিত্রে প্রদর্শিত 1 স্থানে একটি গর্ত রয়েছে। 14.5 চিত্রের ন্যায় এই গর্তসমূহেরও গতি দেখা যেতে পারে। সমযোজী বন্ধনের স্থান 2 থেকে একটি ইলেকট্রন শূন্যস্থান 1 (গর্ত) -এ লাফিয়ে পড়তে পারে। এভাবে এরূপ একটি লাফের পর এখন স্থান 2 একটি গর্ত এবং স্থান 1-এ একটি ইলেকট্রন থাকে। সুতরাং আপাতভাবে গর্তটি স্থান 1 থেকে স্থান 2-এ চলে যায়। লক্ষ করো, প্রকৃতপক্ষে মুক্ত ইলেকট্রনটি [14.5 (a) চিত্র] গর্তের এই গতি প্রক্রিয়ার সাথে জড়িত থাকে না। মুক্ত ইলেকট্রনটি সম্পূর্ণ স্বাধীনভাবে পরিবহন ইলেকট্রনরূপে গতিশীল হয়ে প্রযুক্ত তড়িৎক্ষেত্রের প্রভাবে ইলেকট্রন প্রবাহমাত্রা I_e সৃষ্টি করে। মনে রেখো, যখনই কেলাসে কোথাও অপূর্ণ বন্ধন সৃষ্টি হয় তখন আবদ্ধ ইলেকট্রনসমূহের প্রকৃত গতি বর্ণনার একমাত্র সুবিধাজনক উপায় হল গর্তের গতিকে বিবেচনা করা। প্রযুক্ত তড়িৎক্ষেত্রের অধীনে এই গর্তগুলো ঋণাত্মক বিভবের দিকে অগ্রসর হয়ে I_h গর্ত প্রবাহের সৃষ্টি করে। এভাবে, মোট প্রবাহমাত্রা হল ইলেকট্রন প্রবাহমাত্রা I_e এবং গর্ত প্রবাহমাত্রা I_h -এর সমষ্টির সমান :

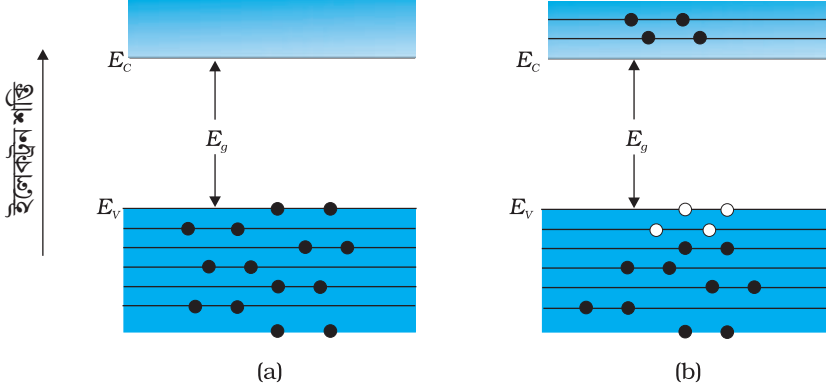
$$I = I_e + I_h \quad (14.2)$$

লক্ষ করা যেতে পারে যে, পরিবহন ইলেকট্রন ও গর্তের উদ্ভব প্রক্রিয়ার সাথে সাথে একটি যুগপৎ (simultaneous) পুনঃসংযোজন প্রক্রিয়াও ঘটে, যেখানে ইলেকট্রনসমূহ গর্তসমূহের সাথে পুনঃসংযোজিত হয়। সামান্যবস্থায় এই উদ্ভবের হার আধান বাহকসমূহের পুনঃসংযোজন হারের সমান হয়। একটি ইলেকট্রনের সঙ্গে একটি গর্তের সংঘর্ষের ফলে এরূপ পুনঃসংযোজন ঘটে।



চিত্র 14.4 Si অথবা Ge-এর সুপরিষ্কৃত দ্বিমাত্রিক গঠন বিন্যাস যা নিম্ন তাপমাত্রায় সমযোজী বন্ধন দর্শায় (সকল বন্ধন অটুট) +4 চিহ্নটি Si অথবা Ge-এর অন্তঃস্থল (inner core) নির্দেশ করে।

চিত্র 14.5 (a) স্থান 1-এ গর্ত এবং সাধারণ তাপমাত্রায় তাপীয় শক্তির কারণে পরিবহন ইলেকট্রন উদ্ভবের রূপরেখাচিত্র। (b) গর্তের সম্ভাব্য তাপীয় গতির সরলীকৃত উপস্থাপনা। নীচের বামদিকের সমযোজী বন্ধন (স্থান 2) থেকে ইলেকট্রন, গর্তের পূর্ববর্তী স্থান 1-এ চলে যায় এবং নিজের স্থানে একটি গর্ত সৃষ্টি করে যা স্থান 1 থেকে স্থান 2-এ গর্তটির আপাতগতি নির্দেশ করে।



চিত্র 14.6 (a) $T = 0$ K তাপমাত্রায় একটি বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহী অন্তরক হিসেবে আচরণ করে। (b) $T > 0$ K তাপমাত্রায় চারটি তাপীয়ভাবে সৃষ্ট ইলেকট্রন গর্ত জোড়। ভরাট বৃত্তগুলো (•) ইলেকট্রনসমূহকে এবং ফাঁকা বৃত্তগুলো (○) গর্তসমূহকে সূচিত করে।

$T = 0$ K তাপমাত্রায় একটি বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহী একটি অন্তরকের মতো আচরণ করে, যেমনটি 14.6(a) চিত্রে দেখানো হয়েছে। এটি হল উচ্চ তাপমাত্রায় ($T > 0$ K) তাপশক্তি, যা কিছু সংখ্যক ইলেকট্রনকে উদ্দীপিত করে যোজ্যতা পটি থেকে পরিবহন পটিতে উন্নীত করে। $T > 0$ K তাপমাত্রায় তাপীয়ভাবে উদ্দীপিত ইলেকট্রনগুলো আংশিকভাবে পরিবহন পটি দখল করে নেয়। সুতরাং, বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীর শক্তি পটি চিত্র 14.6(b) চিত্রের মতো হবে। এখানে পরিবহন পটিতে কিছু সংখ্যক ইলেকট্রনকে দেখানো হয়েছে। এগুলো যোজ্যতা পটিতে সমান সংখ্যক গর্ত সৃষ্টি করে পরিবহন পটিতে এসেছে।

উদাহরণ 14.1 C, Si এবং Ge-এর একই রকম জাফরি গঠন বিন্যাস রয়েছে। তথাপি Si এবং Ge অর্ধপরিবাহী হওয়া সত্ত্বেও C অন্তরক। কেন?
সমাধান C, Si অথবা Ge-এর বন্ধনে অংশ গ্রহণকারী 4টি ইলেকট্রন যথাক্রমে দ্বিতীয়, তৃতীয় এবং চতুর্থ কক্ষে রয়েছে। ফলে এই পরমাণুগুলো থেকে একটি ইলেকট্রন বের করে আনতে প্রয়োজনীয় শক্তি (অর্থাৎ আয়নয়ন শক্তি E_g) Ge-এর ক্ষেত্রে ন্যূনতম হয়, Si-এর ক্ষেত্রে এর চেয়ে বেশি এবং C-এর ক্ষেত্রে এর মান সর্বাধিক হয়। ফলে Ge এবং Si -এ পরিবহনের জন্য মুক্ত ইলেকট্রনের সংখ্যা উল্লেখযোগ্য হলেও C-এর ক্ষেত্রে তা নগণ্য হয়।

14.4 অবিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহী (EXTRINSIC SEMICONDUCTOR)

বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীর পরিবাহিতা এর তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে, কিন্তু ঘরের তাপমাত্রায় এদের পরিবাহিতা খুবই কম। এই কারণে এরূপ অর্ধপরিবাহী ব্যবহার করে কোনো গুরুত্বপূর্ণ বৈদ্যুতিন যন্ত্রাদি তৈরি করা যায় না। ফলে এদের পরিবাহিতার বৃদ্ধি ঘটানো প্রয়োজন। অপদ্রব্য ব্যবহার করে এটি করা হয়।

বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীতে খুবই ক্ষুদ্র পরিমাণে, ধরো প্রতি মিলিয়নে কিছু অংশ (ppm) উপযুক্ত অপদ্রব্য (impurities) যোগ করা হলে অর্ধপরিবাহীর পরিবাহিতা বহুগুণ বেড়ে যায়। এই পদার্থগুলোকে অপদ্রব্য অর্ধপরিবাহী বা অবিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহী বলা হয়। নিয়ন্ত্রিত মাত্রায় উপযুক্ত অপদ্রব্য মেশানোকে ‘ডোপিং’ বলা হয় এবং এই অবিশুদ্ধ পরমাণুগুলোকে ‘ডোপ্যান্ট’ (dopant) বলা হয়। এই ধরনের পদার্থগুলোকে ডোপড অর্ধপরিবাহীও (doped semiconductor) বলা হয়। ডোপ্যান্ট এমন হতে হবে যেন এটি প্রকৃত বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহী জাফরিকে বিকৃত না করে। এটি কেলাসে প্রকৃত অর্ধপরিবাহী পরমাণুর মাত্র কয়েকটির স্থানই দখল করে। এই অবস্থাটি লাভ করার আবশ্যিকীয় শর্ত হল ডোপ্যান্ট এবং অর্ধপরিবাহী পরমাণুর আকার প্রায় সমান হতে হবে।

চতুর্থোজী Si অথবা Ge কে ডোপিং করতে দুই ধরনের ডোপ্যান্ট রয়েছে :

- পঞ্চমোজী (যোজ্যতা 5); যেমন আর্সেনিক (As), অ্যান্টিমনি (Sb), ফসফরাস (P) ইত্যাদি।
- ত্রয়োজী (যোজ্যতা 3); যেমন ইন্ডিয়াম (In), বোরন (B), অ্যালুমিনিয়াম (Al) ইত্যাদি।

অর্ধপরিবাহী ইলেকট্রনিক্স : উপাদান পদার্থ, যন্ত্রাদি এবং সরল বর্তনীসমূহ

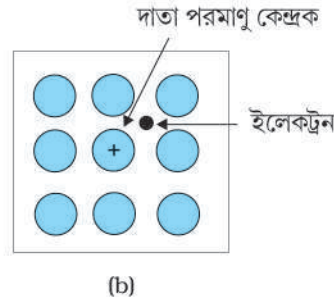
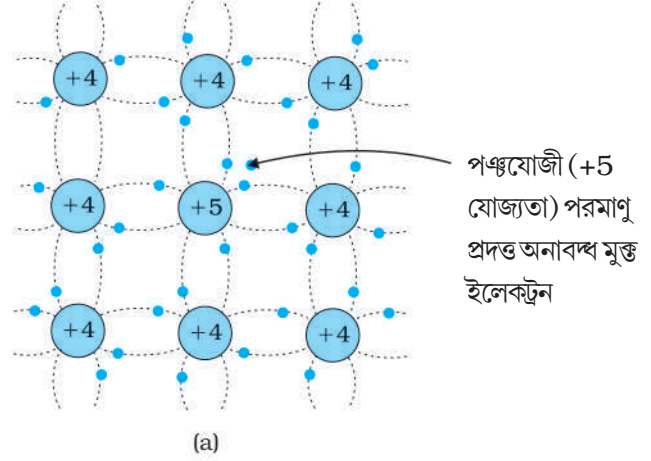
আমরা এখন ডোপিং কীভাবে অর্ধপরিবাহীর আধান বাহকের সংখ্যায় (এবং ফলস্বরূপ পরিবাহিতায়) পরিবর্তন আনে তা নিয়ে আলোচনা করবো। Si অথবা Ge পর্যায় সারণির চতুর্থ শ্রেণিতে অবস্থিত, কাজেই আমরা নিকটবর্তী তৃতীয় বা পঞ্চম শ্রেণি থেকে ডোপ্যান্ট মৌল বাছাইয়ের সময় সতর্কতার সঙ্গে লক্ষ রাখবো যেন ডোপ্যান্ট পরমাণুর আকার Si বা Ge পরমাণুর আকারের প্রায় সমান হয়। মজার বিষয় হল Si এবং Ge-এ পঞ্চযোজী এবং ত্রিযোজী ডোপ্যান্ট সম্পূর্ণরূপে ভিন্ন দুই ধরনের অর্ধপরিবাহী গঠন করে যার সম্পর্কে নীচে আলোচনা করা হয়েছে।

(i) n-টাইপ অর্ধপরিবাহী

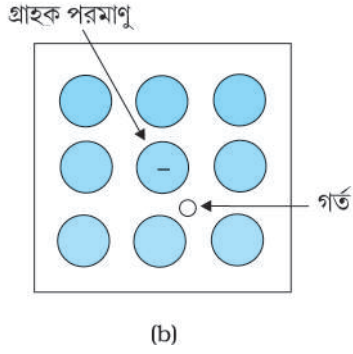
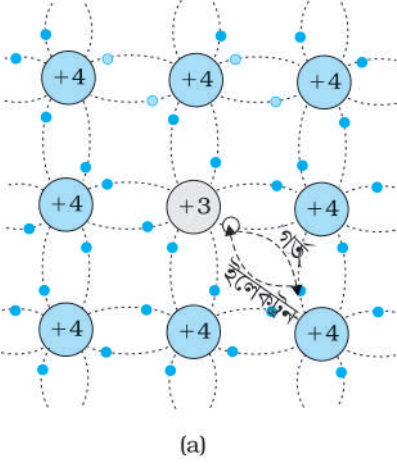
ধরো, Si বা Ge কে একটি পঞ্চযোজী মৌল দিয়ে ডোপ করা হল যেমনটি 14.7 চিত্রে দেখানো হয়েছে। যখন একটি +5 যোজ্যতা বিশিষ্ট মৌলের একটি পরমাণু Si-এর কেলাস জাফরিতে একটি পরমাণুর স্থান দখল করে তখন এর চারটি ইলেকট্রন পার্শ্ববর্তী চারটি Si-এর সঙ্গে বন্ধন গঠন করে। অন্যদিকে পঞ্চম ইলেকট্রনটি মূল পরমাণুটির (parent atom) সঙ্গে খুবই দুর্বলভাবে আবদ্ধ থেকে যায়। এরূপ হওয়ার কারণ হল পঞ্চম ইলেকট্রনটির সাপেক্ষে বন্ধনে অংশগ্রহণকারী চারটি ইলেকট্রনকে পরমাণুটির কার্যকরী মূল গঠনের (core) অংশ হিসেবে মনে হয়। এর ফলে এই ইলেকট্রনটিকে মুক্ত করার জন্য প্রয়োজনীয় আয়নয়ণ শক্তি খুবই কম হয়, এমনকি ঘরের তাপমাত্রাতেও এটি অর্ধপরিবাহী জাফরিতে মুক্তভাবে চলাচল করতে পারবে। উদাহরণস্বরূপ, জার্মেনিয়াম এবং সিলিকন পরমাণু থেকে একটি ইলেকট্রনকে পৃথক করতে প্রয়োজনীয় শক্তির পরিমাণ যথাক্রমে ~ 0.01 eV এবং 0.05 eV। এর তুলনায়, কোনো স্বকীয় অর্ধপরিবাহীর ক্ষেত্রে ঘরের তাপমাত্রায় কোনো ইলেকট্রনকে নিষিদ্ধ অঞ্চল অতিক্রম করার জন্য Ge এবং Si-এর ক্ষেত্রে যথাক্রমে প্রায় 0.72 eV এবং 1.1 eV শক্তির প্রয়োজন। অর্থাৎ, পঞ্চযোজী ডোপ্যান্ট পরিবহনের জন্য একটি অতিরিক্ত ইলেকট্রন দান করে এবং তাই একে দাতা অপদ্রব্য (*donor impurity*) বলা হয়। ডোপ্যান্ট পরমাণু দ্বারা পরিবহনের জন্য প্রাপ্ত ইলেকট্রনের সংখ্যা ডোপিংয়ের মাত্রার (*doping level*) উপর প্রবলভাবে নির্ভর করে কিন্তু পারিপার্শ্বিক তাপমাত্রার কোনোরূপ পরিবর্তনের উপর নির্ভরশীল নয়। অন্যদিকে, Si পরমাণু দ্বারা সৃষ্ট মুক্ত ইলেকট্রনের সংখ্যা (সমসংখ্যক গর্ত সহযোগে) তাপমাত্রার সঙ্গে ক্ষীণভাবে বৃদ্ধি পায়।

একটি অবিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীতে (*doped semiconductor*) পরিবহন ইলেকট্রনের মোট সংখ্যা n_e দাতা পরমাণুদের দ্বারা প্রদত্ত ইলেকট্রন এবং স্বকীয়ভাবে সৃষ্ট ইলেকট্রনের উপর নির্ভরশীল, কিন্তু গর্তদের মোট সংখ্যা n_h শুধুমাত্র স্বকীয়ভাবে সৃষ্ট গর্তের উপর নির্ভরশীল। কিন্তু ইলেকট্রনের সংখ্যা বৃদ্ধির জন্য গর্তগুলোর পুনঃসংযোজনের হার বৃদ্ধি পায়। এর ফলস্বরূপ গর্তগুলোর সংখ্যা আরো কমে যায়।

এভাবে সঠিকমাত্রায় ডোপিংয়ের সাহায্যে পরিবহন ইলেকট্রন সমূহের সংখ্যা গর্তসমূহের চেয়ে অনেক বেশি বাড়ানো যায়। ফলে, পঞ্চযোজী অপদ্রব্য মিশ্রিত একটি অবিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীতে ইলেকট্রনগুলো মুখ্য



চিত্র 14.7 (a) চতুর্থোজী Si বা Ge পরমাণুতে পঞ্চযোজী দাতা পরমাণুর (As, Sb, P ইত্যাদি) ডোপিং-এ গঠিত n-type অর্ধপরিবাহী, এবং (b) সাধারণভাবে ব্যবহৃত n-টাইপ পদার্থের সুপারিকল্পিত উপস্থাপনা, যা একটি অতিরিক্ত কার্যকরী ধনাত্মক আধান এবং এর সংশ্লিষ্ট অতিরিক্ত ইলেকট্রন সহ প্রতিস্থাপক দাতা পরমাণু সমূহের স্থির কেন্দ্রক বা কোর দর্শায়।



চিত্র 14.8 (a) চতুর্থোজী Si বা Ge জাফরিতে ত্রিযোজী গ্রাহক পরমাণুর (In, Al, B ইত্যাদি) ডোপিংয়ে উৎপন্ন p-টাইপ অর্ধপরিবাহী। (b) সাধারণভাবে ব্যবহৃত p-টাইপ পদার্থের রূপরেখাচিত্র যা একটি অতিরিক্ত ঋণাত্মক আধান এবং এর সংশ্লিষ্ট গর্তসহ প্রতিস্থাপক গ্রাহক সমূহের স্থির কেন্দ্র বা কোরকে বোঝায়।

বাহক এবং গর্তগুলো গৌণ বাহকে পরিণত হয়। এজন্য এই অর্ধপরিবাহীগুলোকে n-টাইপ অর্ধপরিবাহী বলা হয়। n-টাইপ অর্ধপরিবাহীর ক্ষেত্রে,

$$n_e \gg n_h \quad (14.3)$$

(ii) p-টাইপ অর্ধপরিবাহী

Si অথবা Ge-এর সঙ্গে Al, B, In, -এর মতো একটি ত্রিযোজী অবিশুদ্ধি মিশিয়ে এধরনের অর্ধপরিবাহী পাওয়া যায়। ডোপ্যান্ট পরমাণুটিতে Si বা Ge পরমাণুর চেয়ে একটি যোজ্যতা ইলেকট্রন কম থাকে, ফলে এই পরমাণুটি পার্শ্ববর্তী তিনটি Si পরমাণুর সঙ্গে সমযোজী বন্ধন গঠন করতে পারে কিন্তু চতুর্থ Si পরমাণুটির সঙ্গে বন্ধন গঠন করার মতো কোনো ইলেকট্রনের কাছে থাকে না। এর ফলে 14.8 চিত্রে দেখানো রূপরেখা চিত্রের মতো পার্শ্ববর্তী চতুর্থ পরমাণুটি এবং ত্রিযোজী পরমাণুটির মধ্যবর্তী বন্ধনে একটি শূন্যস্থান বা গর্ত দেখা যায়। যেহেতু জাফরিতে পার্শ্ববর্তী Si পরমাণুটির গর্তের পরিবর্তে একটি ইলেকট্রনের প্রয়োজন হয়, তাই পার্শ্ববর্তী একটি পরমাণুর বহিঃস্থ কক্ষের একটি ইলেকট্রন এই শূন্যস্থান পূরণে এগিয়ে আসে এবং নিজের পূর্বস্থানে একটি শূন্যস্থান বা গর্তের সৃষ্টি করে। এভাবে পরিবহনের জন্য একটি গর্ত পাওয়া যায়। লক্ষ করো, যখন বিজাতীয় পরমাণুটি এর চতুর্থ ইলেকট্রনটি পার্শ্ববর্তী Si পরমাণুর সঙ্গে ভাগ করে নেয় তখন বিজাতীয় ত্রিযোজী পরমাণুটি কার্যকরীভাবে ঋণাত্মক আধানগ্রস্ত হয়। সুতরাং, 14.8(b) চিত্রের ন্যায় p-টাইপ পদার্থের ডোপ্যান্ট পরমাণুটিকে এর সংশ্লিষ্ট গর্ত সহযোগে একটি ঋণাত্মক আধানগ্রস্ত কোর হিসেবে ধরে নেওয়া যেতে পারে। স্পষ্টতই একটি গ্রাহক পরমাণু একটি গর্ত সৃষ্টি করে। এই গর্তগুলো স্বকীয়ভাবে উৎপন্ন গর্তের অতিরিক্ত। কিন্তু পরিবহন ইলেকট্রনগুলো শুধুমাত্র স্বকীয়ভাবে উৎপন্ন হয়। কাজেই এসকল পদার্থের ক্ষেত্রে গর্তগুলো হচ্ছে মুখ্য বাহক এবং ইলেকট্রনগুলো গৌণ বাহক। এই কারণেই ত্রিযোজী অপদ্রব্য মিশ্রিত অবিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীগুলোকে p-টাইপ অর্ধপরিবাহী বলা হয়। পুনঃসংযোজন প্রক্রিয়া p-টাইপ অর্ধপরিবাহীতে স্বকীয়ভাবে সৃষ্ট ইলেকট্রনের সংখ্যা n_i কে হ্রাস করে n_e তে পরিণত করে। p-টাইপ অর্ধপরিবাহীর ক্ষেত্রে,

$$n_h \gg n_e \quad (14.4)$$

লক্ষ করো, কোলাসটি একটি সার্বিক তড়িৎ নিরপেক্ষতা বজায় রাখে কেননা অতিরিক্ত আধান বাহকগুলোর আধান, কোলাস জাফরির আয়নিত কোর বা পরমাণুগুলোর আধানের সমান এবং বিপরীত হয়।

অবিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীতে মুখ্য আধান বাহকগুলোর প্রাচুর্যের ফলে তাপীয়ভাবে উদ্ভূত গৌণবাহকগুলোর মুখ্য বাহকদের সঙ্গে মিলিত হওয়ার এবং বিনষ্ট হওয়ার অধিক সুযোগ রয়েছে। ফলে বহু সংখ্যক একই প্রকারের আধান বাহক (যারা মুখ্য বাহক হিসেবে কাজ করে) যোগ করে ডোপ্যান্ট পরমাণুগুলো পরোক্ষভাবে বিশুদ্ধ বা স্বকীয় গৌণ বাহক সমূহের ঘনত্ব হ্রাস করতে সাহায্য করে।

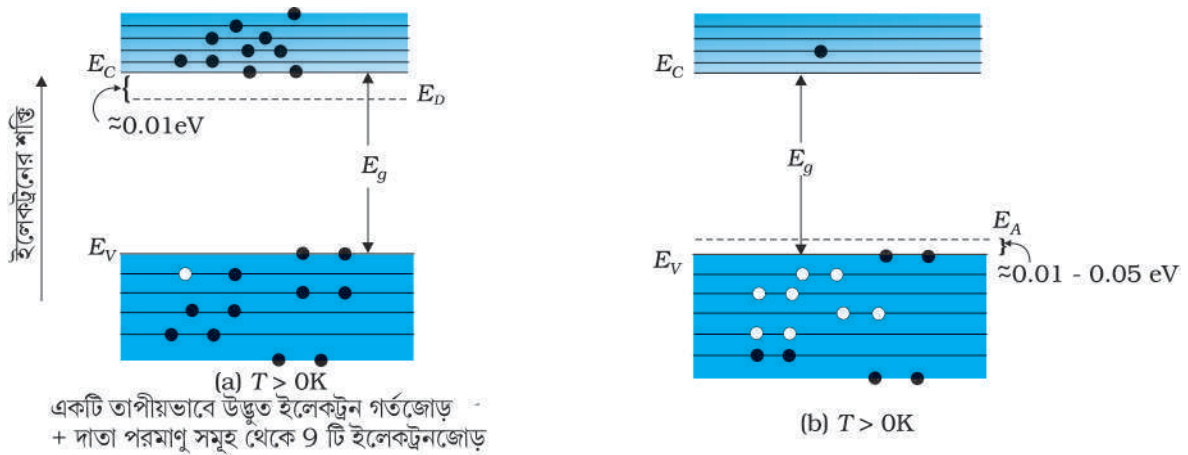
অর্ধপরিবাহীর শক্তি পটের গঠন ডোপিং এর দ্বারা প্রভাবিত হয়। দাতা অপদ্রব্য (E_D) এবং গ্রাহক অপদ্রব্যের (E_A) জন্য অবিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীতে অতিরিক্ত শক্তিস্তরের অস্তিত্ব থাকে। n-টাইপ Si অর্ধপরিবাহীর শক্তিপট চিত্রে, দাতা শক্তিস্তর E_D পরিবহন পট E_C -এর সামান্য নীচে থাকে এবং এই স্তরে অল্প শক্তির সরবরাহ হলেই ইলেকট্রনগুলো পরিবহন পটতে উন্নীত হয়। ঘরের তাপমাত্রায় বেশিরভাগ দাতা পরমাণুগুলোই আয়নিত হয়ে যায়। কিন্তু খুবই অল্প সংখ্যক ($\sim 10^{-12}$) Si পরমাণু আয়নিত হয়। ফলে পরিবহন পটতে থাকা বেশিরভাগ ইলেকট্রনই দাতা অপদ্রব্যগুলো থেকে আসে যেমনটি 14.9(a) চিত্রে দেখানো হয়েছে। একইভাবে, p-টাইপ অর্ধপরিবাহীতে গ্রাহক শক্তিস্তর E_A , যোজ্যতা পট E_V -এর সামান্য উপরে থাকে, যেমনটি 14.9(b) চিত্রে দেখানো হয়েছে। খুব অল্প পরিমাণে শক্তি সরবরাহিত

অর্ধপরিবাহী ইলেকট্রনিক্স : উপাদান পদার্থ, যন্ত্রাদি এবং সরল বর্তনীসমূহ

হলেই একটি যোজ্যতা কক্ষের ইলেকট্রন E_A স্তরে উন্নীত হতে পারে এবং গ্রাহক পরমাণুকে ঋণাত্মক আধানে আহিত করে। (বিকল্পভাবে বলা যায় খুব অল্প পরিমাণ শক্তি সরবরাহিত হলেই E_A স্তর থেকে গর্ত (hole) যোজ্যতা পটিতে নেমে আসে। বাহ্যিক শক্তি লাভ করে ইলেকট্রনগুলো উপরে উন্নীত হয় এবং গর্তগুলো নীচে নেমে যায়।) ঘরের তাপমাত্রায়, যোজ্যতা পটিতে গর্ত তৈরি করে অধিকাংশ গ্রাহক পরমাণু আয়নিত হয়। অতএব, ঘরের তাপমাত্রায় যোজ্যতা পটিতে গর্তের ঘনত্বের মূল কারণ হল অবিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীতে অপদ্রব্যের উপস্থিতি। তাপীয় সাম্যাবস্থায় একটি অর্ধপরিবাহীতে ইলেকট্রন এবং গর্তের ঘনত্ব নিম্নলিখিতভাবে প্রকাশ করা যায়।

$$n_e n_h = n_i^2 \quad (14.5)$$

যদিও উপরের আলোচনা মোটের উপর আনুমানিক এবং কল্পিত। এটি ধাতু, অন্তরক এবং অর্ধপরিবাহী সমূহের (বিশুদ্ধ এবং অবিশুদ্ধ) মধ্যে পার্থক্য সহজভাবে বুঝতে সাহায্য করে। C, Si এবং Ge এর রোধাক্ষের মধ্যে পার্থক্য তাদের পরিবহন এবং যোজ্যতা পটির মধ্যবর্তী শক্তির ব্যবধানের উপর নির্ভর করে। কার্বন (হীরক), Si এবং Ge-এর ক্ষেত্রে শক্তির ব্যবধান যথাক্রমে 5.4 eV, 1.1 eV এবং 0.7 eV। S_n পর্যায় সারণিতে চতুর্থ শ্রেণির একটি মৌল হওয়া সত্ত্বেও এটি একটি ধাতু কারণ এর এই শক্তি ব্যবধানের মান 0 eV।



চিত্র 14.9 (a) $T > 0K$ তাপমাত্রায় n-টাইপ অর্ধপরিবাহী, (b) $T > 0K$ তাপমাত্রায় p-টাইপ অর্ধপরিবাহীর শক্তি পটি সমূহ।

উদাহরণ 14.2 ধরো, একটি বিশুদ্ধ Si কেলাসে প্রতিঘনমিটারে 5×10^{28} টি পরমাণু রয়েছে। একে 1 ppm ঘনত্বের পঞ্চযোজী As দ্বারা ডোপিং করা হয়েছে। ইলেকট্রন এবং গর্তসমূহের সংখ্যা গণনা করো। দেওয়া আছে, $n_i = 1.5 \times 10^{16} \text{ m}^{-3}$ ।
সমাধান লক্ষ করো যে, তাপীয়ভাবে উদ্ভূত ইলেকট্রন সংখ্যা ($n_i \sim 10^{16} \text{ m}^{-3}$) ডোপিং দ্বারা উদ্ভূত ইলেকট্রন সংখ্যার তুলনায় অতি নগণ্য।

সুতরাং, $n_e \approx N_D$ ।

যেহেতু, $n_e n_h = n_i^2$, গর্তসমূহের সংখ্যা,

$$n_h = (2.25 \times 10^{32}) / (5 \times 10^{22})$$

$$\sim 4.5 \times 10^9 \text{ m}^{-3}$$

14.5 p-n সংযোগ (p-n JUNCTION)

p-n সংযোগ হল বহু অর্ধপরিবাহী যন্ত্রাদি যেমন ডায়োড, ট্রানজিস্টার ইত্যাদির মৌলিক গঠন একক (basic building block)। বিভিন্ন অর্ধপরিবাহী যন্ত্রাদির কার্য পদ্ধতি বিশ্লেষণ করার জন্য p-n সংযোগ ব্যবস্থা সম্পর্কে পরিষ্কার ধারণা থাকা অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ। আমরা এখন কীভাবে একটি p-n সংযোগ গঠিত হয় এবং বাহ্যিক প্রযুক্তি ভোল্টেজের (যাকে বায়াসও বলা হয়) প্রভাবে সংযোগটি কেমন আচরণ করে, তা বোঝার চেষ্টা করবো।

14.5.1 p-n সংযোগ গঠন (p-n junction formation)

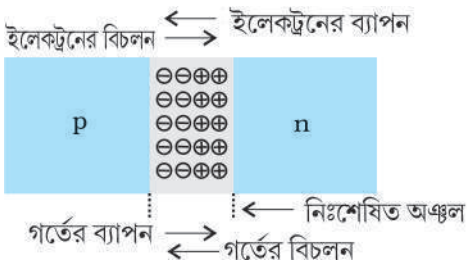
একটি পাতলা p-টাইপ সিলিকন অর্ধপরিবাহী (p-Si) ওয়েফারের (Wafer -পাতলা চাকতি বিশেষ) কথা বিবেচনা করো। p-Si ওয়েফারে অল্প পরিমাণে পঞ্চয়োজী অপদ্রব্য সঠিকভাবে মিশিয়ে p-Si ওয়েফারের কোনো অংশকে n-Si-এ রূপান্তরিত করা যেতে পারে। অর্ধপরিবাহী গঠনের বিভিন্ন পদ্ধতি রয়েছে। ওয়েফারটিতে এখন p-অঞ্চল এবং n-অঞ্চল এবং এই দুটি অঞ্চলের মধ্যবর্তী একটি ধাতু সদৃশ (metallurgical) সংযোগ রয়েছে।

একটি p-n সংযোগ গঠনকালে দুটি গুরুত্বপূর্ণ প্রক্রিয়া সংঘটিত হয় : ব্যাপন এবং বিচলন। আমরা জানি যে, একটি n-টাইপ অর্ধপরিবাহীতে ইলেকট্রনের ঘনত্ব (প্রতি একক আয়তনে ইলেকট্রনের সংখ্যা) গর্তের ঘনত্ব অপেক্ষা বেশি। অনুরূপভাবে p-টাইপ অর্ধপরিবাহীতে গর্তের ঘনত্ব ইলেকট্রনের ঘনত্বের চেয়ে বেশি হয়। p-প্রান্ত ও n-প্রান্তের মধ্যে এরূপ ঘনত্বের নতির দরুন p-n সংযোগ গঠনের সময় p প্রান্ত থেকে n প্রান্তে (p → n) ব্যাপিত (diffuse) হয় এবং ইলেকট্রনগুলো n-প্রান্ত থেকে p-প্রান্তে (n → p) ব্যাপিত হয়। আধান বাহক সমূহের এই গতি p-n সংযোগের মধ্য দিয়ে ব্যাপন প্রবাহের (diffusion current) সৃষ্টি করে।

যখন একটি ইলেকট্রনের n থেকে p তে (n → p) ব্যাপন ঘটে, এটি n-অঞ্চলে একটি আয়নিত দাতা পরমাণু রেখে আসে। এই আয়নিত দাতা (ধনাত্মক আধান) পরমাণুটি পারিপার্শ্বিক পরমাণুগুলোর সাথে বন্ধনে আবদ্ধ থাকায় এটি নিশ্চল (immobile) হয়। n থেকে p অঞ্চলের দিকে যতই ইলেকট্রনের ব্যাপন ঘটতে থাকে, ততই সংযোগের n অঞ্চলের দিকে ধনাত্মক আধানের একটি স্তর (বা ধনাত্মক স্পেসচার্জ অঞ্চল) গঠিত হতে থাকে।

অনুরূপে, ঘনত্বের নতির জন্য যখন p থেকে n (p → n) অঞ্চলে একটি গর্তের ব্যাপন ঘটে, এটি নিজের স্থানে একটি নিশ্চল আয়নিত গ্রাহক [ionised acceptor (negative charge)] রেখে আসে। গর্তগুলোর যতই ব্যাপন ঘটতে থাকে, ততই p-n সংযোগের p অঞ্চলের দিকে একটি ঋণাত্মক আধানের স্তর (বা ঋণাত্মক স্পেসচার্জ অঞ্চল) গঠিত হতে থাকে। p-n সংযোগের উভয় পার্শ্বে গঠিত এই স্পেসচার্জ অঞ্চল একত্রে নিঃশেষিত অঞ্চল (depletion region) নামে পরিচিত। এরূপ নামকরণের

কারণগুলো p-n সংযোগের মধ্য দিয়ে প্রাথমিকভাবে গতিতে অংশগ্রহণকারী ইলেকট্রন এবং গর্তসমূহ ওদের মুক্ত আধানবাহকযুক্ত অঞ্চলকে নিঃশেষিত করে (চিত্র 14.10)। নিঃশেষিত অঞ্চলের বেধের ক্রম এক মাইক্রোমিটারের দশ ভাগের এক ভাগ হয়। সংযোগের n পার্শ্বে ধনাত্মক স্পেসচার্জ অঞ্চল এবং সংযোগের p পার্শ্বে ঋণাত্মক স্পেসচার্জ অঞ্চল গঠিত হওয়ার ফলে ধনাত্মক আধান থেকে ঋণাত্মক আধানের দিকে একটি তড়িৎক্ষেত্র উদ্ভূত হয়। এই তড়িৎক্ষেত্রের প্রভাবে সংযোগের p প্রান্ত থেকে একটি ইলেকট্রন n প্রান্তের দিকে চলে যায়। তড়িৎক্ষেত্রের প্রভাবে আধান বাহকসমূহের এই গতিকে বিচলন (drift) বলে। এভাবে ব্যাপন প্রবাহের (diffusion current) বিপরীত অভিমুখে একটি বিচলন প্রবাহ (Drift current) শুরু হয়। (চিত্র 14.10)।

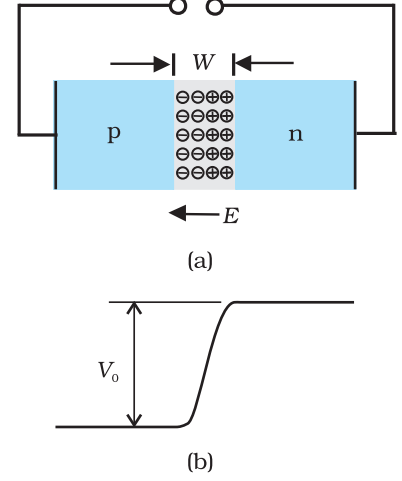


চিত্র 14.10 p-n সংযোগ গঠন প্রক্রিয়া।

অর্ধপরিবাহী ইলেকট্রনিক্স : উপাদান পদার্থ, যন্ত্রাদি এবং সরল বর্তনীসমূহ

শুরুতে ব্যাপন প্রবাহ বৃহৎ মানের এবং বিচলন প্রবাহ ক্ষুদ্র মানের হয়। ব্যাপন যত চলতে থাকে সংযোগের উভয়পাশেই স্পেসচার্জ অঞ্চল প্রসারিত হতে থাকে। ফলে তড়িৎক্ষেত্র প্রাবল্য এবং সাথে সাথে বিচলন বেগও বৃদ্ধি পেতে থাকে। যতক্ষণ পর্যন্ত না বিচলন প্রবাহ ব্যাপন প্রবাহের সমান হয়, এই প্রক্রিয়া চলতে থাকে। এইভাবে p-n সংযোগ গঠিত হয়। সাম্যাবস্থায় p-n সংযোগে কোনো মোট প্রবাহ (*net current*) পাওয়া যায় না।

n- অঞ্চল থেকে ইলেকট্রন হ্রাস এবং p-অঞ্চলে ইলেকট্রনের বৃদ্ধি, এই দুই অঞ্চলের সংযোগস্থলের দু'প্রান্তের মধ্যে একটি বিভব পার্থক্য সৃষ্টি করে। এই বিভবের মেরুবর্তিতা এমন হয় যেন এটি আধান বাহকের আরো প্রবাহকে বাধা প্রদান করে এক সাম্যাবস্থা সৃষ্টি করে। 14.11 চিত্রে সাম্যাবস্থায় থাকা p-n সংযোগ এবং সংযোগের দুই প্রান্তের মধ্যে বিভব পার্থক্য দেখানো হল। n পদার্থটি ইলেকট্রন হারিয়েছে এবং p পদার্থ ইলেকট্রন লাভ করেছে। অতএব, p পদার্থের সাপেক্ষে n পদার্থ ধনাত্মক হয়। যেহেতু এই বিভব n অঞ্চল থেকে p অঞ্চলে ইলেকট্রনের গতিকে প্রতিরোধ করে, তাই একে প্রায়শই প্রতিরোধ বিভব (*barrier potential*) বলা হয়।



চিত্র 14.11 (a) সাম্যাবস্থায় ($V = 0$) থাকা ডায়োড, (b) বায়াসহীন অবস্থায় প্রতিরোধ বিভব (Barrier potential)।

উদাহরণ 14.3 আমরা কী p-টাইপ অর্ধপরিবাহী একটি ফলক (slab)কে অপর একটি n-টাইপ অর্ধপরিবাহীর সঙ্গে যুক্ত করে p-n সংযোগ তৈরি করতে পারি?

সমাধান না! একটি ফলক যতই সমতল হোক না কেন এর অমসৃণতা কেলাসের আন্তঃপারমাণবিক দূরত্ব [inter-atomic crystal spacing] (~2 থেকে 3 Å) অপেক্ষা অনেক বেশি হয়। ফলে পারমাণবিক স্তরের নিরবচ্ছিন্ন সংস্পর্শ সম্ভব হয় না। সংযোগটি আধান বাহকের প্রবাহের ক্ষেত্রে বিচ্ছিন্নতা (*discontinuity*) রূপে আচরণ করে।

উদাহরণ 14.3

14.6 অর্ধপরিবাহী ডায়োড

(SEMICONDUCTOR DIODE)

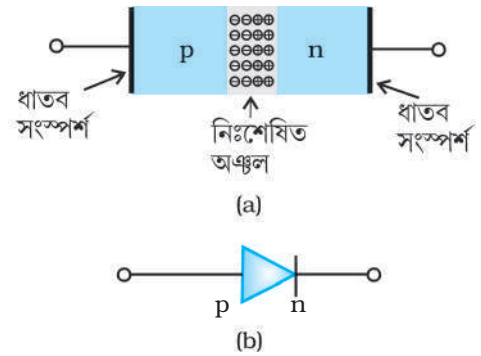
একটি অর্ধপরিবাহী ডায়োড হল দু-প্রান্তের মধ্যে বাহ্যিক বিভব প্রয়োগের উপযুক্ত ধাতব সংস্পর্শ যুক্ত মূলতঃ একটি p-n সংযোগ [চিত্র 14.12(a)]। এটি একটি দুই প্রান্ত বিশিষ্ট (two terminal) যন্ত্র। একটি p-n সংযোগ ডায়োডকে 14.12(b) চিত্রে দেখানো প্রতীকের সাহায্যে প্রকাশ করা হয়।

তিরের অভিমুখ প্রবাহমাত্রার (যখন ডায়োড সম্মুখ বায়াসে রয়েছে) প্রথাগত দিক নির্দেশ করে। ডায়োডের দুই প্রান্তে বাহ্যিক ভোল্টেজ V প্রয়োগ করে সাম্যাবস্থায় প্রতিরোধ বিভবের (equilibrium barrier potential) পরিবর্তন ঘটানো যায়। 14.11(a) এবং (b) চিত্রে সাম্যাবস্থায় p-n সংযোগ ডায়োডের অবস্থা (বায়াসহীন অবস্থায়) দেখানো হয়েছে।

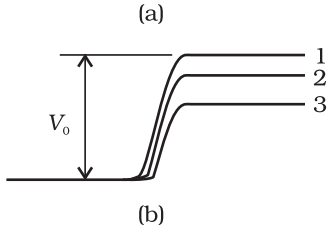
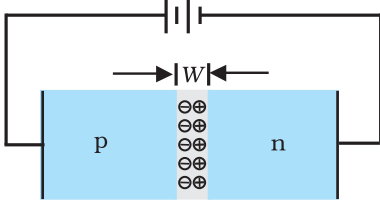
14.6.1 সম্মুখ বায়াসে থাকা p-n সংযোগ ডায়োড (p-n junction diode under forward bias)

একটি অর্ধপরিবাহী ডায়োডের দুই প্রান্তে যখন বাহ্যিক বিভব V এমনভাবে প্রয়োগ করা হয় যেন ডায়োডের p প্রান্ত ব্যাটারির ধনাত্মক প্রান্তের সাথে এবং n প্রান্ত ব্যাটারির ঋণাত্মক প্রান্তের সঙ্গে যুক্ত থাকে [চিত্র 14.13(a)], তখন এটিকে সম্মুখ বায়াসে (*forward biased*) রয়েছে বলা হয়।

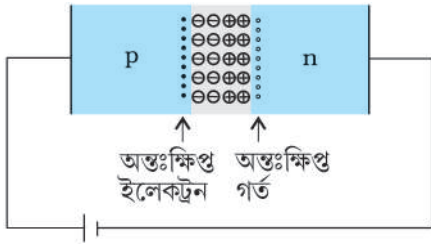
নিঃশেষিত অঞ্চলেই প্রযুক্ত বিভবের অধিকাংশ পতন ঘটে, p-অঞ্চলে ও n-অঞ্চলে বিভব পতন



চিত্র 14.12 (a) অর্ধপরিবাহী ডায়োড, (b) p-n সংযোগ ডায়োডের চিহ্ন।



চিত্র 14.13 (a) সম্মুখ বায়াসে থাকা p-n সংযোগ ডায়োড, (b) প্রতিরোধ বিভব (Barrier potential) (1) ব্যাটারি হীন, (2) নিম্ন ব্যাটারি ভোল্টেজ, এবং (3) উচ্চ ব্যাটারি ভোল্টেজ।



চিত্র 14.14 সম্মুখ বায়াসে সংখ্যালঘু বাহক আন্তঃক্ষেপণ।

অতি নগণ্য হয় (এর কারণ হল নিঃশেষিত অঞ্চল, যেখানে কোনো আধান থাকে না, তার রোধ n-অঞ্চল ও p-অঞ্চলের রোধের তুলনায় অনেক বেশি)। প্রযুক্তি ভোল্টেজের (V) অভিমুখ নিঃশেষিত অঞ্চলে গড়ে ওঠা ভোল্টেজের (V_0) বিপরীত অভিমুখী হয়। এর ফলে নিঃশেষিত স্তরের বেধ হ্রাস পায় এবং বিভব প্রাচীরের উচ্চতা হ্রাস পায় [চিত্র 14.13(b)]। সম্মুখ বায়াসে বিভব প্রাচীরের কার্যকর উচ্চতা ($V_0 - V$)।

প্রযুক্তি ভোল্টেজ ক্ষুদ্রমানের হলে প্রতিরোধ বিভব (barrier potential) সাম্যমানের তুলনায় সামান্য কম হবে এবং কেবলমাত্র উচ্চতম শক্তিস্তরে স্থিত অল্প সংখ্যক আধান বাহক p-n সংযোগ অতিক্রম করার মতো যথেষ্ট শক্তি লাভ করবে। ফলে তড়িৎপ্রবাহ কম হবে। আমরা যদি প্রযুক্তি ভোল্টেজকে উল্লেখযোগ্যভাবে বাড়াই, বিভব প্রাচীরের উচ্চতা হ্রাস পাবে এবং আরো বেশি সংখ্যক বাহক প্রয়োজনীয় শক্তি লাভ করবে। ফলে প্রবাহমাত্রা বৃদ্ধি পায়।

প্রযুক্তি ভোল্টেজের দরুন n অঞ্চল থেকে ইলেকট্রন নিঃশেষিত অঞ্চল অতিক্রম করে p অঞ্চলে পৌঁছায় (যেখানে ওরা সংখ্যালঘু বাহক)। অনুরূপভাবে, p-অঞ্চল থেকে গর্তগুলো সংযোগ অতিক্রম করে n-অঞ্চলে পৌঁছায় (যেখানে ওরা সংখ্যালঘু বাহক)। সম্মুখ বায়াসের ক্ষেত্রে এই প্রক্রিয়াটিকে সংখ্যালঘু বাহক আন্তঃক্ষেপণ (minority carrier injection) বলে। p-n সংযোগ সীমানার উভয়পাশে সংখ্যালঘু বাহকের ঘনত্ব সংযোগ থেকে দূরবর্তী অঞ্চলের তুলনায় উল্লেখযোগ্যভাবে বৃদ্ধি পায়।

ঘনত্বের এই নতিমাত্রার জন্য p-অঞ্চলে সংযোগ প্রাপ্ত থেকে p-অঞ্চলের অপর প্রান্তে ব্যাপিত হয়। একইভাবে n অঞ্চলে আন্তঃক্ষিপ্ত গর্ত (hole) সমূহ n অঞ্চলে সংযোগ প্রাপ্ত থেকে n-অঞ্চলের অপর প্রান্তে ব্যাপিত হয় (চিত্র 14.14)। উভয়পাশে আধানগ্রস্ত বাহকদের এইরূপ গতি তড়িৎপ্রবাহের সৃষ্টি করে। ডায়োডের মোট সম্মুখবর্তী প্রবাহমাত্রা হল গর্ত ব্যাপন প্রবাহ এবং প্রচলিত ইলেকট্রন ব্যাপনের জন্য প্রবাহমাত্রার সমষ্টি। এই প্রবাহমাত্রার মান সাধারণতঃ mA মাত্রার হয়।

14.6.2 বিপরীত বায়াসে থাকা p-n সংযোগ ডায়োড (p-n junction diode under reverse bias)

যখন একটি ডায়োডের মধ্য দিয়ে একটি বাহ্যিক ভোল্টেজ (V) এমনভাবে প্রয়োগ করা হল যেন n-অঞ্চল ধনাত্মক এবং p-অঞ্চল ঋণাত্মক হয়, তখন ডায়োডটিকে বিপরীত বায়াসে (reverse biased) রয়েছে বলা হয় [চিত্র 14.15(a)]। নিঃশেষিত অঞ্চলেই

প্রযুক্তি বিভবের অধিকাংশ পতন ঘটে। প্রযুক্তি বিভবের অভিমুখ প্রতিরোধ বিভবের অনুরূপ হয়। এর ফলে বিভব প্রাচীরের উচ্চতা (barrier height) বৃদ্ধি পায় এবং তড়িৎক্ষেত্রের পরিবর্তনের জন্য নিঃশেষিত অঞ্চল প্রসারিত হয়। বিপরীত বায়াসে কার্যকরী বিভব প্রাচীর উচ্চতা (effective barrier height) ($V_0 + V$), [চিত্র 14.15(b)]। এটি n \rightarrow p অঞ্চলে ইলেকট্রনের প্রবাহকে এবং p \rightarrow n অঞ্চলে গর্তের প্রবাহকে বাধাপ্রদান (supress) করে। এভাবে সম্মুখ বায়াসে থাকা ডায়োড প্রবাহের তুলনায় ব্যাপন প্রবাহ উল্লেখযোগ্যভাবে হ্রাস পায়।

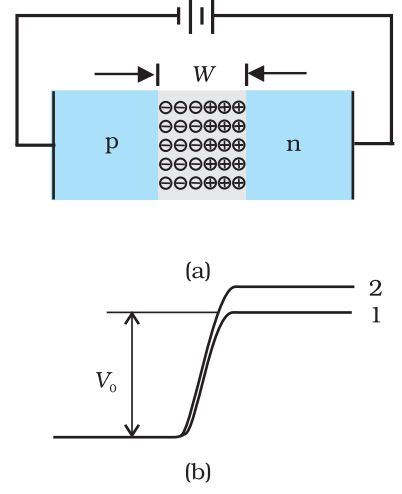
p-n সংযোগে তড়িৎক্ষেত্রের অভিমুখ এমন হয় যে, যদি p অঞ্চলে থাকা ইলেকট্রন এবং n অঞ্চলে থাকা গর্তসমূহ তাদের এলোমেলো গতিতে চলতে চলতে সংযোগস্থলের কাছে চলে আসে, তখন এরা এদের মুখ্য বাহক অঞ্চলের (majority carries region) দিকে তড়িত (swept) হয়। বাহকগুলোর এই বিচলন (Drift) তড়িৎপ্রবাহের উদ্ভব ঘটায়। এই বিচলন প্রবাহমাত্রা কয়েক মাইক্রো অ্যাম্পিয়ার (μA) মাত্রায় হয়। এই প্রবাহ খুবই কম হয় কারণ এটি গৌণ বাহক থেকে সংযোগের মধ্য দিয়ে মুখ্য বাহক অঞ্চলের অভিমুখে বাহকগুলোর গতির জন্যই উদ্ভূত হয়। সম্মুখ বায়াসেও এই বিচলন প্রবাহের অস্তিত্ব রয়েছে, কিন্তু তা আন্তঃক্ষিপ্ত (injected) বাহক দ্বারা উদ্ভূত প্রবাহমাত্রার (যা সাধারণতঃ mA মাত্রার হয়) তুলনায় নগণ্য (μA মাত্রায়)।

অর্ধপরিবাহী ইলেকট্রনিক্স : উপাদান পদার্থ, যন্ত্রাদি এবং সরল বর্তনীসমূহ

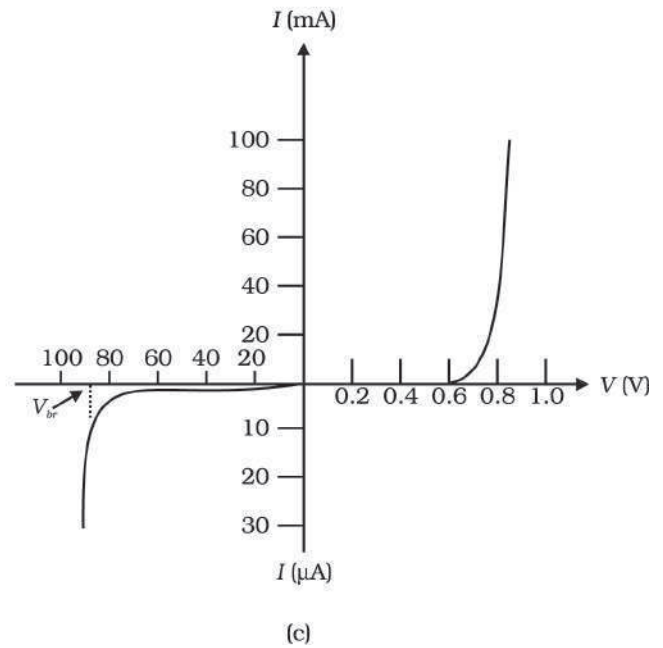
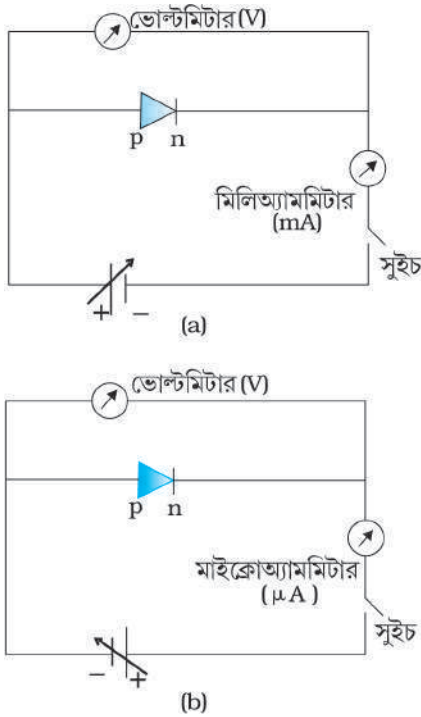
ডায়োডের বিপরীত প্রবাহ প্রযুক্ত ভোল্টেজের উপর খুব বেশি নির্ভরশীল নয়। অতি সামান্য ভোল্টেজই সংযোগের একদিক থেকে অন্যদিকে সংখ্যালঘু বাহকদের তড়িত করতে পারে। এই প্রবাহমাত্রা প্রযুক্ত ভোল্টেজের দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয় না, বরং p-n সংযোগের দুই দিকের সংখ্যালঘু বাহকগুলোর ঘনত্বের দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়।

বিপরীত বায়াসের ক্ষেত্রে প্রবাহমাত্রা বৈকল্যবিভব (breakdown voltage) নামক প্রযুক্ত বিপরীত বায়াস বিভবের একটি সংকট মান (critical reverse bias voltage) পর্যন্ত অবশ্যই বিভব নিরপেক্ষ থাকে। যখন $V = V_{br}$, ডায়োড বিপরীত প্রবাহ অতি দ্রুত বৃদ্ধি পায়। বায়াস ভোল্টেজের সামান্য বৃদ্ধি প্রবাহমাত্রার অত্যধিক পরিবর্তন ঘটায়। যদি বিপরীত প্রবাহ বাহ্যিক বর্তনী দ্বারা একটি নির্ধারিত মানের (প্রস্তুতকারীর দ্বারা নির্দিষ্টকৃত) নীচে সীমিত না থাকে, তবে p-n সংযোগটি নষ্ট হবে। নির্ধারিত মান অতিক্রম করলে ডায়োডটি অতি তপ্ত হওয়ার কারণে বিনষ্ট হয়। সম্মুখবর্তী প্রবাহ নির্ধারিত মানের বেশি হলে সম্মুখ বায়াস যুক্ত ডায়োডের ক্ষেত্রেও এমন ঘটতে পারে।

ডায়োডের $V-I$ বৈশিষ্ট্য (অর্থাৎ প্রযুক্ত ভোল্টেজের অপেক্ষক হিসেবে প্রবাহমাত্রার পরিবর্তন) পর্যবেক্ষণের জন্য প্রয়োজনীয় বর্তনী চিত্র 14.16(a) এবং (b) চিত্রে দেখানো হয়েছে। ব্যাটারিকে একটি পটেনশিওমিটার (বা রিওস্ট্যাট) এর মাধ্যমে ডায়োডের সঙ্গে এমনভাবে যুক্ত করা হয় যেন, ডায়োডে প্রযুক্ত বিভবের মান পরিবর্তন করা যায়। ভোল্টেজের বিভিন্ন মানের জন্য প্রবাহমাত্রার মান লিপিবদ্ধ করা হয়। 14.16(c) চিত্রের ন্যায় V এবং I -এর একটি লেখ পাওয়া যায়। লক্ষ করো, সম্মুখ বায়াস পরিমাপের ক্ষেত্রে আমরা মিলি অ্যাম্‌মিটার ব্যবহার করি কারণ, প্রত্যাশিত প্রবাহমাত্রা বৃহৎ মানের হয় (যেমন পূর্ববর্তী পরিচ্ছেদে ব্যাখ্যা করা হয়েছে)। অন্যদিকে বিপরীত বায়াসে প্রবাহমাত্রা পরিমাপের জন্য মাইক্রো অ্যাম্‌মিটার ব্যবহার করা হয়।



চিত্র 14.15 (a) বিপরীত বায়াস যুক্ত ডায়োড, (b) বিপরীত বায়াসে প্রতিরোধ বিভব (reverse bias)।



চিত্র 14.16 একটি p-n সংযোগ ডায়োডের (a) সম্মুখ বায়াস এবং (b) বিপরীত বায়াস $V-I$ বৈশিষ্ট্য পরীক্ষামূলকভাবে অধ্যয়নের জন্য প্রয়োজনীয় বর্তনী ব্যবস্থা (c) সিলিকন ডায়োডের সাধারণ $V-I$ বৈশিষ্ট্য লেখ।

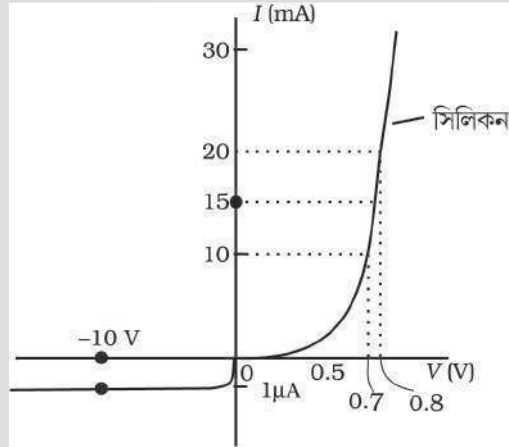
চিত্র 14.16(c) তে দেখতে পারো যে, সম্মুখ বায়াসে থাকা ডায়োডে প্রযুক্ত ভোল্টেজ একটি নির্দিষ্ট মান অতিক্রম না করা পর্যন্ত এর মধ্য দিয়ে প্রবাহমাত্রা প্রথমে খুবই ধীরে ধীরে বৃদ্ধি পায়, যা প্রায় নগণ্য। এই বৈশিষ্ট্য ভোল্টেজের পরে ডায়োড ভোল্টেজের সামান্য বৃদ্ধিতে ডায়োড প্রবাহ উল্লেখযোগ্যভাবে (সূচকীয় ভাবে) বৃদ্ধি পায়। এই ভোল্টেজকে সূচনা বিভব (*threshold voltage*) বা কাট-ইন-ভোল্টেজ [*cut-in voltage*] জার্মেনিয়াম ডায়োডের ক্ষেত্রে $\sim 0.2V$ এবং সিলিকন ডায়োডের ক্ষেত্রে ~ 0.7 বলে।

বিপরীত বায়াস যুক্ত ডায়োডে প্রবাহমাত্রা খুবই কম ($\sim \mu A$) এবং বায়াসের পরিবর্তনেও এটি প্রায় স্থির থাকে। একে বিপরীত সম্পৃক্ত প্রবাহ (*reverse saturation current*) বলা হয়। যদিও বিশেষ ক্ষেত্রে, উচ্চ বিপরীত বায়াসে (বৈকল্য বিভবে) প্রবাহমাত্রা হঠাৎ বৃদ্ধি পায়। ডায়োডের এই বিশেষ ক্রিয়া পরবর্তী 14.8 অনুচ্ছেদে আলোচনা করা হবে। সাধারণ কাজে ডায়োডকে বিপরীত সম্পৃক্ত প্রবাহ অঞ্চলের বাইরে ব্যবহার করা হয় না।

উপরের আলোচনা থেকে দেখা যায় যে, p-n সংযোগ ডায়োড এর মধ্য দিয়ে প্রাথমিকভাবে শুধুমাত্র একদিকে (সম্মুখ বায়াস) তড়িৎপ্রবাহ হতে দেয়। বিপরীত বায়াস রোধের তুলনায় সম্মুখ বায়াস রোধ নিম্নমানের হয়। এই বৈশিষ্ট্যটি পরিবর্তী বিভবের একমুখীকরণে ব্যবহৃত হয়, যা পরবর্তী অনুচ্ছেদে আলোচনা করা হয়েছে। ডায়োডে, আমরা একটি রাশিকে গতিয় রোধ (*dynamic resistance*) নামে সংজ্ঞায়িত করি, যা হল ভোল্টেজের ক্ষুদ্র পরিবর্তন (ΔV) এবং প্রবাহমাত্রার ক্ষুদ্র পরিবর্তন (ΔI)-এর অনুপাত।

$$r_d = \frac{\Delta V}{\Delta I} \quad (14.6)$$

উদাহরণ 14.4 14.17 চিত্রে সিলিকন ডায়োডের V - I বৈশিষ্ট্য দেখানো হয়েছে। (a) $I_D = 15$ mA এবং (b) $V_D = -10$ V -এ ডায়োডের রোধ নির্ণয় করো।



চিত্র 14.17

সমাধান $I = 10$ mA থেকে $I = 20$ mA পর্যন্ত ডায়োড বৈশিষ্ট্য লেখকে মূলবিন্দুগামী একটি সরলরেখা হিসেবে বিবেচনা করে আমরা ওহমের সূত্রের প্রয়োগে রোধ নির্ণয় করতে পারি।

(a) লেখচিত্র থেকে $I = 20$ mA, $V = 0.8$ V; $I = 10$ mA, $V = 0.7$ V

$$r_{fb} = \Delta V / \Delta I = 0.1V / 10 \text{ mA} = 10 \Omega$$

(b) লেখচিত্র থেকে $V = -10$ V, $I = -1 \mu A$,

সুতরাং,

$$r_{rb} = 10 \text{ V} / 1 \mu A = 1.0 \times 10^7 \Omega$$

অর্ধপরিবাহী ইলেকট্রনিক্স : উপাদান পদার্থ, যন্ত্রাদি এবং সরল বর্তনীসমূহ

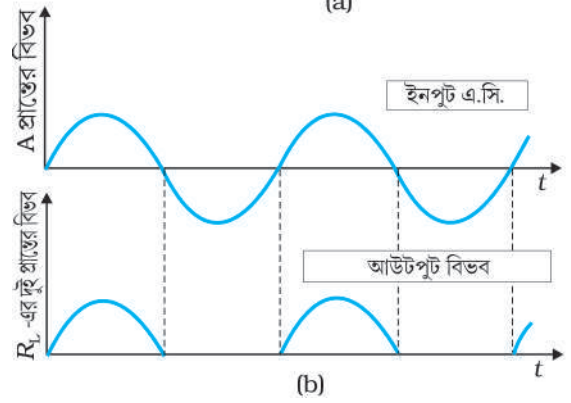
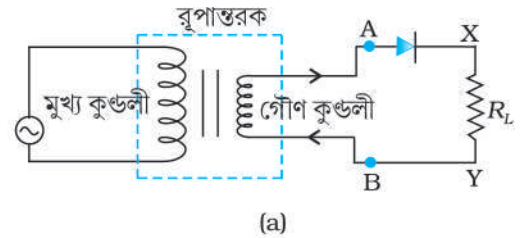
14.7 একমুখীকারক হিসেবে সংযোগ ডায়োডের ব্যবহার (APPLICATION OF JUNCTION DIODE AS A RECTIFIER)

সংযোগ ডায়োডের $V-I$ বৈশিষ্ট্য লেখচিত্র থেকে আমরা দেখতে পাই যে এটি শুধুমাত্র সম্মুখ বায়াসে থাকা অবস্থায় তড়িৎ পরিবহন করে। সুতরাং যদি কোনো পরিবর্তী ভোল্টেজ ডায়োডে প্রয়োগ করা হয় তবে চক্রের সেই অংশের জন্যই তড়িৎ প্রবাহিত হয়, যখন ডায়োডটি সম্মুখ বায়াসে থাকে। এই ধর্মটিকে পরবর্তী ভোল্টেজকে একমুখীকরণের জন্য ব্যবহার করা হয় এবং ব্যবহৃত বর্তনীকে একমুখীকারক বলা হয়।

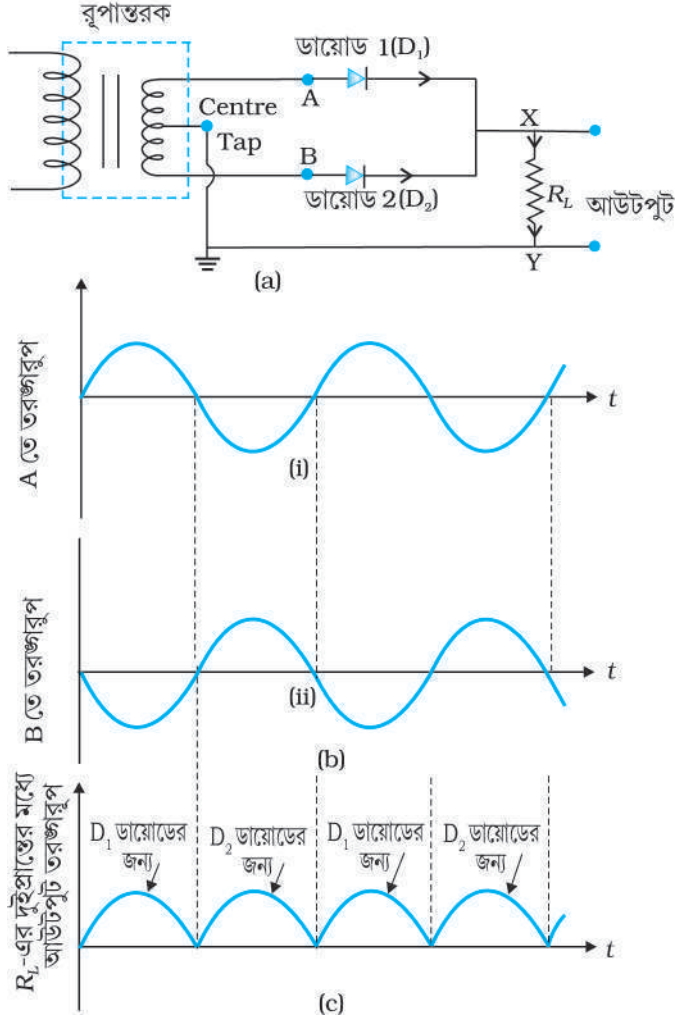
লোডের সাথে শ্রেণিতে যুক্ত কোনো ডায়োডে একটি পরিবর্তী বিভব প্রয়োগ করা হলে, পরবর্তী ইনপুটের যে অর্ধচক্রে ডায়োডটি সম্মুখ বায়াসে থাকে শুধুমাত্র সেই অর্ধচক্রের সময়েই লোডের দুপ্রান্তের মধ্যে একটি স্পন্দনশীল বিভব উদ্ভূত হয়। 14.18 চিত্রে দেখানো এরূপ একমুখীকারক বর্তনীকে অর্ধতরঙ্গ একমুখীকারক বলে। রূপান্তরকের (transformer) গৌণকুণ্ডলী, A ও B প্রান্তের মধ্যে প্রয়োজনীয় পরিবর্তী বিভব সরবরাহ করে। যখন A প্রান্তের বিভব ধনাত্মক হয় তখন ডায়োডটি সম্মুখ বায়াসে থাকে এবং এটি তড়িৎ পরিবহন করে। যখন A প্রান্ত ঋণাত্মক বিভবে থাকে তখন ডায়োডটি বিপরীত বায়াসে থাকে এবং এটি তড়িৎ পরিবহন করে না। ডায়োডের বিপরীত সম্পৃক্ত প্রবাহ খুবই নগণ্য হওয়ায় ব্যবহারিক ক্ষেত্রে একে শূন্য ধরা যায়। বিপরীত বৈকল্য থেকে ডায়োডকে রক্ষা করতে ডায়োডের বিপরীত বৈকল্য ভোল্টেজ অবশ্যই রূপান্তরকের গৌণ কুণ্ডলীর পরিবর্তী বিভবের সর্বোচ্চ মান অপেক্ষা যথেষ্ট বেশি হতে হবে।

সুতরাং পরিবর্তী উৎসের ধনাত্মক অর্ধে লোড রোধক R_L এর মধ্য দিয়ে একটি তড়িৎ প্রবাহিত হয় এবং 14.18(b) চিত্রের ন্যায় একটি আউটপুট বিভব পাওয়া যায়, কিন্তু ঋণাত্মক অর্ধে কোনো তড়িৎ পাওয়া যায় না। পরবর্তী ধনাত্মক অর্ধেও আবার একটি আউটপুট বিভব পাওয়া যায়। এভাবে প্রাপ্ত আউটপুট বিভবটির মান পরিবর্তনশীল হওয়া সত্ত্বেও এটি একটি নির্দিষ্ট অভিমুখী হয়, তাই এর একমুখীকরণ হয়েছে বলা যায়। যেহেতু এই ধরনের বর্তনীর একমুখী আউটপুটটি ইনপুট পরিবর্তী তরঙ্গের শুধুমাত্র একটি অর্ধের জন্যই হয়, তাই একে অর্ধতরঙ্গ একমুখীকরণ (half-wave rectifier) বলে।

14.19(a) চিত্রের ন্যায় দুটি ডায়োড ব্যবহার করে গঠিত বর্তনী ধনাত্মক ও ঋণাত্মক উভয় অর্ধের আনুষঙ্গিক একমুখী আউটপুট বিভব উৎপন্ন করে। তাই একে পূর্ণ তরঙ্গ একমুখীকারক (full-wave rectifier) বলে। এখানে দুটি ডায়োডের p- প্রান্ত রূপান্তরকের গৌণ কুণ্ডলীর দুই প্রান্তের সাথে যুক্ত থাকে। দুটি ডায়োডের n-প্রান্ত দুটি একসাথে যুক্ত থাকে এবং ডায়োড দুটির সাধারণ সংযোগ বিন্দু ও রূপান্তরকের গৌণ কুণ্ডলীর মধ্যবিন্দু থেকে আউটপুট ভোল্টেজ নেওয়া হয়। সুতরাং পূর্ণ তরঙ্গ একমুখী কারকের ক্ষেত্রে রূপান্তরকের গৌণ কুণ্ডলীর মধ্যবিন্দু সেন্টার টেপের মতো কাজ করে, তাই একে সেন্টার টেপ রূপান্তরক (centre-tap transformer) বলে। 14.19(c) চিত্র থেকে দেখা যাচ্ছে যে, প্রতিটি ডায়োড দ্বারা গৌণ কুণ্ডলীর মোট বিভবের মাত্র অর্ধেক পরিমাণের একমুখীকরণ হচ্ছে। দুটি ডায়োডের প্রত্যেকটি পর্যায়ক্রমিকভাবে প্রতি পূর্ণচক্রের এক অর্ধকে একমুখী করে। ফলে ডায়োড দুটির সাধারণ সংযোগ বিন্দু ও রূপান্তরকের সেন্টার টেপের মধ্যে আউটপুটটির পূর্ণ তরঙ্গ একমুখীকরণ হয়। (উল্লেখনীয় যে, অন্য



চিত্র 14.18 (a) অর্ধতরঙ্গ একমুখীকারক বর্তনী, (b) ইনপুট পরিবর্তী বিভব এবং একমুখীকারক বর্তনী থেকে প্রাপ্ত আউটপুট বিভবের তরঙ্গরূপ।



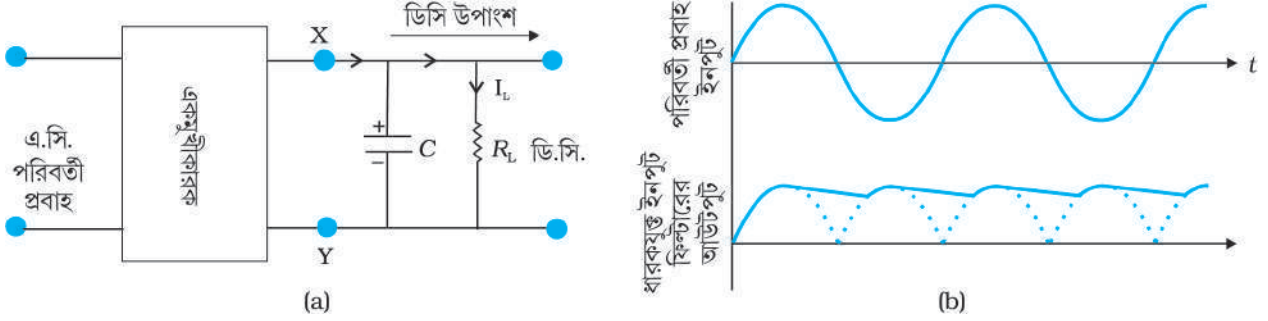
চিত্র 14.19 (a) একটি পূর্ণতরঙ্গ একমুখীকারক বর্তনী;
 (b) A বিন্দুতে D_1 ডায়োডের ইনপুটে দেওয়া তরঙ্গরূপ এবং B বিন্দুতে D_2 ডায়োডের ইনপুটে দেওয়া তরঙ্গরূপ;
 (c) পূর্ণতরঙ্গ একমুখীকারক যন্ত্রে যুক্ত লোড রোধক R_L -এর দুই প্রান্তের মধ্যে উদ্ভূত আউটপুট তরঙ্গরূপ।

এক প্রকার পূর্ণতরঙ্গ একমুখীকারক বর্তনী আছে যেখানে সেন্টার টেপ রূপান্তরকের পরিবর্তে চারটি ডায়োডের প্রয়োজন হয়। ধরো, কোনো এক মুহুর্তে সেন্টার টেপের সাপেক্ষে A-এর ইনপুট বিভব ধনাত্মক। এটি স্পষ্ট যে, ওই মুহুর্তে B-এর বিভব বিপরীত দশায় থেকে ঋণাত্মক হবে। যেমনটা 14.19(b) চিত্রে দেখানো হয়েছে। সুতরাং, D_1 ডায়োডটি সম্মুখ বায়াসে থাকবে এবং পরিবহন করবে (অন্যদিকে D_2 ডায়োডটি বিপরীত বায়াসে থাকায় এর মধ্যদিয়ে প্রবাহ যাবে না)। অতএব, এই ধনাত্মক অর্ধচক্রে আমরা আউটপুট প্রবাহ (এবং লোড R_L রোধকের দুই প্রান্তের মধ্যে একটি আউটপুট বিভব) পাই, যা 14.19(c) চিত্রে দেখানো হয়েছে। পরিবর্তী চক্রের পরবর্তী অর্ধে সেন্টার টেপের সাপেক্ষে A-এর বিভব যখন ঋণাত্মক হয়, B-এর বিভব তখন ধনাত্মক হয়। চক্রের এই অর্ধে D_1 পরিবহন করে না, কিন্তু D_2 ডায়োড পরিবহন করে, ফলে পরিবর্তী ইনপুটের ঋণাত্মক অর্ধচক্রেও আউটপুট প্রবাহ এবং আউটপুট বিভব (R_L -এর দুই প্রান্তের মধ্যে) উৎপন্ন করে। সুতরাং ধনাত্মক এবং ঋণাত্মক উভয় অর্ধচক্রের জন্যই আমরা আউটপুট বিভব পাই। একমুখী প্রবাহ ও বিভব পাওয়ার ক্ষেত্রে অর্ধতরঙ্গ একমুখীকারকের তুলনায় এটি অবশ্যই একটি অধিকতর কার্যকর বর্তনী।

প্রাপ্ত একমুখী আউটপুট বিভবের রূপ হল অর্ধ সাইনধর্মী স্পন্দন আকৃতির। এটি একমুখী হলেও স্থির মানের হয় না। এই স্পন্দনশীল বিভব থেকে স্থির মানের ডি.সি. আউটপুট পাওয়ার জন্য সাধারণত (লোড রোধ R_L -এর সঙ্গে সমান্তরাল ভাবে) আউটপুট প্রান্তদ্বয়ের মধ্যে একটি ধারককে (capacitor) যুক্ত করা হয়। একই উদ্দেশ্যে R_L -এর সঙ্গে শ্রেণি সমবায়ী আবেশককেও যুক্ত করা যেতে পারে। যেহেতু এসকল অতিরিক্ত বর্তনী পরিবর্তী ছোটো তরঙ্গগুলোকে পৃথক করে বিশুদ্ধ সমপ্রবাহ (dc) বিভব প্রদান করে, তাই এদেরকে ফিল্টার বলা হয়।

এখন আমরা ফিল্টারের ক্ষেত্রে ধারকের ভূমিকা নিয়ে আলোচনা করবো। ধারকের বিভব বৃদ্ধির সাথে সাথে সেটি আহিত হয়। যদি বর্তনীতে কোনো বহিঃরোধ না থাকে তাহলে একমুখী আউটপুট বিভবের শীর্ষমানে এটি আহিত থাকে। আর যদি লোড রোধ যুক্ত থাকে তাহলে এটি লোড রোধের মাধ্যমে অনাহিত হতে থাকে এবং এর বিভব কমতে শুরু করে। একমুখী বিভবের পরবর্তী অর্ধচক্রে এটি পুনরায় আহিত হয়ে শীর্ষমানে পৌঁছায় (চিত্র 14.20)। ধারকের বিভব হ্রাসের হার বর্তনীতে ব্যবহৃত ধারকের ধারকত্ব C এবং কার্যকর রোধ R_L -এর গুণফলের ব্যাস্তানুপাতিক হয়, একে সময় ধ্রুবক (time constant) বলে। সময় ধ্রুবকের মান বৃদ্ধি করার জন্য C -এর মান অবশ্যই বেশি হতে হবে। তাই ধারক ব্যবহারকারী ইনপুট ফিল্টার বর্তনীতে উচ্চ ধারকত্বের ধারক ব্যবহৃত হয়। ধারকযুক্ত ইনপুট ফিল্টার থেকে প্রাপ্ত আউটপুট বিভবের মান একমুখীকারকের আউটপুট বিভবের শীর্ষমানের কাছাকাছি হয়। বৈদ্যুতিক শক্তি সরবরাহের ক্ষেত্রে এই জাতীয় ফিল্টার বহুল ব্যবহৃত হয়।

অর্ধপরিবাহী ইলেকট্রনিক্স : উপাদান পদার্থ, যন্ত্রাদি এবং সরল বর্তনীসমূহ



চিত্র 14.20 (a) ধারক ফিল্টার সমন্বিত পূর্ণতরঙ্গ একমুখীকারক, (b) (a)-এর একমুখীকারকের ইনপুট ও আউটপুট বিভব।

14.8 বিশেষ উদ্দেশ্যসম্পন্ন p-n সংযোগ ডায়োড (SPECIAL PURPOSE p-n JUNCTION DIODES)

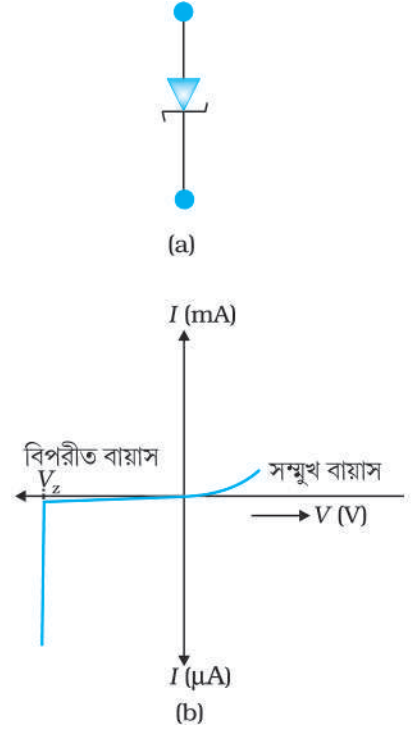
এ অনুচ্ছেদে আমরা এমন কিছু সংখ্যক যন্ত্র নিয়ে আলোচনা করবো যারা মূলত সংযোগ ডায়োড, কিন্তু বিভিন্ন প্রয়োগের জন্য বিশেষভাবে তৈরি।

14.8.1 জেনার ডায়োড (Zener diode)

জেনার ডায়োড হল আবিষ্কর্তা সি. জেনারের নামানুসারে গঠিত এক বিশেষ উদ্দেশ্যে সাধক ডায়োড। একে এমনভাবে তৈরি করা হয় যেন এটি বিপরীত বায়াসে থেকে বৈকল্য অঞ্চলে (breakdown region) কাজ করে এবং ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রক হিসেবে ব্যবহৃত হয়। জেনার ডায়োডের চিহ্নকে 14.21(a) চিত্রে দেখানো হয়েছে।

p এবং n উভয় অঞ্চলকে উচ্চমাত্রায় ডোপিং করে জেনার ডায়োড তৈরি করা হয়। একারণেই গঠিত নিঃশেষিত অঞ্চলের (depletion region) বেধ খুবই কম ($<10^{-6}$ m) হয়, এমনকি 5V -এর মতো ক্ষুদ্র বিপরীত বায়াস ভোল্টেজের জন্যও সংযোগের তড়িৎক্ষেত্রের মান খুবই উচ্চমানের ($\sim 5 \times 10^6$ V/m) হয়। জেনার ডায়োডের I-V বৈশিষ্ট্য লেখচিত্রকে 14.21(b) চিত্রে দেখানো হয়েছে। এটি লক্ষ করা যায় যে, যখন প্রযুক্ত বিপরীত বায়াস বিভবের মান (V) জেনার ডায়োডের বৈকল্য বিভব (breakdown voltage) ' V_z '-এ পৌঁছায় তখন তড়িৎ প্রবাহের মানের প্রভূত পরিমাণ পরিবর্তন হয়। লক্ষণীয় যে, বৈকল্য বিভব V_z -এ পৌঁছানোর পর বিপরীত বায়াস বিভবের প্রায় নগণ্য পরিবর্তন, তড়িৎপ্রবাহের এক বৃহৎমানের পরিবর্তন ঘটায়। অন্যভাবে বলা যায়, জেনারের মধ্য দিয়ে তড়িৎপ্রবাহের বিস্তৃত পাল্লায় পরিবর্তনেও জেনার ভোল্টেজের মান স্থির থাকে। জেনার বিভব ধুবক থাকে, জেনার ডায়োডের এ ধর্মকে কাজে লাগিয়ে বিভব নিয়ন্ত্রকরূপে একে ব্যবহার করা হয়।

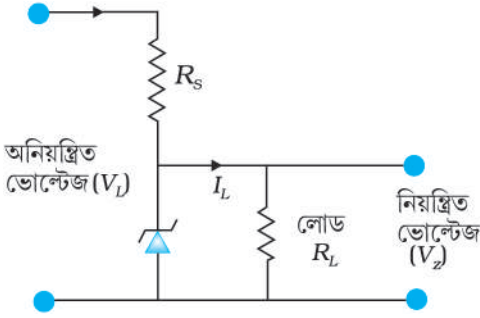
চলো, আমরা বোঝার চেষ্টা করি কীভাবে বৈকল্য বিভবে বিপরীত তড়িৎ প্রবাহের মান হঠাৎ করে বিপুল পরিমাণে বৃদ্ধি পায়। আমরা জানি যে, বিপরীত প্রবাহ সৃষ্টি হয় p থেকে n প্রান্তে ইলেকট্রনগুলোর (সংখ্যালঘু বাহক) এবং n প্রান্ত থেকে p প্রান্তে গর্তগুলোর প্রবাহের দ্বারা বিপরীত প্রবাহের সৃষ্টি হয়। বিপরীত বায়াস ভোল্টেজ বৃদ্ধি পেলে, সংযোগ স্থলে তড়িৎক্ষেত্র প্রাবল্য উল্লেখযোগ্য মানে পৌঁছায়। যখন বিপরীত বায়াস ভোল্টেজের মান $V = V_z$ হয় তখন সংযোগ স্থলে তড়িৎক্ষেত্র প্রাবল্যের মান এত বেশি হয় যে এটি p-প্রান্তের মূল পরমাণুর যোজ্যতা ইলেকট্রনগুলোকে টেনে বের করে এনে n-অঞ্চলের দিকে ত্বরিত করে। এই ইলেকট্রনগুলোই বৈকল্যে উচ্চমাত্রার তড়িৎপ্রবাহ সৃষ্টির মূলে রয়েছে। উচ্চ তড়িৎ প্রাবল্যের প্রভাবে মূল পরমাণু থেকে ইলেকট্রনের এরূপ নিঃসরণকে অভ্যন্তরিন ক্ষেত্র নিঃসরণ (internal field emission) বা ক্ষেত্র আয়নয়ন (field ionisation) বলে। ক্ষেত্র আয়নয়নের জন্য প্রয়োজনীয় তড়িৎক্ষেত্র প্রাবল্যের মান 10^6 V/m ক্রমের হয়।



চিত্র 14.21 জেনার ডায়োড
(a) চিহ্ন, (b) I-V বৈশিষ্ট্যাবলি।

ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রক হিসেবে জেনার ডায়োড (Zener diode as a voltage regulator)

আমরা জানি যে, কোনো একটি একমুখীকারকের (rectifier) পরিবর্তী ইনপুট ভোল্টেজের মান ওঠানামা করলে এর একমুখী আউটপুট বিভবের মান ও ওঠানামা করে। একমুখীকারক থেকে প্রাপ্ত অনিয়ন্ত্রিত ডি.সি. আউটপুট থেকে স্থির ডি.সি. আউটপুট ভোল্টেজ পাওয়ার জন্য আমরা জেনার ডায়োড ব্যবহার করি। জেনার ডায়োড ব্যবহার করে গঠিত বিভব নিয়ন্ত্রকের বর্তনী 14.22 চিত্রে দেখানো হয়েছে।



চিত্র 14.22 ডিসি ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রক হিসেবে জেনার ডায়োড

অনিয়ন্ত্রিত ডি.সি. ভোল্টেজকে (একমুখীকারকের ফিল্টার হওয়া আউটপুট)

শ্রেণি সমবায়ে থাকা রোধ R_s -এর মাধ্যমে এমনভাবে জেনার ডায়োডের সএঞ্জা যুক্ত করা হয় যেন জেনার ডায়োডটি বিপরীত বায়াসে থাকে। ইনপুট ভোল্টেজ বৃদ্ধির সাথে সাথে R_s এবং জেনার ডায়োডের মধ্য দিয়ে তড়িৎপ্রবাহও বৃদ্ধি পায়। এই বৃদ্ধি জেনার ডায়োডের দুই প্রান্তের মধ্যে বিভব পতনের কোনোরূপ পরিবর্তন না ঘটিয়ে R_s -এর প্রান্তদ্বয়ের মধ্যে বিভব পতনকে বৃদ্ধি করে। এর কারণ হল, বৈকল্য অঞ্চলে জেনার ডায়োডের মধ্য দিয়ে প্রবাহের পরিবর্তন ঘটলেও জেনার ডায়োডের মান অপরিবর্তিত থাকে। একইভাবে ইনপুট বিভবের মান হ্রাস পেলে R_s এবং জেনার ডায়োডের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহও কমতে থাকে। ফলে জেনার ডায়োডের দুই প্রান্তের মধ্যে বিভব পতনের কোনোরূপ পরিবর্তন না ঘটিয়ে R_s -এর প্রান্তদ্বয়ের মধ্যে বিভব পতনের মান হ্রাস পায়। কাজেই ইনপুট বিভবের মানের কোনোরূপ বৃদ্ধি বা হ্রাসের ফলে জেনার ডায়োডের প্রান্তদ্বয়ের মধ্যে বিভবের কোনো পরিবর্তন না ঘটিয়ে R_s -এর দুই প্রান্তের মধ্যে বিভব পতনের

মানের বৃদ্ধি বা হ্রাস ঘটে। এভাবে জেনার ডায়োড বিভব নিয়ন্ত্রক হিসেবে কাজ করে। প্রয়োজনীয় আউটপুট ভোল্টেজ এবং শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত রোধ R_s -এর মানের উপর নির্ভর করে আমাদেরকে জেনার ডায়োড নির্বাচন করতে হয়।

উদাহরণ 14.5 একটি জেনার নিয়ন্ত্রক শক্তি সরবরাহে নিয়ন্ত্রিত বিভবের জন্য ব্যবহৃত জেনার ডায়োডের বিভব $V_Z = 6.0 \text{ V}$ । লোড প্রবাহের মানকে 4.0 mA এবং অনিয়ন্ত্রিত ইনপুট বিভবকে 10.0 V -এ স্থির রাখতে হলে, শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত রোধক R_s -এর মান কত হওয়া উচিত?

সমাধান

R_s -এর মান এরূপ হওয়া দরকার যেন জেনার ডায়োডের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত তড়িৎপ্রবাহের মান লোড প্রবাহ অপেক্ষা অনেক বেশি হয়। সঠিক লোড নিয়ন্ত্রণের জন্য এমনটা হওয়া প্রয়োজন। জেনার প্রবাহের মান এমনভাবে নেওয়া হল যেন এটি লোড প্রবাহের মানের 5 গুণ হয়; অর্থাৎ $I_Z = 20 \text{ mA}$ । তাই R_s -এর মধ্য দিয়ে মোট প্রবাহ হল 24 mA । R_s -এর দুই প্রান্তে বিভব পতন $10.0 - 6.0 = 4.0 \text{ V}$ । যা থেকে পাওয়া যায়, $R_s = 4.0\text{V}/(24 \times 10^{-3}) \text{ A} = 167 \Omega$ । এইমানের কাছাকাছি কার্বন রোধকের মান হল 150Ω । সুতরাং, 150Ω মানের শ্রেণি রোধক উপযোগী হবে। লক্ষণীয় যে, রোধকের সামান্য ভিন্নমানে কিছু যায় আসে না, কিন্তু গুরুত্বপূর্ণ বিষয় হল যে প্রবাহ I_Z -এর মান I_L -এর মান অপেক্ষা অবশ্যই অনেক বেশি হতে হবে।

14.8.2 আলোকীয় বৈদ্যুতিন সংযোগ যন্ত্রাবলি (Optoelectronic junction devices)

এখন পর্যন্ত আমরা দেখেছি, প্রযুক্ত তড়িতিক ইনপুটের প্রভাবে একটি অর্ধপরিবাহী ডায়োড কীরূপ আচরণ করে। এই অনুচ্ছেদে আমরা সে সকল অর্ধপরিবাহী ডায়োড সম্পর্কে জানবো যাদের মধ্যে ফোটনের জন্য (আলোকীয় উদ্দীপনা) আধান বাহকের উৎপত্তি হয়। এসকল যন্ত্রগুলোকে বলা হয় আলোকীয় বৈদ্যুতিন যন্ত্রাবলি। আমরা নিম্নলিখিত আলোকীয় বৈদ্যুতিন যন্ত্রসমূহের কার্যপদ্ধতি সম্পর্কে জানবো :

- আলোক সংকেত সনাক্তকরণের জন্য ব্যবহৃত ফটো ডায়োড।

অর্ধপরিবাহী ইলেকট্রনিক্স : উপাদান পদার্থ, যন্ত্রাদি এবং সরল বর্তনীসমূহ

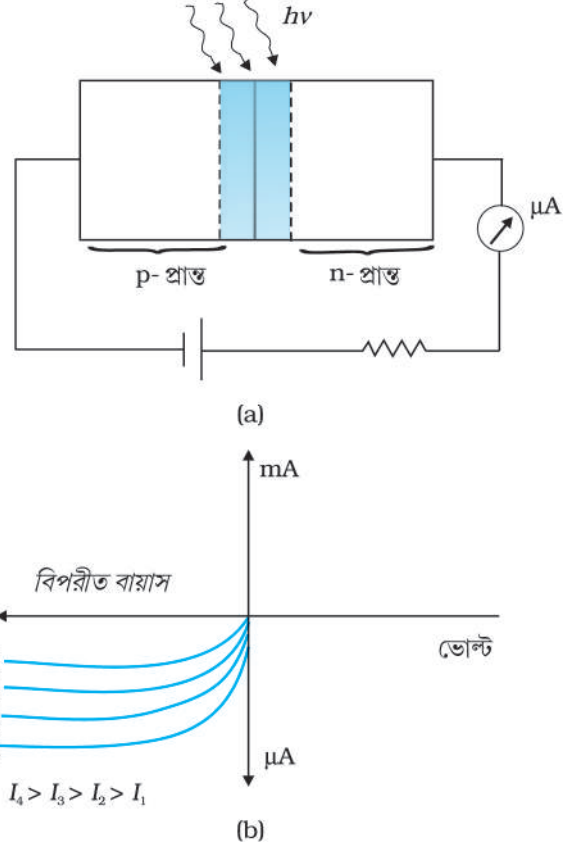
(ii) আলোক নিঃসারক ডায়োড (*Light emitting diodes, LED*) যা তড়িৎশক্তিকে আলোতে রূপান্তরিত করে।

(iii) আলোক ভোল্টীয় যন্ত্রাবলি যেগুলো আলোক বিকিরণকে তড়িতে পরিবর্তন করে (সৌর কোষ)।

(i) ফটোডায়োড (*Photodiode*)

ফটো ডায়োড হল এক বিশেষ উদ্দেশ্যমুখী p-n সংযোগ ডায়োড যা একটি স্বচ্ছ জানালাসহ এমনভাবে তৈরি যেন এর মধ্য দিয়ে আলো এসে ডায়োডে পরতে পারে। এটি বিপরীত বায়াসে কাজ করে। যখন ফটোডায়োডটিকে অর্ধপরিবাহীর শক্তি ব্যবধান (*energy gap*) E_g অপেক্ষা বেশি শক্তির ($h\nu$) আলোর (ফোটন) দ্বারা আলোকিত করা হয়, তখন ফোটন শোষণের মাধ্যমে ইলেকট্রন গর্ত যুগলের সৃষ্টি হয়। ডায়োডটিকে এমনভাবে তৈরি করা হয়, যেন e-h জোড়গুলো ডায়োডের নিঃশেষিত অঞ্চলের মধ্যে বা এর নিকটবর্তী অঞ্চলে সৃষ্টি হয়। সংযোগের তড়িৎক্ষেত্রের প্রভাবে ইলেকট্রন এবং গর্তগুলো পুনঃসংযোজনের পূর্বেই পৃথক হয়ে যায়। তড়িৎক্ষেত্রের অভিমুখ এমন হয় যেন ইলেকট্রনগুলো n-প্রান্তে এবং গর্তগুলো p-প্রান্তে পৌঁছায়। ইলেকট্রনগুলো n-প্রান্তে ও গর্তগুলো p-প্রান্তে সংগ্রহের ফলে একটি emf প্রতিষ্ঠিত হয়। একটি বাহ্যিক লোড যুক্ত করা হলে তড়িৎ প্রবাহিত হয়। আলোক তড়িৎপ্রবাহের মান আপাতিত আলোর প্রাবল্যের উপর নির্ভর করে (আলোক তড়িৎপ্রবাহ আপাতিত আলোর প্রাবল্যের সমানুপাতিক)।

যদি একটি বিপরীত বায়াস প্রয়োগ করা হয়, তবে আলোর প্রাবল্যের পরিবর্তনের সঙ্গে তড়িতের পরিবর্তন সহজেই পর্যবেক্ষণ করা যায়। এভাবে ফটোডায়োডকে আলোক সংকেত শনাক্তকরণে ফটোডিটেক্টর রূপে ব্যবহার করা যেতে পারে। ফটোডায়োডের I-V বৈশিষ্ট্যাবলি পরিমাপে ব্যবহৃত প্রয়োজনীয় বর্তনী চিত্রে 14.23(a) চিত্রে এবং সাধারণ I-V বৈশিষ্ট্যগুলোকে 14.23(b) চিত্রে দেখানো হয়েছে।



চিত্র 14.23 (a) বিপরীত বায়াসে থাকা একটি আলোকিত ফটো ডায়োড, (b) বিভিন্ন প্রাবল্যে ($I_4 > I_3 > I_2 > I_1$) আলোকিত ফটোডায়োডের I-V বৈশিষ্ট্যাবলি।

উদাহরণ 14.6 আমরা জানি যে, বিপরীত বায়াসে প্রাপ্ত তড়িৎপ্রবাহের মানের ($\sim \mu\text{A}$) তুলনায় সম্মুখ বায়াসে প্রাপ্ত তড়িৎপ্রবাহের মান ($\sim \text{mA}$) বেশি। তাহলে ফটোডায়োডকে কেন বিপরীত বায়াসে ক্রিয়াশীল করানো হয়?

সমাধান একটি n-জাতীয় অর্ধপরিবাহীর কথা বিবেচনা করো। অবশ্যই সংখ্যাগুরু আধান বাহকের ঘনত্ব (n) সংখ্যালঘু আধান বাহকের ঘনত্বের (p) তুলনায় যথেষ্ট বেশি (অর্থাৎ, $n \gg p$)। ধরি, আলোকিত করার ফলে উৎপন্ন অতিরিক্ত ইলেকট্রন ও গর্তের সংখ্যা যথাক্রমে Δn এবং Δp ।

$$n' = n + \Delta n$$

$$p' = p + \Delta p$$

এখানে n' এবং p' হল যে-কোনো একটি বিশেষ আলোক সম্পাতের জন্য ইলেকট্রন ও গর্তের সংখ্যা ঘনত্ব এবং n ও p হল আলোকিত নয় এরূপ অবস্থায় সংখ্যাগুরু ও সংখ্যালঘু বাহকের

* লক্ষণীয় যে, একটি e-h যুগল সৃষ্টি করতে আমাদের কিছু পরিমাণ শক্তি খরচ করতে হয় (আলোকীয় উদ্দীপনা; তাপীয় উদ্দীপনা ইত্যাদি)। তাই যখন একটি ইলেকট্রন ও একটি গর্ত পুনর্মিলিত হয়, আলোকরূপে (বিকিরণক্ষম পূর্ণমিলন) বা তাপ রূপে (অবিকিরণযোগ্য পূর্ণমিলন) শক্তি মুক্ত হয়। এটি নির্ভর করে অর্ধপরিবাহী এবং কীভাবে p-n সংযোগ ডায়োডকে গঠন করা হয়েছে তার উপর। LED নির্মাণে GaAs, GaAs-GaP এর মতো অর্ধপরিবাহী পদার্থ ব্যবহৃত হয় যাদের ক্ষেত্রে বিকিরণক্ষম পূর্ণমিলন ধর্ম প্রাধান্য পায়।

সংখ্যা ঘনত্ব। মনে রাখা প্রয়োজন, $\Delta n = \Delta p$ এবং $n \gg p$, সুতরাং, সংখ্যাগুরু বাহকের আংশিক পরিবর্তনের হার (অর্থাৎ, $\Delta n/n$) সংখ্যালঘু বাহকের (অর্থাৎ, $\Delta p/p$) তুলনায় যথেষ্ট কম হবে। সাধারণভাবে আমরা বলতে পারি যে, আলোক ক্রিয়ায় সম্মুখ বায়াস প্রবাহের আংশিক পরিবর্তনের হারের তুলনায় সংখ্যালঘু বাহক নিয়ন্ত্রিত বিপরীত বায়াস প্রবাহের আংশিক পরিবর্তনের হার পরিমাপ করা অধিকতর সহজ। একারণেই আলোর প্রাবল্য পরিমাপে ফটোডায়োডকে বিপরীত বায়াসে ব্যবহার করা হয়।

(ii) আলোক নিঃসারক ডায়োড (Light emitting diode)

এটি একটি উচ্চমাত্রায় অপদ্রব্য মেশানো p-n সংযোগ, যা সম্মুখবর্তী বায়াসের অধীনে স্বতঃস্ফূর্তভাবে বিকিরণ নিঃসরণ করে। ডায়োডটি একটি স্বচ্ছ আবরণে আবৃত থাকে যাতে নিঃসৃত আলো বেরিয়ে আসতে পারে।

যখন ডায়োডটি সম্মুখবর্তী বায়াসে থাকে, ইলেকট্রনসমূহ $n \rightarrow p$ (যেখানে এরা সংখ্যালঘু বাহক) প্রান্তে এবং গর্তসমূহ $p \rightarrow n$ (যেখানে এরা সংখ্যালঘু বাহক) প্রান্তে প্রেরিত হয়। সংযোগ সীমায় সংখ্যালঘু বাহকের ঘনত্ব সাম্যাবস্থায় ঘনত্বের (অর্থাৎ, যখন কোনো বায়াস প্রয়োগ করা হয়নি) তুলনায় বৃদ্ধি পায়। তাই সংযোগ সীমায় সংযোগ রেখার উভয় পাশে, অতিরিক্ত সংখ্যালঘু বাহক সমূহের সমাবেশ ঘটে এবং এরা সংযোগ রেখার সন্নিহিত উপস্থিত সংখ্যাগুরু বাহকসমূহের সাথে পুনঃসংযোজিত হয়। পুনঃসংযোজনের ফলে, শক্তি ফোটন রূপে নিঃসৃত হয়। পটি ব্যবধানের সমতুল্য অথবা খানিকটা কম শক্তি সম্পন্ন ফোটনসমূহ নির্গত হয়। যখন ডায়োডটির সম্মুখবর্তী তড়িৎপ্রবাহ স্বল্প মানের হয়, তখন নির্গত আলোর প্রাবল্যও স্বল্প হয়। সম্মুখবর্তী তড়িৎপ্রবাহ বৃদ্ধির সাথে সাথে, নির্গত আলোর প্রাবল্য ও বৃদ্ধি পায় এবং একটি সর্বোচ্চ মানে পৌঁছায়। সম্মুখবর্তী তড়িৎপ্রবাহের মান আরো বৃদ্ধি পেলে আলোর প্রাবল্য হ্রাস পায়। LED গুলো এমনভাবে বায়াস করা হয় যাতে এদের আলো নিঃসরণ দক্ষতা (emitting efficiency) সর্বোচ্চ হয়।

একটি LED-এর V-I বৈশিষ্ট্য লেখ Si সংযোগ ডায়োডের বৈশিষ্ট্য লেখ-এর অনুরূপ হয়। কিন্তু সূচনা বিভবগুলো (threshold voltages) অনেক উচ্চমানের হয় এবং প্রতিটি বর্ণের ক্ষেত্রে খানিকটা ভিন্ন হয়। LED সমূহের বিপরীত বৈকল্য বিভব খুব নিম্নমানের হয় যা সাধারণত প্রায় 5V। তাই ডায়োডগুলোর প্রাক্তীয় বিপরীত বিভব যাতে উচ্চমানের না হয়, সেইদিকে বিশেষ লক্ষ রাখতে হবে।

লাল, হলুদ, কমলা, সবুজ এবং নীল আলো নিঃসরণে সক্ষম LED সমূহ বাণিজ্যিকভাবে সহজলভ্য। দৃশ্যমান LED প্রস্তুতকরণে ব্যবহৃত অর্ধপরিবাহীটির পটি ব্যবধান অবশ্যই ন্যূনতম পক্ষে 1.8 eV (দৃশ্যমান আলোর বর্ণালি পাল্লা প্রায় 0.4 μm থেকে 0.7 μm , অর্থাৎ প্রায় 3 eV থেকে 1.8 eV হয়) হতে হবে। গেলিয়াম-আর্সেনাইট-ফসফাইড ($\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$) নামক যৌগিক অর্ধপরিবাহীটি ভিন্ন ভিন্ন বর্ণের LED প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত হয়। $\text{GaAs}_{0.6}\text{P}_{0.4}$ ($E_g \sim 1.9$ eV) লাল বর্ণের LED প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত হয়। GaAs ($E_g \sim 1.4$ eV) অবলোহিত LED প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত হয়। রিমোট কন্ট্রোল, বার্গলার এলার্ম সিস্টেম, আলোকীয় সঞ্চার ব্যবস্থাপনা ইত্যাদি ক্ষেত্রে এসকল LED বহুল ব্যবহৃত হয়। তাপ উদ্দীপিত (incandescent) বাতির বিকল্প হিসাবে সাদা বর্ণের LED উদ্ভাবনের ক্ষেত্রে ব্যাপক গবেষণা চলছে।

প্রচলিত নিম্ন ক্ষমতাসম্পন্ন তাপ উদ্দীপিত বাতির তুলনায় LED সমূহের নিম্নলিখিত সুবিধাগুলো থাকে:

- নিম্ন কার্যকরী বিভব এবং স্বল্প ক্ষমতাসম্পন্ন।
- দ্রুত সক্রিয়তা এবং তাৎক্ষণিকভাবে কার্যকরী।
- নিঃসৃত আলোর পটিবেধ 100 Å থেকে 500 Å হয় অথবা অন্যভাবে বলা যায় নিঃসৃত আলো প্রায় একবর্ণী (কিন্তু প্রকৃতপক্ষে নয়)।
- দীর্ঘমেয়াদি এবং সুদৃঢ়।
- তাৎক্ষণিক 'অন-অফ' সুইচিং সক্ষমতা।

অর্ধপরিবাহী ইলেকট্রনিক্স : উপাদান পদার্থ, যন্ত্রাদি এবং সরল বর্তনীসমূহ

(iii) সৌর কোশ (Solar cell)

সৌর কোশ হল মূলত একটি p-n সংযোগ ব্যবস্থাপনা যার p-n সংযোগের উপর আপতিত সৌর বিকিরণের ফলে এটি তড়িচ্চালক বল উৎপন্ন করে। বাহ্যিক বায়ুস প্রয়োগের বিষয়টি ছাড়া, এটি ফটো ডায়োডের মতো একই নীতির (ফটো ভোল্টীয় প্রভাব) উপর কাজ করে এবং যেহেতু আমরা অধিক ক্ষমতা উৎপাদনে আগ্রহী। তাই বেশি পরিমাণ সৌর বিকিরণ আপতনের সুবিধার্থে, সংযোগ ক্ষেত্রটি অধিক বিস্তৃত রাখা হয়।

একটি সরল p-n সংযোগ সৌরকোশ 14.24 চিত্রে দেখানো হয়েছে।

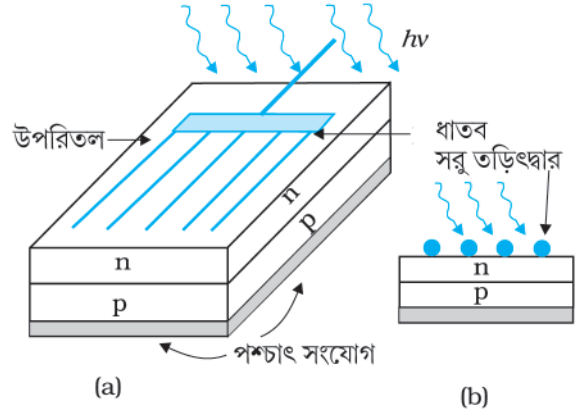
প্রায় 300 μm বেধবিশিষ্ট একটি p-Si ওয়েফার নেওয়া হল যার উপর এক পার্শ্বে ব্যাপন প্রক্রিয়ার মাধ্যমে প্রায় $\sim 0.3 \mu\text{m}$ বেধবিশিষ্ট n-Si-এর একটি পাতলা স্তর সৃষ্টি করা হল। p-Si -এর অপর পার্শ্বে ধাতব প্রলেপযুক্ত (পশ্চাৎ সংযোগ)। n-Si স্তরের উপরিতলে ধাতু সঞ্চারের মাধ্যমে সবু তড়িৎদ্বার (অথবা ধাতব তারজালি) তৈরি করা হয়। এই তড়িৎদ্বার সম্মুখ সংযোগ হিসাবে কাজ করে। ধাতব তারজালিটি কোশের মুক্ততলের কেবলমাত্র একটি অতি ক্ষুদ্র অংশ ($< 15\%$) জুড়ে থাকে যাতে উপর থেকে আগত আলো কোশের উপর ভালোভাবে আপতিত হতে পারে।

আলো আপতনের ফলে একটি সৌরকোশে তড়িচ্চালক বল উৎপন্ন হওয়ার ক্ষেত্রে নিম্নলিখিত তিনটি মূল প্রক্রিয়া থাকে : উৎপত্তিকরণ, পৃথকীকরণ এবং সংগ্রহকরণ — (i) সংযোগস্থলের নিকটে আলোর ($h\nu > E_g$ -এর ক্ষেত্রে) আপতনের ফলে e-h যুগলের উৎপত্তি; (ii) নিঃশেষিত অঞ্চলের তড়িৎক্ষেত্রের দ্বারা ইলেকট্রন এবং গর্তসমূহের পৃথকীকরণ; (iii) n-প্রান্তে পৌঁছে যাওয়া ইলেকট্রনসমূহ ও p- প্রান্তে পৌঁছে যাওয়া গর্ত সমূহ যথাক্রমে সম্মুখ সংযোগ এবং পশ্চাৎ সংযোগ কর্তৃক সংগৃহীত হয়। তাই p-প্রান্তটি ধনাত্মক এবং n-প্রান্তটি ঋণাত্মক হওয়ায় ফটো ভোল্টেজের উদ্ভব হয়।

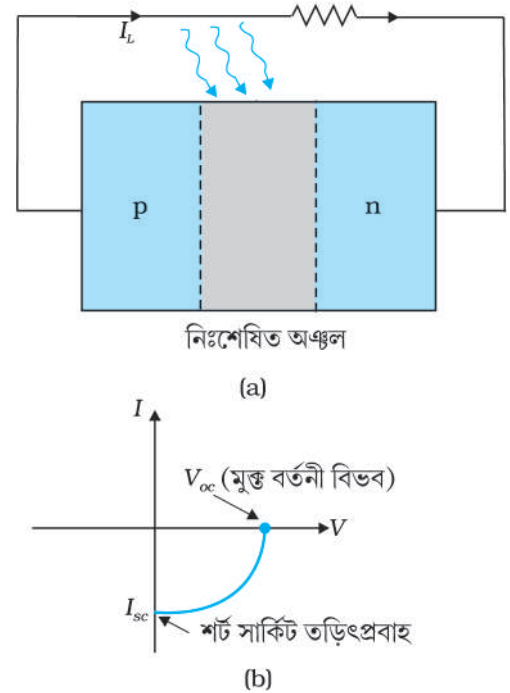
যখন একটি বাহ্যিক লোড রোধযুক্ত করা হয় তখন লোড রোধের মধ্য দিয়ে ফটো তড়িৎ I_L প্রবাহিত হয়, যা 14.25(a) চিত্রে দেখানো হয়েছে। একটি সৌর কোশের সাধারণ I-V বৈশিষ্ট্য লেখ 14.25(b) চিত্রে দেখানো হয়েছে।

লক্ষণীয় যে, সৌরকোশের I - V বৈশিষ্ট্য লেখটি স্থানাঙ্ক অক্ষের চতুর্থ পাদে অংকন করা হয়েছে। এর কারণ হল সৌরকোশে তড়িৎপ্রবাহ গৃহীত হয় না, বরং এটি লোড রোধ তড়িৎপ্রবাহ সরবরাহ করে।

প্রায় 1.5 eV পটি ব্যবধানবিশিষ্ট অর্ধপরিবাহী পদার্থসমূহ হল সৌরকোশ প্রস্তুতির জন্যে আদর্শ উপাদান। Si ($E_g = 1.1 \text{ eV}$), GaAs ($E_g = 1.43 \text{ eV}$), CdTe ($E_g = 1.45 \text{ eV}$), CuInSe₂ ($E_g = 1.04 \text{ eV}$), ইত্যাদির ন্যায় অর্ধপরিবাহী পদার্থ দিয়ে সৌর কোশ তৈরি করা হয়। সৌরকোশ প্রস্তুতিকরণে নির্বাচিত উপাদানের গুরুত্বপূর্ণ বৈশিষ্ট্যগুলো হল : (i) পটি ব্যবধান (~ 1.0 থেকে 1.8 eV), (ii) উচ্চ মাত্রার আলোকীয় শোষণ ক্ষমতা ($\sim 10^4 \text{ cm}^{-1}$), (iii) তড়িৎ পরিবাহিতাংক, (iv) প্রস্তুতিকরণে মূল উপাদানসমূহের সহজ লভ্যতা, এবং (v) ব্যয়। লক্ষণীয় যে, সৌর কোশের জন্য সূর্যালোক সর্বদা জরুরী নয়। পটি ব্যবধান অপেক্ষা অধিক ফোটন শক্তি সম্পন্ন যে-কোনো আলোই কার্যকরী হতে পারে। উপগ্রহ এবং মহাকাশযানে ব্যবহৃত ক্ষমতাসম্পন্ন বৈদ্যুতিন যন্ত্রাদিতে (power electronic devices) এবং কিছু কিছু ক্যালকুলেটরে 'পাওয়ার সাপ্লাই' হিসেবেও সৌরকোশ ব্যবহৃত হয়। বৃহদাকারে সৌরশক্তিকে কাজে লাগাত সুলভ মূল্যে ফটোভোল্টীয় কোষ উৎপাদন একটি গবেষণার বিষয়।



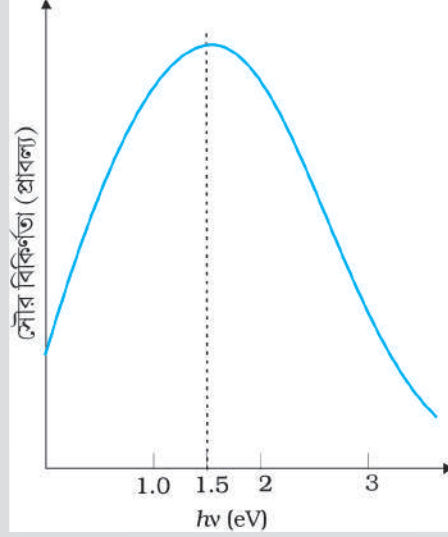
চিত্র 14.24 (a) সাধারণ p-n সংযোগ সৌরকোশ;
(b) প্রস্থচ্ছেদীয় দৃশ্য।



চিত্র 14.25 (a) সাধারণভাবে আলোকিত একটি p-n সংযোগ সৌর কোশ; (b) একটি সৌর কোশের I-V বৈশিষ্ট্য লেখ।

উদাহরণ 14.7 সৌরকোশ তৈরিতে উপাদান হিসাবে Si এবং GaAs পদার্থসমূহকে প্রাধান্য দেওয়া হয় কেন?

সমাধান আমরা যে সৌর বিকিরণ বর্ণালি পাই তা 14.26 নং চিত্রে দেখানো হয়েছে।



চিত্র 14.26

লেখচিত্রে সৌরবিকিরণের চরম মান 1.5 eV-এর কাছাকাছি। আলোক উদ্দীপনার জন্যে $h\nu > E_g$ । তাই, প্রায় ~ 1.5 eV অথবা এর কম পটি ব্যবধান সম্পন্ন অর্ধপরিবাহী পদার্থ সাধারণতঃ উন্নততর সৌর শক্তি রূপান্তর দক্ষতা দেখায়। সিলিকনের ক্ষেত্রে $E_g \sim 1.1$ eV। যেখানে GaAs-এর ক্ষেত্রে $E_g \sim 1.53$ eV। বাস্তবিক ক্ষেত্রে, উচ্চতর পটি ব্যবধান থাকা সত্ত্বেও অপেক্ষাকৃত উচ্চমানের শোষণ গুণাংকের দরুণ Si-এর তুলনায় GaAs অধিক গ্রহণযোগ্য। আমরা যদি CdS অথবা CdSe ($E_g \sim 2.4$ eV)-এর ন্যায় উপাদান বাছাই করি, আমরা আলোকশক্তি রূপান্তরের (photo-conversion) জন্যে কেবলমাত্র সৌরশক্তির উচ্চ শক্তি উপাংশগুলো কাজে লাগাতে পারি এবং সেইক্ষেত্রে সৌরশক্তির একটি বৃহৎ তাৎপর্যপূর্ণ অংশ কোনো কাজে আসে না।

প্রশ্ন ওঠতে পারে : সৌর বিকিরণ বর্ণালি সংশ্লিষ্ট ν -এর চরম মানের জন্যে $h\nu > E_g$, এই শর্তটি সিদ্ধ হওয়া সত্ত্বেও, PbS ($E_g \sim 0.4$ eV)-এর ন্যায় উপাদান আমরা কেন ব্যবহার করি না? আমরা যদি তা করি, সৌর বিকিরণের অধিকাংশই সৌর কোশের উপরিস্তরে শোষিত হয়ে যাবে এবং নিঃশেষিত অঞ্চল বা এর কাছাকাছি বিকিরণ পৌঁছতে পারবে না। সংযোগস্থলে তড়িৎক্ষেত্রের প্রভাবে কার্যকরী ইলেকট্রন-গর্ত পৃথকীকরণে আমরা কেবলমাত্র সংযোগ অঞ্চলেই আলোক নিঃসরণ প্রক্রিয়াটি সংঘটিত করতে আগ্রহী।

14.9 সংযোগ ট্রানজিস্টার (JUNCTION TRANSISTOR)

1947 সালে ট্রানজিস্টার উদ্ভাবনের কৃতিত্ব আমেরিকার বেল টেলিফোন ল্যাবরেটরীর জে.বি.বার্ডিন (J. Bardeen) এবং ডব্লিউ, এইচ, ব্রাট্টেইন (W.H. Brattain) -কে দেওয়া হয়। ওই ট্রানজিস্টারটি ছিল একটি বিন্দু সংযোগ (point-contact) ট্রানজিস্টার। 1951 সালে William Shockley দুটি p-n সংযোগকে পরস্পরের পিঠাপিঠি (back-to-back) যুক্ত করে প্রথম সংযোগ ট্রানজিস্টার নির্মাণ করেন।

যতদিন পর্যন্ত শুধুমাত্র সংযোগ ট্রানজিস্টারের কথা জানা ছিল ততদিন একে শুধু ট্রানজিস্টার বলা হত। কিন্তু পরবর্তীকালে অনেক নতুন ধরনের ট্রানজিস্টারের উদ্ভাবন হয় এবং নতুনটির থেকে আলাদা করার জন্য এর নাম দেওয়া হয় ডিমেরু সংযোগ ট্রানজিস্টার (BJT)। এমনকি BJT -কে বোঝাতে অনেকক্ষেত্রেই

অর্ধপরিবাহী ইলেকট্রনিক্স : উপাদান পদার্থ, যন্ত্রাদি এবং সরল বর্তনীসমূহ

শুধুমাত্র ট্রানজিস্টার শব্দটি ব্যবহার করা হয়। যেহেতু আমাদের আলোচনা শুধুমাত্র BJT-এর মধ্যে সীমাবদ্ধ, তাই আমরা BJT-এর পরিবর্তে কেবলমাত্র ট্রানজিস্টার শব্দটিই ব্যবহার করবো।

14.9.1 ট্রানজিস্টার : গঠন ও কার্য প্রণালী (Transistor: structure and action)

একটি ট্রানজিস্টারে তিনটি ডোপিং অঞ্চল থাকে যারা নিজেদের মধ্যে দুইটি p-n সংযোগ সৃষ্টি করে। স্পষ্টতই ট্রানজিস্টার দুই ধরনের হয়, যা 14.27 চিত্রে দেখানো হল।

(i) **n-p-n ট্রানজিস্টার** : এক্ষেত্রে n-টাইপ অর্ধপরিবাহীর দুইটি অংশ (নিঃসারক এবং সংগ্রাহক) একটি p-টাইপ অর্ধপরিবাহী (ভূমি) অংশ দ্বারা আলাদা করা থাকে।

(ii) **p-n-p ট্রানজিস্টার** : এক্ষেত্রে p-টাইপ অর্ধপরিবাহীর দুইটি অংশ (নিঃসারক ও সংগ্রাহক) একটি n-টাইপ অর্ধপরিবাহী (ভূমি) অংশ দ্বারা আলাদা করা থাকে।

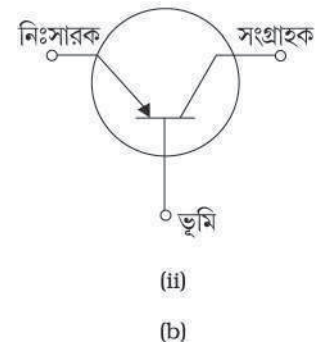
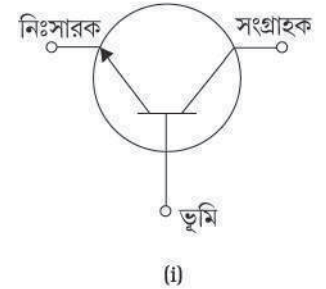
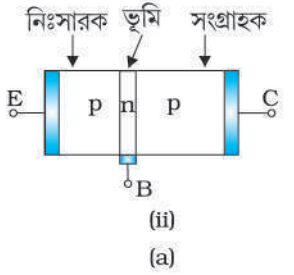
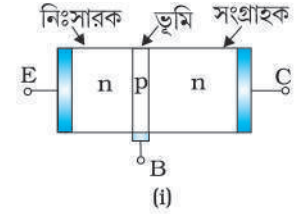
n-p-n এবং p-n-p ট্রানজিস্টারের গঠনের এক রূপরেখা চিত্র 14.27(a) চিত্রের মাধ্যমে দেখানো হল। ট্রানজিস্টারের তিনটি আলাদা অংশের বেধ এবং ডোপিং মাত্রা আলাদা আলাদা হয়। p-n-p এবং n-p-n ট্রানজিস্টারের প্রচলিত রূপরেখা চিত্রে ব্যবহৃত তির চিহ্ন দ্বারা ট্রানজিস্টারের মধ্য দিয়ে তড়িৎপ্রবাহের প্রচলিত অভিমুখ বোঝানো হয়েছে। ট্রানজিস্টারের বিভিন্ন অংশের সংক্ষিপ্ত বিবরণ নিম্নে দেওয়া হল :

- **নিঃসারক (Emitter)** : এই অংশটি ট্রানজিস্টারের এক পাশে থাকে, যা 14.27(a) চিত্রে দেখানো হয়েছে। এটি মাঝারি আকারের এবং অনেক বেশি মাত্রায় ডোপিং করা হয়। এটি ট্রানজিস্টারের তড়িৎপ্রবাহের জন্য প্রচুর সংখ্যক সংখ্যাগুরু বাহক সরবরাহ করে।
- **ভূমি (Base)** : এটি কেন্দ্রীয় অংশ। এটি খুবই সরু এবং এটি অল্প মাত্রায় ডোপিং করা হয়।
- **সংগ্রাহক (Collector)** : এটি নিঃসারক কর্তৃক সরবরাহিত সংখ্যাগুরু বাহকের বেশির ভাগ অংশকেই সংগ্রহ করে। সংগ্রাহক অঞ্চলটি মাঝারিভাবে ডোপিং করা হয় এবং এটি নিঃসারকের তুলনায় আকারে বড়ো হয়।

আমরা পূর্বেই দেখেছি যে, p-n সংযোগের সংযোগস্থলে একটি নিঃশেষিত অঞ্চল তৈরি হয়। ট্রানজিস্টারের ক্ষেত্রেও নিঃশেষিত অঞ্চল তৈরি হয়। নিঃসারক ভূমির সংযোগস্থলে এবং ভূমি ও সংগ্রাহকের সংযোগস্থলে। ট্রানজিস্টারের কার্যপ্রণালী বুঝতে গেলে আমাদের সংযোগস্থলে সৃষ্ট এই নিঃশেষিত অঞ্চলের প্রকৃতি সম্পর্কে জানতে হবে। ট্রানজিস্টারের বিভিন্ন প্রান্তগুলোর মধ্যে উপযুক্ত বিভব প্রয়োগ করা হলে এর বিভিন্ন অঞ্চলগুলোর মধ্য দিয়ে আধান বাহকগুলো চলাচল করে।

ব্যবহারের বিভিন্নতা অনুযায়ী ট্রানজিস্টারকে বিভিন্নভাবে বায়াস করা হয়। ট্রানজিস্টারকে মূলত দুইটি ভিন্নভাবে ব্যবহার করা যেতে পারে। মূলত উৎস সংকেতের এক বিবর্ধিত রূপ সৃষ্টিকারী যন্ত্র তথা বিবর্ধক (amplifier) রূপে কাজ করার জন্যই ট্রানজিস্টারের উদ্ভাবন করা হয়েছিল। কিন্তু পরবর্তী সময়ে সুইচ হিসেবে এর ব্যবহারও সমান গুরুত্ব পেয়েছে। আমরা এখানে এই ব্যবহারগুলো সম্পর্কে জানবো এবং দেখব কীভাবে একটি ট্রানজিস্টারকে এই পারস্পরিক বিশেষ কাজের ক্ষেত্রে বায়াসিং করা হয়।

প্রথমে আমরা দেখব কীভাবে একটি ট্রানজিস্টার বিবর্ধন ক্ষমতা লাভ করে। একটি ট্রানজিস্টার বিবর্ধক হিসেবে তখনই কাজ করে যখন নিঃসারক ভূমি সংযোগ সম্মুখ বায়াসে এবং ভূমি সংগ্রাহক সংযোগ বিপরীত বায়াসে থাকে। এই ব্যবস্থাটি 14.28 চিত্রে দেখানো হয়েছে যেখানে V_{CC} এবং V_{EE} কে উপযুক্ত বায়াসিং তৈরি করতে ব্যবহার করা হয়। ট্রানজিস্টারকে যখন এইভাবে বায়াস করা হয় তখন বলা হয় এটি সক্রিয় অবস্থায় (active state) রয়েছে। আমরা নিঃসারক ভূমির বিভবকে V_{EB} দ্বারা এবং সংগ্রাহক ও ভূমির মধ্যকার বিভবকে V_{CB} দ্বারা চিহ্নিত করি। 14.28 চিত্রানুযায়ী

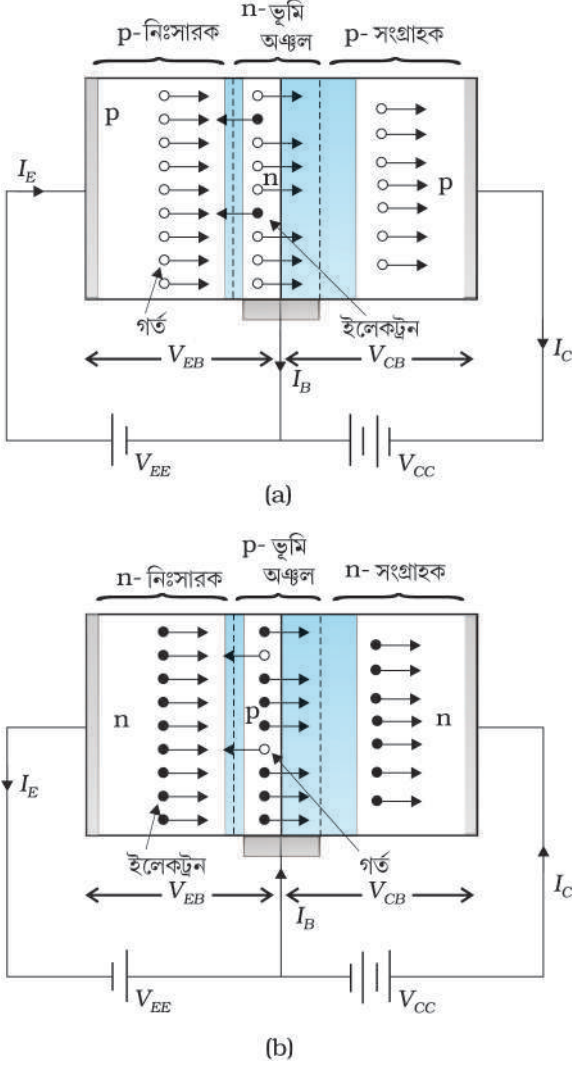


চিত্র 14.27

(a) n-p-n ট্রানজিস্টার এবং p-n-p ট্রানজিস্টারের রূপরেখা চিত্র, এবং

(b) n-p-n এবং p-n-p ট্রানজিস্টারের বর্তনী প্রতীক।

পদার্থবিদ্যা



চিত্র 14.28 (a) p-n-p ট্রানজিস্টার এবং (b) n-p-n ট্রানজিস্টার-এ প্রযুক্ত বায়াস বিভব।

ভূমি হচ্ছে দুইটি সরবরাহ উৎসের এক সাধারণ প্রাপ্ত যাদের অপর দুটি প্রাপ্ত যথাক্রমে নিঃসারক ও সংগ্রাহকের সাথে যুক্ত করা হয়। এক্ষেত্রে দুটি সরবরাহ উৎসকে যথাক্রমে V_{EE} এবং V_{CC} দ্বারা সূচিত করা হয়েছে। বর্তনীতে যখন সাধারণ প্রাপ্ত হিসেবে নিঃসারক ব্যবহৃত হয় তখন ভূমি এবং নিঃসারকের মধ্যে সরবরাহ উৎসকে V_{BB} দ্বারা এবং সংগ্রাহক ও নিঃসারকের মধ্যের সরবরাহ উৎসকে V_{CC} দ্বারা চিহ্নিত করা হয়।

যখন ট্রানজিস্টারের নিঃসারক ভূমি সংযোগ সম্মুখ বায়াসে এবং ভূমি সংগ্রাহক সংযোগ বিপরীত বায়াসে থাকে তখন ট্রানজিস্টারের মধ্য দিয়ে তড়িৎ বাহকগুলোর গতিপথ কীরূপ হয়, তা আমরা দেখবো। অনেক বেশি মাত্রায় ডোপিং করা নিঃসারকের মধ্যে সংখ্যাগুরু বাহকের ঘনত্ব বেশি থাকে : p-n-p ট্রানজিস্টারের ক্ষেত্রে এটি হোল এবং n-p-n ট্রানজিস্টারের ক্ষেত্রে এটি ইলেকট্রন। এই সংখ্যাগুরু বাহকগুলো অনেক বেশি সংখ্যায় ভূমিতে প্রবেশ করে। ভূমি সরু এবং অল্প মাত্রায় ডোপিং করা থাকে। সুতরাং, সেখানে সংখ্যাগুরু বাহকও কম সংখ্যায় থাকে। p-n-p ট্রানজিস্টারে ভূমির সংখ্যাগুরু বাহক হচ্ছে ইলেকট্রন, কেননা ভূমি হচ্ছে n-টাইপ অর্ধপরিবাহী। প্রচুর সংখ্যক হোল নিঃসারক থেকে ভূমিতে প্রবেশ করে এবং সেখানকার অল্প সংখ্যক ইলেকট্রনকে ছাপিয়ে যায়। যেহেতু ভূমি ও সংগ্রাহকের সংযোগ বিপরীত বায়াসে থাকে তাই এই হোলগুলো যা এখানে সংখ্যালঘু বাহক হিসেবে কাজ করে তা অতি সহজে সংযোগস্থল অতিক্রম করে সংগ্রাহকে প্রবেশ করে। ভূমিতে উপস্থিত হোলগুলো হয়তো বা বাইরে থেকে আসা ইলেকট্রনের সাথে যুক্ত হওয়ার জন্য ভূমি প্রান্তের দিকে ধাবিত হয় অথবা সংগ্রাহকে প্রবেশের জন্য সংযোগস্থল অতিক্রম করে সংগ্রাহক প্রান্তে পৌঁছায়। ভূমির বেধ খুব পাতলা রাখা হয় যেন অধিকাংশ হোলগুলোই বিপরীত বায়াসে থাকা ভূমি সংগ্রাহক সংযোগস্থলের কাছাকাছি থাকে, ফলে এরা ভূমি প্রান্তের দিকে অগ্রসর না হয়ে সংযোগস্থল অতিক্রম করে।

এখানে উল্লেখ করার মতো ঘটনা হল এই যে নিঃসারক ভূমি সংযোগ সম্মুখে বায়াসে থাকায় একটি বৃহৎ মানের তড়িৎ এই সংযোগস্থলে প্রবেশ করে কিন্তু এর বেশিরভাগ অংশই অভিমুখ পরিবর্তন করে বিপরীত বায়াসে

থাকা পার্শ্ববর্তী ভূমি সংগ্রাহক সংযোগ অভিমুখে চালিত হয় ফলে সংযোগে প্রবিষ্ট প্রবাহের সাপেক্ষে খুব কম পরিমাণ প্রবাহ ভূমি থেকে বেরিয়ে আসে। যদি আমরা সম্মুখ বায়াসে থাকা সংযোগস্থলের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত গর্ত বা হালের প্রবাহজনিত তড়িৎ এবং ইলেকট্রনের প্রবাহজনিত তড়িৎকে যথাক্রমে I_h এবং I_e দ্বারা প্রকাশ করি তবে সম্মুখ বায়াসে থাকা কোনো একটি ডায়োডের মধ্য দিয়ে মোট তড়িৎপ্রবাহ $I_h + I_e$ হয়। আমরা দেখেছি নিঃসারক তড়িৎ $I_E = I_h + I_e$ । কিন্তু ভূমি তড়িৎ $I_B \ll I_h + I_e$, কারণ I_E -এর বেশিরভাগ অংশই ভূমি প্রাপ্ত থেকে বেরিয়ে আসার পরিবর্তে সংগ্রাহক অঞ্চলে চলে যায়। কাজেই ভূমি প্রবাহ, নিঃসারক প্রবাহের একটি ক্ষুদ্র অংশ হয়।

বাইরে থেকে নিঃসারকে যে তড়িৎ প্রবেশ করে তা নিঃসারক তড়িৎ I_E -এর সমান হয়। অনুবৃত্তে ভূমিপ্রাপ্ত থেকে বেরিয়ে আসা তড়িৎকে I_B এবং সংগ্রাহক প্রাপ্ত থেকে বেরিয়ে আসা তড়িৎকে I_C বলে। উপরের আলোচনা, উপরন্তু 14.28(a) চিত্রে কির্শফের সূত্রের সরাসরি প্রয়োগ থেকে এটি স্পষ্ট যে

অর্ধপরিবাহী ইলেকট্রনিক্স : উপাদান পদার্থ, যন্ত্রাদি এবং সরল বর্তনীসমূহ

নিঃসারক তড়িৎ প্রবাহমাত্রা, সংগ্রাহক তড়িৎ প্রবাহমাত্রা ও ভূমি তড়িৎ প্রবাহমাত্রার সমষ্টির সমান হয় :

$$I_E = I_C + I_B \quad (14.7)$$

আমরা আরো জানি, $I_C \approx I_E$ ।

আমাদের বর্ণনা অনুযায়ী হোলার গতির অভিমুখ প্রচলিত তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখের অনুরূপ হয়। কিন্তু ইলেকট্রনের গতির অভিমুখ তড়িৎপ্রবাহের ঠিক বিপরীতমুখী হয়। তাই p-n-p ট্রানজিস্টারে তড়িৎ সংগ্রাহক থেকে ভূমিতে প্রবেশ করে, পক্ষান্তরে n-p-n ট্রানজিস্টারে তড়িৎ ভূমি থেকে সংগ্রাহকে প্রবেশ করে। সংগ্রাহকের তীরশীর্ষ প্রচলিত তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ নির্দেশ করে।

n-p-n ট্রানজিস্টারের সংখ্যাগুরু এবং সংখ্যা লঘুবাহকের গতিপথ p-n-p ট্রানজিস্টারের ক্ষেত্রে বর্ণিত গতিপথের মতোই হয়। কিন্তু তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ সম্পূর্ণ বিপরীতমুখী হয়, যেমনটা 14.28 চিত্রে দেখানো হয়েছে। 14.28(b) চিত্রানুযায়ী n-জাতীয় অঞ্চল দ্বারা সরবরাহকৃত ইলেকট্রন হচ্ছে সংখ্যাগুরু বাহক। এইগুলো সব p-ভূমি অঞ্চল অতিক্রম করে সংগ্রাহকে পৌঁছে সংগ্রাহক তড়িৎ প্রবাহ I_C সৃষ্টিতে সমর্থ হয়। উপরের আলোচনা থেকে আমরা এই সিদ্ধান্তে পৌঁছাতে পারি যে ট্রানজিস্টারের সক্রিয় অবস্থায় (active state) নিঃসারক ভূমি সংযোগ কম মানের রোধের মতো কাজ করে যেখানে ভূমি সংগ্রাহক সংযোগ উচ্চমানের রোধের মতো কাজ করে।

14.9.2 ট্রানজিস্টার বর্তনীর মূল সংযোগ ব্যবস্থা এবং ট্রানজিস্টার বৈশিষ্ট্যাবলি (Basic transistor circuit configurations and transistor characteristics)

ট্রানজিস্টারের মাত্র তিনটি প্রান্ত থাকে : নিঃসারক (E), ভূমি (B) এবং সংগ্রাহক (C)। সুতরাং বর্তনীতে ইনপুট/আউটপুট সংযোগ এমন হয় যে, এইগুলোর মধ্যে (E, B অথবা C) যে-কোনো একটি ইনপুট এবং আউটপুট উভয়ক্ষেত্রে সাধারণ। সেই অনুযায়ী ট্রানজিস্টারকে নিম্নের তিনটির যে-কোনো একটি সংযোগ ব্যবস্থায় যুক্ত করা যেতে পারে : সাধারণ নিঃসারক (CE), সাধারণ ভূমি (CB) এবং সাধারণ সংগ্রাহক (CC)।

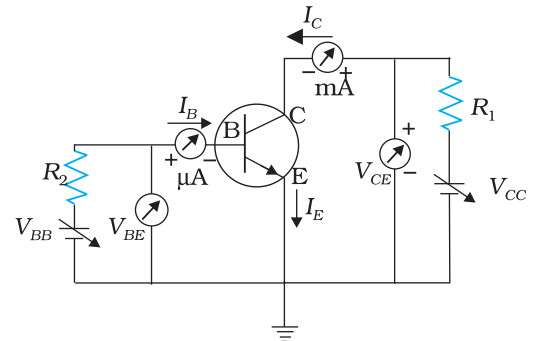
CE সংযোগ ব্যবস্থায় যুক্ত ট্রানজিস্টার বহুল ব্যবহৃত হয় এবং আমরা এখানে আমাদের আলোচনা সাধারণ নিঃসারক সংযোগ ব্যবস্থাতেই সীমাবদ্ধ রাখবো। যেহেতু সচরাচর ব্যবহৃত ট্রানজিস্টারগুলো হল n-p-n জাতীয় Si-ট্রানজিস্টার, তাই আমরা আমাদের আলোচনা শুধুমাত্র এ ধরনের ট্রানজিস্টারেই সীমাবদ্ধ রাখবো। p-n-p ট্রানজিস্টারের ক্ষেত্রে ব্যবহৃত বাহ্যিক বিদ্যুৎ সরবরাহ উৎসের মেরুদ্বয়কে বিপরীত করতে হবে।

সাধারণ নিঃসারক ট্রানজিস্টারের বৈশিষ্ট্যাবলি

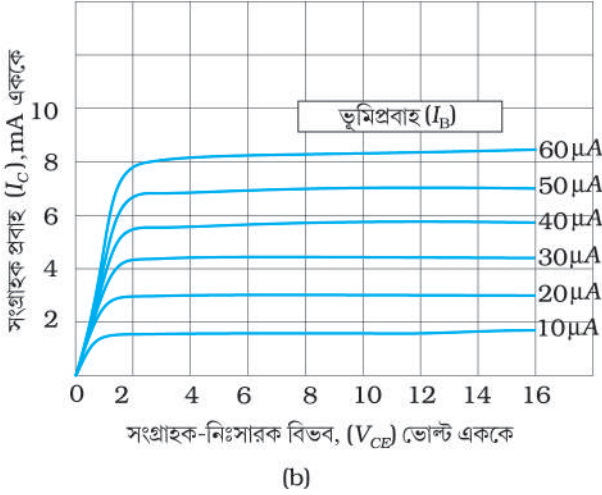
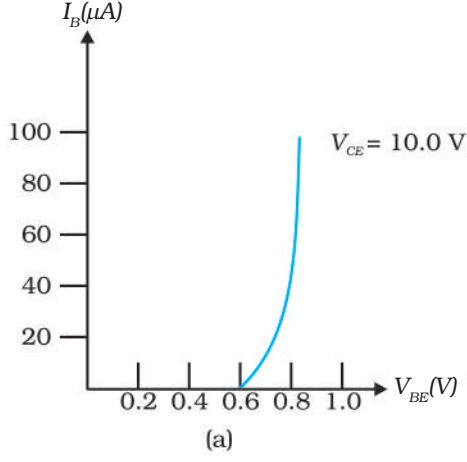
যখন একটি ট্রানজিস্টার CE সংযোগ ব্যবস্থায় ব্যবহৃত হয় তখন ইনপুট ভূমি ও নিঃসারকের মধ্যে এবং আউটপুটকে সংগ্রাহক এবং নিঃসারকের মধ্যে যুক্ত করা হয়। ভূমি নিঃসারক বিভবের (V_{BE}) পরিবর্তনের সাথে ভূমি প্রবাহ I_B -এর পরিবর্তনের লেখচিত্রকে বলা হয় ইনপুট বৈশিষ্ট্য লেখ। অনুরূপভাবে সংগ্রাহক নিঃসারক বিভবের (V_{CE}) পরিবর্তনের সাথে সংগ্রাহক প্রবাহ I_C -এর পরিবর্তনের লেখকে বলা হয় আউটপুট বৈশিষ্ট্য লেখ। তোমরা দেখতে পাবে যে, আউটপুট বৈশিষ্ট্যাবলি ইনপুট বৈশিষ্ট্যাবলি দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়। এথেকে বোঝায় যায় ভূমি প্রবাহের পরিবর্তনের সাথে সাথে সংগ্রাহক প্রবাহও পরিবর্তিত হয়।

14.29 চিত্রে দেখানো বর্তনী ব্যবহার করে একটি n-p-n ট্রানজিস্টারের ইনপুট বৈশিষ্ট্যাবলি এবং আউটপুট বৈশিষ্ট্যাবলি অনুধাবন করা যেতে পারে।

সাধারণ নিঃসারক সংযোগে ট্রানজিস্টারের ইনপুট বৈশিষ্ট্যাবলি অনুধাবনে ভূমি-নিঃসারক বিভব V_{BE} -এর সাপেক্ষে ভূমি প্রবাহ বসিয়ে একটি লেখ আঁকা



চিত্র 14.29 CE বর্তনী সংযোগ ব্যবস্থায় থাকা n-p-n ট্রানজিস্টারের ইনপুট এবং আউটপুট বৈশিষ্ট্যাবলি অধ্যয়নের জন্য বর্তনী ব্যবস্থা।



চিত্র 14.30 (a) সাধারণ ইনপুট বৈশিষ্ট্যাবলি, এবং
(b) সাধারণ আউটপুট বৈশিষ্ট্যাবলি।

হয়। V_{BE} -এর উপর I_B -এর নির্ভরতা বোঝার ক্ষেত্রে সংগ্রাহক নিঃসারক বিভব V_{CE} স্থির রাখা হয়। সক্রিয় স্তরে থাকা ট্রানজিস্টারের ইনপুট বৈশিষ্ট্য নির্ণয় করাই আমাদের উদ্দেশ্য। তাই ভূমি-সংগ্রাহক সংযোগকে বিপরীত বায়াসে রাখতে সংগ্রাহক নিঃসারক বিভব অনেক বেশি রাখা হয়। যেহেতু $V_{CE} = V_{CB} + V_{BE}$ এবং সিলিকন ট্রানজিস্টারের ক্ষেত্রে V_{BE} , 0.6 থেকে 0.7 V-এর মধ্যে হয়, তাই V_{CE} কে অবশ্যই 0.7 V-এর চেয়ে অনেক বেশি হতে হয়। যেহেতু V_{CE} কে অবশ্যই 0.7 V-এর চেয়ে অনেক বেশি হতে হয়। যেহেতু V_{CE} -এর এক বিস্তীর্ণ পাল্লায় ট্রানজিস্টার বিবর্ধক হিসেবে কাজ করে তাই বেশির ভাগ সময়ই ভূমি সংগ্রাহক সংযোগকে উচ্চমানের বিপরীত বায়াসে রাখা হয়। অতএব 3 V – 20 V পাল্লায় V_{CE} -এর যে-কোনো মানের জন্যই ইনপুট বৈশিষ্ট্যাবলি পাওয়া যেতে পারে। যেহেতু V_{CB} -এর বৃদ্ধি হিসেবেই প্রকাশ পায়, তাই এর প্রভাব I_B -এর উপর খুবই নগণ্য। এর ফলে V_{CE} -এর বিভিন্ন মানের জন্য ইনপুট বৈশিষ্ট্য লেখগুলো প্রায় সদৃশ বক্ররেখা হয়। কাজেই একটি মাত্র নির্ণীত ইনপুট বৈশিষ্ট্য লেখ পর্যবেক্ষণ করাই যথেষ্ট। ট্রানজিস্টারের ইনপুট বৈশিষ্ট্য লেখ 14.30(a) চিত্রে দেখানো হয়েছে।

I_B কে ধুবক রেখে V_{CE} -এর সাপেক্ষে I_C -এর পরিবর্তন বসিয়ে আউটপুট বৈশিষ্ট্য লেখ পাওয়া যায়। স্বাভাবিকভাবেই V_{BE} -কে খুব অল্প পরিমাণে বৃদ্ধি করলে নিঃসারক অঞ্চল থেকে হোল জনিত তড়িৎ প্রবাহমাত্রা এবং ভূমি অঞ্চল থেকে ইলেকট্রন জনিত তড়িৎ প্রবাহমাত্রা উভয়েই বৃদ্ধি পাবে। এর ফলস্বরূপ I_B এবং I_C উভয়েই আনুপাতিক হারে বৃদ্ধি পাবে। এটি বোঝায় যে, I_B বৃদ্ধি পেলে I_C ও বৃদ্ধি পায়। I_B -এর বিভিন্ন স্থির মানের জন্য V_{CE} -এর সাপেক্ষে I_B -এর পরিবর্তন বসিয়ে যে লেখ পাওয়া যায় তা একটি আউটপুট বৈশিষ্ট্য লেখকে প্রকাশ করে। সুতরাং I_B -এর বিভিন্ন মানের আনুষঙ্গিক

বিভিন্ন আউটপুট বৈশিষ্ট্য লেখ পাওয়া যাবে যেমনটা 14.30(b) চিত্রে দেখানো হয়েছে।

ট্রানজিস্টারের কতকগুলো গুরুত্বপূর্ণ পরিবর্তী প্রবাহ প্রাচলের (ac parameters) মান নির্ণয়ে ইনপুট এবং আউটপুট উভয় প্রকার বৈশিষ্ট্য লেখ সমূহের সরলরেখিক অংশ ব্যবহার করা যেতে পারে। যেমন :

(i) **ইনপুট রোধ (Input resistance, r_i)**: স্থির মানের সংগ্রাহক নিঃসারক বিভবে (V_{CE}) ভূমি নিঃসারক বিভবের (ΔV_{BE}) পরিবর্তন ও এর ফলে সৃষ্ট ভূমি প্রবাহমাত্রার পরিবর্তনের (ΔI_B) অনুপাত দ্বারা একে সংজ্ঞায়িত করা যায়। এটি গতীয় (ac রোধ) এবং ইনপুট বৈশিষ্ট্য থেকে দেখা যায় যে এর মান ট্রানজিস্টারের কার্যকরী প্রবাহমাত্রার সাথে পরিবর্তিত হয় :

$$r_i = \left(\frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B} \right)_{V_{CE}} \quad (14.8)$$

r_i -এর মান কয়েক শতক থেকে কয়েক হাজার পর্যন্ত যে-কোনো মান হতে পারে।

অর্ধপরিবাহী ইলেকট্রনিক্স : উপাদান পদার্থ, যন্ত্রাদি এবং সরল বর্তনীসমূহ

(ii) **আউটপুট রোধ (Output resistance, r_o)**: এক নির্দিষ্ট ভূমি প্রবাহে (I_B) সংগ্রাহক নিঃসারক বিভবের পরিবর্তন (ΔV_{CE}) ও সংশ্লিষ্ট সংগ্রাহক প্রবাহমাত্রার পরিবর্তনের (ΔI_C) অনুপাত দ্বারা একে সংজ্ঞায়িত করা যায়।

$$r_o = \left(\frac{\Delta V_{CE}}{\Delta I_C} \right)_{I_B} \quad (14.9)$$

আউটপুট বৈশিষ্ট্য লেখ থেকে দেখা যায় প্রথমে খুব কম মানের V_{CE} -এর ক্ষেত্রেও I_C -এর মান প্রায় রৈখিকভাবে বৃদ্ধি পায়। এরূপ ঘটে কারণ ভূমি সংগ্রাহক সংযোগ বিপরীত বায়াসে থাকে না এবং ট্রানজিস্টার ও সক্রিয় অবস্থায় থাকে না। বৈশিষ্ট্য লেখগুলোর এই অংশে ট্রানজিস্টারটি সংপৃক্ত স্তরে থাকে এবং তড়িৎপ্রবাহ সরবরাহিত ভোল্টেজ V_{CC} ($=V_{CE}$) দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়। যখন V_{CE} ভূমি সংগ্রাহক সংযোগে বিপরীত বায়াস সৃষ্টির জন্য প্রয়োজনীয় বিভবের চেয়ে বেশি হয়, V_{CE} -এর বৃদ্ধির সাথে I_C খুব অল্প পরিমাণে বৃদ্ধি পায়। আউটপুট বৈশিষ্ট্য লেখগুলোর রৈখিক অংশের নতির অন্যান্যক থেকে r_o -এর মান পাওয়া যায়। ট্রানজিস্টারের আউটপুট রোধ প্রধানতঃ ভূমি সংগ্রাহক সংযোগ বায়াস দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়। এই ডায়োডটি বিপরীত বায়াসে থাকার দরুন আউটপুট রোধ উচ্চমানবিশিষ্ট ($100 \text{ k}\Omega$ মানের কাছাকাছি) হয়। এটি বৈশিষ্ট্য লেখ-এর প্রারম্ভিক অংশে, যখন ট্রানজিস্টারটি সংপৃক্ত অবস্থায় থাকে, তখন রোধ খুব কম মানের হয় কেন তাও ব্যাখ্যা করে।

(iii) **প্রবাহ বিবর্ধন গুণক (Current amplification factor, β)**: ট্রানজিস্টারের সক্রিয় অবস্থায় স্থিরমানের সংগ্রাহক নিঃসারক বিভবে (V_{CE}) সংগ্রাহক প্রবাহের পরিবর্তনের সঙ্গে ভূমি প্রবাহের পরিবর্তনের অনুপাতের সাহায্যে একে সংজ্ঞায়িত করা যায়।

$$\beta_{ac} = \left(\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \right)_{V_{CE}} \quad (14.10)$$

একে ক্ষুদ্র সংকেত প্রবাহ বিবর্ধনও (*small signal current gain*) বলা হয় এবং এর মান খুবই বেশি হয়।

শুধুমাত্র I_C এবং I_B -এর অনুপাত বের করা হলে তাকে ট্রানজিস্টারের ডি.সি. β বলে। অর্থাৎ,

$$\beta_{dc} = \frac{I_C}{I_B} \quad (14.11)$$

যেহেতু I_C , I_B -এর সাথে প্রায় রৈখিকভাবে বৃদ্ধি পায়, এবং $I_B = 0$ হলে $I_C = 0$ হয়, তাই β_{dc} এবং β_{ac} উভয়ের মানই প্রায় সমান হয়। সুতরাং, প্রায় সব গণনাতেই β_{dc} ব্যবহার করা যেতে পারে। β_{ac} এবং β_{dc} উভয়ই V_{CE} এবং I_B (অথবা I_C)-এর সঙ্গে সামান্য পরিমাণে পরিবর্তিত হয়।

উদাহরণ 14.8 14.30(b) চিত্রে দেখানো আউটপুট বৈশিষ্ট্য লেখ থেকে β_{ac} এবং β_{dc} -এর মান নির্ণয় করো, যখন $V_{CE} = 10 \text{ V}$ এবং $I_C = 4.0 \text{ mA}$ ।

সমাধান

$$\beta_{ac} = \left(\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \right)_{V_{CE}}, \quad \beta_{dc} = \frac{I_C}{I_B}$$

V_{CE} এবং I_C -এর প্রদত্ত মানের ক্ষেত্রে β_{ac} এবং β_{dc} -এর মান নির্ণয়ে নিম্নরূপে অগ্রসর হওয়া যেতে পারে। I_C -এর প্রদত্ত মান অপেক্ষা উপরে ও নিচে অবস্থিত I_B -এর দুই ভিন্ন মানের জন্য দুটি বৈশিষ্ট্য লেখ বিবেচনা করি। এখানে $I_C = 4.0 \text{ mA}$, তাই $I_B = 30 \mu\text{A}$ এবং $20 \mu\text{A}$ -এর সংশ্লিষ্ট দুটি বৈশিষ্ট্য লেখ নিই। লেখচিত্র থেকে $V_{CE} = 10 \text{ V}$ -এ I_C -এর আনুষঙ্গিক দুটি মান নির্ণয় করি। এক্ষণে,

$$\Delta I_B = (30 - 20) \mu\text{A} = 10 \mu\text{A}, \Delta I_C = (4.5 - 3.0) \text{mA} = 1.5 \text{mA}$$

$$\text{অতএব, } \beta_{ac} = 1.5 \text{ mA} / 10 \mu\text{A} = 150$$

β_{dc} নির্ণয়ে হয় $V_{CE} = 10 \text{ V}$ -এ $I_C = 4.0 \text{ mA}$ -এর আনুষঙ্গিক I_B -এর মান হিসাব করতে হবে, নতুবা, নির্বাচিত বৈশিষ্ট্য লেখ দুইটির ক্ষেত্রে β_{dc} -এর মান নির্ণয় করে ওদের গড় বের করতে হবে।

$$I_C = 4.5 \text{ mA} \text{ এবং } I_B = 30 \mu\text{A} \text{-এর জন্য}$$

$$\beta_{dc} = 4.5 \text{ mA} / 30 \mu\text{A} = 150$$

$$\text{এবং এর জন্য } I_C = 3.0 \text{ mA} \text{ এবং } I_B = 20 \mu\text{A}$$

$$\beta_{dc} = 3.0 \text{ mA} / 20 \mu\text{A} = 150$$

$$\text{অতএব, } \beta_{dc} = (150 + 150) / 2 = 150$$

14.9.3 যন্ত্র হিসেবে ট্রানজিস্টার (Transistor as a device)

ট্রানজিস্টারের বর্তনী সংযোগ ব্যবস্থা, (মূলত CB, CC এবং CE); E-B এবং B-C সংযোগের বায়াস এবং কার্যকর অঞ্চল তথা কাট-অফ-অঞ্চল, সক্রিয় অঞ্চল ও সম্পৃক্ত অঞ্চল; প্রভৃতির উপর নির্ভর করে ট্রানজিস্টারকে বিভিন্ন যন্ত্রে ব্যবহার করা যেতে পারে।

আমরা আগেই উল্লেখ করেছি যে, আমরা আমাদের আলোচনা শুধুমাত্র CE সংযোগের মধ্যেই সীমাবদ্ধ রাখবো এবং কোনো যন্ত্রের কার্যনীতি বুঝতে আমরা সংযোগের বায়াস ও কার্যকরী অঞ্চলের উপরই গুরুত্ব আরোপ করবো। ট্রানজিস্টার যখন কাট-অফ বা সংপৃক্ত অবস্থায় ব্যবহৃত হয় তখন এটি সুইচ হিসেবে কাজ

করে। অন্যদিকে ট্রানজিস্টারকে বিবর্ধক হিসেবে ব্যবহার করতে হলে এটিকে সক্রিয় অঞ্চলে ক্রিয়াশীল হতে হবে।

(i) সুইচ হিসেবে ট্রানজিস্টার (Transistor as a switch)

আমরা এখন 14.31(a) চিত্রে দেখানো C বর্তনী সংযোগ ব্যবস্থায় যুক্ত ভূমি বায়াসে থাকা ট্রানজিস্টারের আচরণ বিশ্লেষণের মাধ্যমে সুইচ রূপে ট্রানজিস্টারের ক্রিয়া বোঝার চেষ্টা করবো। ইনপুট ও আউটপুট বর্তনীতে কার্শফের ভোল্টেজ সূত্র প্রয়োগ করে পাওয়া যায়।

$$V_{BB} = I_B R_B + V_{BE} \quad (14.12)$$

এবং

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \quad (14.13)$$

V_{BB} কে dc ইনপুট ভোল্টেজ V_i রূপে এবং V_{CE} কে dc আউটপুট ভোল্টেজ হিসাবে V_o রূপে বিবেচনা করে পাওয়া যায়।

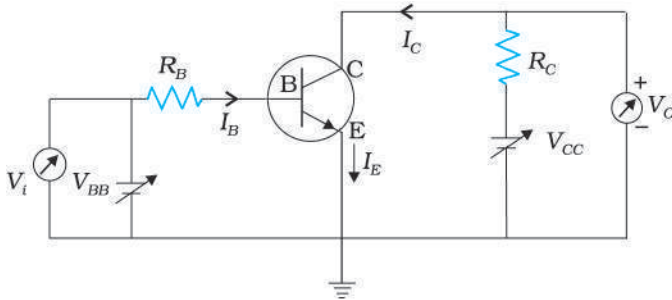
$$V_i = I_B R_B + V_{BE} \text{ এবং}$$

$$V_o = V_{CC} - I_C R_C$$

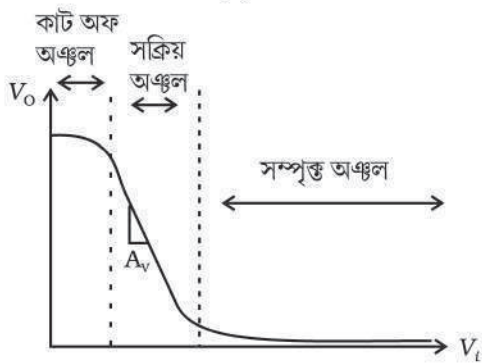
আমরা এখন দেখবো V_i কে শূন্য থেকে ক্রমশঃ বাড়ালে V_o কীভাবে পরিবর্তিত হয়। Si-ট্রানজিস্টারের ক্ষেত্রে যতক্ষণ পর্যন্ত ইনপুট ভোল্টেজ V_i এর মান 0.6 V অপেক্ষা কম থাকে ততক্ষণ ট্রানজিস্টারটি কাট-অফ-অঞ্চলে থাকে এবং তড়িৎ I_C শূন্য হয়।

$$\text{সুতরাং, } V_o = V_{CC}$$

যখন V_i -এর মান 0.6 V-এর বেশি হয়, তখন ট্রানজিস্টারটি সক্রিয় অবস্থায় থাকে এবং কিছু পরিমাণ



(a)



(b)

চিত্র 14.31 (a) CE বর্তনী সংযোগ ব্যবস্থায় ভূমি বায়াসে থাকা ট্রানজিস্টার, (b) পরিবর্তি বৈশিষ্ট্য লেখ।

অর্ধপরিবাহী ইলেকট্রনিক্স : উপাদান পদার্থ, যন্ত্রাদি এবং সরল বর্তনীসমূহ

তড়িৎ I_C আউটপুট বর্তনীতে প্রবাহিত হয়, এবং $I_C R_C$ -এর মান বাড়লে আউটপুট V_o কমে। V_i -এর মান বৃদ্ধির সাথে সাথে I_C -এর মান প্রায় রৈখিকভাবে বাড়তে থাকে, ফলে V_o -এর মানও রৈখিকভাবে কমতে থাকবে যতক্ষণ পর্যন্ত না এর মান 1.0 V অপেক্ষা কম হয়।

এর উপরে পরিবর্তন অরৈখিক হয় এবং ট্রানজিস্টারটি সম্পৃক্ত অবস্থা পৌঁছায়। V_i -এর আরো বৃদ্ধিতে আউটপুট ভোল্টেজ কমে শূন্যের কাছাকাছি আসে কিন্তু কখনোও শূন্য হয় না। যদি আমরা V_o -এর সাপেক্ষে V_i -এর লেখ (যাকে ভূমি বায়াস যুক্ত ট্রানজিস্টারের পরিবৃদ্ধি বৈশিষ্ট্য লেখও [transfer characteristics] বলে) অংকন করি, তবে আমরা দেখতে পাই যে কাট অফ অঞ্চল ও সক্রিয় অঞ্চলের মধ্যে এবং সক্রিয় ও সম্পৃক্ত অঞ্চলের মধ্যে দুটি অরৈখিক অঞ্চল বর্তমান, যা বোঝায় যে কাট-অফ অবস্থা থেকে সক্রিয় অবস্থায় এবং সক্রিয় অবস্থা থেকে সম্পৃক্ত অবস্থায় উত্তরণ স্পষ্টরূপে নির্দিষ্ট করা যায় না।

আমরা এখন দেখবো ট্রানজিস্টার কীভাবে সুইচ হিসেবে কাজ করে। যতক্ষণ পর্যন্ত V_i নিম্নমান বিশিষ্ট হয় এবং ট্রানজিস্টারটি সন্মুখ বায়াসে বায়াস করতে পারে না ততক্ষণ V_o উচ্চমানের হয় (V_{CC} -এর স্থির মানে)। যদি V_i -এর মান যথেষ্ট উচ্চমানের হয় যেন ট্রানজিস্টারটি সম্পৃক্ত অঞ্চলে ক্রিয়াশীল হয়, তখন V_o -এর মান খুবই কম, প্রায় শূন্যের কাছাকাছি হয়। যখন ট্রানজিস্টারটি তড়িৎ পরিবহন করে না তখন বলা হয় এটি সুইচ অফ অবস্থায় আছে এবং যখন এটি সম্পৃক্ত অঞ্চলে ক্রিয়াশীল হয় এটি 'সুইচ-অন' অবস্থায় রয়েছে। এটি বোঝায় যে আমরা যদি কাট অফ অঞ্চল এবং সম্পৃক্ত অঞ্চলের আনুষঙ্গিক একটি নির্দিষ্ট বিভব স্তরের যথাক্রমে নীচের ও উপরের স্তরকে নিম্ন ও উচ্চ অবস্থা রূপে সূচিত করি তবে আমরা বলতে পারি যে নিম্ন ইনপুট ট্রানজিস্টারকে সুইচ অফ অবস্থায় এবং উচ্চ ইনপুট একে সুইচ অন অবস্থায় নিয়ে যায়। অন্যভাবে আমরা বলতে পারি নিম্নমানের ইনপুটে ট্রানজিস্টার উচ্চমানের আউটপুট এবং উচ্চমানের ইনপুটে নিম্নমানের আউটপুট প্রদান করে। সুইচ বর্তনী এমনভাবে নকশা করা হয় যেন কোনো অবস্থাতেই ট্রানজিস্টারটি সক্রিয় অবস্থায় না থাকে।

(ii) বিবর্ধক রূপে ট্রানজিস্টার (Transistor as an amplifier)

বিবর্ধক রূপে ট্রানজিস্টারকে ব্যবহার করার ক্ষেত্রে আমরা V_o -এর সাপেক্ষে V_i লেখের সক্রিয় অঞ্চল ব্যবহার করবো। লেখটির রৈখিক অংশের নতি ইনপুটের সাপেক্ষে আউটপুটের পরিবর্তনের হারকে সূচিত করে। এটি ঋণাত্মক হয় কেননা আউটপুট $V_{CC} - I_C R_C$, কিন্তু $I_C R_C$ নয়। এ কারণেই CE বিবর্ধকের ইনপুট ভোল্টেজ বৃদ্ধি পেলে আউটপুট ভোল্টেজ হ্রাস পায় এবং বলা হয় ইনপুটের সাপেক্ষে আউটপুট বিপরীত দশায় থাকে। যদি আমরা ধরে নেই, ΔV_o এবং ΔV_i যথাক্রমে আউটপুট এবং ইনপুট ভোল্টেজের ক্ষুদ্র পরিবর্তনকে বোঝায়, তখন $\Delta V_o / \Delta V_i$ কে বিবর্ধকের ক্ষুদ্র সংকেত বিভব বিবর্ধন (small signal voltage gain, A_v) বলা হয়।

যদি সক্রিয় অঞ্চলের মধ্যবিন্দুর আনুষঙ্গিক V_{BB} -এর একটি নির্দিষ্ট মান থাকে তবে বর্তনীটি $\Delta V_o / \Delta V_i$ বিবর্ধন বিশিষ্ট CE বিবর্ধক রূপে কাজ করে। আমরা ভোল্টেজ বিবর্ধন A_v কে বর্তনীর রোধক এবং ট্রানজিস্টারের প্রবাহমাত্রা বিবর্ধনের মাধ্যমে নিম্নরূপে প্রকাশ করতে পারি।

$$\text{আমরা জানি, } V_o = V_{CC} - I_C R_C$$

$$\text{সুতরাং, } \Delta V_o = 0 - R_C \Delta I_C$$

$$\text{অনুরূপে, } V_i = I_B R_B + V_{BE} \text{ থেকে পাওয়া যায়}$$

$$\Delta V_i = R_B \Delta I_B + \Delta V_{BE}$$

কিন্তু এরূপ বর্তনীতে $\Delta I_B R_B$ -এর তুলনায় ΔV_{BE} -এর মান উপেক্ষণযোগ্যভাবে ক্ষুদ্র হয়। অতএব CE বিবর্ধকের (চিত্র 14.32) ভোল্টেজ বিবর্ধন,

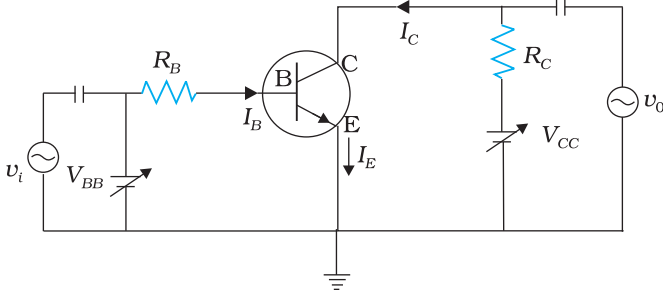
$$\begin{aligned} A_v &= -R_C \Delta I_C / R_B \Delta I_B \\ &= -\beta_{ac} (R_C / R_B) \end{aligned} \quad (14.14)$$

যেখানে 14.10 সমীকরণ অনুসারে β_{ac} , $\Delta I_C / \Delta I_B$ -এর সমান হয়। এভাবে ট্রানজিস্টারের সক্রিয়

অঞ্চলের রৈখিক অংশকে বিবর্ধকে কাজে লাগানো হয়। পরবর্তী অনুচ্ছেদে বিবর্ধক রূপে ট্রানজিস্টারের (CE বর্তনী সংযোগ ব্যবস্থা) ব্যবহার বিস্তারিত আলোচনা করা হল।

14.9.4 বিবর্ধক রূপে ট্রানজিস্টার (CE বর্তনী সংযোগ ব্যবস্থা) Transistor as an Amplifier (CE-Configuration)

বিবর্ধকরূপে ট্রানজিস্টারকে কার্যকরী করার জন্য এর সক্রিয় অঞ্চলের মধ্যবর্তী অংশের কোথাও এর ক্রিয়া বিন্দুটিকে (operating point) নির্দিষ্ট করা প্রয়োজন। যদি আমরা পরিবৃতি লেখ-এর সরলরৈখিক অংশের মধ্যবর্তী কোনো বিন্দুর আনুষঙ্গিক V_{BB} -এর একটি নির্দিষ্ট মানকে স্থির ধরি, তবে ডি.সি. ভূমি প্রবাহ I_B ধ্রুবক হবে এবং আনুষঙ্গিক সংগ্রাহক প্রবাহও ধ্রুবক হবে। আবার ডি.সি. ভোল্টেজও $V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$ ধ্রুবক থাকবে। V_{CE} এবং I_B -এর কার্যকর মানগুলো বিবর্ধকের ক্রিয়া বিন্দুকে নির্ধারণ করে।



চিত্র 14.32 CE-ট্রানজিস্টার বিবর্ধকের একটি সরল বর্তনী।

যদি V_{BB} সরবরাহ উৎসের সাথে শ্রেণিতে একটি সাইনধর্মী বিভব উৎসকে যুক্ত করে v_s ক্ষুদ্র বিস্তারের একটি সাইনধর্মী বিভবকে dc ভূমি বায়াসে উপরিপাতিত করা হয় তবে ভূমিপ্রবাহ I_B -এর উপর একটি সাইনধর্মী পরিবর্তন উপরিপাতিত হবে। ফলস্বরূপ সংগ্রাহক প্রবাহ I_C -এর উপরও একটি সাইনধর্মী পরিবর্তন থাকবে যা প্রকারান্তরে V_O -এর মানের আনুষঙ্গিক পরিবর্তন ঘটাবে। আমরা বৃহৎ ধারকত্বের ধারক ব্যবহার করে dc ভোল্টেজকে আটকে দিয়ে ইনপুট এবং আউটপুট প্রান্তে এ.সি. পরিবর্তন মাপতে পারি।

উপরের বিবর্ধক সম্পর্কিত আলোচনায় আমরা কোনো এ.সি.

সংকেতের কথা বিবেচনা করিনি। বিবর্ধকগুলোকে সাধারণত

পরিবর্তী সংকেত বিবর্ধনে ব্যবহার করা হয়। এখন 14.32 চিত্রে যেমনটা দেখানো হয়েছে, একটি ac ইনপুট সংকেত V_i -কে (যাকে বিবর্ধিত করা হবে) বায়াস ভোল্টেজ V_{BB} (dc)-এর উপর উপরিপাতিত করা হল। সংগ্রাহক এবং ভূমির মধ্যবর্তী অংশ থেকে আউটপুট নেওয়া যায়।

যদি আমরা প্রথমেই ধরে নেই যে, $v_i = 0$, তবে বিবর্ধকের কার্যনীতি সহজেই বোঝা যেতে পারে।

আউটপুট লুপে কার্শফের সূত্র প্রয়োগ করে পাওয়া যায়

$$V_{cc} = V_{CE} + I_C R_L \quad (14.15)$$

অনুরূপে, ইনপুট লুপ থেকে পাওয়া যায়,

$$V_{BB} = V_{BE} + I_B R_B \quad (14.16)$$

v_i শূন্য না হলে,

$$V_{BE} + v_i = V_{BE} + I_B R_B + \Delta I_B (R_B + r_i)$$

V_{BE} -এর পরিবর্তনকে ইনপুট রোধ r_i এবং I_B -এর পরিবর্তনের সঙ্গে সম্পর্কিত করা যায়

(সমীকরণ 14.8 দেখো)। কাজেই,

$$v_i = \Delta I_B (R_B + r_i) = r \Delta I_B$$

I_B -এর পরিবর্তন I_C -এর একটি পরিবর্তন ঘটায়। 14.11 সমীকরণে সংজ্ঞায়িত β_{dc} -এর অনুরূপ একটি প্রাচল β_{ac} -কে নিম্নরূপে সংজ্ঞায়িত করা যায়

$$\beta_{ac} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{i_c}{i_b} \quad (14.17)$$

এটি এ.সি. প্রবাহ বিবর্ধন A_i নামেও পরিচিত। আউটপুট বৈশিষ্ট্য লেখগুলোর রৈখিক অঞ্চলে β_{ac} সাধারণতঃ β_{dc} -এর মানের খুব কাছাকাছি হয়।

অর্ধপরিবাহী ইলেকট্রনিক্স : উপাদান পদার্থ, যন্ত্রাদি এবং সরল বর্তনীসমূহ

I_B -এর পরিবর্তনের দ্বারা I_C -এর পরিবর্তন V_{CE} -এর পরিবর্তন ঘটায় এবং V_{CC} স্থির থাকায় R_L -এর দুই প্রান্তে একটি বিভব পতন ঘটে।

(14.15) সমীকরণে প্রকাশিত এই পরিবর্তনগুলোকে নিম্নরূপে প্রকাশ করা যায়,

$$\Delta V_{CC} = \Delta V_{CE} + R_L \Delta I_C = 0$$

$$\text{বা, } \Delta V_{CE} = -R_L \Delta I_C$$

V_{CE} -এর পরিবর্তনই হল আউটপুট ভোল্টেজ v_o , (14.10) সমীকরণ থেকে পাওয়া যায়

$$v_o = \Delta V_{CE} = -\beta_{ac} R_L \Delta I_B$$

বিবর্ধকের বিভব বিবর্ধন,

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{\Delta V_{CE}}{r \Delta I_B} \\ = -\frac{\beta_{ac} R_L}{r}$$

(14.18)

ঋণাত্মক চিহ্ন বোঝায় যে, আউটপুট ভোল্টেজ ইনপুট ভোল্টেজের বিপরীত দশায় থাকে।

ট্রানজিস্টারের বৈশিষ্ট্যাবলি আলোচনায় আমরা দেখেছি যে, এর CE বর্তনী সংযোগ ব্যবস্থায় একটি প্রবাহ বিবর্ধন β_{ac} থাকে। এখানে আমরা বিভব বিবর্ধন A_v পেয়েছি। অতএব, ক্ষমতা বিবর্ধন A_p কে প্রবাহ বিবর্ধন ও বিভব বিবর্ধনের গুণফল রূপে প্রকাশ করা যায়। গাণিতিকভাবে

$$A_p = \beta_{ac} \times A_v \quad (14.19)$$

β_{ac} এবং A_v উভয়েই 1 অপেক্ষা বেশি হওয়ায় আমরা পরিবর্তী ক্ষমতা বিবর্ধক পাবো। যদিও আমাদের বুঝতে হবে যে, ট্রানজিস্টার কোনো একটি ক্ষমতা উৎপাদক যন্ত্র নয়। আউটপুটে উচ্চক্ষমতার এ.সি.-র প্রয়োজনীয় শক্তি ব্যাটারি সরবরাহ করে।

উদাহরণ 14.9 14.31(a) চিত্রের, সরবরাহ উৎস বিভব V_{BB} , 0V থেকে 5.0 V-এর মধ্যে পরিবর্তন করা যেতে পারে। Si-ট্রানজিস্টারের ক্ষেত্রে $\beta_{ac} = 250$ এবং $R_B = 100 \text{ k}\Omega$, $R_C = 1 \text{ k}\Omega$, $V_{CC} = 5.0\text{V}$ । ধরো নাও ট্রানজিস্টারের সম্পৃক্ত অবস্থায় $V_{CE} = 0\text{V}$ এবং $V_{BE} = 0.8\text{V}$ । (a) ভূমি প্রবাহের ন্যূনতম কত মানে ট্রানজিস্টার সম্পৃক্ত অবস্থায় পৌঁছায়? (b) সেক্ষেত্রে ট্রানজিস্টারটির 'সুইচ অন' অবস্থায় V_1 নির্ণয় করো। (c) ট্রানজিস্টারের 'সুইচ অফ' এবং 'সুইচ অন' এই দুই অবস্থার মধ্যে V_1 -এর পাল্লা (ranges of V_1) নির্ণয় করো।

সমাধান

সম্পৃক্ত অবস্থায় $V_{CE} = 0\text{V}$, $V_{BE} = 0.8\text{V}$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$$

$$I_C = V_{CC}/R_C = 5.0\text{V}/1.0\text{k}\Omega = 5.0 \text{ mA}$$

$$\text{অতএব } I_B = I_C/\beta = 5.0 \text{ mA}/250 = 20\mu\text{A}$$

ইনপুট ভোল্টেজের যে মান পর্যন্ত ট্রানজিস্টারটি সম্পৃক্ত অবস্থায় পৌঁছায় তার মান,

$$V_{IH} = V_{BB} = I_B R_B + V_{BE}$$

$$= 20\mu\text{A} \times 100 \text{ k}\Omega + 0.8\text{V} = 2.8\text{V}$$

ইনপুট ভোল্টেজের যে মান পর্যন্ত ট্রানজিস্টারটি কাট-অফ অঞ্চলে থাকে তার মান,

$$V_{IL} = 0.6\text{V}, V_{IH} = 2.8\text{V}$$

0.0V এবং 0.6V-এর মধ্যে ট্রানজিস্টারটি সুইচ অফ অবস্থায় থাকবে। 2.8V থেকে 5.0V-এর মধ্যে এটি 'সুইচ অন' অবস্থায় থাকবে।

লক্ষ করো যে, যখন I_B -এর মান 0.0mA থেকে 20mA-এর মধ্যে পরিবর্তিত হয় তখন ট্রানজিস্টারটি সক্রিয় অবস্থায় থাকে। I_B -এর মানের এই পাল্লায় $I_C = \beta I_B$ যথার্থ হয়। সম্পৃক্ত অঞ্চলে $I_C \leq \beta I_B$ ।

উদাহরণ 14.10 একটি CE ট্রানজিস্টার বিবর্ধকের ক্ষেত্রে, সংগ্রাহক রোধ $2.0 \text{ k}\Omega$ -এর জন্য শ্রুতি সংকেত বিভবের মান 2.0 V । ধরে নাও, ট্রানজিস্টারের প্রবাহ বিবর্ধন গুণাঙ্কের মান 100 । সংকেত প্রবাহের 10 গুণ মানের ডি.সি. ভূমি প্রবাহ পেতে হলে, 2.0 V বিভব উৎস V_{BB} -এর সাথে শ্রেণিতে কত মানের ভূমি রোধ R_B যুক্ত করতে হবে? সংগ্রাহক রোধের জন্য ডি.সি. বিভব পতনের মান হিসাব করো (14.33 চিত্র দেখো)।

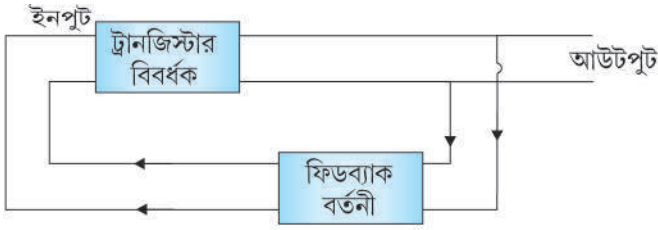
সমাধান আউটপুট এ.সি. ভোল্টেজের মান 2.0 V । সুতরাং পরিবর্তী সংগ্রাহক প্রবাহ, $i_C = 2.0 / 2000 = 1.0 \text{ mA}$ । সুতরাং ভূমির সংকেত প্রবাহ $i_B = i_C / \beta = 1.0 \text{ mA} / 100 = 0.010 \text{ mA}$ । ডি.সি. ভূমি প্রবাহের মান $10 \times 0.010 = 0.10 \text{ mA}$ ।

14.16 সমীকরণ থেকে $R_B = (V_{BB} - V_{BE}) / I_B$ । ($V_{BE} = 0.6 \text{ V}$ ধরে),

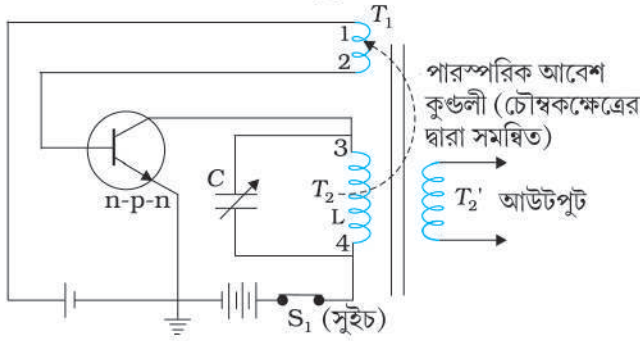
$R_B = (2.0 - 0.6) / 0.10 = 14 \text{ k}\Omega$ ।

ডি.সি. সংগ্রাহক প্রবাহ, $I_C = 100 \times 0.10 = 10 \text{ mA}$ ।

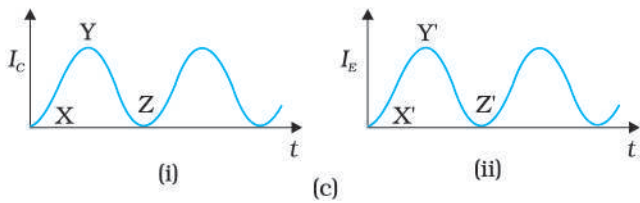
14.9.5 ফিডব্যাক বিবর্ধক এবং ট্রানজিস্টার স্পন্দক (Feedback amplifier and transistor oscillator)



(a)



(b)



(i)

(ii)

চিত্র 14.33 (a) স্পন্দক হিসেবে ক্রিয়াশীল ধনাত্মক ফিডব্যাক যুক্ত ট্রানজিস্টার বিবর্ধকের কার্যনীতি এবং (b) টিউনড সংগ্রাহক স্পন্দক, (c) আবেশীয় সমন্বয়ের দরুণ I_C এবং I_E -এর উঠা-নামা।

বিবর্ধকের ক্ষেত্রে আমরা দেখেছি যে, ইনপুটে দেওয়া সাইনধর্মী সংকেতটিই বিবর্ধিত সংকেতরূপে আউটপুটে পাওয়া যায়। এটি বোঝায় যে, বিবর্ধকের আউটপুটে এ.সি. সংকেত বজায় রাখতে একটি বাহ্যিক ইনপুট প্রয়োজন। একটি স্পন্দকের ক্ষেত্রে কোনো বাহ্যিক ইনপুট সংকেত ছাড়াই এ.সি. আউটপুট পাওয়া যায়। অন্যভাবে বলা যায়, স্পন্দকে আউটপুটটি স্বতঃচালিত হয়। এই কাজে একটি বিবর্ধক ব্যবহার করা হয়। 14.33(a) চিত্রের মতো, আউটপুট ক্ষমতার একটি অংশকে প্রারম্ভিক ক্ষমতার সমদশায় ইনপুটে ফিরিয়ে আনা হয় (ফিডব্যাক)। এই ফিডব্যাক প্রক্রিয়াটি আবেশীয় সমন্বয় [(inductive coupling) পারস্পরিক আবেশের মাধ্যমে] বা LC অথবা RC বর্তনীর মাধ্যমে সম্পন্ন করা যেতে পারে। বিভিন্ন প্রকার স্পন্দকে ইনপুটের সাথে আউটপুটকে সমন্বিত করতে (ফিডব্যাক বর্তনী), কোনো নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কের স্পন্দন সৃষ্টির জন্যে ব্যবহৃত অনুনাদী বর্তনী ব্যতীত, বিভিন্ন প্রকার পদ্ধতি প্রয়োজনানুসারে ব্যবহৃত হয়। স্পন্দকের কার্যনীতি বুঝতে আমরা 14.33(b) বর্তনীটিকে বিবেচনা করবো যেখানে T_1 কুণ্ডলীর উপরে T_2 কুণ্ডলী জড়িয়ে গঠিত আবেশীয় সমন্বয়কের মাধ্যমে ফিডব্যাক সম্পাদিত হয়। লক্ষ কর, T_2 এবং T_1 কুণ্ডলীদ্বয় একই মজ্জার উপর প্যাঁচানো এবং তাই পারস্পরিক আবেশের মাধ্যমে আবেশীয়ভাবে সমন্বিত হয়। বিবর্ধকের মতোই ভূমি-নিঃসারক সংযোগটি সম্মুখ বায়াসে এবং ভূমি সংগ্রাহক সংযোগটি বিপরীত বায়াসে থাকে। সরলতার জন্য প্রকৃতপক্ষে ব্যবহৃত বায়াস বর্তনীর বিস্তৃত বর্ণনা বাদ দেওয়া হল।

চলো, স্পন্দন কীভাবে সৃষ্টি হয় তা আমরা বুঝতে চেষ্টা করি। ধরি, উপযুক্ত বায়াস প্রয়োগে প্রথমে S_1 সুইচকে 'অন' করা হল। ফলে ট্রানজিস্টারের মধ্য দিয়ে একটি উচ্চমানের সংগ্রাহক প্রবাহ প্রবাহিত হয়। এই প্রবাহ T_2 কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হয় যার প্রান্তদ্বয়কে 3 এবং 4

অর্ধপরিবাহী ইলেকট্রনিক্স : উপাদান পদার্থ, যন্ত্রাদি এবং সরল বর্তনীসমূহ

সংখ্যা দ্বারা চিহ্নিত করা হয়েছে [চিত্র 14.33(b)]। এই প্রবাহ তাৎক্ষণিকভাবে পূর্ণ বিস্তারে পৌঁছায় না কিন্তু [14.33(c)(i)] চিত্রের মতো X থেকে বৃদ্ধি পেয়ে Y হয়। T_2 এবং T_1 কুণ্ডলীর মধ্যে আবেশীয় সমন্বয়ের কারণে নিঃসারক বর্তনীতে একটি তড়িৎ প্রবাহিত হয় (লক্ষ্যনীয় যে এটি প্রকৃতপক্ষে আউটপুট থেকে ইনপুটে ফিডব্যাক)। এই ধনাত্মক ফিডব্যাকের ফলস্বরূপ এই প্রবাহটি (T_1 কুণ্ডলীতে; নিঃসারক প্রবাহ) X থেকে বৃদ্ধি পেয়ে Y -এ পৌঁছায়। [Fig. 14.33(c)(ii)]। ট্রানজিস্টারটি সম্পৃক্ত অবস্থায় পৌঁছালে সংগ্রাহক বর্তনীতে যুক্ত T_2 কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে প্রবাহ (সংগ্রাহক প্রবাহ) Y মানে পৌঁছায়। এটা বোঝায় যে, সর্বোচ্চ মানের সংগ্রাহক প্রবাহ প্রবাহিত হচ্ছে, আর বাড়ানো যায় না। সংগ্রাহক প্রবাহে আর কোনো পরিবর্তন হয় না, T_2 -এর চারিপার্শ্বের চৌম্বকক্ষেত্রের বৃদ্ধিও বন্ধ হয়ে যায়। চৌম্বকক্ষেত্র যখনই স্থিতাবস্থায় পৌঁছায়, T_2 থেকে T_1 -এ কোনো ধরনের ফিডব্যাক ঘটে না। নিরবচ্ছিন্ন ফিডব্যাক না থাকায় নিঃসারক প্রবাহ হ্রাস পেতে শুরু করে। ফলস্বরূপ সংগ্রাহক প্রবাহ Y থেকে ক্রমশ হ্রাস পেয়ে Z হয় [চিত্র 14.33(c)(i)]। যাই হোক সংগ্রাহক প্রবাহের হ্রাস T_2 কুণ্ডলীর চারপাশের চৌম্বকক্ষেত্রের হ্রাস ঘটায়। ফলে T_1 -এর চারপার্শ্বের চৌম্বকক্ষেত্রের মানও T_2 কুণ্ডলীর ন্যায় হ্রাস পেতে থাকে (প্রারম্ভিক ক্রিয়ার শুরুতে যখন ক্ষেত্রটি বৃদ্ধি পাচ্ছিল, এই ক্রিয়াটি তার বিপরীত)। এর ফলে নিঃসারক প্রবাহ আরও হ্রাস পেয়ে Z' -এ পৌঁছায় যখন ট্রানজিস্টারটি 'কাট অফ' অঞ্চলে চলে যায়। এর অর্থ I_E এবং I_C উভয় প্রবাহই বন্ধ হয়ে যায়। সুতরাং ট্রানজিস্টারটি পুনরায় প্রারম্ভিক অবস্থায় ফিরে আসে (যখন প্রাথমিকভাবে 'সুইচ অন' করা হয়)। সম্পূর্ণ প্রক্রিয়াটি এখন নিজে থেকেই পুনরাবৃত্ত হতে থাকে। এর অর্থ ট্রানজিস্টারটি সম্পৃক্ত অঞ্চল থেকে 'কাট অফ' অঞ্চলে এবং আবার সম্পৃক্ত অঞ্চলে ফিরে আসে। ট্রানজিস্টারের সম্পৃক্ত অঞ্চল থেকে 'কাট অফ' অঞ্চলে পৌঁছানো এবং আবার ফিরে আসার মোট সময়টি ট্যাংক বর্তনীর (Tank circuit) বা টিউনড বর্তনীর (tuned circuit) স্থিরাঙ্ক দ্বারা নির্ধারিত হয় (এখানে T_2 কুণ্ডলীর আবেশ কুণ্ডলী L এবং C সমান্তরালে যুক্ত থাকে) টিউনড বর্তনীর অনুনাদী কম্পাঙ্ক (ν), স্পন্দকটি যে কম্পাঙ্কে কম্পিত হবে তার মান নির্ধারণ করে। স্পন্দকের কম্পাঙ্ক

$$\nu = \left(\frac{1}{2 \sqrt{LC}} \right) \quad (14.20)$$

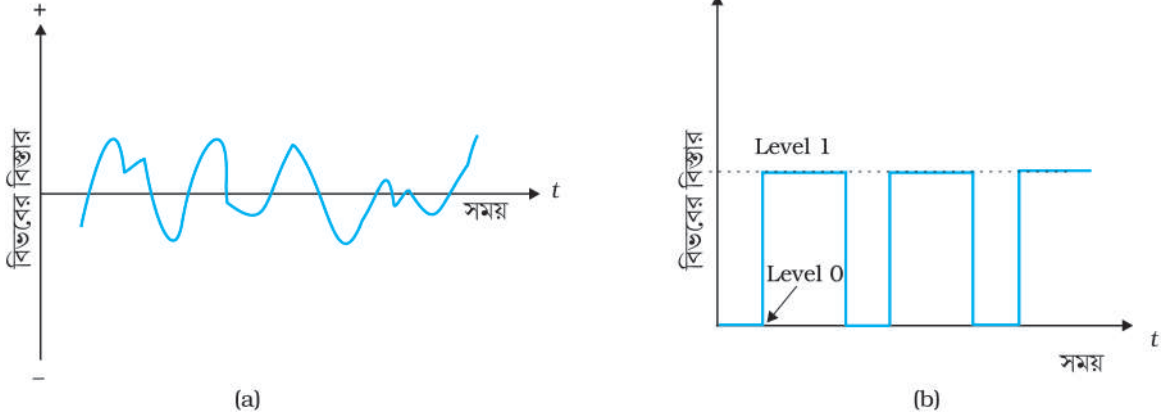
14.33(b) চিত্রে প্রদর্শিত বর্তনী অনুযায়ী, ট্যাংক বা টিউনড বর্তনীটি সংগ্রাহকের প্রাপ্তে যুক্ত থাকে। তাই এটি টিউনড সংগ্রাহক স্পন্দক (tuned collector oscillator) নামে পরিচিত। টিউনড বর্তনীটি ভূমি প্রাপ্তে যুক্ত থাকলে এটিকে টিউনড ভূমি স্পন্দক (tuned base oscillator) বলে। বিভিন্ন প্রকার ট্যাংক বর্তনী (ধরো, RC) বা ফিডব্যাক বর্তনীর সাহায্যে বিভিন্ন প্রকার স্পন্দক যেমন কলপিটের স্পন্দক (Colpitt's oscillator), হার্টলে স্পন্দক (Hartley oscillator), RC-স্পন্দক তৈরি করা যায়।

14.10 ডিজিটাল ইলেকট্রনিক্স-এবং লজিক গেট (DIGITAL ELECTRONICS AND LOGIC GATES)

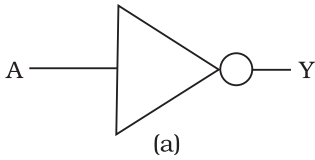
পূর্ববর্তী অনুচ্ছেদগুলোতে বিবর্ধক (amplifiers), স্পন্দকের (oscillators) মতো যে সকল বৈদ্যুতিন বর্তনীর সঙ্গে তোমরা পরিচিত হয়েছ সেগুলোর সংকেত ছিল নিরবচ্ছিন্ন। সময়ের সঙ্গে পরিবর্তনশীল বিভব বা তড়িৎ প্রবাহ। এ ধরনের সংকেতকে নিরবচ্ছিন্ন (continuous) বা অ্যানালগ (Analogue) সংকেত বলা হয়। 14.34(a) চিত্রে একটি বিশেষ ধরনের অ্যানালগ সংকেতকে দেখানো হয়েছে। 14.34(a) চিত্রে একটি স্পন্দন তরঙ্গরূপ দেখানো হয়েছে, যেখানে ভোল্টেজের শূন্যমাত্রা বিচ্ছিন্ন মানই সম্ভব। এ ধরনের সংকেতগুলোকে প্রকাশ করতে দ্বিক সংখ্যা (Binary number) ব্যবহার করা সুবিধাজনক। একটি দ্বিক সংখ্যাতে মাত্র দুটি অংক (digit) '0' (ধরো 0V) এবং 1 (ধরো 5V) রয়েছে। ডিজিটাল ইলেকট্রনিক্সে আমরা ভোল্টেজের শূন্যমাত্রা এইরূপ দুটি স্তর ব্যবহার করি যা 14.34 (b) চিত্রে দেখানো হয়েছে। এই ধরনের সংকেতকে ডিজিটাল সংকেত (Digital Signal) বলা হয়। ডিজিটাল বর্তনীতে ইনপুট এবং আউটপুট ভোল্টেজের কেবলমাত্র দুটি মানই (0 এবং 1 দ্বারা নির্দেশিত) গ্রহণযোগ্য।

ডিজিটাল ইলেকট্রনিক্সকে বোঝার জন্য এই অনুচ্ছেদটি হল প্রথম ধাপ। আমরা আমাদের আলোচনাকে ডিজিটাল ইলেকট্রনিক্সের কিছু মৌলিক বিল্ডিং ব্লক (যা লজিক গেট নামে পরিচিত) পর্যন্তই সীমিত রাখবো। যেখানে ডিজিটাল সংকেতগুলোকে কিছু নির্দিষ্ট নিয়মে প্রক্রিয়াকরণ করা হয়। লজিক গেটগুলো ক্যালকুলেটর, ডিজিটাল ঘড়ি, কম্পিউটার, রোবট, শিল্পক্ষেত্রে নিয়ন্ত্রক ব্যবস্থা এবং দূর সঞ্চার ব্যবস্থায় ব্যবহৃত হয়।

তোমার বাড়ির বৈদ্যুতিক বাতির সুইচটিকে (switch) ডিজিটাল বর্তনীর একটি উদাহরণ হিসেবে ব্যবহার করা যেতে পারে। সুইচের অবস্থান অনুযায়ী বাতিটি অন (ON) বা অফ (OFF) অবস্থায় থাকে। যখন বাতিটি অন (ON) থাকে আউটপুটের মান '1' হয়; যখন বাতিটি অফ থাকে, আউটপুটের মান '0' হয়। ইনপুট হল বাতিটির সুইচ এর অবস্থান। বাতিটিকে সক্রিয় করতে সুইচটি অন বা অফ অবস্থানে রাখা হয়।



চিত্র 14.34 (a) অ্যানালগ সংকেত, (b) ডিজিটাল সংকেত।



ইনপুট	আউটপুট
A	Y
0	1
1	0

(b)

চিত্র 14.35

(a) লজিক চিহ্ন,
(b) NOT গেটের ট্রুথ টেবিল বা সত্য সারণি।

14.10.1 লজিক গেটসমূহ (Logic gates)

গেট হল এমন একটি ডিজিটাল বর্তনী যা ইনপুট এবং আউটপুট ভোল্টেজের মধ্যে একটি যৌক্তিক সম্পর্ক বজায় রাখে। এজন্য এদেরকে সাধারণত যুক্তিদ্বার বা লজিক গেট (logic gates) বলা হয়। এদেরকে গেট বা দ্বার বলা হয় কারণ এরা তথ্যের প্রবাহকে নিয়ন্ত্রণ করে। সাধারণভাবে ব্যবহৃত পাঁচটি লজিক গেট হল NOT, AND, OR, NAND, NOR। প্রতিটি লজিক গেটকে একটি চিহ্ন দ্বারা নির্দেশ করা হয় এবং একটি সত্য সারণি (truth table) দ্বারা এর কার্য সঠিকভাবে বর্ণনা করা হয় যা ইনপুট লজিক স্তরগুলোর সম্ভাব্য সকল সমবায়ের আনুষঙ্গিক আউটপুটগুলোকে নির্দেশ করে। ট্রুথ টেবিলগুলো লজিক গেটগুলোর আচরণ বুঝতে সাহায্য করে। অর্ধপরিবাহী যন্ত্রাদি ব্যবহারের মাধ্যমে এই লজিক গেটগুলোকে অনুধাবন করা সম্ভব।

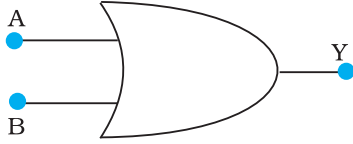
(i) NOT গেট

একটি ইনপুট এবং একটি আউটপুট বিশিষ্ট এই গেটটি হল সবচেয়ে মৌলিক গেট। এটি '0' ইনপুটের জন্য '1' আউটপুট দেয় এবং '1' ইনপুটের জন্য '0' আউটপুট দেয়। অর্থাৎ আউটপুট ইনপুটের বিপরীত রূপ সৃষ্টি করে। এজন্যই একে ইনভার্টারও (inverter) বলা হয়। সাধারণভাবে ব্যবহৃত লজিক গেটের চিহ্ন ও তাদের ট্রুথ টেবিল 14.35 চিত্রে দেখানো হয়েছে।

(ii) OR গেট

একটি OR গেট এর দুই বা ততোধিক ইনপুট এবং একটি আউটপুট রয়েছে। লজিক চিহ্ন এবং ট্রুথটেবিল 14.36 চিত্রে দেখানো হয়েছে। আউটপুট $Y = 1$ হয়, যখন A অথবা B-এর যে-কোনো একটি বা উভয়েই 1 হয় অর্থাৎ যদি ইনপুটের যে-কোনো একটি উচ্চমানের হয় তবে আউটপুটও উচ্চমানের হয়।

অর্ধপরিবাহী ইলেকট্রনিক্স : উপাদান পদার্থ, যন্ত্রাদি এবং সরল বর্তনীসমূহ



(a)

ইনপুট		আউটপুট
A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

(b)

চিত্র 14.36 (a) লজিক চিহ্ন (b) OR গেট-এর ট্রুথ টেবিল।

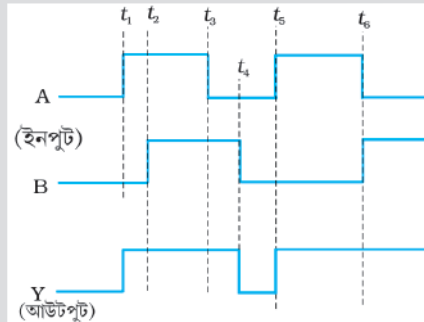
উপরোক্ত গাণিতিক ক্রিয়া সম্পাদন ব্যতীতও এই গেটটি স্পন্দন তরঙ্গারূপকে পরিবর্তিত করার জন্য ব্যবহৃত হয়, যেমনটি নিম্নলিখিত উদাহরণের সাহায্যে ব্যাখ্যা করা হয়েছে।

উদাহরণ 14.11 14.37 চিত্রে প্রদত্ত নিম্নলিখিত ইনপুট A এবং B-এর জন্য OR গেটের আউটপুট তরঙ্গারূপ (Y)-এর যৌক্তিকতা যাচাই করো।

সমাধান লক্ষ করে দেখো :

- যখন $t < t_1$; A = 0, B = 0; ফলস্বরূপ Y = 0
- যখন t -এর মান
- t_1 থেকে t_2 পর্যন্ত; A = 1, B = 0; ফলে Y = 1
- t_2 থেকে t_3 পর্যন্ত; A = 1, B = 1; ফলে Y = 1
- t_3 থেকে t_4 পর্যন্ত; A = 0, B = 1; ফলে Y = 1
- t_4 থেকে t_5 পর্যন্ত; A = 0, B = 0; ফলে Y = 0
- t_5 থেকে t_6 ; A = 1, B = 0; ফলে Y = 1
- $t > t_6$ ক্ষেত্রে; A = 0, B = 1; ফলে Y = 1

সুতরাং, তরঙ্গারূপ Y 14.37 চিত্রের মতো হবে।

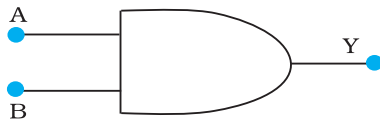


চিত্র 14.37

উদাহরণ 14.11

(iii) AND গেট

একটি AND গেটের দুই বা ততোধিক ইনপুট এবং একটি আউটপুট থাকে। AND গেটের আউটপুট Y-এর মান কেবলমাত্র তখনই 1 হয় যখন ইনপুট A এবং ইনপুট B উভয়ের মান 1 হয়। 14.38 চিত্রে এই গেটের লজিক চিহ্ন এবং ট্রুথ টেবিল দেখানো হয়েছে।



(a)

ইনপুট		আউটপুট
A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

(b)

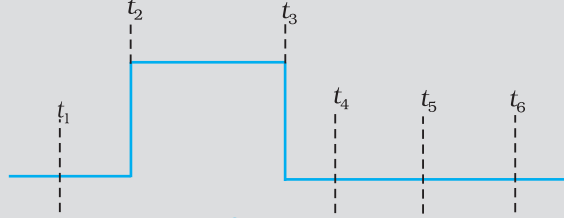
চিত্র 14.38 (a) লজিক চিহ্ন, (b) AND গেটের ট্রুথ টেবিল।

উদাহরণ 14.12 A এবং B ইনপুট তরঙ্গরূপ 14.11 উদাহরণের অনুরূপ নাও। AND গেট থেকে প্রাপ্ত আউটপুট তরঙ্গরূপ অঙ্কন করো।

সমাধান

- $t \leq t_1$ -এর ক্ষেত্রে; $A = 0, B = 0;$ সুতরাং $Y = 0$
- যখন t -এর মান
- t_1 থেকে t_2 পর্যন্ত; $A = 1, B = 0;$ ফলে $Y = 0$
- t_2 থেকে t_3 পর্যন্ত; $A = 1, B = 1;$ ফলে $Y = 1$
- t_3 থেকে t_4 পর্যন্ত; $A = 0, B = 1;$ ফলে $Y = 0$
- t_4 থেকে t_5 পর্যন্ত; $A = 0, B = 0;$ ফলে $Y = 0$
- t_5 থেকে t_6 পর্যন্ত; $A = 1, B = 0;$ ফলে $Y = 0$
- $t > t_6$ -এর ক্ষেত্রে ; $A = 0, B = 1;$ ফলে $Y = 0$

উপরোক্ত তথ্যের উপর ভিত্তি করে AND গেটের আউটপুট তরঙ্গরূপ নিম্নলিখিতভাবে অঙ্কন করা যায়।

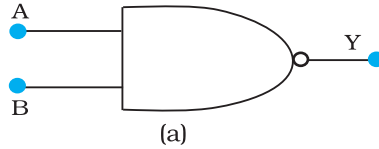


চিত্র 14.39

(iv) NAND গেট Gate

এটি হল একটি AND গেট যাকে একটি NOT গেট অনুসরণ করে। যদি ইনপুট A এবং B উভয়ের মান '1' হয়, আউটপুট Y-এর মান '1' হবে না। এই গেটটির এইরূপ নামকরণ এর NOT AND প্রকৃতির জন্যই করা হয়েছে। 14.40 চিত্রে NAND গেটের চিহ্ন এবং ট্রুথ টেবিল দেখানো হয়েছে।

NAND গেটকে সার্বজনীন গেটও বলা হয়, কারণ এই গেটগুলো ব্যবহার করে তুমি OR, AND এবং NOT গেটের মতো মৌলিক গেটগুলো তৈরি করতে পারো। (14.16 এবং 14.17 অনুশীলনী)।



(a)

ইনপুট		আউটপুট
A	B	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

(b)

চিত্র 14.40 (a) লজিক চিহ্ন, (b) NAND গেটের ট্রুথ টেবিল।

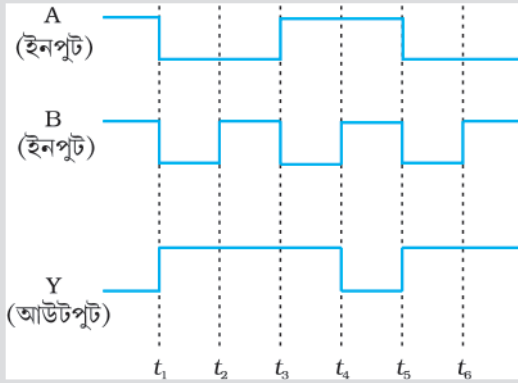
উদাহরণ 14.13 প্রদত্ত A এবং B ইনপুট যুক্ত একটি NAND গেটের আউটপুট Y অঙ্কন করো।

সমাধান

- $t < t_1$ -এর ক্ষেত্রে; $A = 1, B = 1;$ ফলে $Y = 0$
- t_1 থেকে t_2 পর্যন্ত; $A = 0, B = 0;$ ফলে $Y = 1$
- t_2 থেকে t_3 পর্যন্ত; $A = 0, B = 1;$ ফলে $Y = 1$
- t_3 থেকে t_4 পর্যন্ত; $A = 1, B = 0;$ ফলে $Y = 1$

অর্ধপরিবাহী ইলেকট্রনিক্স : উপাদান পদার্থ, যন্ত্রাদি এবং সরল বর্তনীসমূহ

- t_4 থেকে t_5 পর্যন্ত; $A = 1, B = 1$; ফলে $Y = 0$
- t_5 থেকে t_6 পর্যন্ত; $A = 0, B = 0$; ফলে $Y = 1$
- $t > t_6$ -এর জন্য; $A = 0, B = 1$; ফলে $Y = 1$

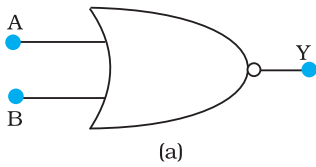


চিত্র 14.41

উপসংহত 14.13

(v) NOR গেট

এই গেটটিতে দুই বা ততোধিক ইনপুট এবং একটি আউটপুট রয়েছে। OR গেটের পরে একটি NOT প্রক্রিয়া কার্যকরী হলে এটি একটি NOT-OR গেট (সরলভাবে NOR গেট) গঠন করে। এর আউটপুট কেবলমাত্র তখনই '1' হবে যখন A এবং B উভয় ইনপুট '0' হয় অর্থাৎ ইনপুটদ্বয়ের কোনোটিই '1' নয়। 14.42 চিত্রে NOR গেটের চিহ্ন এবং ট্রুথ টেবিল দেখানো হয়েছে।



(a)

ইনপুট		আউটপুট
A	B	Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

(b)

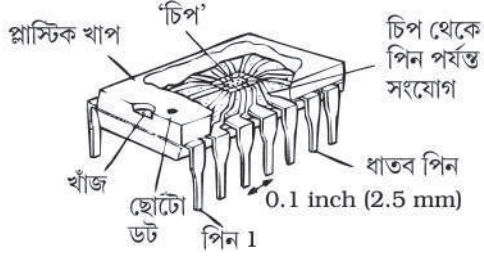
চিত্র 14.42 (a) লজিক চিহ্ন; (b) NOR গেটের ট্রুথ টেবিল।

NOR গেটকে সার্বজনীন গেট হিসেবে ধরা হয়, কারণ তুমি এই গেট ব্যবহার করে AND, OR, NOT ইত্যাদি সকল গেটগুলোকে তৈরি করতে পারো। (অনুশীলনী 14.18 এবং 14.19)।

14.11 সমন্বিত বর্তনী (INTEGRATED CIRCUITS)

বর্তনী গঠন করার প্রথাগত পদ্ধতি হল, ডায়োড, ট্রানজিস্টার, R, L, C ইত্যাদি উপাদান চয়ন করা এবং কাঙ্ক্ষিত সজ্জায় ঝালাই করে তারের সাহায্যে সংযুক্ত করা। ট্রানজিস্টারের আবিষ্কারকে কাজে লাগিয়ে বর্তনীর ক্ষুদ্র সংস্করণ করা গেলেও এই বর্তনীগুলো ছিল স্থূল আকৃতির। এছাড়াও এই বর্তনীগুলো ছিল কম নির্ভরযোগ্য এবং কম আঘাত নিরোধী (stock proof)। একটি সম্পূর্ণ বর্তনীকে [বহু গৌণ উপাদান (passive components) যেমন R এবং C এবং মুখ্য উপাদান (active component) যেমন ডায়োড এবং ট্রানজিস্টার দ্বারা গঠিত] অর্ধপরিবাহীর একটিমাত্র ক্ষুদ্র খণ্ডে নির্মাণ করার ধারণা বৈদ্যুতিন প্রযুক্তিতে (electronics technology) বিপ্লব ঘটায়। এই ধরনের বর্তনীকে ইন্টিগ্রেটেড সার্কিট (Integrated Circuit, IC) বা সমন্বিত বর্তনী বলে। এক্ষেত্রে বহুল ব্যবহৃত প্রযুক্তিটি হল মনোলিথিক ইন্টিগ্রেটেড সার্কিট (Monolithic Integrated Circuit)। monolithic শব্দটি দুটি গ্রিক শব্দের

পদার্থবিদ্যা



চিত্র 14.43 'চিপ'-এর আবরক এবং সংযোগ।

সমস্বয়ে গঠিত; *monos* অর্থাৎ একটিমাত্র এবং *lithos* এর অর্থ পাথর। বস্তুত এটি বোঝায় যে কার্যত সম্পূর্ণ বর্তনীটি একটিমাত্র সিলিকন কেলাসে (অথবা *chip*) নির্মিত। চিপ (*chip*)-টির আকার 1mm × 1mm বা তার চেয়েও ক্ষুদ্রতর হতে পারে। 14.43 চিত্রে সংরক্ষক প্লাস্টিকের আবরণের মধ্যে আবদ্ধ একটি চিপ দেখানো হয়েছে, বহিঃস্থ বর্তনীর সাথে সংযোগ রক্ষাকারী পিন পর্যন্ত *chip* থেকে বেরিয়ে আসা সংযোগগুলোকে দেখাতে আবরকটির একটি অংশকে উন্মুক্ত দেখানো হয়েছে।

ইনপুট সংকেতের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে IC সমূহকে দুটি শ্রেণিতে ভাগ করা যায় : (a) রৈখিক (*linear*) বা অ্যানালগ (*analogue*) IC সমূহ এবং (b) ডিজিটাল IC সমূহ। যে অ্যানালগ সংকেতগুলো সর্বোচ্চ এবং সর্বনিম্ন মানের পাল্লার মধ্যে সুসম এবং নিরবচ্ছিন্নভাবে পরিবর্তিত হয়, রৈখিক IC সমূহ

সেই সংকেতগুলোকে প্রক্রিয়াকরণ (*process*) করে। আউটপুটটি ইনপুটের প্রায় সমানুপাতিক হয়। অর্থাৎ এটি ইনপুটের সঙ্গে রৈখিকভাবে (*linearly*) পরিবর্তিত হয়। সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ অ্যানালগ IC গুলোর মধ্যে একটি হল অপারেশনাল অ্যাম্প্লিফায়ার (*operational amplifier*)।

ডিজিটাল IC শুধুমাত্র দুটি মানবিশিষ্ট সংকেতগুলোর প্রক্রিয়াকরণ করে। এরা লজিক গেটের মতো বর্তনীসমূহ নিয়ে গঠিত। সমস্বয় স্তরের (*level of integration*) উপর ভিত্তি করে (অর্থাৎ বর্তনীর উপাদান বা লজিক গেটের সংখ্যার উপর ভিত্তি করে) ICগুলোকে স্মল স্কেল ইন্টিগ্রেশন (*Small Scale Integration*), SSI (লজিক গেট ≤ 10); মিডিয়াম স্কেল ইন্টিগ্রেশন (*Medium Scale Integration*), MSI (লজিক গেট ≤ 100); লার্জ স্কেল ইন্টিগ্রেশন (*Large Scale Integration*), LSI (লজিক গেট ≤ 1000); এবং ভেরি লার্জ স্কেল ইন্টিগ্রেশন (*Very Large Scale Integration*), VLSI (লজিক গেট > 1000) ইত্যাদি নাম দেওয়া হয়েছে। IC নির্মাণের প্রযুক্তি খুবই জটিল হলেও বৃহৎ মাত্রার শিল্পোৎপাদনের ফলে এদের খুবই সুলভ মূল্যে পাওয়া যায়।

দ্রুততর এবং ক্ষুদ্রতর : কম্পিউটার প্রযুক্তির ভবিষ্যত

(FASTER AND SMALLER: THE FUTURE OF COMPUTER TECHNOLOGY)

সকল কম্পিউটার ব্যবস্থার মূলে রয়েছে ইন্টিগ্রেটেড চিপ (IC)। প্রকৃতপক্ষে প্রায় সকল বৈদ্যুতিক যন্ত্রাদি যেমন গাড়ি, টেলিভিশন, CD প্লেয়ার, সেল ফোন ইত্যাদির মধ্যে IC দেখা যায়। IC ছাড়া কম্পিউটারের ক্ষুদ্র সংস্করণ যেমন আধুনিক পার্সোনাল কম্পিউটার বা PC তৈরি কখনো সম্ভবপর হত না। IC হল এমন একটি ইলেকট্রনিক যন্ত্র যাতে একই মোড়কে আবদ্ধ বহু ট্রানজিস্টার, রোধক, ধারক এবং সংযোগকারী তার রয়েছে। তোমরা নিশ্চয়ই মাইক্রো প্রোসেসরের (*microprocessor*) নাম শুনেছ। মাইক্রো প্রোসেসর হল এমন একটি IC যা কম্পিউটারের সকল তথ্যগুলোকে প্রক্রিয়াকরণ (*process*) করে। যেমন কোন্ চাবি টেপা হয়েছে সেটিকে শনাক্ত করা, কম্পিউটার প্রোগ্রাম এবং গেমস চালানো ইত্যাদি। বিজ্ঞানী জ্যাক কিল্কি (*Jack Kilby*) টেক্সাস ইনস্ট্রুমেন্টস (*Texas Instruments*)-এ 1958 সালে সর্বপ্রথম IC আবিষ্কার করেন এবং এজন্য 2000 সালে তাঁকে নোবেল পুরস্কার দেওয়া হয়। ফটো লিথোগ্রাফি (*photolithography*) নামক প্রক্রিয়ায় অর্ধপরিবাহী কেলাসের একটিমাত্র খণ্ডে IC তৈরি করা হয়। প্রকৃতপক্ষে সম্পূর্ণ তথ্য প্রযুক্তি শিল্পই [*Information Technology (IT) industry*] অর্ধপরিবাহীর উপর দাঁড়িয়ে রয়েছে। বছরের পর বছর IC সমূহের জটিলতা বেড়েছে, কিন্তু এদের গঠনাকৃতি ক্রমাগত ক্ষীণ থেকে ক্ষীণতর হয়েছে। গত পাঁচ দশকে কম্পিউটার প্রযুক্তির নাটকীয় ক্ষুদ্র সংস্করণ আধুনিককালের কম্পিউটারগুলোকে দ্রুততর ও ক্ষুদ্রতর করেছে। 1970 সালে INTEL-এর সহপ্রতিষ্ঠাতা গর্ডন মুরে (*Gorden moore*) উল্লেখ করেছিলেন যে, একটি *chip*-এর স্মৃতি ধারণক্ষমতা (*memory capacity*) প্রতি দেড় বছরে প্রায় দ্বিগুণ হয়। এটি মুরের সূত্র নামেই পরিচিত। প্রতি চিপে ট্রানজিস্টারের সংখ্যা সূচকীয়ভাবে বৃদ্ধি পায় এবং প্রতি বছর কম্পিউটারগুলো আগের চেয়ে আরও ক্ষমতাসম্পন্ন কিন্তু সস্তা হয়। সাম্প্রতিক প্রবণতা থেকে ধারণা করা যায় যে 2020 সালে কম্পিউটারগুলো 40 GHz-এ (40,000 MHz) ক্রিয়াশীল হবে এবং বর্তমান কালের কম্পিউটারগুলোর চেয়ে আরো ক্ষুদ্রতর, আরও দক্ষ এবং সাশ্রয়ী হবে। অর্ধপরিবাহী শিল্প এবং কম্পিউটার প্রযুক্তির বিস্ফোরক বৃদ্ধি গর্ডন মুরের একটি বিখ্যাত উক্তির দ্বারা সুন্দরভাবে প্রকাশ করা যায় - “যদি অর্ধপরিবাহী শিল্পের মতো স্বয়ংক্রিয় বাহন শিল্পের দ্রুত অগ্রগতি ঘটত। তাহলে একটি রোলস রয়েস (*Rolls Royce*) গাড়ি প্রতি গ্যালনে অর্ধমিলিয়ন (পাঁচ লক্ষ) মাইল অতিক্রম করতো এবং একে পার্ক করার চেয়ে ছুঁড়ে ফেলে দেওয়া অনেক বেশি সাশ্রয়ী হত”।

অর্ধপরিবাহী ইলেকট্রনিক্স : উপাদান পদার্থ, যন্ত্রাদি এবং সরল বর্তনীসমূহ

সারাংশ

1. বর্তমানকালের কঠিন অবস্থার বৈদ্যুতিন যন্ত্রাদি (solid state electronic devices) যেমন ডায়োড, ট্রানজিস্টার, IC ইত্যাদিতে ব্যবহৃত মূল পদার্থ হল অর্ধপরিবাহী।
2. কোনো একটি বিশেষ পদার্থ অন্তরক, পরিবাহী অথবা অর্ধপরিবাহী হবে কিনা সেটি তার উপাদান মৌল সমূহের জাফরি গঠনাকৃতি এবং পারমাণবিক গঠন নির্ধারণ করে।
3. ধাতুসমূহ অতি নিম্ন রোধাঙ্ক (10^{-2} থেকে 10^{-8} Ωm) বিশিষ্ট, অন্তরকসমূহ অতি উচ্চ রোধাঙ্কবিশিষ্ট ($>10^8$ Ωm^{-1}), যেখানে অর্ধপরিবাহী সমূহের রোধাঙ্ক এই দুয়ের মাঝামাঝি মানের হয়।
4. অর্ধপরিবাহী সমূহ মৌলিক পদার্থ (Si, Ge) হওয়ার সাথে সাথে যৌগিক পদার্থও (GaAs, CdS ইত্যাদি) হয়।
5. বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীকে স্বকীয় অর্ধপরিবাহী (intrinsic semiconductors) বলা হয়। আধান বাহকদের (ইলেকট্রন এবং গর্ত) উপস্থিতি পদার্থের স্বকীয় ধর্ম এবং তাপীয় উত্তেজনার ফলস্বরূপ এদের পাওয়া যায়। বিশুদ্ধ পরিবাহীতে ইলেকট্রনের সংখ্যা (n_e) গর্তসংখ্যার (n_h) সমান হয়। গর্তগুলো নিশ্চিতভাবেই ইলেকট্রনশূন্য স্থান যাদের কার্যকরী আধান ধনাত্মক।
6. বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীতে উপযুক্ত অপদ্রব্য 'ডোপ' করে আধান বাহকের সংখ্যা পরিবর্তন করা যায়, এ ধরনের অর্ধপরিবাহীদের অবিশুদ্ধ (extrinsic) অর্ধপরিবাহী বলা হয়। এরা দুই প্রকারের হয় (n টাইপ এবং p টাইপ)।
7. n টাইপ অর্ধপরিবাহীতে $n_e \gg n_h$; অন্যদিকে p টাইপ অর্ধপরিবাহীতে $n_h \gg n_e$ ।
8. পঞ্চযোজী পরমাণুসমূহ (দাতা) যেমন- As, Sb, P ইত্যাদির দ্বারা ডোপিংয়ের মাধ্যমে n টাইপ অর্ধপরিবাহী Si এবং Ge পাওয়া যায়। যেখানে ত্রিযোজী পরমাণুসমূহ (গ্রাহক) যেমন- B, Al, In ইত্যাদির দ্বারা ডোপিংয়ের মাধ্যমে p টাইপ অর্ধপরিবাহী Si বা Ge পাওয়া যায়।
9. সকলক্ষেত্রে $n_e n_h = n_i^2$; আবার, পদার্থের একটি সার্বিক আধান নিরপেক্ষতা রয়েছে।
10. একটি পদার্থের দুটি পৃথক শক্তিস্তর (যোজ্যতা পটি এবং পরিবহন পটি নামে পরিচিত) রয়েছে যেখানে ইলেকট্রনগুলো অবস্থান করে। পরিবহন পটির শক্তির তুলনায় যোজ্যতা পটির শক্তি কম হয়। যোজ্যতা পটির সকল শক্তিস্তরগুলো পূর্ণ থাকে। অন্যদিকে পরিবহন পটির শক্তিস্তর সম্পূর্ণ ফাঁকা বা আংশিক পূর্ণ থাকতে পারে। পরিবহন পটির ইলেকট্রনগুলো কঠিনের মধ্য দিয়ে মুক্তভাবে চলাচল করতে পারে এবং এরা পরিবাহিতার জন্য দায়ী। পরিবাহিতার সীমা যোজ্যতা পটির উপরিস্তর (E_v) এবং পরিবহন পটির নিম্নস্তরের (E_c) মধ্যবর্তী শক্তি পার্থক্যের উপর নির্ভর করে। যোজ্যতা পটির ইলেকট্রনগুলো তাপ, আলো এবং তড়িৎশক্তি দ্বারা উদ্দীপিত হয়ে পরিবহন পটিতে চলে যেতে পারে এবং এভাবে অর্ধপরিবাহীতে তড়িৎপ্রবাহের পরিবর্তন ঘটাতে পারে।
11. অন্তরক পদার্থের ক্ষেত্রে $E_g > 3$ eV, অর্ধপরিবাহীর ক্ষেত্রে E_g -এর মান 0.2 eV থেকে 3 eV হয়। যেখানে, ধাতব পদার্থের ক্ষেত্রে $E_g \approx 0$ ।
12. সকল অর্ধপরিবাহী যন্ত্রের মূলে রয়েছে p-n সংযোগ। যখন এমন একটি সংযোগ গঠন করা হয়, ইলেকট্রন অথবা গর্তবিহীন অচল আয়ন-কোর (ion-core) বিশিষ্ট একটি নিঃশেষিত অঞ্চল গঠিত হয়। এটি সংযোগ বিভব প্রাচীরের জন্য দায়ী।
13. বাহ্যিক প্রযুক্ত ভোল্টেজের পরিবর্তন ঘটিয়ে সংযোগ বিভব প্রাচীরের পরিবর্তন করা যায়। সম্মুখ বায়াসে [ব্যাটারির ঋণাত্মক প্রান্ত n অংশের (n-side) সঙ্গে এবং ব্যাটারির ধনাত্মক প্রান্ত p অংশের (p-side) সঙ্গে যুক্ত থাকে] প্রাচীরের উচ্চতা হ্রাস পায়। পক্ষান্তরে, বিপরীত বায়াসে এটি বৃদ্ধি পায়। ফলে একটি p-n সংযোগ ডায়োডে সম্মুখ বায়াসে প্রবাহমাত্রা তুলনামূলকভাবে বেশি (mA) এবং বিপরীত বায়াসে এর মান খুবই কম (μA) হয়।
14. পরিবর্তী ভোল্টেজের একমুখীকরণে (পরিবর্তী ভোল্টেজকে এক নির্দিষ্ট অভিমুখে রেখে) ডায়োড ব্যবহার করা যেতে পারে। একটি ধারক অথবা উপযুক্ত ফিল্টারের সাহায্যে একটি dc ভোল্টেজ পাওয়া যায়।

15. বিশেষ উদ্দেশ্যে ব্যবহৃত কিছু ডায়োড রয়েছে।
16. জেনার ডায়োড হল এমনই একটি বিশেষ উদ্দেশ্যে ব্যবহৃত (special purpose) ডায়োড। জেনার ডায়োডের বিপরীত বায়াসে একটি নির্দিষ্ট ভোল্টেজের পরে প্রবাহমাত্রা হঠাৎ বৃদ্ধি পায় (বৈকল্য বিভব)। এই ধর্মটি ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রণ করার কাজে ব্যবহৃত হয়।
17. বহু ফটো আয়নীয় (photonic) আলোক বৈদ্যুতিন (photoelectronic) যন্ত্রাদি, যাদের ক্ষেত্রে অংশগ্রহণকারী একটি উপাদান হল 'ফোটন', তৈরিতে p-n সংযোগ ব্যবহৃত হয়। যেমন : (a) ফোটো ডায়োডে ফোটন-উদ্দীপন (photon excitation) বিপরীত সম্পৃক্ত প্রবাহের পরিবর্তন ঘটায়, যা আলোর তীব্রতা পরিমাপ করতে আমাদের সাহায্য করে; (b) সৌরকোশ যা ফোটন শক্তিকে বৈদ্যুতিক শক্তিকে রূপান্তরিত করে; (c) আলোক নিঃসারক ডায়োড (Light Emitting Diode) এবং ডায়োড লেসার (Diode Laser) যাতে বায়াস ভোল্টেজ দ্বারা ইলেকট্রন উদ্দীপনার ফলে আলোক উৎপাদিত হয়।
18. ট্রানজিস্টার হল একটি n-p-n অথবা p-n-p সংযোগ যন্ত্র। পাতলা এবং অল্প মাত্রায় ডোপিং করা মাঝের ব্লকটিকে ভূমি (Base) বলা হয়, অন্য তড়িৎদ্বারগুলো হল নিঃসারক (Emitter) এবং সংগ্রাহক (Collectors)। নিঃসারক ভূমি সংযোগ সম্মুখ বায়াসে থাকে এবং সংগ্রাহক ভূমি বিপরীত বায়াসে থাকে।
19. C, E বা B যে-কোনো একটিকে ইনপুট এবং আউটপুট উভয়ের সাথে সাধারণ রেখে ট্রানজিস্টারকে যুক্ত করা হয়। ফলে আমরা তিন ধরনের ট্রানজিস্টার সংযোগ ব্যবস্থা পাই : সাধারণ নিঃসারক (CE), সাধারণ সংগ্রাহক (CC) এবং সাধারণ ভূমি (CB) সংযোগ ব্যবস্থা। I_B স্থির রেখে I_C এবং V_{CE} -এর মধ্যে অঙ্কিত লেখচিত্রকে আউটপুট বৈশিষ্ট্য লেখ বলা হয়। আবার V_{CE} স্থির রেখে I_B এবং V_{BE} -এর মধ্যে অঙ্কিত লেখচিত্রকে ইনপুট বৈশিষ্ট্য লেখ বলা হয়। CE সংযোগ ব্যবস্থায় গুরুত্বপূর্ণ ট্রানজিস্টার প্রাচলগুলো হল :

$$\text{ইনপুট রোধ (input resistance), } r_i = \left(\frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B} \right)_{V_{CE}}$$

$$\text{আউটপুট রোধ (output resistance), } r_o = \left(\frac{\Delta V_{CE}}{\Delta I_C} \right)_{I_B}$$

$$\text{প্রবাহমাত্রা বিবর্ধন গুণক (current amplification factor), } \beta = \left(\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \right)_{V_{CE}}$$

20. বিবর্ধক (amplifier) এবং স্পন্দক (oscillator) হিসেবে ট্রানজিস্টার ব্যবহার করা যায়। প্রকৃতপক্ষে, একটি স্পন্দককে একটি স্বতঃচালিত বিবর্ধক হিসেবে ধরা যেতে পারে যেখানে আউটপুটের একটি অংশকে ইনপুটে সমদশায় পুনর্নিবেশ (feed back) করানো হয় (ধনাত্মক পুনর্নিবেশ বা positive feed back)। সাধারণ নিঃসারক (CE) সংযোগ ব্যবস্থায় ট্রানজিস্টার

$$\text{বিবর্ধকের ভোল্টেজ বিবর্ধন (voltage gain) : } A_v = \left(\frac{v_o}{v_i} \right) = \beta \frac{R_C}{R_B}, \text{ যেখানে } R_C \text{ এবং } R_B \text{ হল যথাক্রমে বর্তনীর সংগ্রাহক এবং ভূমি অংশের রোধ।}$$

21. যখন ট্রানজিস্টারটি কাট অফ (cutoff) অথবা সম্পৃক্ত (saturation state) অঞ্চলে ব্যবহার করা হয় তখন এটি একটি সুইচ (switch) হিসেবে কাজ করে।
22. কিছু বিশেষ বর্তনী রয়েছে যেগুলো 0 এবং 1 স্তর বিশিষ্ট ডিজিটাল তথ্য ব্যবহার করে। এটিই ডিজিটাল ইলেকট্রনিক্সের মূল বিষয়।
23. বিশেষ লজিক ক্রিয়া সম্পাদনকারী গুরুত্বপূর্ণ ডিজিটাল বর্তনীগুলোকে লজিক গেট (logic gate) বলা হয়। এরা হল : OR, AND, NOT, NAND, এবং NOR গেট সমূহ।
24. আধুনিককালের বর্তনীগুলোতে বহু লজিকেল গেট অথবা বর্তনী একটিমাত্র অখণ্ড Chip এ সমন্বিত থাকে। এরা সমন্বিত বর্তনী [Integrated circuits (IC)] নামে পরিচিত।

অর্ধপরিবাহী ইলেকট্রনিক্স : উপাদান পদার্থ, যন্ত্রাদি এবং সরল বর্তনীসমূহ

ভেবে দেখার বিষয়সমূহ

1. অর্ধপরিবাহীতে শক্তিপটি সমূহ (E_C বা E_V) বিভিন্ন অঞ্চলে ছড়িয়ে থাকে অর্থাৎ এগুলো কঠিনের অভ্যন্তরে কোনো নির্দিষ্ট স্থানে আবদ্ধ থাকে না। শক্তিসমূহ হল এদের সার্বিক গড়। যখন তুমি একটি চিত্রে E_C এবং E_V কে সরলরেখা হিসেবে দেখতে পাও, তখন এদেরকে সাধারণভাবে পরিবহন পটির সর্বনিম্ন শক্তিস্তর এবং যোজ্যতা পটির সর্বোচ্চ শক্তিস্তর হিসেবে যথাক্রমে ধরে নিতে হবে।
2. মৌলিক অর্ধপরিবাহী সমূহে (Si বা Ge) ত্রুটি হিসেবে 'ডোপ্যান্ট' মিশ্রিত করে n-টাইপ বা p-টাইপ অর্ধপরিবাহী পাওয়া যায়। যৌগিক অর্ধপরিবাহীতে আপেক্ষিক স্টয়শিওমেট্রিক (stoichiometric) অনুপাতের পরিবর্তন, অর্ধপরিবাহীর প্রকৃতিরও পরিবর্তন করতে পারে। উদাহরণস্বরূপ আদর্শ GaAs-এ Ga:As অনুপাতটি হল 1:1 কিন্তু Ga-সমৃদ্ধ অথবা As-সমৃদ্ধ GaAs-এ এটি $Ga_{1.1}As_{0.9}$ বা $Ga_{0.9}As_{1.1}$ হতে পারে। সাধারণতঃ, ত্রুটির উপস্থিতি বহুভাবে অর্ধপরিবাহীর ধর্মাবলীকে নিয়ন্ত্রণ করে।
3. ট্রানজিস্টার সমূহে ভূমি অঞ্চলটি পাতলা এবং অল্প মাত্রায় ডোপ করা থাকে। অন্যথা, ইনপুটের দিক (ধরো CE সংযোগ ব্যবস্থায় নিঃসারক) থেকে আসা ইলেকট্রন বা গর্তগুলো সংগ্রাহক পর্যন্ত পৌঁছাতে পারে না।
4. একটি স্পন্দককে (oscillator) আমরা ধনাত্মক পুনর্নিবেশ বিবর্ধক বা পজিটিভ ফিডব্যাক অ্যাম্প্লিফায়ার (positive feedback amplifier) হিসেবে বর্ণনা করেছি। সুস্থিত স্পন্দনের জন্য আউটপুট ভোল্টেজ (V_o) থেকে নেওয়া ভোল্টেজ ফিডব্যাক (V_{fb}) এমন হতে হবে যেন বিবর্ধনের (A) পরে এটি আবার V_o হয়ে যায়। যদি আউটপুটের একটি ভগ্নাংশ β' ফিডব্যাক হয়, তাহলে $V_{fb} = V_o \cdot \beta'$ এবং বিবর্ধনের পরে এর মান $A(v_o \cdot \beta')$, V_o -এর সমান হতে হবে। অর্থাৎ সুস্থিত স্পন্দনের জন্য কার্যকর শর্তটি হল $A \beta' = 1$ । এটি বার্ক হাউসেন শর্ত (Barkhausen's Criteria) নামে পরিচিত।
5. একটি স্পন্দকে ফিডব্যাক ভোল্টেজ ইনপুটের সমদশায় (positive feedback) থাকে। যদি ফিডব্যাক ভোল্টেজ বিপরীত দশায় (negative feedback) থাকে তবে বিবর্ধন 1-এর চেয়ে কম হয় এবং এটি কখনো স্পন্দক হিসেবে কার্য করতে পারে না। এটি হ্রাসপ্রাপ্ত বিবর্ধনযুক্ত একটি বিবর্ধক হিসেবে কাজ করে। যদিও ঋণাত্মক ফিডব্যাক বিবর্ধকে অপস্বর (noise) এবং বিকৃতি (distortion) হ্রাস করে, যা এর একটি সুবিধাজনক বৈশিষ্ট্য।

অনুশীলনী

14.1 n-টাইপ Si-এর জন্য নিম্নলিখিত কোন বিবৃতিটি সত্য :

- (a) ইলেকট্রনগুলো সংখ্যাগুরু বাহক এবং ত্রিযোজী পরমাণুগুলো হল ডোপ্যান্ট।
- (b) ইলেকট্রনগুলো হল সংখ্যালঘু বাহক এবং পঞ্চযোজী পরমাণুগুলো হল ডোপ্যান্ট।
- (c) গর্তগুলো সংখ্যালঘু বাহক এবং পঞ্চযোজী পরমাণুগুলো ডোপ্যান্ট।
- (d) গর্তগুলো সংখ্যালঘু বাহক এবং ত্রিযোজী পরমাণুগুলো হল ডোপ্যান্ট।

14.2 অনুশীলনী 14.1-এ প্রদত্ত কোন বিবৃতিটি p-টাইপ অর্ধপরিবাহীর জন্য সত্য ?

14.3 কার্বন, সিলিকন এবং জার্মেনিয়াম প্রতিটির চারটি করে যোজ্যতা ইলেকট্রন রয়েছে। এদেরকে যথাক্রমে $(E_g)_C$, $(E_g)_{Si}$ এবং $(E_g)_{Ge}$ -এর সমান শক্তিপটি ব্যবধান (energy band gap) দ্বারা পৃথকীকৃত যোজ্যতা পটি এবং পরিবহন পটি দ্বারা চিহ্নিত করা হয়েছে। নীচের কোন বিবৃতিটি সত্য ?

- (a) $(E_g)_{Si} < (E_g)_{Ge} < (E_g)_C$
- (b) $(E_g)_C < (E_g)_{Ge} > (E_g)_{Si}$
- (c) $(E_g)_C > (E_g)_{Si} > (E_g)_{Ge}$
- (d) $(E_g)_C = (E_g)_{Si} = (E_g)_{Ge}$

- 14.4** একটি বায়াসহীন p-n সংযোগে গর্তগুলো p-অঞ্চল থেকে n-অঞ্চলে ব্যাপিত হয়, কারণ
- n-অঞ্চলের মুক্ত ইলেকট্রন তাদের আকর্ষণ করে।
 - বিভব পার্থক্যের জন্য এরা সংযোগের মধ্য দিয়ে গতিশীল হয়।
 - n-অঞ্চলের তুলনায় p-অঞ্চলে গর্ত ঘনত্ব (hole concentration) বেশি।
 - উপরের সবগুলো বিবৃতি সত্য।
- 14.5** যখন একটি p-n সংযোগে সম্মুখ বায়াস প্রযুক্ত হয়, এটি
- বিভব প্রাচীরের মান বৃদ্ধি করে।
 - সংখ্যাগুরু বাহক তড়িৎপ্রবাহ হ্রাস করে একে শূন্য মানে পৌঁছায়।
 - বিভব প্রাচীর হ্রাস করে।
 - উপরের কোনোটিই নয়।
- 14.6** ট্রানজিস্টার এর কার্যকারিতার জন্য নীচের কোন বিবৃতিটি সত্য?
- ভূমি, নিঃসারক এবং সংগ্রাহক অঞ্চলসমূহের আকার এবং ডোপিং ঘনত্ব একই রকম হতে হবে।
 - ভূমি অঞ্চলটি অবশ্যই খুব পাতলা এবং অল্প মাত্রায় ডোপ করা।
 - নিঃসারক সংযোগটি সম্মুখ বায়াসে থাকে এবং সংগ্রাহক সংযোগটি বিপরীত বায়াসে থাকে।
 - নিঃসারক সংযোগ এবং সংগ্রাহক সংযোগ উভয়েই সম্মুখ বায়াসে থাকে।
- 14.7** ট্রানজিস্টার বিবর্ধকের ক্ষেত্রে ভোল্টেজ বিবর্ধন (voltage gain)
- সকল কম্পাঙ্কের জন্য স্থির থাকে।
 - উচ্চ এবং নিম্ন কম্পাঙ্কের জন্য উচ্চমানের হয় এবং মধ্যবর্তী কম্পাঙ্কের পাল্লায় স্থির থাকে।
 - উচ্চ এবং নিম্ন কম্পাঙ্কের জন্য নিম্নমানের হয় এবং মধ্যবর্তী কম্পাঙ্কের পাল্লায় স্থির থাকে।
 - উপরের কোনোটিই নয়।
- 14.8** অর্ধতরঙ্গ একমুখীকরণে 50 Hz ইনপুট কম্পাঙ্কে আউটপুট কম্পাঙ্ক কত? একই ইনপুট কম্পাঙ্কের ক্ষেত্রে একটি পূর্ণতরঙ্গ একমুখী কারকের আউটপুট কম্পাঙ্ক কত হবে?
- 14.9** একটি CE ট্রানজিস্টার বিবর্ধকের 2 kΩ রোধবিশিষ্ট সংগ্রাহকে শ্রুতি সংকেত ভোল্টেজ (Audio signal voltage) 2 V হয়। ধরে নাও, ট্রানজিস্টারের প্রবাহমাত্রা বিবর্ধন গুণক (current amplification factor) 100। যদি ভূমি রোধ 1 kΩ হয়, তাহলে ইনপুট সংকেত ভোল্টেজ (input signal voltage) এবং ভূমি প্রবাহমাত্রা নির্ণয় করো।
- 14.10** 2.8 eV পটি ব্যবধান (band gap) বিশিষ্ট একটি অর্ধপরিবাহী দ্বারা একটি ফোটোডায়োড (photodiode) নির্মাণ করা হল। এটি কি 6000 nm দৈর্ঘ্যের তরঙ্গকে শনাক্ত করতে পারবে?

অতিরিক্ত অনুশীলনী

- 14.11** প্রতি ঘনমিটার আয়তনে সিলিকন পরমাণুর সংখ্যা 5×10^{28} । এর সঙ্গে প্রতি ঘনমিটার আয়তনে 5×10^{22} সংখ্যক আর্সেনিক পরমাণু এবং প্রতি ঘনমিটার আয়তনে 5×10^{20} সংখ্যক ইন্ডিয়াম পরমাণু একই সঙ্গে 'ডোপ' করা হল। ইলেকট্রন এবং গর্তসংখ্যা নির্ণয় করো। দেওয়া আছে, $n_i = 1.5 \times 10^{16} \text{ m}^{-3}$ । পদার্থটি n-টাইপ, না p-টাইপ — কোন প্রকৃতির হবে?
- 14.12** একটি বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীতে শক্তি ব্যবধান (energy gap) E_g হল 1.2eV। তাপমাত্রা নিরপেক্ষভাবে এর গর্তের সচলতা (hole mobility), ইলেকট্রনের সচলতার (electron mobility) তুলনায় অনেক কম। 600K এবং 300K তাপমাত্রায় পরিবাহিতার অনুপাত কত? ধরে নাও, বিশুদ্ধ বাহক ঘনত্বের তাপমাত্রার উপর নির্ভরশীলতা নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়।

$$n_i = n_0 \exp\left(-\frac{E_g}{2k_B T}\right)$$

যেখানে n_0 একটি ধ্রুবক।

অর্ধপরিবাহী ইলেকট্রনিক্স : উপাদান পদার্থ, যন্ত্রাদি এবং সরল বর্তনীসমূহ

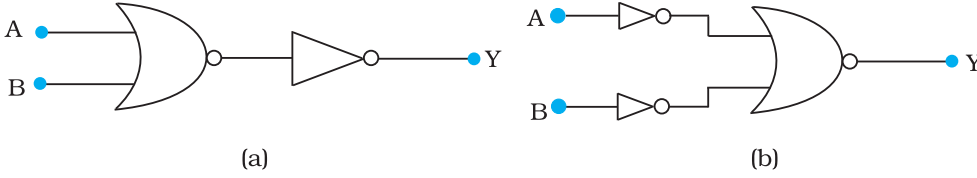
14.13 একটি p-n সংযোগ ডায়োড প্রবাহমাত্রা I কে নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়

$$I = I_0 \exp\left(\frac{eV}{2k_B T} - 1\right)$$

যেখানে I_0 কে বিপরীত সম্পৃক্ত প্রবাহ (reverse saturation current) বলা হয়। V হল ডায়োডে প্রযুক্ত ভোল্টেজ। সম্মুখ বায়াসের ক্ষেত্রে এর মান ধনাত্মক এবং বিপরীত বায়াসের ক্ষেত্রে এর মান ঋণাত্মক হয়। I হল ডায়োডের মধ্য দিয়ে প্রবাহমাত্রা, k_B হল বোল্টজ ম্যান ধ্রুবক (8.6×10^{-5} eV/K) এবং T হল পরম তাপমাত্রা। যদি কোনো একটি ডায়োডের ক্ষেত্রে $I_0 = 5 \times 10^{-12}$ A এবং $T = 300$ K হয়, তাহলে

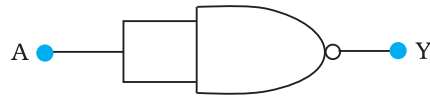
- 0.6 V সম্মুখ ভোল্টেজের জন্য সম্মুখ প্রবাহমাত্রা কত হবে?
- ডায়োডে প্রযুক্ত ভোল্টেজ বৃদ্ধি করে 0.7 V করলে প্রবাহমাত্রা কত বৃদ্ধি পাবে?
- গতীয় রোধ (dynamic resistance) কত?
- যদি বিপরীত বায়াস ভোল্টেজ 1 V থেকে পরিবর্তিত হয়ে 2 V হয়, তাহলে প্রবাহমাত্রা কত হবে?

14.14 14.44 চিত্রে তুমি দুটি বর্তনী দেখতে পাচ্ছ। দেখাও যে, বর্তনী (a) OR গেট হিসেবে এবং বর্তনী (b) AND গেট হিসেবে ক্রিয়া করে।



চিত্র 14.44

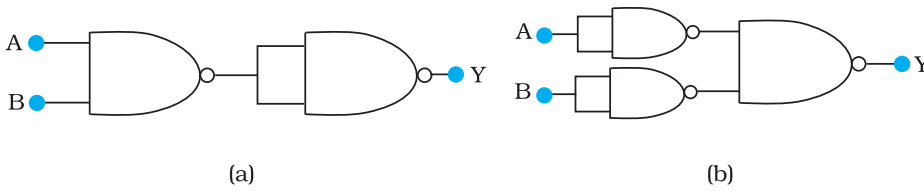
14.15 14.45 চিত্রের মতো একটি NAND গেটকে সংযুক্ত করা হল। সংশ্লিষ্ট ট্রুথ টেবিলটি লেখো।



চিত্র 14.45

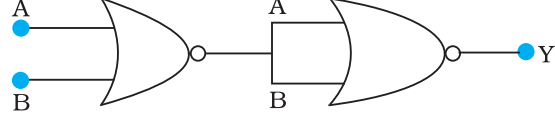
এর থেকে এই বর্তনী দ্বারা সম্পাদিত লজিক ক্রিয়াটি শনাক্ত কর।

14.16 তোমাকে 14.46 চিত্রের মতো দুটো বর্তনী দেওয়া হল, যাতে NAND গেটসমূহ রয়েছে। বর্তনী দুটি দ্বারা সম্পাদিত লজিক ক্রিয়াগুলো শনাক্ত করো।



চিত্র 14.46

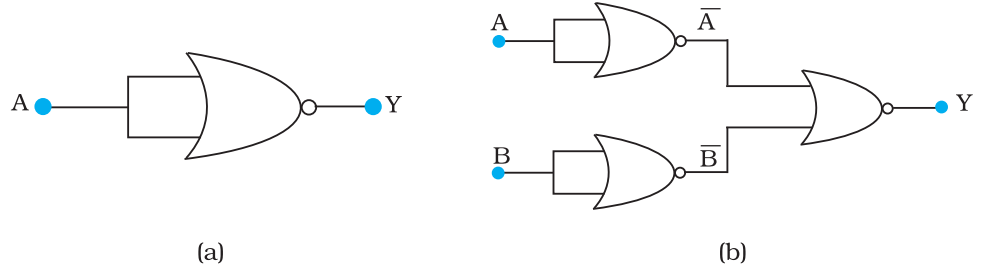
14.17 নীচের 14.47 চিত্রে দেওয়া NOR গেট দ্বারা গঠিত বর্তনীৰ জন্য টুথ টেবিল লেখো এবং কোন্ লজিক ক্রিয়াটি (OR, AND, NOT) এই বর্তনী দ্বারা সম্পাদিত হচ্ছে?



চিত্র 14.47

[ইঙ্গিত : $A = 0, B = 1$ হলে দ্বিতীয় NOR গেট-এর A এবং B ইনপুটগুলো 0 হবে; ফলে $Y=1$ হয়। অনুরূপে, A এবং B -এর অন্যান্য সমবায়ের জন্য Y-এর মান নির্ণয় করো। OR, AND, এবং NOT গেট-এর টুথ টেবিলের সঙ্গে তুলনা করে শুদ্ধ উত্তরটি নির্ণয় করো।]

14.18 14.48 চিত্রের মতো কেবলমাত্র NOR গেট দ্বারা গঠিত বর্তনীগুলোর জন্য টুথ টেবিল লেখো। বর্তনী দুটি দ্বারা সম্পাদিত লজিক ক্রিয়া (OR, AND, NOT) শনাক্ত করো।



চিত্র 14.48

14.19 দুটি বিবর্ধককে একের পর এক শ্রেণি সমবায়ে (cascaded) যুক্ত করা হল। প্রথমটির ভোল্টেজ বিবর্ধন 10 এবং দ্বিতীয়টির ভোল্টেজ বিবর্ধন 20, যদি ইনপুট সংকেত 0.01 ভোল্ট হয়, আউটপুট পরিবর্তী সংকেত নির্ণয় করো।

পঞ্চদশ অধ্যায়

যোগাযোগ ব্যবস্থা

(COMMUNICATION SYSTEMS)



15.1 ভূমিকা

বার্তা সঞ্চালন ব্যবস্থাপনা হল যোগাযোগ। এই বিশ্ব জগতের প্রতিটি সজীব বস্তু এর চারপাশের জগতের অন্যান্য বস্তুর সাথে প্রায় প্রতিনিয়ত বার্তা প্রেরণ এবং গ্রহণ করার প্রয়োজনীয়তা উপলব্ধি করে। প্রেরক এবং গ্রাহকের মধ্যে সফল যোগাযোগ স্থাপনের জন্য একটি বোধগম্য সাধারণ ভাষা থাকা জরুরী। মানুষ তার চারপাশের মানুষের সাথে যোগাযোগের উন্নত ব্যবস্থাপনার জন্য প্রতিনিয়ত সচেষ্ট। যোগাযোগ ব্যবস্থাপনায় ব্যবহৃত ভাষা এবং পদ্ধতিসমূহ, বার্তা সঞ্চালনের জটিলতা ও দ্রুততা সংক্রান্ত ক্রমবর্ধমান চাহিদা মেটাতে প্রাগৈতিহাসিক কাল থেকে আধুনিক কাল পর্যন্ত ক্রমাগত বিকশিত হয়ে চলছে। যোগাযোগ ব্যবস্থাপনায় উন্নয়ন ত্বরান্বিত করার ক্ষেত্রে, 15.1 সারণিতে উপস্থাপিত মুখ্য মাইল ফলকস্বরূপ ঘটনাসমূহের প্রতি নজর দেওয়া বাঞ্ছনীয়।

উনবিংশ এবং বিংশ শতাব্দীতে জে.সি.বোস, এফ.বি.মোর্স, জি.মার্কনি ও আলেকজান্ডার গ্রাহাম বেল-এর মতো বিজ্ঞানীদের সম্পাদিত বিজ্ঞান কর্মের মধ্যে আধুনিক যোগাযোগ ব্যবস্থার মূল ভিত নিহিত রয়েছে। বিংশ শতাব্দীর প্রথমার্ধের পর থেকে যোগাযোগ ক্ষেত্রে উন্নয়নের গতি অবিশ্বাস্যভাবে ত্বরান্বিত হয়েছে বলে মনে করা যেতে পারে। আগামী দশকগুলোতে এক্ষেত্রে আরো অনেক পরিপূর্ণতা আসবে বলে আমরা প্রত্যাশা করতে পারি। যোগাযোগ ক্ষেত্রে মৌলিক ভাবনাসমূহ, যথা যোগাযোগ প্রণালী, মডুলেশনের প্রয়োজনীয়তা, বিস্তার মডিওলেশনের উৎপাদন ও শনাক্তকরণ নামক সংশ্লিষ্ট বিষয় সম্পর্কিত প্রাথমিক ধারণা প্রদান করা হল এই অধ্যায়ের মূল লক্ষ্য।

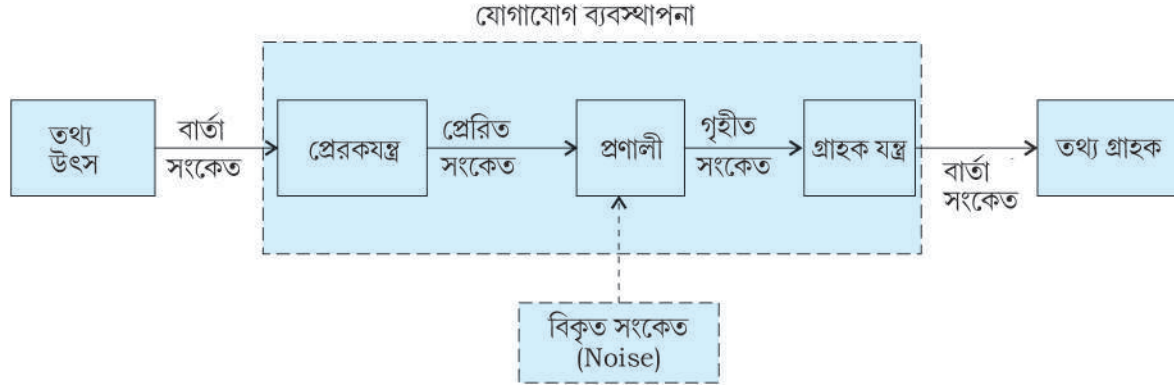
15.2 যোগাযোগ ব্যবস্থাপনার উপাদানসমূহ (ELEMENTS OF A COMMUNICATION SYSTEM)

প্রতিটি সজীব বস্তুর জীবনচক্রের সকল পর্যায়ে যোগাযোগের প্রভাব নিবিড়ভাবে জুড়ে রয়েছে যোগাযোগের প্রকৃতি যাই হোক না কেন, প্রতিটি যোগাযোগ ব্যবস্থাপনার তিনটি অত্যাবশ্যকীয় উপাদান প্রেরক

সারণি 15.1 সঞ্চার ব্যবস্থাপনার ঐতিহাসিক কিছু মুখ্য মাইল ফলক

সাল	ঘটনা	মন্তব্য
প্রায় 1565 খ্রীস্টাব্দে	মহারাণির সন্তান প্রসবের সুসংবাদটি টোল বাজিয়ে দূরবর্তী স্থান থেকে সম্রাট আকবরের কাছে পৌঁছানো হয়।	কথিত আছে মন্ত্রী বীরবল, মহারাণী এবং সম্রাটের অবস্থানের মধ্যবর্তী জায়গায় যথেষ্ট সংখ্যক টোলক বাদক মোতায়নের মাধ্যমে বার্তাটি পৌঁছে দেওয়ার ব্যবস্থা করেছিলেন।
1835	স্যামুয়েল এফ.বি.মোর্স এবং স্যার চার্লস হুইটস্টোন দ্বারা টেলিগ্রাফ যন্ত্রে উদ্ভাবন।	এর ফলস্বরূপ পোস্ট অফিসের মাধ্যমে বার্তা প্রেরণ ব্যাপক বৃদ্ধি পায় এবং বার্তা বাহকের মাধ্যমে সশরীরে বার্তা পরিবহন উল্লেখযোগ্যভাবে হ্রাস পায়।
1876	আলেকজান্ডার গ্রাহাম বেল এবং অ্যান্টোনিও মিউকী কর্তৃক টেলিফোন যন্ত্রের উদ্ভাবন।	মানব সভ্যতার ইতিহাসে সম্ভবত সবচেয়ে বহুল ব্যবহৃত সঞ্চার মাধ্যম।
1895	জে.সি.বসু এবং জি.মারকনি বেতার টেলিগ্রাফ ব্যবস্থাপনা প্রদর্শন করেছিলেন।	তার সংযোগের মাধ্যমে যোগাযোগ ব্যবস্থাপনার যুগ থেকে তারবিহীন (বেতার) যোগাযোগ ব্যবস্থাপনায় উন্নিত হওয়ার ক্ষেত্রে এটি একটি বিশাল ধাপ।
1936	টেলিভিশন সম্প্রচার (জে.এল.বেয়ার্ড)	BBC-এর মাধ্যমে প্রথম টেলিভিশন সম্প্রচার।
1955	সর্বপ্রথম আন্তঃমহাদেশীয় রেডিও FAX প্রেরণ (আলেকজান্ডার বেইন)।	1843 সনে FAX প্রেরণের ধারণাটি বিজ্ঞানী এ.বেইনের নামে পেটেন্ট করা হয়।
1968	'ARPANET' হল সর্বপ্রথম কার্যকরী internet ব্যবস্থাপনা (জে.সি.আর. লিকলিডার)	ARPANET ছিল মার্কিন প্রতিরক্ষা দপ্তরের অধীনস্থ একটি প্রকল্প। এটি নেটওয়ার্কের মাধ্যমে সংযুক্ত একটি থেকে আরেকটি কম্পিউটারে file সঞ্চারে সহায়ক ছিল।
1975	বেল (Bell) পরীক্ষাগারে আলোকীয় তন্তুর উন্নতিসাধন করা হয়।	প্রচলিত যোগাযোগ ব্যবস্থাপনার তুলনায় আলোকীয় তন্তুবাহক ব্যবস্থাপনা অনেক উন্নত এবং অপেক্ষাকৃত স্বল্পব্যয়ী।
1989-91	টি.বি.লী. 'World Wide Web' উদ্ভাবন করেছিলেন।	WWW ব্যবস্থাপনাটি প্রতিটি ব্যক্তির কাছে বছরের প্রতিটি মুহূর্তে সহজলভ্য এমন একটি বিশাল জ্ঞান ভাণ্ডারের বিশ্বকোষরূপে পরিগণিত করা যেতে পারে।

(transmitter) মাধ্যম/প্রণালী এবং গ্রাহক (receiver) রয়েছে। 15.1 চিত্রে প্রদর্শিত ব্লক চিত্রটি একটি যোগাযোগ ব্যবস্থাপনার সাধারণ রূপটি চিত্রিত করে।



চিত্র 15.1 একটি সাধারণ যোগাযোগ ব্যবস্থাপনার ব্লক-চিত্র।

সঞ্চার ব্যবস্থাপনায় প্রেরকটি একস্থানে এবং গ্রাহকটি এর থেকে পৃথকভাবে অন্য একটি অবস্থানে থাকে (দূরে অথবা কাছে) এবং প্রণালীটি হল এদের মধ্যে সংযোগকারী একটি ভৌত মাধ্যম। সঞ্চার ব্যবস্থাপনার প্রকৃতির উপর নির্ভর করে, একটি প্রণালী তার বা ক্যাবল-এর মাধ্যমে প্রেরক এবং গ্রাহকের মধ্যে সংযোগ স্থাপন করতে পারে অথবা এটি তারবিহীনও হতে পারে। তথ্য উৎস থেকে সৃষ্ট বার্তা সংকেতকে প্রণালীর মধ্য দিয়ে সঞ্চালনের উপযোগী সংকেতে রূপান্তরিত করাই হল প্রেরকযন্ত্রটি ব্যবহারের মূল উদ্দেশ্য। তথ্য উৎসের আউটপুটটি তড়িৎ সংকেত না হয়ে যদি শব্দ সংকেত হয় তবে, গ্রাহক যন্ত্রের ইনপুটে প্রয়োগের পূর্বে একটি ট্রান্সডিউসারের মাধ্যমে এই সংকেতকে তড়িৎ সংকেতে রূপান্তরিত করা হয়। প্রণালীর মধ্য দিয়ে প্রেরিত সংকেত সঞ্চালনের সময় প্রণালীর অসংগতির দরুণ সংকেতটি বিকৃত হয়ে যেতে পারে। উপরন্তু প্রেরিত সংকেতটির সাথে বিকৃত সংকেত সংযোজিত হয় এবং এক্ষেত্রে গ্রাহক যন্ত্রটি প্রেরিত সংকেতটির একটি অবাঞ্ছিত (corrupted) রূপ গ্রহণ করে। গ্রাহক যন্ত্রটির কাজ হল গৃহীত সংকেতটি নিয়ন্ত্রণ (operating) করা। তথ্য গ্রাহকের নিকট পরিবেশনের পূর্বে গ্রাহক যন্ত্রটি প্রকৃত বার্তা সংকেতের পরিচায়ক রূপ পুনর্গঠন করে।

সঞ্চার ব্যবস্থাপনার দুইটি মৌলিক পদ্ধতি আছে : *বিন্দু থেকে বিন্দু (point-to-point)* এবং *সম্প্রচার (broadcast)*।

বিন্দু থেকে বিন্দু সঞ্চার পদ্ধতিতে, একটি প্রেরক এবং একটি গ্রাহক যন্ত্রের মধ্যে সংযোগের মাধ্যমে যোগাযোগ স্থাপিত হয়। 'টেলিফোন ব্যবস্থাপনা' এই রকম সঞ্চার পদ্ধতির একটি উদাহরণ। পক্ষান্তরে, সম্প্রচার পদ্ধতিতে একটিমাত্র প্রেরক (transmitter) যন্ত্রের সংশ্লিষ্ট বহু সংখ্যক গ্রাহক যন্ত্র থাকে। রেডিও এবং টেলিভিশন হল সম্প্রচার পদ্ধতির মাধ্যমে যোগাযোগ ব্যবস্থাপনার উদাহরণ।

15.3 বৈদ্যুতিন যোগাযোগ ব্যবস্থাপনায় ব্যবহৃত প্রাথমিক রাশিগুলো (BASIC TERMINOLOGY USED IN ELECTRONIC COMMUNICATION SYSTEMS)

এখন আমরা তথ্য উৎস, প্রেরক, গ্রাহক, প্রণালী, বিকৃত সংকেত ইত্যাদির মতো কিছু পদের সাথে পরিচিত হব। যদি আমরা নিম্নলিখিত প্রাথমিক রাশিগুলোর সাথে পরিচিত হই তবে যে-কোনো যোগাযোগ ব্যবস্থাপনার অন্তর্ভুক্ত নীতিগুলো অনুধাবন করা সহজ হবে।



জগদীশ চন্দ্র বসু (1858 - 1937)
তিনি অতি ক্ষুদ্র তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ উৎপাদনে সক্ষম একটি যন্ত্র তৈরি করেছিলেন এবং এদের ‘অর্ধ-আলোকীয়’ (quasi-optical) ধর্মাবলি পর্যালোচনা করেছিলেন। তিনিই সর্বপ্রথম তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গের স্বয়ংক্রিয় পুনঃবুদ্ধারকারী (self-recovering) ডিটেক্টর হিসাবে গ্যালিনা জাতীয় অর্ধ পরিবাহী ব্যবহার করেন। 1895 সালের 27 ডিসেম্বর বিজ্ঞানী বসু ‘The Electrician’ নামক তিনটি গবেষণাপত্র ব্রিটিশ ম্যাগাজিনে প্রকাশ করেছিলেন। 1901 সালের 13 ডিসেম্বর মারকনি কর্তৃক সর্বপ্রথম বেতার সঞ্চার ব্যবস্থাপনা উদ্ভাবনের দুই বছরের বেশি সময়কাল পূর্বে 1899 সালের 27 এপ্রিল ‘Proceedings of the Royal Society’ নামক সংস্থার প্রকাশনায় বিজ্ঞানী বসুর এই উদ্ভাবনা প্রকাশিত হয়েছিল। বিজ্ঞানী বসু, বাহ্যিক উদ্দীপনা প্রসূত সজীব বস্তুর সূক্ষ্ম সংবেদনশীলতা নির্ধারণে সক্ষম এবং প্রাণী ও উদ্ভিদকলার পারস্পরিক সামঞ্জস্যতা স্থাপনে সক্ষম এমন উচ্চ সুবেদী যন্ত্রাদিও আবিষ্কার করেছিলেন।

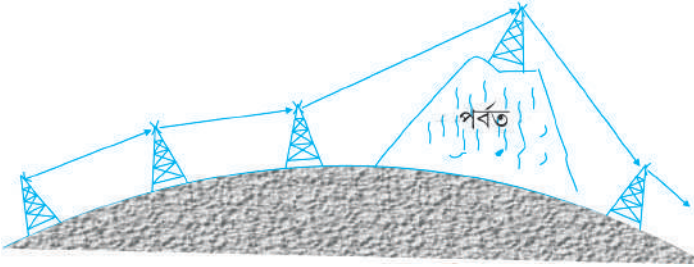
জগদীশ চন্দ্র বসু (1858 - 1937)

- (i) **ট্রান্সডিউসার (Transducer)** : যে-কোনো যন্ত্র যা শক্তির একরূপ থেকে অন্যরূপে রূপান্তর করে, তাকে ট্রান্সডিউসার হিসাবে অভিহিত করা যায়। বৈদ্যুতিন যোগাযোগ ব্যবস্থাপনায়, আমরা এমন সব যন্ত্রাদি দেখতে পাই, যাদের হয় ইনপুট অথবা আউটপুট তড়িৎ সংকেত রূপে থাকে। একটি বৈদ্যুতিক ট্রান্সডিউসারকে এমন এক যন্ত্র হিসাবে সংজ্ঞায়িত করা যেতে পারে যার মাধ্যমে কিছু ভৌতিক প্রাচল রাশির (চাপ, সরণ, বল, উন্নতা ইত্যাদি) সংশ্লিষ্ট পরিবর্তন আউটপুটে তড়িৎ সংকেতে রূপান্তরিত হয়।
- (ii) **সংকেত (Signal)** : তথ্যের রূপান্তরিত তাড়িতিক রূপটি, যা সঞ্চারনের উপযোগী তাকে সংকেত বলা হয়। সংকেত অ্যানালগ বা ডিজিটাল যে-কোনো রূপেই হতে পারে। নিরবচ্ছিন্নভাবে পরিবর্তনীয় বিভব বা প্রবাহ হল অ্যানালগ সংকেত। এই সংকেত অবশ্যই ‘সময়ের একমান বিশিষ্ট অপেক্ষক’ হবে। সাইন তরঙ্গ একটি মৌলিক অ্যানালগ সংকেত। অন্যান্য সব অ্যানালগ তরঙ্গগুলোকে সাইন তরঙ্গ উপাংশরূপে সম্পূর্ণভাবে অনুধাবন করা যেতে পারে। টেলিভিশনে শব্দ ও দৃশ্য সংকেতগুলো অ্যানালগ প্রকৃতির হয়। যে সংকেতগুলো কেবলমাত্র দুইটি বিচ্ছিন্ন স্তর মান বিশিষ্ট (discrete stepwise values) হবে, তারাই হল ডিজিটাল সংকেত। ডিজিটাল ইলেকট্রনিক্সে বহুল ব্যবহৃত বাইনারী পদ্ধতিতে একটি সংকেতের শুধুমাত্র দুটি স্তর কার্যকর হয়। ‘0’ এবং ‘1’ যথাক্রমে বিভবের/প্রবাহের নিম্নস্তর এবং উচ্চস্তরকে নির্দেশ করে। ডিজিটাল সঞ্চার ব্যবস্থাপনায় কিছু কোডিং পদ্ধতি উপযোগী। কোডিং পদ্ধতিতে ‘বাইনারী কোডেড ডেসিমাল’ (BCD)*-এর ন্যায় সাংখ্যিক পদ্ধতির উপযুক্ত সমবায়কে ব্যবহার করা হয়। American Standard Code for Information Interchange (ASCII)** হল সংখ্যা, অক্ষর এবং কিছু নির্দিষ্ট চিহ্ন সমূহকে প্রকাশ করার জন্যে সার্বজনীনভাবে প্রচলিত একটি ডিজিটাল কোড। (বর্তমানে আলোকীয় সংকেতও প্রচলিত আছে।)
- (iii) **বিকৃত সংকেত (Noise)** : সঞ্চার ব্যবস্থাপনায় বার্তা সংকেতের প্রেরণ এবং আনুষঙ্গিক প্রক্রিয়াকরণের ক্ষেত্রে যেসব অবাঞ্ছিত সংকেতসমূহ বিকৃতি ঘটানোর প্রবণতা দেখায়, এরা বিকৃত সংকেত নামে পরিচিত। বিকৃত সংকেত সৃষ্টিকারী উৎসটি সংস্থার অভ্যন্তরে বা বাইরে অবস্থান করতে পারে।
- (iv) **প্রেরক যন্ত্র (Transmitter)** : প্রেরক যন্ত্রটি আগত বার্তা সংকেতকে, উপযুক্ত প্রক্রিয়ার মাধ্যমে প্রণালীর মধ্য দিয়ে সঞ্চারনে এবং পরবর্তিতে প্রেরিত সংকেতটি গ্রহণের উপযোগী করে।
- (v) **গ্রাহক যন্ত্র (Receiver)** : গ্রাহক যন্ত্রটি প্রণালীর আউটপুট প্রাপ্তে গৃহীত সংকেত থেকে কাঙ্ক্ষিত বার্তা সংকেতটিকে পৃথক করে নেয়।
- (vi) **অপচয় (Attenuation)** : মাধ্যমের মধ্য দিয়ে সঞ্চারনকালে একটি সংকেতের শক্তিক্ষয়ের ঘটনাকে অপচয় বলে।

* BCD-এর ক্ষেত্রে একটি দশমিক সংখ্যাকে সাধারণত চারটি বাইনারি (0 অথবা 1) বিটস্-এর মাধ্যমে প্রকাশ করা হয়। যেমন দশমিক পদ্ধতিতে 0, 1, 2, 3, 4 এই সংখ্যাগুলোকে 0000, 0001, 0010, 0011 এবং 0100 হিসাবে লেখা যায়; 1000 ‘8’ সংখ্যাটিকে প্রকাশ করে।

** যেহেতু কম্পিউটার কেবলমাত্র সংখ্যাকে চিনতে ও বুঝতে পারে, তাই এটি ইংরেজি অক্ষরের উপর ভিত্তি করে সংখ্যার মাধ্যমে বৈশিষ্ট্যসূচক এনকোডিং পদ্ধতি।

- (vii) **বিবর্ধন (Amplification)** : বিবর্ধক (চতুর্দশ অধ্যায় দেখো) নামক একটি ইলেকট্রনিক বর্তনীর সাহায্যে একটি সংকেতের বিস্তার (এবং সংশ্লিষ্ট তীব্রতা) বৃদ্ধি করার এটি একটি পদ্ধতি। সঞ্চার ব্যবস্থাপনায় সংকেতটির শক্তির অপচয় পরিপূরণে বিবর্ধন জরুরী। সংকেতটির এই অতিরিক্ত তীব্রতা বজায় রাখার জন্য প্রয়োজনীয় শক্তি একটি DC ক্ষমতা উৎস থেকে পাওয়া যায়। উৎস ও গন্তব্যের মাঝে কোনো স্থানে যেখানে সংকেতের তীব্রতা এর প্রয়োজনীয় তীব্রতার তুলনায় দুর্বলতর হয়ে পরে, সেইখানে সংকেতের বিবর্ধন ঘটানো হয়।
- (viii) **সীমা (Range)** : এটি হল উৎস এবং গন্তব্যের মধ্যবর্তী দীর্ঘতম দূরত্ব, যে দূরত্বে গ্রাহক প্রাপ্তে সংকেতটি যথেষ্ট তীব্রতা সম্পন্ন থাকে।
- (ix) **পটিবেধ (Bandwidth)** : কম্পাংকের যে পাল্লায় ব্যবস্থাপনাটি সক্রিয় আছে অথবা সংকেতটি বর্ণালীর যে অংশ জুড়ে থাকে, পটিবেধটি তা নির্দেশ করে।
- (x) **মডুলেশন (Modulation)** : নিম্ন কম্পাংকের প্রকৃত বার্তা/তথ্য সংকেতকে দীর্ঘ দূরত্বে সঞ্চারিত করা যায় না; যার কারণগুলো 15.7 অনুচ্ছেদে দেওয়া হয়েছে। তাই প্রেরক যন্ত্রে নিম্ন কম্পাংকের বার্তা সংকেত সম্বলিত তথ্যটিকে, তথ্য বাহক হিসাবে পরিচিত এমন এক উচ্চ কম্পাংকবিশিষ্ট তরঙ্গের উপর উপরিপাতিত করা হয়। এই প্রক্রিয়াটি মডুলেশন নামে পরিচিত। কিছু মডুলেশন পদ্ধতি যেমন সংক্ষেপে AM, FM এবং PM সম্পর্কিত ব্যাখ্যা পরবর্তিতে দেওয়া হবে।
- (xi) **ডিমডুলেশন (Demodulation)** : গ্রাহক প্রাপ্তে বাহক তরঙ্গ থেকে তথ্য পুনরুদ্ধার করার প্রক্রিয়াকে ডিমডুলেশন বলে। একটি মডুলেশনের বিপরীত প্রক্রিয়া।
- (xii) **রিপিটার (Repeater)** : রিপিটার হল গ্রাহক ও প্রেরকের একটি সমবায়। একটি রিপিটার প্রেরক থেকে সংকেত গ্রহণ করে, একে বিবর্ধিত করে এবং কোনো কোনো সময় বাহকের কম্পাংক পরিবর্তিত করে গ্রাহকের প্রাপ্তে পুনঃসঞ্চারিত করে। সঞ্চার ব্যবস্থাপনার সীমা বিস্তৃত করার জন্য রিপিটার সমূহ ব্যবহার করা হয় যা 15.2 নং চিত্রে দেখানো হয়েছে। সঞ্চার উপগ্রহ যথার্থই মহাশূন্যে এরূপ একটি রিপিটার স্টেশন।



চিত্র 15.2 সঞ্চার ব্যবস্থাপনায় সীমা বিস্তৃতিতে রিপিটার স্টেশনের ব্যবহার।

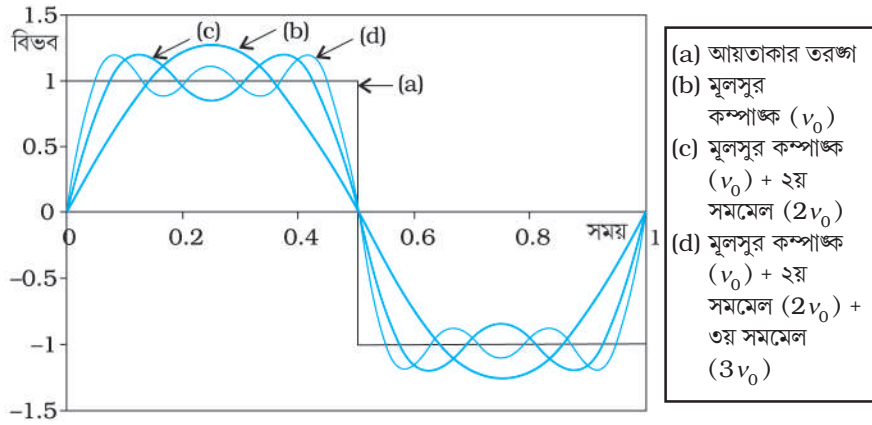
15.4 সংকেতের পটিবেধ (BANDWIDTH OF SIGNALS)

সঞ্চার ব্যবস্থাপনায়, বার্তা সংকেতটি স্বর (voice), সুর (music), দৃশ্য (picture) বা কম্পিউটার তথ্য হতে পারে। এ ধরনের প্রতিটি সংকেতের ভিন্ন ভিন্ন কম্পাংকের পাল্লা থাকে। একটি প্রদত্ত সংকেত সঞ্চারনের ক্ষেত্রে প্রয়োজনীয় সঞ্চার ব্যবস্থাপনার ধরণটি, সঞ্চারন প্রক্রিয়ার জন্য বিবেচিত আবশ্যিক কম্পাংকের পটিবেধের উপর নির্ভর করে।

বাক্ (speech) সংকেতের ক্ষেত্রে, 300 Hz থেকে 3100 Hz কম্পাংকের পাল্লা যথার্থ বিবেচিত হয়। তাই বাণিজ্যিক দূর সঞ্চার ব্যবস্থাপনার বাক্ সংকেতের পটি বিস্তার 2800 Hz (3100 Hz – 300 Hz) হওয়া প্রয়োজন। বাদ্য যন্ত্রাদি থেকে উচ্চ কম্পাংক নিঃসৃত হয় বলে, সুর সংকেত প্রেরণে পটি বিস্তার আনুমানিক 20 kHz হওয়া বাঞ্ছনীয়। শ্রাব্য কম্পাংকের পাল্লা 20 Hz থেকে 20 kHz পর্যন্ত বিস্তৃত।

ভিডিও সংশ্লিষ্ট দৃশ্য সংকেত প্রেরণে পাটি বিস্তার প্রায় 4.2 MHz হওয়া প্রয়োজন। একটি TV সংকেতে স্বর এবং ছবি উভয়ই অন্তর্ভুক্ত থাকে এবং সাধারণত এই সংকেত প্রেরণের জন্য পাটি বিস্তার 6 MHz স্থির করা হয়।

পূর্ববর্তী অনুচ্ছেদে, আমরা কেবলমাত্র অ্যানালগ সংকেতগুলো বিবেচনা করেছি। ডিজিটাল সংকেতগুলোর তরঙ্গ রূপ আয়তাকার হয় যা 15.3 চিত্রে দেখানো হয়েছে। দেখানো যেতে পারে যে, এই আয়তাকার তরঙ্গকে $v_0, 2v_0, 3v_0, 4v_0 \dots nv_0$ কম্পাঙ্কবিশিষ্ট উপরিপাতিত সাইন— তরঙ্গসমূহে বিশ্লিষ্ট করা যেতে পারে, যেখানে 'n' একটি অসীম পর্যন্ত বিস্তৃত পূর্ণসংখ্যা এবং $v_0 = 1/T_0$ । এই ঘটনাটি সচিত্র ব্যাখ্যা করার জন্য মূল কম্পাঙ্ক (fundamental) v_0 , মূল কম্পাঙ্ক (v_0) + দ্বিতীয় সম্মেল বা হারমোনিক ($2v_0$) এবং মূল কম্পাঙ্ক (v_0) + দ্বিতীয় সম্মেল ($2v_0$) + তৃতীয় সম্মেল ($3v_0$) তরঙ্গসমূহকে একই চিত্রে দেখানো হয়েছে। এ থেকে এটি স্পষ্ট যে, আয়তাকার তরঙ্গরূপটি যথাযথভাবে



চিত্র 15.3 মূলসুর এবং এর সম্মেল কম্পাঙ্কবিশিষ্ট সাইন তরঙ্গ সমূহের সমন্বয়ে উৎপন্ন অনুমিত আয়তাকার তরঙ্গ।

উৎপন্ন করতে $v_0, 2v_0, 3v_0, 4v_0 \dots$ কম্পাঙ্কবিশিষ্ট সকল সম্মেল তরঙ্গ সমূহের উপরিপাতন ঘটানো প্রয়োজন যা এক্ষেত্রে অসীম পাটি বিস্তারকে ইঙ্গিত করছে। যাই হোক, ব্যবহারিক ক্ষেত্রে, উচ্চতর সম্মেল সমূহের প্রভাব অগ্রাহ্য করা যেতে পারে এবং তাই পাটি বিস্তারটি সসীম করা যায়। ফলস্বরূপ, গৃহীত তরঙ্গ হল, প্রেরিত তরঙ্গের বিকৃত রূপ। যদি বেশ কিছু সংখ্যক সম্মেল কম্পাঙ্ক অন্তর্ভুক্ত থেকে পাটি বিস্তারটি যথেষ্ট প্রশস্ত হয়, তবে সেক্ষেত্রে মূল বার্তা সংকেতটি অবলুপ্ত হয় না এবং আয়তাকার সংকেতকে কম বেশি

পুনরুদ্ধার করা যায়। এর কারণ হল, সম্মেল কম্পাঙ্ক যতই উচ্চ হয়, তরঙ্গ আকৃতিতে এর প্রভাব ততই নিম্ন হয়।

15.5 সঞ্চারন মাধ্যমের পাটিবেধ (BANDWIDTH OF TRANSMISSION MEDIUM)

বার্তা সংকেতের অনুরূপে, বিভিন্ন প্রকৃতির সঞ্চারন মাধ্যমের ভিন্ন ভিন্ন পাটিবেধ হয়। শূন্য মধ্যম, ফাইবার অপটিক ক্যাবল এবং তার হল সচরাচর ব্যবহৃত কিছু সঞ্চারন মাধ্যম। সমাক্ষীয় ক্যাবল (Coaxial cable) হল একটি বহুল ব্যবহৃত তার মাধ্যম যার পাটি বিস্তার প্রায় 750 MHz হয়। এ ধরনের ক্যাবলগুলো সাধারণত 18 GHz কম্পাঙ্কের নিচে কার্যকর হয়। শূন্য মাধ্যমের মধ্য দিয়ে ব্যবহৃত বেতার তরঙ্গের কয়েক শতক kHz থেকে কিছু GHz পর্যন্ত একটি অতি বিস্তৃত কম্পাঙ্কের পাল্লায় সঞ্চারন ঘটে। এই কম্পাঙ্কের পাল্লাটিকে আরো উপবিভক্ত করা যায় এবং বিভিন্ন ক্ষেত্রে উপযোগী পাল্লায় বণ্টন করা যায় যেমনটা 15.2 সারণিতে উল্লেখ করা হয়েছে। তত্ত্ব যুক্ত আলোকীয় মাধ্যমে 1 THz থেকে 1000 THz (মাইক্রোওয়েব থেকে অতিবেগুনী) কম্পাঙ্কের পাল্লায় সঞ্চারন ঘটে। আলোকীয় তত্ত্বের মাধ্যমে সঞ্চারনের ক্ষেত্রে পাটি বিস্তার 100 GHz এরও অতিরিক্ত হয়।

আন্তর্জাতিক চুক্তির মাধ্যমে পাটি বিস্তার বর্ণালীর বণ্টন স্থির করা হয়েছে। The International Telecommunication Union (ITU) বর্তমান কম্পাঙ্ক বণ্টন ব্যবস্থাপনাটি পরিচালনা করে।

সারণি 15.2 বেতার তরঙ্গ ব্যবস্থাপনায় কিছু গুরুত্বপূর্ণ কম্পাংক পটি SOME IMPORTANT WIRELESS COMMUNICATION FREQUENCY BANDS

প্রায়োগিক ক্ষেত্র	কম্পাংকের পাল্লা	মন্তব্য
প্রচলিত AM সম্প্রচার	540-1600 kHz	
FM সম্প্রচার	88-108 MHz	
টেলিভিশন	54-72 MHz 76-88 MHz 174-216 MHz 420-890 MHz	VHF (খুবই উচ্চ কম্পাংক) TV UHF (অতি উচ্চ কম্পাংক) TV
সেলুলার মোবাইল রেডিও	896-901 MHz 840-935 MHz	মোবাইল টু বেস্-স্টেশন বেস্-স্টেশন টু মোবাইল
উপগ্রহ সঞ্চারণ ব্যবস্থাপনা	5.925-6.425 GHz 3.7-4.2 GHz	আপ লিংক ডাউন লিংক

15.6 তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গসমূহের বিস্তার (PROPAGATION OF ELECTROMAGNETIC WAVES)

বেতার তরঙ্গের মাধ্যমে সঞ্চারণ ব্যবস্থাপনায়, প্রেরক প্রান্তে অবস্থিত একটি অ্যান্টেনা কর্তৃক বিকিরিত তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গসমূহ (em তরঙ্গসমূহ) শূন্য মাধ্যমের মধ্য দিয়ে বিস্তার লাভ করে অপর প্রান্তে গ্রাহক অ্যান্টেনায় পৌঁছায়। প্রেরক যন্ত্র থেকে em তরঙ্গ যত দূরে বিস্তৃত হতে থাকে, ততই তরঙ্গটির শক্তি হ্রাস পেতে থাকে। তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গের বিস্তার এবং এদের অনুসৃত পথ প্রকৃতি বেশ কিছু বিষয় সমূহ দ্বারা প্রভাবিত হয়। এই প্রসঙ্গে, পৃথিবীর বায়ুমণ্ডলের গঠনকারী উপাদানসমূহ সম্পর্কে সম্যক ধারণাও জরুরী, যেহেতু তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ বিস্তারের ক্ষেত্রে বায়ুমণ্ডল মুখ্য ভূমিকা পালন করে। 15.3 নং সারণিতে সঞ্চারণ ব্যবস্থাপনায় উপযোগী বায়ুমণ্ডলের কিছু স্তরের সংক্ষিপ্ত বিবরণ দেওয়া হল।

15.6.1 ভূমি তরঙ্গ (Ground wave)

যথেষ্ট দক্ষতার সাথে সংকেত বিকিরণের ক্ষেত্রে অ্যান্টেনার আকার সংকেতের তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ -এর তুলনীয় হয় (ন্যূনতম পক্ষে $\sim \lambda/4$)। বৃহত্তর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ক্ষেত্রে (অর্থাৎ নিম্নতর কম্পাংকে) অ্যান্টেনাসমূহের আকার বৃহৎ হয় এবং ভূমির উপর বা ভূমির খুব সন্নিকটে এদের স্থাপন করা হয়। প্রচলিত AM সম্প্রচারের ক্ষেত্রে প্রেরক অ্যান্টেনা হিসাবে সাধারণত ভূমি ভিত্তিক উল্লম্ব টাওয়ার ব্যবহৃত হয়। এ ধরনের অ্যান্টেনার ক্ষেত্রে সংকেত বিস্তারের উপর ভূমির যথেষ্ট প্রভাব থাকে। বিস্তারের এই ধরণটিকে পৃষ্ঠ তরঙ্গ (surface wave) বিস্তার বলে এবং এই তরঙ্গ ভূপৃষ্ঠের উপর দিয়ে বয়ে (glide) যায়। এই তরঙ্গ ভূপৃষ্ঠের যে অংশের উপর দিয়ে বয়ে যায়, ভূমির ওই অংশটিকে তড়িৎদাহিত করে এবং এইভাবে ভূমি কর্তৃক শক্তি শোষণের ফলে এই তরঙ্গের শক্তি হ্রাস পায়। কম্পাংক বৃদ্ধির সাথে পৃষ্ঠ তরঙ্গের শক্তি অপচয়ের হার অতি দ্রুত বৃদ্ধি পায়। সর্বোচ্চ সম্প্রচার সীমা (range of coverage) প্রেরিত সংকেতের ক্ষমতা এবং কম্পাংকের (কিছু MHz থেকে কম) উপর নির্ভর করে।

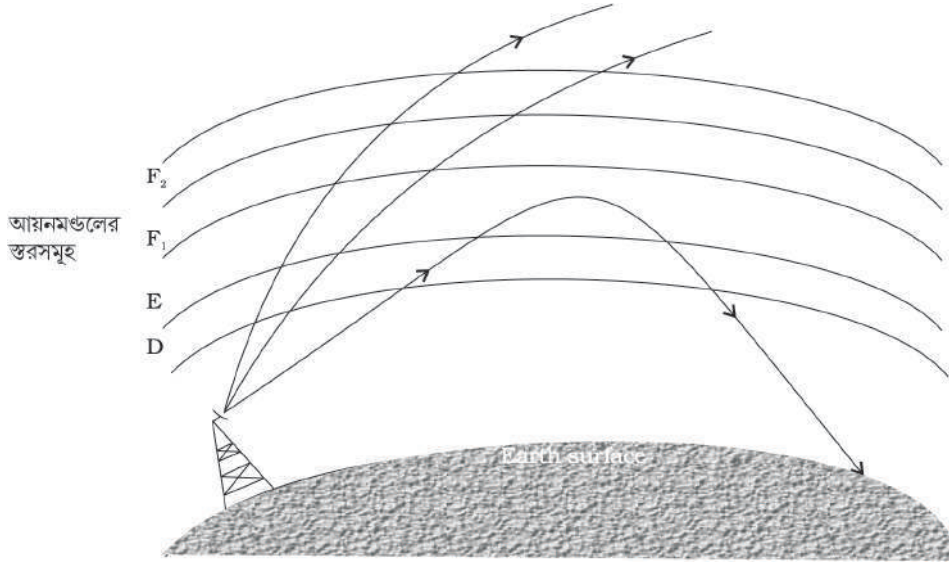
সারণি 15.3 বায়ুমণ্ডলের বিভিন্ন স্তর এবং এদের মধ্য দিয়ে বিস্তার লাভ করা তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ সমূহের সঙ্গে পারস্পরিক ক্রিয়া

স্তরের (stratum) নাম	ভূপৃষ্ঠ থেকে আনুমানিক উচ্চতা	স্থায়িত্বের কাল	সর্বাধিক প্রভাবিত কম্পাংকসমূহ
ট্রোপোস্ফিয়ার	10 km	দিন এবং রাত	VHF (কিছু GHz পর্যন্ত)
D (স্ট্রেটোস্ফিয়ারের অংশ)	65-75 km	কেবলমাত্র দিনে	LF প্রতিফলিত হয়, MF এবং HF কিছু পরিমাণে শোষিত হয়
E (স্ট্রেটোস্ফিয়ারের অংশ)	100 km	কেবলমাত্র দিনে	পৃষ্ঠ তরঙ্গ বিস্তার সহায়ককারী এবং HF প্রতিফলিত হয়।
F ₁ (মোসোস্ফিয়ারের অংশ)	170-190 km	দিনে, রাত্রিবেলায় F ₂ -এর সঙ্গে মিশে যায়	HF তরঙ্গসমূহ আংশিকভাবে শোষিত হয়, যদিও F ₂ পর্যন্ত পৌঁছাতে সহায়ক হয়।
F ₂ (থার্মোস্ফিয়ার)	রাত্রিতে 300 km পর্যন্ত, দিনের বেলায় 250-400 km পর্যন্ত	দিনে এবং রাত্রে	বিশেষ করে রাত্রি বেলায় HF তরঙ্গ সার্বিকভাবে প্রতিফলিত হয়।

15.6.2 আকাশ তরঙ্গ (Sky waves)

কিছু MHz থেকে 30 - 40 MHz পর্যন্ত কম্পাংকের পাল্লায় আয়নমণ্ডল কর্তৃক প্রতিফলিত বেতার তরঙ্গকে পৃথিবীতে ফিরিয়ে আনার মাধ্যমে দূরবর্তী সংগলন সম্ভবপর হয়। এই ধরনের বিস্তার ব্যবস্থাপনাকে আকাশ তরঙ্গ সংগলন বলে এবং এই ব্যবস্থাপনা ক্ষুদ্র তরঙ্গ সম্প্রচার ক্ষেত্রে ব্যবহৃত হয়। বিশাল সংখ্যক আয়ন বা আহিত কণার উপস্থিতির দরুণ আয়নমণ্ডলের এই নামকরণ করা হয়েছে। এই আয়নমণ্ডল ভূপৃষ্ঠের উপরে ~ 65 Km থেকে প্রায় 400 Km পর্যন্ত বিস্তৃত হয়। সূর্য থেকে আগত অতিবেগুনী এবং অন্যান্য উচ্চশক্তি সম্পন্ন বিকিরণ বায়ুর অণু কণাসমূহ দ্বারা শোষণের দরুণ আয়নয়ণ (ionisation) ঘটে। আয়নমণ্ডলটি আরো কিছু স্তরে উপবিভক্ত থাকে যার বিস্তৃত বিবরণ 15.3 নং সারণিতে দেওয়া হয়েছে। উচ্চতার সাথে বায়ুমণ্ডলের ঘনত্ব হ্রাস পায়। অতি উচ্চতায় সৌর বিকিরণ তীব্র হয় কিন্তু সেখানে আয়নিত হওয়ার উপযোগী অণুর সংখ্যা খুবই কম। ভূপৃষ্ঠের সন্নিকটে, যদিও আণবিক সংখ্যা ঘনত্ব খুবই উচ্চ, বিকিরণের তীব্রতা কম হওয়ার ফলে আবারো এইক্ষেত্রে আয়নয়ণ কম হয়। যাই হোক, মাঝারি কোনো উচ্চতায়, আয়নয়ণ ঘনত্ব সর্বাধিক হয়। আয়নমণ্ডলের এই স্তরটি একটি সুনির্দিষ্ট কম্পাংকের পাল্লার (3 থেকে 30 MHz) প্রতিফলক হিসাবে ক্রিয়া করে। 30 MHz-এর অধিক কম্পাংকবিশিষ্ট তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ আয়নমণ্ডলকে ভেদ করে বেরিয়ে যায়। 15.4 নং চিত্রে এই ঘটনাসমূহ প্রদর্শিত হয়েছে। তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ বেঁকে গিয়ে ভূপৃষ্ঠের অভিমুখে ফিরে আসার ঘটনাটি আলোক বিজ্ঞানের* অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলনের অনুরূপ।

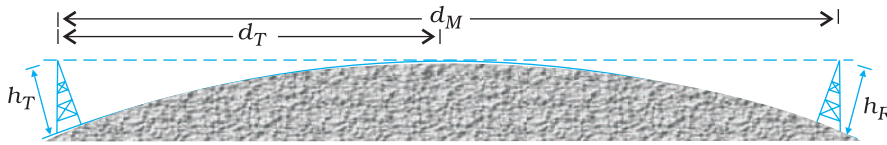
* মরীচিকার ঘটনার সাথে এই ঘটনাটি তুলনা করো।



চিত্র 15.4 আকাশ তরঙ্গ সঞ্চারন। 15.3 নং সারণিতে স্তর বিন্যাস দেওয়া হয়েছে।

15.6.3 দেশ তরঙ্গ (Space wave)

বেতার তরঙ্গ সঞ্চারনের আরেকটি ধরন হল দেশ তরঙ্গরূপে বিস্তার। একটি দেশ তরঙ্গ প্রেরক অ্যান্টেনা থেকে গ্রাহক অ্যান্টেনাতে সরলরৈখিক পথে বিস্তার লাভ করে। দৃষ্টিরেখা (line-of-sight বা LOS) সঞ্চার ব্যবস্থাপনাসহ উপগ্রহ সঞ্চার ব্যবস্থাপনায় দেশ তরঙ্গ ব্যবহৃত হয়। 40 MHz-এর অধিক কম্পাংকে সঞ্চার ব্যবস্থাপনাটি মূলত দৃষ্টি রেখা (LOS) পথ সঞ্চারন ব্যবস্থায় সীমাবদ্ধ থাকে। এই কম্পাংকে অ্যান্টেনাগুলোর আকার তুলনামূলক ক্ষুদ্র হয় এবং ভূপৃষ্ঠ থেকে বহু তরঙ্গদৈর্ঘ্য উচ্চতায় এদেরকে স্থাপন করা যায়। দৃষ্টি রেখা সঞ্চারন প্রকৃতির দরুণ, প্রত্যক্ষভাবে প্রেরিত তরঙ্গসমূহ পৃথিবীপৃষ্ঠের বক্রতার জন্য কোনো বিন্দুতে বাধাপ্রাপ্ত হয় যা 15.5 নং চিত্রে বর্ণিত হয়েছে। যদি সংকেতটিকে দিগন্ত ছাড়িয়ে কোনো অবস্থানে গ্রহণ করতে হয়, তবে গ্রাহক অ্যান্টেনাটি অবশ্যই দৃষ্টি রেখা তরঙ্গসমূহকে ছেদ (intercept) করতে সক্ষম এমন যথেষ্ট উচ্চতায় হওয়া বাঞ্ছনীয়।



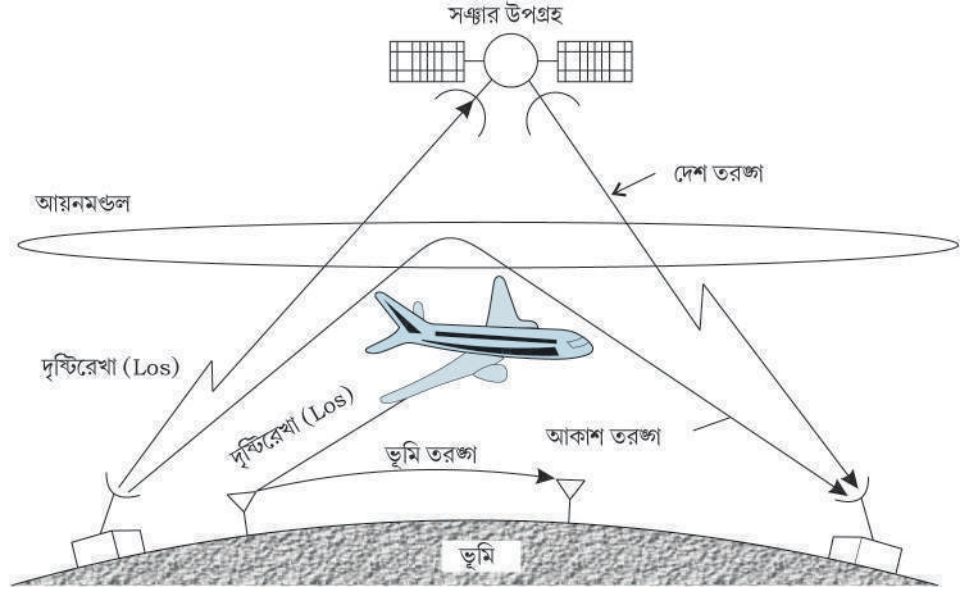
চিত্র 15.5 দেশ তরঙ্গ দ্বারা দৃষ্টি রেখা সঞ্চার ব্যবস্থাপনা।

যদি প্রেরক অ্যান্টেনা h_T উচ্চতায় থাকে, তবে তুমি দেখাতে পার যে দিগন্ত বরাবর দূরত্ব d_T হবে, $d_T = \sqrt{2Rh_T}$, যেখানে R হল পৃথিবীর ব্যাসার্ধ (প্রায় 6400 km)। d_T কে প্রেরক অ্যান্টেনাটির রেডিও দিগন্তও বলা হয়। 15.5 নং চিত্র অনুযায়ী ভূপৃষ্ঠ থেকে h_T এবং h_R উচ্চতাবিশিষ্ট দুটি অ্যান্টেনার মধ্যবর্তী সর্বাধিক দৃষ্টি রেখা দূরত্ব d_M হয়, তবে

$$d_M = \sqrt{2Rh_T} + \sqrt{2Rh_R} \quad (15.1)$$

যেখানে h_R হল গ্রাহক অ্যান্টেনার উচ্চতা।

টেলিভিশন সম্প্রচার, মাইক্রোওয়েব লিংক এবং উপগ্রহ যোগাযোগ ব্যবস্থা হল দেশ তরঙ্গরূপে বিস্তার কৌশলে সঞ্চার ব্যবস্থাপনার কিছু উদাহরণ। এ যাবৎ আলোচিত বিভিন্ন ধরনের তরঙ্গরূপ বিস্তার কৌশল, 15.6 নং চিত্রে সংক্ষিপ্তভাবে দেখানো হয়েছে।



চিত্র 15.6 তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গের বিভিন্ন ধরনের বিস্তার কৌশল।

উদাহরণ 15.1

উদাহরণ 15.1 32 m উচ্চতার একটি টাওয়ারের শীর্ষে একটি প্রেরক অ্যান্টেনা আছে এবং গ্রাহক অ্যান্টেনাটির উচ্চতা 50 m। দৃষ্টিরেখা সঞ্চার ব্যবস্থাপনায় এদের মধ্যে সন্তোষজনকভাবে যোগাযোগ স্থাপনের জন্যে সর্বোচ্চ দূরত্ব কত হবে? দেওয়া আছে, পৃথিবীর ব্যাসার্ধ 6.4×10^6 m।

সমাধান

$$\begin{aligned} d_m &= \sqrt{2 \times 64 \times 10^5 \times 32} + \sqrt{2 \times 64 \times 10^5 \times 50} \text{ m} \\ &= 64 \times 10^2 \times \sqrt{10} + 8 \times 10^3 \times \sqrt{10} \text{ m} \\ &= 144 \times 10^2 \times \sqrt{10} \text{ m} = 45.5 \text{ km} \end{aligned}$$

15.7 মডুলেশন এবং এর প্রয়োজনীয়তা (MODULATION AND ITS NECESSITY)

তথ্য বা বার্তা সংকেত সঞ্চারন হল সঞ্চার ব্যবস্থাপনার মূল উদ্দেশ্য, যা ইতোমধ্যেই উল্লেখ করা হয়েছে। বার্তা সংকেতকে বেস-ব্যাণ্ড সংকেতও (*baseband signals*) বলে, যাদের কম্পাংকের পাল্লা তথ্য উৎস থেকে সরবরাহকৃত প্রকৃত সংকেতের মূল পটিবেধকে সূচিত করে। সাধারণত কোনো সংকেতই এক কম্পাংশবিশিষ্ট সাইনধর্মী হয় না, এদের কম্পাংক সংকেতের পটি বেধ (*signal bandwidth*) নামে পরিচিত একটি পাল্লার মধ্যে বিস্তৃত থাকে। ধরো, আমরা শ্রুতিগোচর কম্পাংকের (AF) পাল্লার (বেস-ব্যাণ্ড সংকেতের কম্পাংক 20 kHz থেকে কম) একটি বৈদ্যুতিন সংকেতকে বহু দূরবর্তী স্থানে সরাসরি সঞ্চারন করতে চাই। চলো, আমরা দেখি কী কী বিষয় সমূহ আমাদেরকে এইরকম পদ্ধতি অবলম্বন করা থেকে বিরত করে এবং কীভাবে আমরা এই বিষয়সমূহজনিত বাধাগুলোকে দূর করতে পারি।

15.7.1 অ্যান্টেনা বা এরিয়েলের আকার (Size of the antenna or aerial)

একটি সংকেত প্রেরণ করার জন্যে আমাদের একটি অ্যান্টেনা বা এরিয়েলের প্রয়োজন। এই অ্যান্টেনার আকার সংকেতের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের (ন্যূনতম $\lambda/4$ মাত্রার) সাথে তুলনীয় হওয়া বাঞ্ছনীয়; যাতে সময়ের সাপেক্ষে সংকেতের পরিবর্তনশীলতার প্রতি অ্যান্টেনাটি যথার্থভাবে সংবেদনশীল হতে পারে। 20 kHz কম্পাংকের তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গের ক্ষেত্রে তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ) 15 km হয়। স্পষ্টতই, এত দীর্ঘ অ্যান্টেনা নির্মাণ এবং কার্যকর করা সম্ভবপর নয়। তাই, এই ধরনের বেস-ব্যাণ্ড সংকেত সমূহের প্রত্যক্ষ সঞ্চারন বাস্তবে সম্ভব নয়। যদি সঞ্চারিত তরঙ্গের কম্পাংক উচ্চ হয় তবে যথোপযুক্ত দৈর্ঘ্যের অ্যান্টেনার মাধ্যমে আমরা সংকেত সঞ্চারন করতে পারি (উদাহরণস্বরূপ, যদি কম্পাংক (ν) 1 MHz হয়, তবে তরঙ্গদৈর্ঘ্য 300 m হয়। তাই, সঞ্চারনের আগে তথ্য সম্বলিত নিম্ন কম্পাংকের মূল বেস-ব্যাণ্ড সংকেতকে, উচ্চ বা রেডিও কম্পাংকে রূপান্তরিত করা প্রয়োজন হয়।

15.7.2 অ্যান্টেনার বিকিরণের কার্যকর ক্ষমতা (Effective power radiated by an antenna)

l দৈর্ঘ্যের একটি খাজু অ্যান্টেনা থেকে নিঃসৃত বিকিরণ সংক্রান্ত তাত্ত্বিক গবেষণা অনুযায়ী দেখা যায় যে, অ্যান্টেনার বিকিরণ ক্ষমতা $(l/\lambda)^2$ -এর সমানুপাতিক হয়। এ থেকে বোঝা যায় যে, একই দৈর্ঘ্যের অ্যান্টেনার ক্ষেত্রে, ক্রমহ্রাসমান তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ , অর্থাৎ, ক্রমবর্ধমান কম্পাংকের সাথে বিকিরণ ক্ষমতা বৃদ্ধি পায়। তাই, দীর্ঘ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বেস-ব্যাণ্ড সংকেতের কার্যকর বিকিরণ ক্ষমতা কম হবে। উন্নত সঞ্চারন উচ্চ ক্ষমতার প্রয়োজন এবং তাই, এটি কম্পাংক সঞ্চারন ব্যবহারের প্রয়োজনীয়তাকেও নির্দেশ করে।

15.7.3 বিভিন্ন প্রেরক যন্ত্রাদি থেকে প্রেরিত সংকেতসমূহের সংমিশ্রণ (Mixing up of signals from different transmitters)

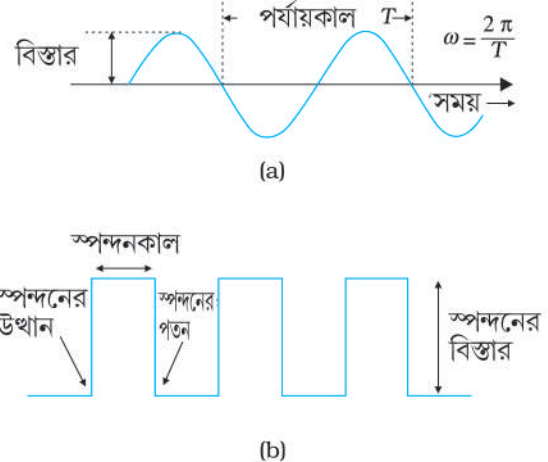
বেস-ব্যাণ্ড সংকেত সমূহের সরাসরি সঞ্চারনের বিপক্ষে আরেকটি গুরুত্বপূর্ণ যুক্তি রয়েছে যা প্রকৃতিগতভাবে যথেষ্ট বাস্তবোচিত। ধরে নাও, অনেক লোক একসঙ্গে কথা বলছে অথবা অনেক প্রেরক যন্ত্র একই সঙ্গে বেস-ব্যাণ্ড তথ্য সংকেত সমূহকে প্রেরণ করছে। এই সকল সংকেত সমূহ পরস্পর সংমিশ্রিত হয় এবং এদের শনাক্তকরণের কোনো সহজ উপায় থাকে না। উচ্চ কম্পাংকের সঞ্চারন ব্যবস্থাপনার সাহায্যে এবং সঞ্চারনের জন্য প্রতিটি বার্তা সংকেতের জন্য একটি সংশ্লিষ্ট কম্পাংক পটি বন্টনের মাধ্যমে এই বিষয়টির একটি সম্ভাব্য সমাধান নির্দেশিত হয়।

উপরোক্ত যুক্তি অনুসারে সঞ্চারনের পূর্বে নিম্ন কম্পাংকের মূল বেস-ব্যাণ্ড তথ্য বা বার্তা সংকেতকে উচ্চ কম্পাংকবিশিষ্ট তরঙ্গো রূপান্তরন জরুরি, যাতে রূপান্তরিত সংকেত তরঙ্গো মূল সংকেত সম্বলিত তথ্য সংকেতটি সততই অন্তর্ভুক্ত থাকে। এই কাজ সম্পাদনের জন্যে আমরা বাহক তরঙ্গ (carrier wave) নামক একটি উচ্চ কম্পাংকবিশিষ্ট সংকেতের সাহায্যে নিই এবং বিবৃপণ বা মডুলেশন (modulation) নামক একটি প্রক্রিয়া বাহক তরঙ্গের সাথে বার্তা সংকেতকে সংযুক্ত করে। বাহক তরঙ্গটি সমস্ত (সাইনধর্মী) অথবা স্পন্দনরূপী হতে পারে, যা 15.7 চিত্রে দেখানো হয়েছে।

একটি সাইনধর্মী বাহক তরঙ্গকে নিম্নরূপে উপস্থাপন করা যেতে পারে

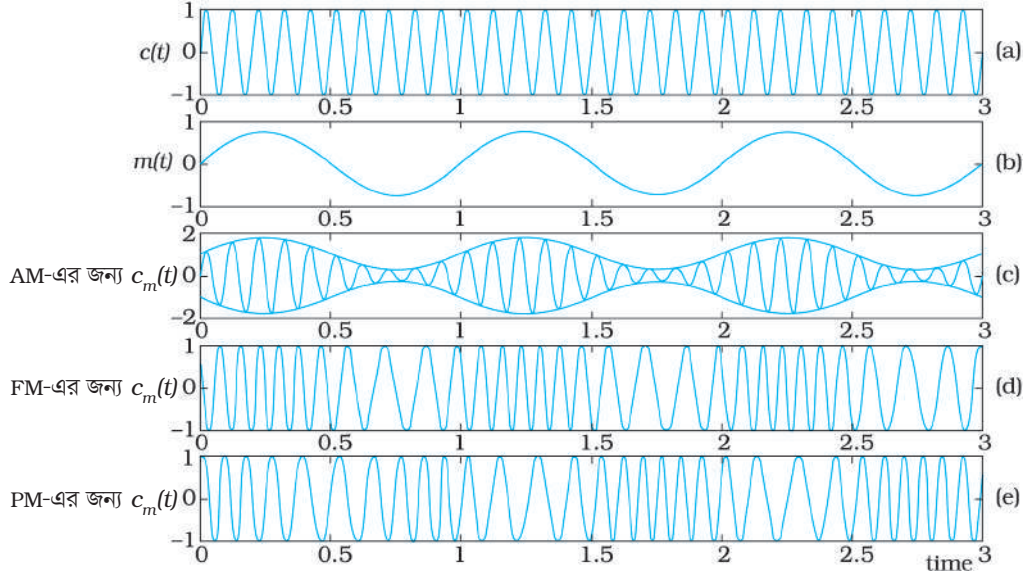
$$c(t) = A_c \sin(\omega_c t + \phi) \quad (15.2)$$

যেখানে $c(t)$ হল বাহক তরঙ্গের সংকেত শক্তি (বিভব বা প্রবাহমাত্রা), A_c বিস্তার, $\omega_c (= 2\pi\nu_c)$ কৌণিক কম্পাংক এবং ϕ হল প্রারম্ভিক দশা। মডুলেশন প্রক্রিয়ায় বার্তা বা তথ্য সংকেত বাহক তরঙ্গের



চিত্র 15.7 (a) সাইনধর্মী এবং (b) স্পন্দনরূপী সংকেত।

A_c , ω_c এবং ϕ , এই তিনটি প্রাচলের যে-কোনো একটিতে নিয়ন্ত্রণ করতে পারে। এর ফলে তিন ধরনের মডুলেশন হয় : (i) বিস্তার মডুলেশন (AM), (ii) কম্পাংক মডুলেশন (FM) এবং (iii) দশা মডুলেশন (PM), 15.8 নং চিত্রে যেমন দেখানো হয়েছে।



চিত্র 15.8 একটি বাহক তরঙ্গের মডুলেশন : (a) সাইনধর্মী একটি বাহক তরঙ্গ; (b) একটি মূল সংকেত (modulating signal); (c) বিস্তার মডুলেশন; (d) কম্পাংক মডুলেশন; এবং (e) দশা মডুলেশন।

অনুবৃত্তভাবে, কোনো একটি স্পন্দনের তাৎপর্যপূর্ণ বৈশিষ্ট্যাবলি হল : স্পন্দন বিস্তার, স্পন্দনের স্থায়িত্বকাল বা স্পন্দন বেধ, এবং স্পন্দনের অবস্থান (যা সময়ের সাথে স্পন্দন বিস্তারের ওঠা-নামা), যেমনটা 15.7(b) চিত্রে দেখানো হয়েছে। কাজেই স্পন্দন মেডুলেশন বিভিন্ন প্রকারের হয় : স্পন্দন বিস্তার মডুলেশন (PAM), স্পন্দনের স্থায়িত্বকাল মডুলেশন (PDM) অথবা স্পন্দন বেধ মডুলেশন (PWM), এবং স্পন্দনের অবস্থান মডুলেশন। এই অধ্যায়ে আমরা আমাদের আলোচনা শুধুমাত্র বিস্তার মডুলেশনে সীমাবদ্ধ রাখবো।

15.8 বিস্তার মডুলেশন (AMPLITUDE MODULATION)

বিস্তার মডুলেশন বাহক তরঙ্গটির বিস্তার, মূল-বার্তা সংকেত অনুযায়ী পরিবর্তিত হয়। এখানে আমরা মূল সংকেত (modulating signal) হিসাবে একটি সাইনধর্মী সংকেত ব্যবহার করে বিস্তার মডুলেশন প্রক্রিয়াটি ব্যাখ্যা করছি।

চলো ধরি, $c(t) = A_c \sin \omega_c t$ বাহক তরঙ্গকে এবং $m(t) = A_m \sin \omega_m t$ বার্তা বা মূল সংকেতকে সূচিত করে, যেখানে $\omega_m = 2\pi f_m$ হল বার্তা সংকেতটির কৌণিক কম্পাংক। মডুলেশনযুক্ত সংকেত $c_m(t)$ কে নিম্নলিখিত রূপে প্রকাশ করা যেতে পারে,

$$\begin{aligned} c_m(t) &= (A_c + A_m \sin \omega_m t) \sin \omega_c t \\ &= A_c \left(1 + \frac{A_m}{A_c} \sin \omega_m t \right) \sin \omega_c t \end{aligned} \quad (15.3)$$

লক্ষণীয় যে, এক্ষেত্রে বার্তা সংকেতটি মডুলেশন যুক্ত সংকেতে অন্তর্ভুক্ত রয়েছে। এই বিষয়টি 15.8(c) নং চিত্রেও লক্ষ করা যেতে পারে। (15.3) নং সমীকরণ থেকে আমরা পাই,

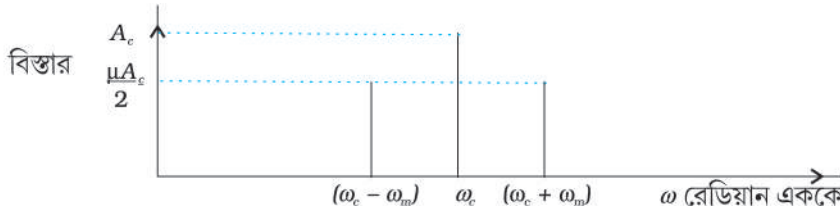
$$c_m(t) = A_c \sin \omega_c t + \mu A_c \sin \omega_m t \sin \omega_c t \quad (15.4)$$

এখানে $\mu = A_m/A_c$ হল মডুলেশন সূচক (modulation index); ব্যবহারিক ক্ষেত্রে বিকৃতি (distortion) এড়াতে μ -এর মান ≤ 1 রাখা হয়।

$\sin A \sin B = \frac{1}{2} [\cos(A - B) - \cos(A + B)]$, এই ত্রিকোণোমিতিক সম্পর্কটি ব্যবহার করে (15.4) সমীকরণের $c_m(t)$ কে নিম্নরূপে লেখা যায়

$$c_m(t) = A_c \sin \omega_c t + \frac{\mu A_c}{2} \cos(\omega_c - \omega_m) t - \frac{\mu A_c}{2} \cos(\omega_c + \omega_m) t \quad (15.5)$$

এখানে $\omega_c - \omega_m$ এবং $\omega_c + \omega_m$ কে যথাক্রমে নিম্নসীমা (lower side) এবং উর্ধ্বসীমা (upper side) কম্পাংক বলে। এ অবস্থায় মডুলেশনযুক্ত সংকেতটি বাহক তরঙ্গ এবং দুটি সাইনধর্মী তরঙ্গ নিয়ে গঠিত যাদের প্রতিটি কম্পাঙ্ক বাহক তরঙ্গের কম্পাঙ্ক থেকে সামান্য ভিন্ন এবং পার্শ্বপটি নামে পরিচিত। 15.9 চিত্রে বিস্তার মডুলেশন মুক্ত সংকেতটির কম্পাংক বর্ণালী (frequency spectrum) দেখানো হয়েছে।



চিত্র 15.9 একটি বিস্তার মডুলেশনযুক্ত সংকেতের 'বিস্তার বনাম ω ' লেখচিত্র।

যতক্ষণ পর্যন্ত পার্শ্বপটি কম্পাংকসমূহের সমাপন না ঘটিয়ে সম্প্রচার কম্পাংকগুলো যথাসম্ভব যথেষ্ট ব্যবধানে থাকে, বিভিন্ন স্টেশনগুলো ততক্ষণ পরস্পরকে বিঘ্নিত না করে স্বাধীনভাবে সম্প্রচার করতে পারে।

উদাহরণ 15.2 10 kHz কম্পাংক এবং 10 ভোল্ট শীর্ষমানযুক্ত বিভব বিশিষ্ট একটি বার্তা সংকেত, 1 MHz এবং 20 ভোল্ট শীর্ষমানযুক্ত বিভব বিশিষ্ট একটি বাহক তরঙ্গের মডুলেশন ঘটায়। (a) মডুলেশন সূচক, (b) উৎপন্ন পার্শ্বপটি কম্পাংকগুলো নির্ণয় করো।

সমাধান

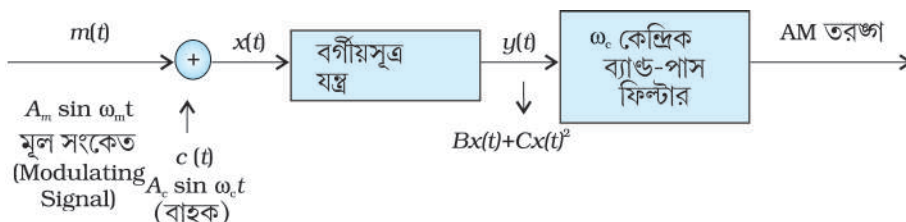
(a) মডুলেশন সূচক = $10/20 = 0.5$

(b) পার্শ্বপটি কম্পাংকগুলো হল $(1000+10 \text{ kHz})=1010 \text{ kHz}$ এবং $(1000 - 10 \text{ kHz}) = 990 \text{ kHz}$.

উদাহরণ 15.2

15.9 বিস্তার মডুলেশনযুক্ত তরঙ্গের উৎপাদন (PRODUCTION OF AMPLITUDE MODULATED WAVE)

বিস্তার মডুলেশন বিভিন্ন পদ্ধতিতে উৎপাদন করা যেতে পারে। 15.10 চিত্রে প্রদর্শিত ব্লকচিত্রটির মাধ্যমে সহজবোধ্য একটি পদ্ধতি দেখানো হয়েছে।



চিত্র 15.10 AM সংকেত উৎপাদনে ব্যবহৃত একটি সরল মডুলেটর ব্যবস্থাপনার ব্লকচিত্র।

এখানে, $A_m \sin \omega_m t$ হল সংকেতটিকে, $A_c \sin \omega_c t$ বাহক সংকেতটির সাথে যুক্ত করে $x(t)$ সংকেত উৎপন্ন করা হয়। $x(t) = A_m \sin \omega_m t + A_c \sin \omega_c t$, এই সংকেতটিকে একটি বর্গীয় সূত্র যন্ত্রের ন্যায় একটি অরৈখিক (non-linear) যন্ত্রের মধ্য দিয়ে পাঠানো হয় যা নিম্নলিখিত আউটপুট সংকেত উৎপন্ন করে

$$y(t) = Bx(t) + Cx^2(t) \quad (15.6)$$

যেখানে B এবং C হল ধ্রুবক। তাই,

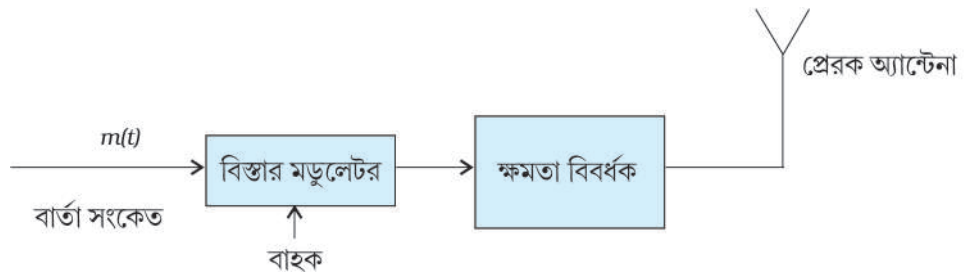
$$y(t) = BA_m \sin \omega_m t + BA_c \sin \omega_c t + C[A_m^2 \sin^2 \omega_m t + A_c^2 \sin^2 \omega_c t + 2A_m A_c \sin \omega_m t \sin \omega_c t] \quad (15.7)$$

$$= BA_m \sin \omega_m t + BA_c \sin \omega_c t + \frac{CA_m^2}{2} + \frac{CA_c^2}{2} - \frac{CA_m^2}{2} \cos 2\omega_m t - \frac{CA_c^2}{2} \cos 2\omega_c t + CA_m A_c \cos(\omega_c - \omega_m)t - CA_m A_c \cos(\omega_c + \omega_m)t \quad (15.8)$$

যেখানে $\sin^2 A = (1 - \cos 2A)/2$ এবং পূর্বে উল্লেখিত $\sin A \sin B$ -এর ত্রিকোণমিতিক সম্পর্কগুলো ব্যবহার করা হয়েছে।

(15.8) সমীকরণে, একটি dc পদ $C/2 (A_m^2 + A_c^2)$ এবং সাইনধর্মী তরঙ্গের কম্পাংকসমূহ ω_m , $2\omega_m$, ω_c , $2\omega_c$, $\omega_c - \omega_m$ এবং $\omega_c + \omega_m$ রয়েছে। 15.10 চিত্রানুযায়ী এই সংকেতটি একটি ব্যাণ্ড-পাস ফিল্টারের* মধ্য দিয়ে পাঠালে dc পদ এবং ω_m , $2\omega_m$ এবং $2\omega_c$ কম্পাংকযুক্ত সাইনধর্মী তরঙ্গগুলো প্রতিহত হয় এবং ω_c , $\omega_c - \omega_m$ এবং $\omega_c + \omega_m$ কম্পাংকবিশিষ্ট তরঙ্গগুলো রয়ে যায়। এইক্ষেত্রে ব্যাণ্ড-পাস ফিল্টারের আউটপুটটি (15.5) সমীকরণে উল্লেখিত সংকেতটির অনুরূপ হয় এবং তাই একটি AM তরঙ্গ পাওয়া যায়।

এখানে উল্লেখ করা প্রয়োজন যে, মডুলেশনযুক্ত সংকেতকে এরূপভাবে প্রেরণ করা যায় না। মডুলেটর ব্যবস্থাপনায় পরবর্তীতে একটি ক্ষমতা বিবর্ধক (power amplifier) যন্ত্র যুক্ত করা হয় যার মাধ্যমে মডুলেশনযুক্ত সংকেতটিকে প্রয়োজনীয় শক্তি সরবরাহ করা যায় এবং এরপর মডুলেশনযুক্ত সংকেতটিকে যথোপযুক্ত আকারবিশিষ্ট অ্যান্টেনার মাধ্যমে বিকিরণের জন্যে এর মধ্য দিয়ে পাঠানো হয় যা 15.11 নং চিত্রে দেখানো হয়েছে।



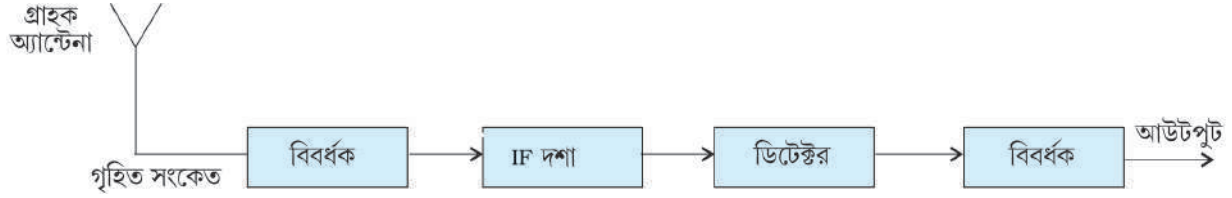
চিত্র 15.11 একটি প্রেরক ব্যবস্থাপনার ব্লক চিত্র।

15.10 বিস্তার মডুলেশনযুক্ত তরঙ্গের মূল সংকেত সন্ধান (DETECTION OF AMPLITUDE MODULATED WAVE)

প্রণালীর মধ্য দিয়ে বিস্তারকালে প্রেরিত বার্তা সংকেতটির শক্তির অপচয় ঘটে। তাই গ্রাহক অ্যান্টেনাটিতে একটি বিবর্ধক এবং একটি ডিটেক্টর সংযুক্ত থাকে। অধিকন্তু আরো প্রক্রিয়াকরণের সুবিধার্থে, সংকেতটিকে

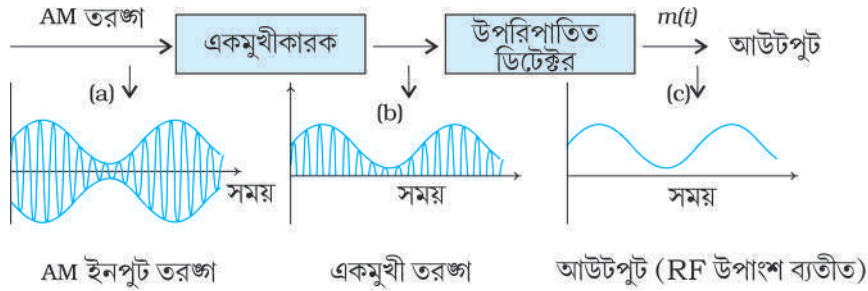
* একটি ব্যাণ্ড পাস ফিল্টার নিম্ন এবং উচ্চ কম্পাংকগুলোর বাধা দেয় এবং একটি কম্পাংক পটিকে এর মধ্য দিয়ে অবাধে যেতে দেয়।

সন্ধানের (detection) পূর্বে বাহক তরঙ্গের কম্পাংককে সাধারণত নিম্নতর কম্পাংকে রূপান্তরিত করা হয় যা অন্তর্ভুক্তী কম্পাংক (IF) দশা নামে পরিচিত। সন্ধানকৃত সংকেতটি ব্যবহারযোগ্য যথেষ্ট শক্তিসম্পন্ন নাও হতে পারে এবং তাই এই সংকেতের বিবর্ধন প্রয়োজন হয়। একটি বিশেষ ধরনের গ্রাহক ব্যবস্থাপনার ব্লকচিত্র 15.12 চিত্রে দেখানো হয়েছে।



চিত্র 15.12 একটি গ্রাহক ব্যবস্থাপনার ব্লকচিত্র।

মডুলেশনযুক্ত বাহক তরঙ্গ থেকে মূল সংকেতটি পুনরুদ্ধার করার প্রক্রিয়াটি হল সংকেত সন্ধান (Detection)। আমরা সবেমাত্র দেখেছি যে মডুলেশনযুক্ত বাহক তরঙ্গ ω_c এবং $\omega_c \pm \omega_m$ কম্পাংকগুলো অন্তর্ভুক্ত থাকে। ω_m কৌণিক কম্পাংকযুক্ত মূল বার্তা সংকেত $m(t)$ পাওয়ার জন্যে একটি সহজ পদ্ধতি 15.13 ব্লকচিত্রে দেখানো হয়েছে।



চিত্র 15.13 AM সংকেত সন্ধানকারী ব্যবস্থাপনার ব্লকচিত্র। y-অক্ষ বরাবর রাশিটি প্রবাহমাত্রা বা বিভব হতে পারে।

15.13(b) চিত্রে প্রদর্শিত আউটপুটটি পাওয়ার জন্য 15.13(a) চিত্রে প্রদর্শিত রূপের মডুলেশন যুক্ত সংকেতটি একটি একমুখীকারকের মধ্য দিয়ে পাঠানো হয়। (b) চিত্রে প্রদর্শিত সংকেতটির এই উপরিপাতিত সংকেতটি হল বার্তা সংকেত। $m(t)$ মূল সংকেতটিকে পুনরুদ্ধার করতে, মডুলেশনযুক্ত সংকেতকে উপরিপাতিত সংকেত ডিটেক্টরের (যা একটি সহজ RC বর্তনী নিয়ে গঠিত) মধ্য দিয়ে পাঠানো হয়।

এই অধ্যায়ে আমরা যোগাযোগ এবং সঞ্চার ব্যবস্থাপনা সংক্রান্ত কিছু মৌলিক ধারণা সম্পর্কে আলোচনা করেছি। আমরা বিস্তারিত মডুলেশন (AM) নামক একটি বিশেষ ধরনের অ্যানালগ মডুলেশন সম্পর্কেও আলোচনা করেছি। মডুলেশনের অন্যান্য প্রক্রিয়া এবং ডিজিটাল সঞ্চার ব্যবস্থাপনা আধুনিক যোগাযোগ ব্যবস্থাপনায় একটি গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে। সঞ্চার ব্যবস্থাপনায় এধরনের এবং অন্যান্য অনেক বিস্ময়কর উন্নয়ন প্রতিনিয়তই ঘটে চলছে।

এ পর্যন্ত আমরা আমাদের আলোচনা কিছু মৌলিক সঞ্চার ব্যবস্থাপনার উপর সীমাবদ্ধ রেখেছি। এই অধ্যায়ের আলোচনার পরিসমাপ্তির পূর্বে, বর্তমান সময়ের কিছু সঞ্চার ব্যবস্থাপনা (বক্সটি দেখো) যা আমাদের প্রাত্যহিক জীবনে তথ্য বিনিময়ের জগতেও ব্যাপক পরিবর্তন ঘটিয়েছে, এদের উপর আলোকপাত করা জরুরী।

অতিরিক্ত তথ্যাবলি (ADDITIONAL INFORMATION)

ইন্টারনেট ব্যবস্থাপনা (The Internet)

এটি এমন একটি ব্যবস্থাপনা যার সাতে পৃথিবীব্যাপী কোটি কোটি গ্রাহক যুক্ত। এই ব্যবস্থাপনার মাধ্যমে বিশাল এবং জটিল নেটওয়ার্কের দ্বারা সংযুক্ত দুই বা ততোধিক কম্পিউটার পরস্পরের মধ্যে সব ধরনের তথ্যের আদান প্রদান এবং বণ্টন করে। ঊনবিংশ শতকের ষাটের দশকে এর সূচনা হয়েছিল এবং নব্বই-এর দশকে জনসাধারণের ব্যবহারের জন্যে উন্মুক্ত করে দেওয়া হয়েছিল। সময়ের সাথে সাথে এই ব্যবস্থাপনার ব্যাপক বিকাশ পরিলক্ষিত হয় এবং এখনো এর বিস্তৃতি বেড়েই চলেছে। এই ব্যবস্থাপনার অন্তর্গত প্রয়োগগুলো হল —

- (i) **ই-মেইল (Email)** — এই প্রয়োগিক ব্যবস্থায় ই-মেইল সফটওয়্যারের মাধ্যমে লিখিত/গ্রাফিক (text/graphic) বিষয়াদি আদান প্রদান সম্ভবপর হয়। পোস্টঅফিসের গ্রহণ ও বণ্টন বিভাগের ন্যায় কার্যকরি ISP (Internet Service Providers) পরিষেবার মাধ্যমে আমরা চিঠি লিখতে এবং গ্রাহকের কাছে প্রেরণ করতে পারি।
- (ii) **ফাইল ট্রান্সফার (File transfer)** — ইন্টারনেট ব্যবস্থাপনার মাধ্যমে সংযুক্ত একটি কম্পিউটার থেকে অন্য আরেকটি কম্পিউটারে ফাইল-সফটওয়্যার স্থানান্তরণে FTP (File Transfer Programmes) কার্যকরি হয়।
- (iii) **ওয়ার্ল্ড ওয়াইড ওয়েব (WWW)** — সুনির্দিষ্ট তথ্যাবলি সংক্রান্ত কম্পিউটার সমূহ পরস্পরের মধ্যে তথ্যাবলি আদান প্রদানের জন্যে প্রত্যক্ষভাবে অথবা ওয়েব সার্ভিস প্রোভাইডারের মাধ্যমে বিভিন্ন ওয়েব সাইট সরবরাহ করে। বিভিন্ন সরকারি দপ্তর, কোম্পানি, এন.জি.ও সমূহ (Non-Government Organisations) এবং ব্যক্তিবিশেষ নিয়ন্ত্রিত বা মুক্তভাবে ব্যবহারের উদ্দেশ্যে এদের কার্যাবলি সংক্রান্ত তথ্য নিজস্ব ওয়েব সাইটে পোস্ট করতে পারে। এই তথ্যাবলি গ্রাহকসমূহের কাছে সহজলভ্য হয়। সংশ্লিষ্ট ওয়েবসাইটগুলো বাছাই করে বিভিন্ন তথ্য খোঁজার ক্ষেত্রে গুগোল (Google), ইয়াহু (Yahoo!) ইত্যাদির ন্যায় বেশ কিছু সার্চ ইঞ্জিনগুলো আমাদের সাহায্য করে। ওয়েবের একটি প্রভাবশালী বৈশিষ্ট্যমূলক উপাদান হল হাইপার টেক্সট (Hypertext) যা HTML (hypertext markup language)-এর মাধ্যমে ওয়েবের একটি পেইজ থেকে অপরটিতে প্রাসঙ্গিক তথ্যাবলি স্বয়ংক্রিয়ভাবে সংযুক্ত (link) করে।
- (iv) **ই-কমার্স (E-commerce)** — ক্রেডিট কার্ডের মতো বৈদ্যুতিন উপকরণ ব্যবহারের মাধ্যমে ব্যবসা বাণিজ্য বিস্তৃতিকরণে ইন্টারনেটের প্রয়োগকে ই-কমার্স বলে। কোম্পানিসমূহের পরিষেবা সংক্রান্ত অথবা বিভিন্ন উৎপাদিত দ্রব্যাদি সম্বলিত সামগ্রিক তথ্যের প্রতিলিপি উপভোক্তাগণ সংশ্লিষ্ট ওয়েবসাইটের মাধ্যমে দেখতে পারেন এবং আহরণ করতে পারেন। তারা বাড়ি/অফিসে বসে অন-লাইন শপিং করতে পারে। মেইল/কুরিয়ারের মাধ্যমে কোম্পানি দ্রব্যসামগ্রী বিতরণ অথবা পরিষেবা প্রদান করে।
- (v) **চ্যাট (Chat)** — সমানভাবে আগ্রহী ব্যক্তিবর্গের মধ্যে লিখিত বার্তার মাধ্যমে সময়ানুগ কথোপকথনকে চ্যাট বলে। চ্যাট গ্রুপটির অন্তর্গত প্রত্যেকে তাৎক্ষণিকভাবে বার্তা পেয়ে যান এবং অতিদ্রুত সাড়া দিতে পারেন।

অনুলিপি (Facsimile –FAX)

এটি একটি ডকুমেন্টের বিষয়বস্তুকে (লিখিত হিসেবে নয়, প্রতিচ্ছবি হিসেবে) স্ক্যান করে ইলেকট্রনিক সংকেত তৈরি করে। এরপর এই সংকেতগুলোকে টেলিফোন লাইনের মাধ্যমে গন্তব্যস্থলে ক্রমান্বয়ে (ওই স্থানের FAX যন্ত্রে) প্রেরণ করা হয়। গন্তব্যস্থলে এই সংকেতগুলোকে মূল ডকুমেন্টের অনুরূপ প্রতিলিপিতে পুনঃরূপান্তর করা হয়। লক্ষণীয় যে FAX যন্ত্র একটি ডকুমেন্টের স্থির প্রতিলিপি প্রদান করে যা টেলিভিশনের মাধ্যমে সচল বস্তুর প্রতিচ্ছবি প্রেরণের অনুরূপ নয়।

মোবাইল টেলিফোন ব্যবস্থা (Mobile telephony)

1970-এর দশকে প্রথম মোবাইল টেলিফোন ব্যবস্থার ধারণাটি উদ্ভব হয়েছিল এবং পরবর্তী দশকে এই ব্যবস্থাটি সম্পূর্ণভাবে কার্যকর করা হয়েছিল। এই ব্যবস্থার মূল ধারণাটি হল সমগ্র পরিষেবা ক্ষেত্রকে MTSO (Mobile Telephone Switching Office) নামক একটি অফিসকে কেন্দ্র করে যথোপযুক্ত সংখ্যক সেলে (cell) বিভাজিত করা। প্রতিটি সেলে বেস স্টেশন নামক স্বল্প ক্ষমতার একটি ট্রান্সমিটার (প্রেরক) অন্তর্ভুক্ত থাকে এবং যা বহু সংখ্যক মোবাইল গ্রাহক যন্ত্রে (সেল্ ফোন নামে বহুল পরিচিত) তথ্য পরিবেশকের ভূমিকা পালন করে। উপভোক্তার সংখ্যার উপর নির্ভর করে প্রতিটি সেলের পরিষেবা ক্ষেত্র কয়েক বর্গ কিমি বা এরও কম হতে পারে। যখন একটি মোবাইল গ্রাহক যন্ত্র একটি বেস স্টেশনের পরিষেবা ক্ষেত্রের সীমা ছাড়িয়ে যায় তখন অপর বেস স্টেশনের সাথে মোবাইল উপভোক্তাকে লিংক করা জরুরী হয়। একে হস্তান্তর (handover or handoff) প্রক্রিয়া বলা হয়। এই প্রক্রিয়াটি এত দ্রুত সংঘটিত হয় যে উপভোক্তা তা উপলব্ধিও করতে পারে না। মোবাইল টেলিফোন ব্যবস্থাটি বিশেষত কম্পাংকের UHF পাল্লায় (প্রায় 800-950 MHz) কার্যকরী হয়।

সারাংশ

1. এক স্থান থেকে অন্য স্থানে তথ্য বা বার্তার (তড়িৎবিভব এবং প্রবাহমাত্রা রূপে পাওয়া) নির্ভরযোগ্য স্থানান্তরণ, বৈদ্যুতিন সঞ্চার ব্যবস্থাপনা নামে পরিচিত।
2. প্রেরক, সঞ্চালন প্রণালী এবং গ্রাহক হল সঞ্চার ব্যবস্থাপনার তিনটি মূল উপাদান (units)।
3. সঞ্চার ব্যবস্থাপনার দুইটি মূল ধরণ হল : অ্যানালগ এবং ডিজিটাল। প্রথম ক্ষেত্রে সাধারণত সন্তত তরঙ্গরূপে এবং যেখানে দ্বিতীয় ক্ষেত্রে কেবলমাত্র বিচ্ছিন্ন বা কোয়ান্টায়িত স্তরের তরঙ্গরূপে তথ্য প্রেরণ করা হয়।
4. প্রতিটি বার্তা সংকেতের সংশ্লিষ্ট একটি কম্পাংকের পাল্লা থাকে। একটি বার্তা সংকেতের পটিবেধ সংকেতটির অন্তর্ভুক্ত তথ্য সমূহের নির্ভরযোগ্য সঞ্চালনের জন্য প্রয়োজনীয় কম্পাংকের পটিবেধকে নির্দেশ করে। অনুরূপভাবে, যে-কোনো ব্যবহারিক সঞ্চার ব্যবস্থাপনা, যে নির্দিষ্ট কম্পাংকের পাল্লায় সঞ্চালনে সহায়ক হয়, ওই কম্পাংকের পাল্লাকে ব্যবস্থাপনাটির পটিবেধ (bandwidth) বলে।
5. নিম্ন কম্পাংকের তরঙ্গসমূহকে দীর্ঘ দূরত্বে প্রেরণ করা যায় না। তাই, এদেরকে উচ্চ কম্পাংকবিশিষ্ট বাহক সংকেতের উপর মডুলেশন নামক প্রক্রিয়ায় উপরিপাতিত করা হয়।
6. মডুলেশন প্রক্রিয়ায়, বাহক তরঙ্গের বিস্তার, কম্পাংক বা দশার মতো কিছু বৈশিষ্ট্যমূলক রাশি, মূল সংকেত বা বার্তা সংকেত অনুযায়ী পরিবর্তিত হয়। সেই অনুযায়ী এদেরকে বিস্তার মডুলেশনযুক্ত (AM), কম্পাংক মডুলেশনযুক্ত (PM) অথবা দশা মডুলেশনযুক্ত (PM) তরঙ্গ বলে।
7. স্পন্দন মডুলেশনের (Pulse modulation) শ্রেণিবিভাগগুলো হল : স্পন্দন বিস্তার মডুলেশন (PAM), স্পন্দন পর্যায় মডুলেশন (PDM) অথবা স্পন্দন বেধ মডুলেশন (PWM) এবং স্পন্দন অবস্থান মডুলেশন (PPM)।
8. সংকেতযুক্ত দীর্ঘ দূরত্বে সঞ্চালনের জন্য অ্যান্টেনা নামক যন্ত্রাদির মাধ্যমে সংকেত, স্পেসে বিকিরিত করা হয়। বিকীর্ণ সংকেত তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গরূপে বিস্তার লাভ করে এবং ভূপৃষ্ঠ ও এর বায়ুমণ্ডল কর্তৃক এই বিস্তারের ধরণ প্রভাবিত হয়। ভূপৃষ্ঠের সন্নিহিতে তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ পৃষ্ঠতরঙ্গরূপে বিস্তার লাভ করে। পৃষ্ঠ তরঙ্গ বিস্তার কিছু MHz কম্পাংক পর্যন্তই কার্যকর।
9. দীর্ঘ দূরত্বে সঞ্চার ব্যবস্থাপনায় আয়নমণ্ডল কর্তৃক তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ প্রতিফলনের মাধ্যমে পৃথিবীর উপর দুইটি স্থানের মধ্যে যোগাযোগ স্থাপিত হয়। এইরকম তরঙ্গসমূহকে আকাশ তরঙ্গ বলে। প্রায় 30 MHz কম্পাংক পর্যন্ত আকাশ তরঙ্গ বিস্তার লাভ করতে পারে। এই কম্পাংকের উর্ধ্বের তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ অবশ্যই দেশ তরঙ্গরূপে বিস্তার লাভ করে। দৃষ্টিরেখা যোগাযোগ ব্যবস্থাপনায় এবং উপগ্রহ যোগাযোগ ব্যবস্থাপনায় দেশ তরঙ্গ ব্যবহৃত হয়।
10. h_f উচ্চতায় একটি অ্যান্টেনা থেকে বিকীর্ণ তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ যে সীমা (d_f) পর্যন্ত বিস্তার লাভ করে, তা হল $\sqrt{2Rh_f}$, যেখানে R পৃথিবীর ব্যাসার্ধ।
11. বিস্তার মডুলেশনযুক্ত সংকেতে $(\omega_c - \omega_m)$, ω_c এবং $(\omega_c + \omega_m)$ এই কম্পাংকসমূহ অন্তর্ভুক্ত থাকে।
12. একটি অরৈখিক তরঙ্গ প্রক্রিয়াকারক (non-linear) যন্ত্র ও এর পরবর্তিতে যুক্ত একটি ব্যাণ্ড পাস ফিল্টারের মাধ্যমে বার্তা সংকেতকে বাহক তরঙ্গের উপর প্রয়োগ করে বিস্তার মডুলেশনযুক্ত তরঙ্গ উৎপন্ন করা যায়।
13. একটি একমুখীকারক এবং উপরিপাতিত সংকেত ডিটেক্টর (envelope detector) ব্যবহার করে বিস্তার মডুলেশনযুক্ত তরঙ্গরূপ থেকে মূল সংকেতটিকে পুনরুদ্ধার করার প্রক্রিয়াই হল AM স্থান।

ভেবে দেখার বিষয়সমূহ

1. বার্তা বা তথ্য সংকেত সঞ্চারন প্রক্রিয়ায় তথ্য — উৎস এবং গ্রাহক প্রান্তের মধ্যে যে-কোনো স্থানে বিকৃতিকারী সংকেতের (noise) সংযোজন ঘটতে পারে। বিকৃতিকারী সংকেতের এমন কিছু উৎসের নাম কী তুমি ভাবতে পারো?
2. মডুলেশন প্রক্রিয়ায় মূল বার্তা সংকেতের সর্বোচ্চ কম্পাংকের সমান মানের বাহক তরঙ্গ কম্পাংকের উভয় পাশে (বাহক কম্পাংক অপেক্ষা উচ্চতর এবং নিম্নতর মানের) পার্শ্বপটি নামক নতুন কম্পাংকের সৃষ্টি হয়। (a) কেবলমাত্র পার্শ্বপটিগুলো, (b) কেবলমাত্র একটি পার্শ্বপটি, প্রেরণের মাধ্যমে মূল বার্তা সংকেতটিকে পুনরুদ্ধার করা সম্ভব কী?
3. বিস্তার মডুলেশনের ক্ষেত্রে $\mu \leq 1$ মানের মডুলেশন সূচক ব্যবহার করা হয়। যদি $\mu > 1$ হয়, তবে কী ঘটবে?

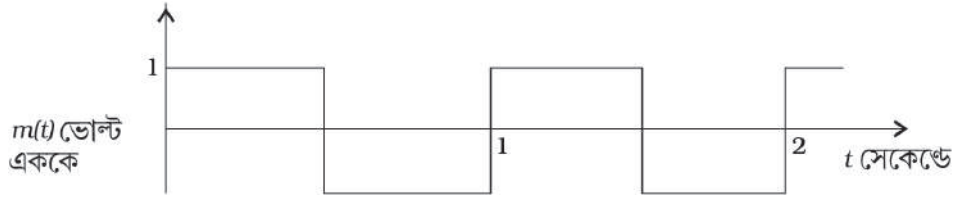
অনুশীলনী

- 15.1 আকাশ তরঙ্গের মাধ্যমে দিগন্ত ছাড়িয়ে সঞ্চারনের জন্য নিম্নলিখিত কম্পাংকগুলোর কোনটি উপযুক্ত?
 - (a) 10 kHz
 - (b) 10 MHz
 - (c) 1 GHz
 - (d) 1000 GHz
- 15.2 UHF পাল্লার কম্পাংকযুক্ত সংকেতসমূহকে সাধারণত কোন্ পদ্ধতিতে সঞ্চার করা হয় :
 - (a) ভূমি তরঙ্গ।
 - (b) আকাশ তরঙ্গ।
 - (c) পৃষ্ঠ তরঙ্গ।
 - (d) দেশ তরঙ্গ।
- 15.3 ডিজিটাল সংকেত সমূহ :
 - (i) মানের একটি নিরবচ্ছিন্ন সেটকে প্রকাশ করে না,
 - (ii) বিচ্ছিন্ন স্তর হিসাবে মানকে প্রকাশ করে,
 - (iii) বাইনারি সংখ্যা পদ্ধতি অনুসরণ করে এবং
 - (iv) বাইনারি সংখ্যা পদ্ধতি সহ দশমিক সংখ্যা পদ্ধতিও অনুসরণ করে।

উপরোক্ত বিবৃতিগুলোর কোনটি সত্য?

 - (a) কেবলমাত্র (i) এবং (ii)
 - (b) কেবলমাত্র (ii) এবং (iii)
 - (c) (i), (ii) এবং (iii) কিন্তু (iv) নয়,
 - (d) (i), (ii), (iii) এবং (iv) সবগুলোই।
- 15.4 দৃষ্টিরেখা সঞ্চার ব্যবস্থাপনায় গ্রাহক অ্যান্টেনার উচ্চতা প্রেরক অ্যান্টেনার উচ্চতার মতো একই হওয়া জরুরি কী? দূরদর্শনের একটি প্রেরক অ্যান্টেনার উচ্চতা 81 মি.। যদি গ্রাহক অ্যান্টেনাটি ভূসমতলে থাকে, তবে এই অ্যান্টেনাটির পরিষেবা ক্ষেত্রের বিস্তৃতি কত?

- 15.5** একটি বার্তা সংকেতকে প্রেরণ করতে 12V শীর্ষমান যুক্ত বিভবের একটি বাহক তরঙ্গ ব্যবহার করা হয়। মডুলেশন সূচক 75% পেতে হলে, মূল বার্তা সংকেতটির বিভবের শীর্ষমান কত হওয়া উচিত?
- 15.6** একটি বিস্তার মডুলেশন যুক্ত তরঙ্গের সর্বোচ্চ এবং সর্বনিম্ন বিস্তার হল যথাক্রমে 10V ও 2V। মডুলেশন সূচক μ নির্ণয় করো। যদি সর্বনিম্ন বিস্তার বিভব শূন্য ভোল্ট হয়, তবে μ -এর মান কত?
- 15.7** অর্থনৈতিক কারণে, AM তরঙ্গের কেবলমাত্র উর্ধ্ব পার্শ্বটিকে সংশ্লিষ্ট করা হয়। কিন্তু গ্রাহক স্টেশনে বাহক তরঙ্গটি উৎপন্ন করার ব্যবস্থাপনা থাকে। যদি সংকেত দুটির গুণনে (multiply) সক্ষম এমন একটি যন্ত্র (device) থাকে, তবে দেখাও যে গ্রাহক স্টেশনে মূল বার্তা সংকেতটিকে পুনরুদ্ধার করা সম্ভব।
- 15.8** বর্গাকার তরঙ্গরূপের একটি মূল বার্তা সংকেত 15.14 নং চিত্রে দেখানো হয়েছে।



চিত্র 15.14

বাহক তরঙ্গটি হল $c(t) = 2 \sin(8\pi t)$ ভোল্ট।

- বিস্তার মডুলেশন যুক্ত তরঙ্গরূপটি অংকন করো।
- মডুলেশন সূচকটি কত?

পরিশিষ্ট

পরিশিষ্ট A 1 গ্রিক বর্ণমালা

Alpha	A	α	Iota	I	ι	Rho	P	ρ
Beta	B	β	Kappa	K	κ	Sigma	Σ	σ
Gamma	Γ	γ	Lambda	Λ	λ	Tau	T	τ
Delta	Δ	δ	Mu	M	μ	Upsilon	Y	υ
Epsilon	E	ϵ	Nu	N	ν	Phi	Φ	ϕ, φ
Zeta	Z	ζ	Xi	Ξ	ξ	Chi	X	χ
Eta	H	η	Omicron	O	\omicron	Psi	Ψ	ψ
Theta	Θ	θ	Pi	Π	π	Omega	Ω	ω

পরিশিষ্ট A 2

SI এককের ক্ষেত্রে গুণিতক ও ভগ্নাংশকে প্রকাশে ব্যবহৃত কিছু সাধারণ উপসর্গ এবং চিহ্ন

Multiple			Sub-Multiple		
Factor	Prefix	Symbol	Factor	Prefix	symbol
10^{18}	Exa	E	10^{-18}	atto	a
10^{15}	Peta	P	10^{-15}	femto	f
10^{12}	Tera	T	10^{-12}	pico	p
10^9	Giga	G	10^{-9}	nano	n
10^6	Mega	M	10^{-6}	micro	μ
10^3	kilo	k	10^{-3}	milli	m
10^2	Hecto	h	10^{-2}	centi	c
10^1	Deca	da	10^{-1}	deci	d

APPENDIX A 3

কিছু গুরুত্বপূর্ণ ধ্রুবক

নাম	চিহ্ন	মান
শূন্যে আলোর দ্রুতি	c	$2.9979 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$
ইলেকট্রনের আধান	e	$1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$
মহাকর্ষীয় ধ্রুবক	G	$6.673 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$
প্লাঙ্কের ধ্রুবক	h	$6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}$
বোল্‌জম্যান ধ্রুবক	k	$1.381 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$
অ্যাভোগাড্রো ধ্রুবক	N_A	$6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
সার্বিক গ্যাস ধ্রুবক	R	$8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$
ইলেকট্রন ভর	m_e	$9.110 \times 10^{-31} \text{ kg}$
নিউট্রনের ভর	m_n	$1.675 \times 10^{-27} \text{ kg}$
প্রোটনের ভর	m_p	$1.673 \times 10^{-27} \text{ kg}$
ইলেকট্রনের আধান-ভর অনুপাত	e/m_e	$1.759 \times 10^{11} \text{ C/kg}$
ফ্যারাডে ধ্রুবক	F	$9.648 \times 10^4 \text{ C/mol}$
রিডবার্গ ধ্রুবক	R	$1.097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$
বোর ব্যাসার্ধ	a_0	$5.292 \times 10^{-11} \text{ m}$
স্টিফেন বোল্‌জম্যান ধ্রুবক	σ	$5.670 \times 10^{-8} \text{ Wm}^2 \text{ K}^{-4}$
ভীনের ধ্রুবক	b	$2.898 \times 10^{-3} \text{ mK}$
শূন্যে তড়িৎভেদ্যতা	ϵ_0 $1/4\pi \epsilon_0$	$8.854 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2}$ $8.987 \times 10^9 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-2}$
শূন্যে চৌম্বক ভেদ্যতা	μ_0	$4\pi \times 10^{-7} \text{ T m A}^{-1}$ $\cong 1.257 \times 10^{-6} \text{ Wb A}^{-1} \text{ m}^{-1}$

অন্যান্য কিছু প্রয়োজনীয় ধ্রুবক

নাম	চিহ্ন	মান
তাপের যান্ত্রিক তুল্যাংক	J	4.186 J cal^{-1}
প্রমাণ বায়ুমণ্ডলীয় চাপ	1 atm	$1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$
পরম শূন্য	0 K	$-273.15 \text{ }^\circ\text{C}$
ইলেকট্রন ভোল্ট	1 eV	$1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$
সংহত পারমাণবিক ভর একক	1 u	$1.661 \times 10^{-27} \text{ kg}$
ইলেকট্রনের স্থির শক্তি	mc^2	0.511 MeV
1u -এর তুল্য শক্তি	1 u c^2	931.5 MeV
আদর্শ গ্যাসের আয়তন (0°C বা 1 atm)	V	22.4 L mol^{-1}
অভিকর্ষের দরুন ত্বরণ (সমুদ্রপৃষ্ঠে, বিষুব অঞ্চলে)	g	9.78049 m s^{-2}

উত্তরমালা

অধ্যায় 9

- 9.1** $v = -54 \text{ cm}$ । প্রতিবিম্বটি সদ, অবশীর্ষ এবং বিবর্ধিত। প্রতিবিম্বের উচ্চতা 5.0 cm হয়। $u \rightarrow f$, হলে, $v \rightarrow \infty$; $u < f$ -এর জন্যে, প্রতিবিম্ব অসদ হয়।
- 9.2** $v = 6.7 \text{ cm}$ । বিবর্ধন = $5/9$; অর্থাৎ প্রতিবিম্বটির উচ্চতা হয় 2.5 cm । যদি $u \rightarrow \infty$ হয়; $v \rightarrow f$ হয় (কিন্তু কখনো ফোকাস দূরত্ব ছাড়িয়ে যাবে না) সেক্ষেত্রে $m \rightarrow 0$ ।
- 9.3** 1.33 ; 1.7 cm
- 9.4** $n_{ga} = 1.51$; $n_{wa} = 1.32$; $n_{gw} = 1.144$; যা থেকে পাওয়া যায় $\sin r = 0.6181$ অর্থাৎ $r \approx 38^\circ$ ।
- 9.5** $r = 0.8 \times \tan i_c$ এবং $\sin i_c = 1/1.33 \approx 0.75$, যেখানে r হল বৃহত্তম বৃত্তের ব্যাসার্ধ যা থেকে আলো বেরিয়ে আসে এবং বায়ু ও জলের বিভেদতলের সংকট কোণ i_c , ক্ষেত্রফল = 2.6 m^2
- 9.6** $n \approx 1.53$ এবং জলে নিমজ্জিত প্রিজমটির জন্যে $D_m \approx 10^\circ$ ।
- 9.7** $R = 22 \text{ cm}$
- 9.8** এইক্ষেত্রে বস্তুটি অসদ এবং প্রতিবিম্বটি সদ। $u = +12 \text{ cm}$ (বস্তুটি ডানপাশে; অসদ)
 (a) $f = +20 \text{ cm}$ । প্রতিবিম্বটি সদ এবং লেন্সের ডানপাশে এর থেকে 7.5 cm দূরে।
 (b) $f = -16 \text{ cm}$ । প্রতিবিম্বটি সদ এবং লেন্স থেকে এর ডান পাশে 48 cm দূরে।
- 9.9** $v = 8.4 \text{ cm}$, প্রতিবিম্বটি সমশীর্ষ এবং অসদ। এর উচ্চতা ক্ষীণ হয়ে 1.8 cm হয়। $u \rightarrow \infty$ এর জন্যে $v \rightarrow f$ (কিন্তু কখনো ফোকাস দূরত্ব ছাড়িয়ে যাবে না, যেখানে $m \rightarrow 0$)।
 লক্ষণীয় যে, যখন একটি বস্তুকে অবতল লেন্সের ফোকাসে (21 cm) স্থাপন করা হয়, তখন এর প্রতিবিম্বটি 10.5 cm দূরে গঠিত হয় (প্রতিবিম্বটি অসীমে গঠিত হতে পারে, এই ধারণাটি ভুল)।
- 9.10** 60 cm ফোকাস দূরত্বের একটি অপসারী লেন্স।
- 9.11** (a) $v_e = -25 \text{ cm}$ এবং $f_e = 6.25 \text{ cm}$ থেকে পাওয়া যায়, $u_e = -5 \text{ cm}$;
 $v_o = (15 - 5) \text{ cm} = 10 \text{ cm}$, $f_o = u_o = -2.5 \text{ cm}$; বিবর্ধন ক্ষমতা = 20
 (b) $u_o = -2.59 \text{ cm}$.
 বিবর্ধন ক্ষমতা = 13.5 .
- 9.12** 25 cm দূরত্বে প্রতিবিম্বের জন্যে অভিনেত্রের কৌণিক বিবর্ধন
 $= \frac{25}{2.5} + 1 = 11$; $|u_e| = \frac{25}{11} \text{ cm} = 2.27 \text{ cm}$; $v_o = 7.2 \text{ cm}$
 ব্যবধান = 9.47 cm ; বিবর্ধন ক্ষমতা = 88

- 9.13** 24; 150 cm
- 9.14** (a) কৌণিক বিবর্ধন = 1500
(b) প্রতিবিশ্বটির ব্যাস = 13.7 cm.
- 9.15** কাঙ্ক্ষিত ফলাফল পাওয়ার জন্যে দর্পণ সমীকরণ এবং শর্ত প্রয়োগ করো
(a) $f < 0$ (অবতল দর্পণ); $u < 0$ (বস্তু বামপাশে)
(b) $f > 0$; $u < 0$
(c) $f > 0$ (উত্তল দর্পণ) এবং $u < 0$ প্রয়োগ করো।
(d) $f < 0$ (অবতল দর্পণ); $f < u < 0$
- 9.16** পিনটি 5.0 cm উপরে উঠে গেছে বলে মনে হয়। একটি সুস্পষ্ট রশ্মিচিত্রের সাহায্যে দেখানো যায় যে, ফলকটির অবস্থানের উপর উত্তরটি নির্ভর করে না (ক্ষুদ্র আপতন কোণের জন্যে)।
- 9.17** (a) $\sin i'_c = 1.44/1.68$ থেকে পাওয়া যায় $i'_c = 59^\circ$ । যখন $i > 59^\circ$ অথবা $r < r_{\max} = 31^\circ$, তখন অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন ঘটে। অতএব, পাইপটির মধ্যে, $0 < i < 60^\circ$ আপতন কোণের পাল্লায় সকল আপতিত রশ্মির অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন ঘটে। (পাইপটি সচরাচর ব্যবহৃত সসীম দৈর্ঘ্যের হলে, সেইক্ষেত্রে পাইপটির ব্যাস ও দৈর্ঘ্যের অনুপাত দ্বারা নির্ধারিত ' i '-এর একটি নিম্ন সীমা (lower limit) থাকবে।)
(b) যদি বাইরের প্রলেপ (outer coating) না থাকে, তবে $i'_c = \sin^{-1}(1/1.68) = 36.5^\circ$ । এখন $i = 90^\circ$ হলে, $r = 36.5^\circ$ এবং $i' = 53.5^\circ$ যা i'_c অপেক্ষা বৃহত্তর। তাই সকল আপতিত রশ্মির ($53.5^\circ < i < 90^\circ$ এই পাল্লায়) অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন ঘটবে।
- 9.18** (a) সমতল দর্পণ বা উত্তল দর্পণের পেছনে কোনো একটি বিন্দুগামী অভিসারী রশ্মিগুচ্ছ প্রতিফলিত হয়ে দর্পণের সামনে পর্দায় একটি বিন্দুতে মিলিত হয়। অন্যভাবে বলা যায়, যদি বস্তুটি অসদৃশ্য তবে একটি সমতল বা উত্তল দর্পণ সদৃশ প্রতিবিশ্ব সৃষ্টি করতে পারে। একটি যথোপযুক্ত রশ্মি চিত্র অংকন করে বিষয়টি বুঝে নাও।
(b) যখন প্রতিফলিত বা প্রতিসৃত রশ্মিগুলো অপসারী হয়, তখন প্রতিবিশ্বটি অসদৃশ্য হয়। একটি উপযুক্ত অভিসারী লেন্স ব্যবহার করে, অপসারী রশ্মিগুলোকে পর্দায় অভিসারী করা যায়। চোখের উত্তর লেন্সটি ঠিক এই কাজটিই করে। এখানে লেন্স কর্তৃক সদৃশ প্রতিবিশ্ব গঠনের ক্ষেত্রে অসদৃশ্য প্রতিবিশ্বটি বস্তু হিসাবে কাজ করে। লক্ষণীয়, এইক্ষেত্রে পর্দাটি অসদৃশ্য প্রতিবিশ্বের অবস্থানে স্থাপিত নয়। এক্ষেত্রে কোনো বিভ্রান্তির অবকাশ নেই।
(c) দীর্ঘতর।
(d) তির্যক দৃষ্টির জন্যে আপাত গভীরতা, প্রায় অভিলম্ব দৃষ্টির জন্যে আপাত গভীরতা অপেক্ষা হ্রাস পায়। পর্যবেক্ষকের বিভিন্ন অবস্থানের ক্ষেত্রে রশ্মি চিত্র অংকন করে, এই ঘটনাটি বুঝে নাও।
(e) হীরকের প্রতিসরাংক প্রায় 2.42, যা সাধারণ কাচের প্রতিসরাংক (প্রায় 1.5) অপেক্ষা অনেক বেশি। হীরকের সংকট কোণ প্রায় 24° যা কাচের সংকট কোণ অপেক্ষা অনেক কম। হীরকের অভ্যন্তরে প্রবিষ্ট আপতিত আলোকরশ্মি গুচ্ছ বেরিয়ে আসার পূর্বে এর বিভিন্ন তল থেকে অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন নিশ্চিত করতে, একজন দক্ষ হীরক কাটার কারিগর আপতন কোণের বিস্তৃত পাল্লায় হীরকের মধ্যে আলোর আপতনের বিষয়টির উপর বিশেষভাবে নজর দেয় এবং তাই হীরকের ঔজ্জ্বল্য প্রভাব (sparkling effect) পাওয়া যায়।
- 9.19** বস্তু এবং পর্দার মধ্যবর্তী স্থির দূরত্ব ' s '-এর জন্যে যদি লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব (f), $s/4$ -এর তুলনায় বেশি হয় তবে লেন্স সমীকরণটি ' u ' বা ' v '-এর যে-কোনো মানের জন্যে কোনো বাস্তব সমাধান দেয় না। তাই, $f_{\max} = 0.75 \text{ m}$ ।
- 9.20** 21.4 cm

9.21 (a) (i) চলো ধরি, একটি সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ বাম পাশ থেকে প্রথমে উত্তল লেন্সটির উপর আপতিত হল।

$f_1 = 30 \text{ cm}$ এবং $u_1 = -\infty$ হলে, $v_1 = +30 \text{ cm}$ পাওয়া যায়। এই প্রতিবিম্বটি দ্বিতীয় লেন্সের জন্যে অসদ্বস্তু হিসাবে কাজ করে।

$f_2 = -20 \text{ cm}$, $u_2 = + (30 - 8) \text{ cm} = +22 \text{ cm}$ হলে, $v_2 = -220 \text{ cm}$ পাওয়া যায়। সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ দ্বি-লেন্স সংস্থাটির কেন্দ্র থেকে 216 cm দূরে একটি বিন্দু থেকে অপসৃত হচ্ছে বলে মনে হয়।

(ii) ধরি, সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছটি বাম পাশ থেকে প্রথমে একটি অবতল লেন্সে আপতিত হয়।

$f_1 = -20 \text{ cm}$, $u_1 = -\infty$ হলে, $v_1 = -20 \text{ cm}$ পাওয়া যায়। এই প্রতিবিম্বটি দ্বিতীয় লেন্সের জন্যে সদ্বস্তু হিসাবে ক্রিয়া করে। $f_2 = +30 \text{ cm}$, $u_2 = - (20 + 8) \text{ cm} = -28 \text{ cm}$ এর থেকে আমরা পাই, $v_2 = -420 \text{ cm}$ । সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ দ্বি-লেন্স সংস্থাটির কেন্দ্রের বামপাশে 416 cm দূরে একটি বিন্দু থেকে অপসৃত হচ্ছে বলে মনে হয়।

স্পষ্টতই, দ্বি-লেন্স সংস্থাটির উপর কোন্ পাশ থেকে সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ আপতিত হচ্ছে, এর উপর উত্তরটি নির্ভর করে। অধিকন্তু, আমাদের কাছে সংস্থাটির সুনির্দিষ্ট ধ্রুবক যুক্ত (ধ্রুবকটি $f_1 \cdot f_2$ এবং দুইটি লেন্সের মধ্যবর্তী দূরত্বের মাধ্যমে নির্ণীত) লেন্সের কোনো সহজ সমীকরণ নেই যা u (এবং v)-এর সকল মানের জন্যে সত্য। তাই কার্যকর ফোকাস দূরত্বের ধারণাটি, এই সংস্থার ক্ষেত্রে সেইরকম অর্থবহ বলে মনে হয় না।

(b) $u_1 = -40 \text{ cm}$, $f_1 = 30 \text{ cm}$ -এর জন্যে $v_1 = 120 \text{ cm}$ পাওয়া যায়।

প্রথম (উত্তল) লেন্সটির জন্যে বিবর্ধনের মান হল 3।

$u_2 = + (120 - 8) \text{ cm} = +112 \text{ cm}$ (অসদ্বস্তু);

$f_2 = -20 \text{ cm}$ হলে, $v_2 = -\frac{112 \times 20}{92} \text{ cm}$

দ্বিতীয় (অবতল) লেন্সটির বিবর্ধনের মান হল $= 20/92$ ।

মোট বিবর্ধনের মান $= 0.652$

প্রতিবিম্বটির উচ্চতা $= 0.98 \text{ cm}$

9.22 যদি প্রিজমটির দ্বিতীয় তলে প্রতিসৃত রশ্মিটি ' i_c ' সংকট কোণে আপতিত হয়, তবে প্রথম তলে প্রতিসৃত কোণটি (r) হল $(60^\circ - i_c)$ ।

এখন, $i_c = \sin^{-1} (1/1.524) \simeq 41^\circ$

তাই, $r = 19^\circ$

$\sin i = 0.4962$; $i \simeq 30^\circ$

9.23 একই ধরনের কাচ দিয়ে তৈরি দুইটি সদৃশ প্রিজম যাদের ভূমি পৃষ্ঠতল দুইটি পরস্পরের বিপরীতে এবং তলগুলো পরস্পরের সংস্পর্শে থাকে (অথবা সমান্তরাল), এই রকম একটি সংস্থা আপতিত সাদা আলোর বিচ্যুতি বা বিচ্ছুরণ কোনোটাই সংঘটিত করবে না, কেবলমাত্র রশ্মিগুচ্ছটির সমান্তরাল সরণ ঘটবে।

(a) বিচ্ছুরণহীন বিচ্যুতির ঘটানোর জন্যে ক্রাউন কাঁচের প্রিজমটিকে প্রথম এবং উপযুক্ত প্রতিসারক কোণ বিশিষ্ট ফ্লিন্ট কাঁচের প্রিজমটিকে দ্বিতীয় প্রিজম হিসেবে বেছে নাও (ক্রাউন কাঁচের প্রিজমের প্রতিসারক কোণ অপেক্ষা ছোটো, কারণ ফ্লিন্ট কাঁচের প্রিজম অধিক বিচ্ছুরণ ঘটায়) যাতে দ্বিতীয়টি দ্বারা প্রথমটির বিচ্ছুরণ নাকচ হয়।

(b) বিচ্যুতিহীন বিচ্ছুরণ ঘটানোর জন্য ফ্লিন্ট কাঁচের প্রিজমের কোণ বর্ধিত কর (অর্থাৎ, ফ্লিন্ট কাঁচের প্রিজমের কোণ ক্রমশ বাড়িয়ে চেষ্টা কর) যাতে দুটো প্রিজমের দরুন বিচ্যুতিগুলো সমান এবং

বিপরীত হয়। (ফ্লিন্ট কাঁচের প্রিজমের কোণ তখনও ক্রাউন কাঁচের প্রিজমের কোণ অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর থাকবে কারণ ক্রাউন কাঁচ অপেক্ষা ফ্লিন্ট কাঁচের প্রতিসরাঙ্ক বৃহত্তর হয়।) বহুসংখ্যক বর্ণের জন্য এরূপ সমন্বয় অন্তর্ভুক্ত হওয়ায় প্রয়োজনীয় অভীষ্ট সাধনে এগুলোকে যথাযথ সমন্বয় বুঝায় না।

- 9.24** অসীমের বস্তুকে দেখতে চোখ-এর ন্যূনতম অভিসারী ক্ষমতা = $(40+20)$ ডায়প্টার = 60 ডায়প্টার ব্যবহার করে। এটি রেটিনা এবং কর্ণিয়া-চক্ষু লেন্সের মধ্যে দূরত্বটি সম্পর্কে একটি মোটামুটি ধারণা দেয় : $(5/3)$ cm রেটিনায় ($v = 5/3$ cm), নিকট বিন্দুতে ($u = -25$ cm) একটি বস্তুকে ফোকাস করতে 64 ডায়প্টার অভিসারী ক্ষমতার একটি অনুরূপ ফোকাস দৈর্ঘ্য

$$\left[\frac{1}{25} + \frac{3}{5} \right]^{-1} = \frac{25}{16} \text{ cm}$$

হওয়া উচিত। চক্ষু-লেন্সটির ক্ষমতা তখন $(64 - 40)$ ডায়প্টার = 24 ডায়প্টার হয়। চক্ষু লেন্সটির উপযোজন পাল্লা মোটামুটিভাবে 20 থেকে 24 ডায়প্টার হবে।

- 9.25** না, কোনো ব্যক্তির চক্ষু লেন্সের স্বাভাবিক উপযোজন ক্ষমতা থাকলেও হ্রস্বদৃষ্টি বা দীর্ঘদৃষ্টি সম্পন্ন হতে পারে। অক্ষি গোলকটি সামনের থেকে পেছন পর্যন্ত অতি দীর্ঘায়িত হলেও হ্রস্বদৃষ্টি দেখা দিতে পারে; এটি অতি হ্রস্বায়িত হলে দীর্ঘদৃষ্টি দেখা দিতে পারে। বাস্তবে, অতিরিক্ত হিসেবে, চক্ষু লেন্সের উপযোজন ক্ষমতাও লোপ পেতে পারে। অক্ষি গোলকের দৈর্ঘ্য যখন স্বাভাবিক কিন্তু চক্ষু লেন্সের উপযোজন ক্ষমতা আংশিক লোপ পায় (বয়ঃবৃদ্ধির জন্য কোনো স্বাভাবিক চোখে ঘটে থাকে) তখনকার ত্রুটিকে ক্ষীণদৃষ্টি / চালশে বা প্রেসবায়োপিয়া বলে এবং দীর্ঘদৃষ্টির মতো একই উপায়ে এর সংশোধন করা যায়।

- 9.26** ব্যক্তিটির দূরবিন্দু 100 cm, যদিও তার নিকট বিন্দু স্বাভাবিক দূরত্বে থাকতে পারে (প্রায় 25 cm)। অসীমে অবস্থিত বস্তু 100 cm দূরে (চশমা ব্যবহার করে) অসদৃশ গঠন করে। কাছের বস্তু সমূহ, অর্থাৎ যেগুলোর অবস্থান (অথবা চশমা ব্যবহার করে যেগুলোর প্রতিবিশ্ব হয়েছে) 100 cm এবং 25 cm-এর মধ্যে, সেগুলো দেখতে, ব্যক্তিটি তার চক্ষু লেন্সের উপযোজন ক্ষমতাকে ব্যবহার করে। বৃদ্ধ বয়সে (প্রেসবায়োপিয়া) এই ক্ষমতা সাধারণতঃ আংশিক লোপ পায়। ব্যক্তিটির নিকট বিন্দু 50 cm-এ সরে যায়। 25 cm অবস্থানের বস্তুকে স্পষ্ট দেখতে ব্যক্তির +2 ডায়প্টার ক্ষমতার অভিসারী লেন্স প্রয়োজন।

- 9.27** ত্রুটিটি উৎপত্তির কারণ হল কর্ণিয়ার বক্রতা এবং চক্ষু লেন্স যুগ্ম প্রতিসারক সংস্থাটি বিভিন্ন তলে একই/সমান থাকে না। [চক্ষু লেন্সটি সাধারণত গোলায় হয় অর্থাৎ বক্রতা বিভিন্ন তলে একই থাকে কিন্তু বিষমদৃষ্টি (astigmatic) সম্পন্ন চোখে কর্ণিয়াটি গোলায় নয়।] আলোচ্য ক্ষেত্রে, উল্লম্ব তলটি যথেষ্ট বক্রতাবিশিষ্ট, এজন্য রেটিনায় উল্লম্ব রেখাগুলোর স্পষ্ট প্রতিবিশ্ব গঠিত হতে পারে। কিন্তু অনুভূমিক তলে বক্রতাটি যথেষ্ট নয় এজন্য অনুভূমিক রেখাগুলো অস্পষ্ট দেখায়। অক্ষকে উল্লম্ব বরাবর রেখে একটি চোঙাকার লেন্স ব্যবহার করে ত্রুটিটি সংশোধন করা যেতে পারে। স্পষ্টতঃ উল্লম্ব তলে সমান্তরাল রশ্মিগুলোর অতিরিক্ত প্রতিসরণ হবে না, যদিও চোঙাকার পৃষ্ঠের বক্রতা উপযুক্তভাবে নেওয়া হলে চোঙাকার লেন্সের বক্রপৃষ্ঠতলে প্রতিসরণের দ্রুণ অনুভূমিক তলগুলোতে রশ্মিগুলোর প্রয়োজনীয় অতিরিক্ত অভিসরণ ঘটে।

- 9.28** (a) নিকটস্থ দূরত্ব = $4 \frac{1}{6}$ cm ≈ 4.2 cm

সর্বাধিক দূরবর্তী দূরত্ব = 5 cm

- (b) সর্বোচ্চ কৌণিক বিবর্ধন = $[25/(25/6)] = 6$ ।

সর্বনিম্ন কৌণিক বিবর্ধন = $(25/5) = 5$

- 9.29** (a) $\frac{1}{v} + \frac{1}{9} = \frac{1}{10}$

অর্থাৎ, $v = -90 \text{ cm}$,

বিবর্ধনের মান $= 90/9 = 10$.

অসদ্বিশ্বের প্রত্যেকটি বর্গক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল $10 \times 10 \times 1 \text{ mm}^2 = 100 \text{ mm}^2 = 1 \text{ cm}^2$

(b) বিবর্ধন ক্ষমতা $= 25/9 = 2.8$

(c) না, কোনো আলোকীয় যন্ত্রের লেন্স দ্বারা একটি প্রতিবিশ্বের বিবর্ধন এবং কৌণিক বিবর্ধন (অথবা বিবর্ধন ক্ষমতা) দুটি আলাদা বিষয়। কৌণিক বিবর্ধন হল বস্তুর কৌণিক আকার (যা প্রতিবিশ্বের কৌণিক আকারের সমান, এমনকি যদি প্রতিবিশ্ব বিবর্ধিতও হয়) এবং নিকট বিন্দুতে (25 cm) রাখা বস্তুর কৌণিক আকারের অনুপাত। অতএব, বিবর্ধনের মান হবে $|(v/u)|$ এবং বিবর্ধন ক্ষমতা হবে $(25/|u|)$ । যখন প্রতিবিশ্বটি নিকট বিন্দু $|v| = 25 \text{ cm}$ -এ অবস্থিত হয় তখন রাশি দুটির মান সমান হবে।

9.30 (a) প্রতিবিশ্বটি নিকট বিন্দুতে (25 cm) অবস্থিত হলে বিবর্ধন ক্ষমতা সর্বোচ্চ হয়।

$u = -7.14 \text{ cm}$.

(b) বিবর্ধনের মান $= (25/|u|) = 3.5$.

(c) বিবর্ধন ক্ষমতা $= 3.5$

হ্যাঁ, বিবর্ধন ক্ষমতা (যখন প্রতিবিশ্বটি 25 cm-এ গঠিত হয়) বিবর্ধনের মানের সমান।

9.31 বিবর্ধন $= \sqrt{(6.25/1)} = 2.5$

$v = +2.5u$

$$+\frac{1}{2.5u} - \frac{1}{u} = \frac{1}{10}$$

অর্থাৎ, $u = -6 \text{ cm}$

$|v| = 15 \text{ cm}$

অসদ্বিশ্বের প্রতিবিশ্বটি স্বাভাবিক নিকট বিন্দু (25 cm)-র চেয়েও নিকটে গঠিত হয় এবং স্পষ্টভাবে দেখা যাবে না।

9.32 (a) এমনকি, যদি প্রতিবিশ্বের পরম আকার বস্তুর আকারের চেয়ে বড়ো হয়, প্রতিবিশ্বের কৌণিক আকার বস্তুর কৌণিক আকারের সমান হবে। বিবর্ধক নিম্নলিখিতভাবে কাজ করে — এটি ছাড়া বস্তুকে 25 cm-এর চেয়ে কাছে রাখা যায় না। এর সাহায্যে বস্তুকে অধিকতর নিকটে রাখা যায়। 25 cm-এ রাখা বস্তুর চেয়ে অধিকতর নিকটে রাখা বস্তুর কৌণিক আকার বৃহত্তর হবে। এই অর্থে কৌণিক বিবর্ধন সৃষ্টি হয়।

(b) হ্যাঁ, এটি একটু কমে যায়, কারণ চোখে উৎপন্ন কোণটি লেন্সে উৎপন্ন কোণ অপেক্ষা কিছুটা কম হয়। যদি প্রতিবিশ্ব অনেক দূরে গঠিত এর প্রভাব নগণ্য হবে। (দ্রষ্টব্য : চোখকে লেন্স থেকে কিছুটা ব্যবধানে রাখলে প্রথম বস্তু দ্বারা এবং ওর প্রতিবিশ্ব দ্বারা চোখে উৎপন্ন কোণ সমান হবে না।)

(c) প্রথমে, ঘষে পালিশ করে ক্ষুদ্র ফোকাস দৈর্ঘ্যের লেন্স তৈরি করা সহজ নয়। গুরুত্বপূর্ণ বিষয় হলো, যদি তুমি ফোকাস দৈর্ঘ্য হ্রাস করো, বর্ণাপেরণ এবং গোলাপেরণ উভয়েই প্রকটভাবে পরিলক্ষিত হয়। তাই বাস্তবে তুমি 3 বা ততোধিক বিবর্ধন ক্ষমতা যুক্ত সাধারণ উত্তল লেন্স পাবে না। বর্ণাপেরণ সংশোধক লেন্স ব্যবস্থা ব্যবহার করে বিবর্ধন ক্ষমতার এই সীমা 10 গুণ বা এর কাছাকাছি বৃদ্ধি করা যায়।

(d) যদি f_c ক্ষুদ্রতর হয় তবে অভিনেত্রের কৌণিক বিবর্ধন $[(25/f_c) + 1]$ (f_c সেমিতে) বৃদ্ধি

পায়। অধিকন্তু, অভিলক্ষ্যের বিবর্ধন $\frac{v_o}{|u_o|} = \frac{1}{(|u_o|/f_o) - 1}$ বৃহৎ মানের হবে যখন

$|u_o|, f_o$ অপেক্ষা সামান্য বড়ো হবে। অণুবীক্ষণ যন্ত্র খুব কাছের বস্তুকে দেখার জন্য ব্যবহৃত হয়। সুতরাং, $|u_o|$ এবং f_o ছোটো মানের হবে।

- (e) অভিনেত্রী গঠিত অভিলক্ষের প্রতিবিম্বকে অক্ষি বলয় (eye-ring) বলে। বস্তু থেকে আগত সকল রশ্মি অভিলক্ষ দ্বারা প্রতিসৃত হয়ে অক্ষি বলয়ের ভেতর দিয়ে যায়। অতএব এটি হচ্ছে দেখার জন্য আমাদের চোখের আদর্শ অবস্থান। যদি আমরা আমাদের চোখকে অভিনেত্রীর খুব কাছে রাখি, আমরা যথেষ্ট পরিমাণ আলো পাব না এবং আমাদের দৃষ্টিক্ষেত্রও হ্রাস পাবে। যদি আমরা আমাদের চোখকে অভিনেত্রী রাখি এবং আমাদের চোখের তারারস্ত্রের আকার অক্ষি বলয়ের আকারের বড়ো বা সমান হয় তবে অভিলক্ষ দ্বারা প্রতিসৃত সমস্ত রশ্মিগুলো আমাদের চোখে পৌঁছাবে। স্বাভাবিকভাবে অভিলক্ষ এবং অভিনেত্রীর ব্যবধানের উপর অক্ষিবলয়ের যথাযথ অবস্থান নির্ভর করে। মাইক্রোস্কোপের মধ্য দিয়ে স্পর্শভাবে দেখতে হলে চোখ এবং অভিনেত্রীর মধ্যে যে আদর্শ ব্যবধান বজায় রাখতে হবে তা সাধারণত যন্ত্রটির নকশায় অন্তর্নির্মিত থাকে।

- 9.33** ধরে নাও, মাইক্রোস্কোপটি সাধারণভাবে ব্যবহৃত হচ্ছে অর্থাৎ প্রতিবিম্ব 25 cm দূরে। অভিনেত্রীর কৌণিক বিবর্ধন

$$= \frac{25}{5} + 1 = 6$$

অভিলক্ষের বিবর্ধন

$$= \frac{30}{6} = 5$$

$$\frac{1}{5u_o} - \frac{1}{u_o} = \frac{1}{1.25}$$

সুতরাং, আমরা পাই $u_o = -1.5$ cm; $v_o = 7.5$ cm. $|u_e| = (25/6)$ cm = 4.17 cm।
অভিলক্ষ এবং অভিনেত্রীর মধ্যবর্তী ব্যবধান হতে হবে (7.5 + 4.17) cm = 11.67 cm।
কাঙ্ক্ষিত বিবর্ধন পাওয়ার জন্য বস্তুকে অভিলক্ষ থেকে 1.5 cm দূরে রাখতে হবে।

- 9.34** (a) $m = (f_o/f_e) = 28$

$$(b) m = \frac{f_o}{f_e} \left[1 + \frac{f_o}{25} \right] = 33.6$$

- 9.35** (a) $f_o + f_e = 145$ cm

- (b) টাওয়ার দ্বারা উৎপন্ন কোণ = $(100/3000) = (1/30)$ rad.

অভিলক্ষ সৃষ্ট প্রতিবিম্বের দ্বারা উৎপন্ন কোণ

$$= \frac{h}{f_o} = \frac{h}{140}$$

দুটিকে তুলনা করে পাই, $h = 4.7$ cm.

- (c) অভিনেত্রীর বিবর্ধন (মান) = 6। চূড়ান্ত প্রতিবিম্বের উচ্চতা (মান) = 28 cm।

- 9.36** বৃহত্তর দর্পণ (অবতল) দ্বারা সৃষ্ট প্রতিবিম্ব, ক্ষুদ্রতর দর্পণ (উত্তল)-এর জন্য অসদ্বস্তুরূপে কাজ করে। অসীম দূরত্বে অবস্থিত বস্তু থেকে আগত সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ বৃহত্তর দর্পণ থেকে 110 mm দূরে কেন্দ্রীভূত হয়। ক্ষুদ্রতর দর্পণের ক্ষেত্রে অসদ্বস্তুর দূরত্ব = $(110 - 20) = 90$ mm। ক্ষুদ্রতর দর্পণের ফোকাস দৈর্ঘ্য 70 mm। দর্পণ সূত্র ব্যবহার করে আমরা পাই, ক্ষুদ্রতর দর্পণ থেকে 315 mm দূরত্বে প্রতিবিম্ব সৃষ্টি হয়।

- 9.37** প্রতিফলিত রশ্মিগুচ্ছ দর্পণের আবর্তন কোণ দ্বিগুণ কোণে বিক্ষেপিত হয়।
অতএব, $d/1.5 = \tan 7^\circ$ । অর্থাৎ, $d = 18.4 \text{ cm}$.
- 9.38** $n = 1.33$

অধ্যায় 10

- 10.1** (a) প্রতিফলিত আলো : (তরঙ্গদৈর্ঘ্য, কম্পাঙ্ক, দ্রুতি আপতিত আলোর সমান)।
 $\lambda = 589 \text{ nm}$, $v = 5.09 \times 10^{14} \text{ Hz}$, $c = 3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$
- (b) প্রতিসৃত আলো; (কম্পাঙ্ক আপতিত কম্পাঙ্কের সমান)
 $v = 5.09 \times 10^{14} \text{ Hz}$
 $v = (c/n) = 2.26 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$, $\lambda = (v/v) = 444 \text{ nm}$
- 10.2** (a) গোলীয়
(b) সমতল
(c) সমতল (একটি বৃহৎ গোলকের পৃষ্ঠতলের উপর একটি ক্ষুদ্র অঞ্চল প্রায় সমতল)।
- 10.3** (a) $2.0 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$
(b) না। প্রতিসরাঙ্ক এবং কোনো একটি মাধ্যমে আলোর দ্রুতি তরঙ্গদৈর্ঘ্যের উপর নির্ভর করে। (যখন কোনো সুনির্দিষ্ট তরঙ্গদৈর্ঘ্য বা আলোর বর্ণের উল্লেখ থাকবে না, তখন আমরা প্রদত্ত প্রতিসরাঙ্কে হলুদ বর্ণের ধরে নেব।) আমরা জানি যে, একটি কাঁচের প্রিজমে লাল বর্ণের তুলনায় বেগুনি বর্ণ অধিক বিচ্যুত হয় অর্থাৎ $n_v > n_r$ । সুতরাং সাদা আলোর লাল উপাংশের তুলনায় বেগুনি উপাংশটি ধীরগতি সম্পন্ন হয়।
- 10.4** $\lambda = \frac{1.2 \times 10^2 \times 0.28 \times 10^3}{4 \times 1.4} \text{ m} = 600 \text{ nm}$
- 10.5** $K/4$
- 10.6** (a) 1.17 mm (b) 1.56 mm
- 10.7** 0.15°
- 10.8** $\tan^{-1}(1.5) \simeq 56.3^\circ$
- 10.9** 5000 \AA , $6 \times 10^{14} \text{ Hz}$; 45°
- 10.10** 40 m
- 10.11** $\lambda' - \lambda = \frac{v}{c} \lambda$ সূত্রটি ব্যবহার কর।
অর্থাৎ, $v = \frac{c}{\lambda} (\lambda' - \lambda) = \frac{3 \times 10^8 \times 15}{6563} = 6.86 \times 10^5 \text{ m s}^{-1}$
- 10.12** প্রতিসরণের কণিকা চিত্রে, লঘুতর মাধ্যম থেকে ঘনতর মাধ্যমে আপতিত আলোর কণাসমূহ মাধ্যমদ্বয়ের বিভেদ তলের অভিলম্বভাবে একটি আকর্ষণ বল অনুভব করে। ফলে বেগের অভিলম্ব উপাংশ বৃদ্ধি পায়। কিন্তু তল বরাবর উপাংশটি অপরিবর্তিত থাকে। অর্থাৎ
 $c \sin i = v \sin r$ অথবা, $\frac{v}{c} = \frac{\sin i}{\sin r} = n$ যেহেতু $n > 1$, $v < c$ ।
এই ফলাফলটি পরীক্ষালব্ধ ফলাফল ($v < c$)-এর বিপরীত। আলোর তরঙ্গচিত্রটি পরীক্ষালব্ধ ফলাফলের সঙ্গে সঙ্গতিপূর্ণ।

- 10.13** দর্পণকে স্পর্শ করে একটি বৃত্ত অঙ্কন কর যার কেন্দ্রে একটি বিন্দু সদৃশ বস্তু রয়েছে। এটি হল বস্তু থেকে নির্গত গোলায় তরঙ্গ মুখের একটি সমতল ছেদ যা সেই মুহূর্তে দর্পণ স্পর্শ করেছে। পরবর্তীতে দর্পণের উপস্থিতিতে এবং অনুপস্থিতিতে t সময় পরে একই তরঙ্গমুখের একটি অবস্থান অঙ্কন কর। তুমি দর্পণের উভয় দিকেই প্রতিসমভাবে অবস্থিত দুটি বৃত্তচাপ পাবে। সরল জ্যামিতিক প্রয়োগে পাই, দর্পণ থেকে প্রতিফলিত তরঙ্গমুখের কেন্দ্রের (বস্তুর প্রতিবিম্ব) দূরত্ব, দর্পণ থেকে বস্তুর দূরত্বের সমান হয়।
- 10.14** (a) শূন্য মাধ্যমে আলোর দ্রুতি একটি সার্বজনীন ধ্রুবক যা তালিকাভুক্ত সকল বিষয় বা অন্য যে-কোনো বিষয় থেকে স্বতন্ত্র। এখানে অবাক করার মতো বিষয় এই যে, এটি উৎস এবং পর্যবেক্ষকের মধ্যকার আপেক্ষিক গতির উপরে নির্ভর করে না। এই ঘটনাটি আইনস্টাইনের বিশেষ আপেক্ষিকতাবাদের (special theory of relativity) একটি মৌলিক স্বতঃসিদ্ধ।
- (b) কোনো মাধ্যমে আলোর দ্রুতির নির্ভরশীলতা :
- (i) উৎসের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে না (বিস্তার মাধ্যমের বৈশিষ্ট্যের দ্বারা তরঙ্গের দ্রুতি নির্ধারিত হয়। এটি অন্যান্য তরঙ্গ যেমন শব্দতরঙ্গ, জলতরঙ্গ ইত্যাদির ক্ষেত্রেও সত্য।
- (ii) আইসোট্রপিক মাধ্যমের ক্ষেত্রে তরঙ্গের অগ্রগতির অভিমুখের উপর নির্ভর করে না।
- (iii) মাধ্যমের সাপেক্ষে উৎসের গতির উপর নির্ভর করে না কিন্তু মাধ্যমের সাপেক্ষে পর্যবেক্ষকের গতির উপর নির্ভর করে।
- (iv) তরঙ্গদৈর্ঘ্যের উপর নির্ভর করে।
- (v) প্রাবল্যের উপর নির্ভর করে না। (যদিও উচ্চ প্রাবল্যের রশ্মিগুচ্ছের ক্ষেত্রে, অবস্থাটি অধিকতর জটিল এবং এক্ষেত্রে এটি নিয়ে আমাদের ভাববার প্রয়োজন নেই।)
- 10.15** শব্দতরঙ্গ বিস্তারের জন্য একটি মাধ্যমের প্রয়োজন। যদিও (i) এবং (ii) নং পরিস্থিতি উৎস এবং পর্যবেক্ষকের মধ্যে একই আপেক্ষিক গতি নির্দেশ করে, প্রকৃতিগতভাবে এরা একরকম নয়, যেহেতু মাধ্যমের সাপেক্ষে পর্যবেক্ষকের গতি দুটি পরিস্থিতিতে ভিন্ন। অতএব (i) এবং (ii)-এর ক্ষেত্রে শব্দের উপলার সূত্র একইরকম হবে বলে আমরা আশা করতে পারি না। শূন্য মাধ্যমে আলোক তরঙ্গের জন্য (i) এবং (ii)-এর মধ্যে সুস্পষ্টভাবে পৃথক করা যাবে না। এখানে কেবলমাত্র উৎস এবং পর্যবেক্ষকের মধ্যে আপেক্ষিক গতি পরিমাপ করা যায় এবং (i) ও (ii)-এর জন্য 'আপেক্ষিক উপলার সূত্র' একইরকম হবে। কোনো মাধ্যমে আলোর বিস্তারের ক্ষেত্রে আবারও শব্দতরঙ্গের বিস্তারের মতোই। পরিস্থিতি দুটো একই রকম নয় এবং আমরা আশা করতে পারি যে, (i) এবং (ii) এই দুটো পরিস্থিতিতে উপলার সূত্রগুলো পৃথক হবে।
- 10.16** 3.4×10^{-4} m.
- 10.17** (a) আকার $\sim \lambda/d$ এই সম্পর্ক অনুযায়ী পটির আকার অর্ধেক হ্রাস পায়। প্রাবল্য চারগুণ বৃদ্ধি পায়।
- (b) দ্বিরেখাছিদ্র পরীক্ষায় ব্যতিচার বালরের প্রাবল্য প্রতিটি রেখাছিদ্রের অপবর্তন সজ্জা দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়।
- (c) বৃত্তাকার বাধার প্রান্ত থেকে অপবর্তিত তরঙ্গ গঠনমূলকভাবে ব্যতিচার ঘটিয়ে ছায়ার কেন্দ্রীয় অঞ্চলে একটি উজ্জ্বল আলোক বিন্দু সৃষ্টি করে।
- (d) বাধা বা ছিদ্রের দ্বারা বৃহৎ কোণে কোনো তরঙ্গের অপবর্তন ঘটা বা বাঁক নেওয়ার জন্য ছিদ্রটির আকার তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সমতুল্য হতে হবে। যদি বাধা বা ছিদ্রের আকার তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তুলনায় খুব বড়ো হয়, ক্ষুদ্র কোণে আলোর অপবর্তন ঘটে। এক্ষেত্রে আকার কয়েক মিটারের ক্রমে থাকে। আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য প্রায় 5×10^{-7} m। যেখানে 1 kHz কম্পাঙ্কের শব্দতরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য প্রায় 0.3m। অতএব শব্দতরঙ্গ বাধার চারপাশে বাঁক নিয়ে পারে, কিন্তু আলোক তরঙ্গ পারে না।
- (e) এর যথার্থতা নির্ভর করে (d)-এ দেওয়া ব্যাখ্যার উপর। সাধারণ আলোকীয় যন্ত্রাদিতে ব্যবহৃত ছিদ্রের বিশেষ আকার আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের চেয়ে অনেক বড়ো।
- 10.18** 12.5 cm.

10.19 0.2 nm.

- 10.20 (a) অ্যান্টেনার দ্বারা সরাসরি গৃহিত সংকেত এবং বিমান দ্বারা প্রতিফলিত সংকেত (দুর্বল)-এর ব্যতিচার ঘটে।
 (b) উপরিপাতনের নীতিটি, তরঙ্গগতি প্রকাশক (অবকল) সমীকরণের রৈখিক প্রকৃতিকে অনুসরণ করে। যদি y_1 এবং y_2 তরঙ্গ সমীকরণের দুটি সমাধান হয়, তাহলে y_1 এবং y_2 -এর রৈখিক সমবায় (linear combination)ও এই সমীকরণের সমাধান প্রকাশ করবে। যখন বিস্তার বৃহৎমানের (উদাহরণস্বরূপ, উচ্চ প্রাবল্যের LASER রশ্মি গুচ্ছ) এবং অরৈখিক প্রভাবগুলো গুরুত্বপূর্ণ তখন পরিস্থিতি যথেষ্ট জটিল হয় এবং এই বিষয়টি আমাদের ভাববার প্রয়োজন নেই।
- 10.21 একটি একক রেখাছিদ্রকে $a' = a/n$ বেধযুক্ত n সংখ্যক ক্ষুদ্রতর রেখাছিদ্রে বিভক্ত কর। কোণ $\theta = n\lambda/a = \lambda/a'$ । প্রতিটি রেখাছিদ্র θ অভিমুখে শূন্য প্রাবল্যের আলো প্রেরণ করে। অনুরূপে, সমবায়টির ক্ষেত্রেও আলোর প্রাবল্য শূন্য হয়।

অধ্যায় 11

- 11.1 (a) 7.24×10^{18} Hz (b) 0.041 nm
- 11.2 (a) $0.34 \text{ eV} = 0.54 \times 10^{-19} \text{ J}$ (b) 0.34 V (c) 344 km/s
- 11.3 $1.5 \text{ eV} = 2.4 \times 10^{-19} \text{ J}$
- 11.4 (a) $3.14 \times 10^{-19} \text{ J}$, $1.05 \times 10^{-27} \text{ kg m/s}$ (b) 3×10^{16} ফোটন/s
 (c) 0.63 m/s
- 11.5 4×10^{21} ফোটন/m² s
- 11.6 $6.59 \times 10^{-34} \text{ Js}$
- 11.7 (a) $3.38 \times 10^{-19} \text{ J} = 2.11 \text{ eV}$ (b) 3.0×10^{20} ফোটন/s
- 11.8 2.0 V
- 11.9 না, কারণ $v < v_0$
- 11.10 $4.73 \times 10^{14} \text{ Hz}$
- 11.11 $2.16 \text{ eV} = 3.46 \times 10^{-19} \text{ J}$
- 11.12 (a) $4.04 \times 10^{-24} \text{ kg m s}^{-1}$ (b) 0.164 nm
- 11.13 (a) $5.92 \times 10^{-24} \text{ kg m s}^{-1}$ (b) $6.50 \times 10^6 \text{ m s}^{-1}$ (c) 0.112 nm
- 11.14 (a) $6.95 \times 10^{-25} \text{ J} = 4.34 \text{ } \mu\text{eV}$ (b) $3.78 \times 10^{-28} \text{ J} = 0.236 \text{ neV}$
- 11.15 (a) $1.7 \times 10^{-35} \text{ m}$ (b) $1.1 \times 10^{-32} \text{ m}$ (c) $3.0 \times 10^{-23} \text{ m}$
- 11.16 (a) $6.63 \times 10^{-25} \text{ kg m/s}$ (উভয়ের জন্য) (b) 1.24 keV (c) 1.51 eV
- 11.17 (a) $6.686 \times 10^{-21} \text{ J} = 4.174 \times 10^{-2} \text{ eV}$ (b) 0.145 nm
- 11.18 $\lambda = h/p = h/(hv/c) = c/v$
- 11.19 0.028 nm
- 11.20 (a) $eV = (m v^2/2)$ প্রয়োগ করে। অর্থাৎ, $v = [(2eV/m)]^{1/2}$; $v = 1.33 \times 10^7 \text{ m s}^{-1}$.
 (b) আমরা একই সূত্রে $V = 10^7 \text{ V}$ বসিয়ে পাই $v = 1.88 \times 10^9 \text{ m s}^{-1}$ । স্পষ্টতই এটি ভুল, যেহেতু কোনো কিছুই আলোর দ্রুতির ($c = 3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$) চেয়ে বেশি দ্রুতিতে চলতে পারে না। প্রকৃতপক্ষে, গতিশক্তির ($m v^2/2$) জন্য উপরোক্ত সূত্রটি কেবলমাত্র $(v/c) \ll 1$ -এর জন্য বৈধ। উচ্চ দ্রুতিতে যখন (v/c) 1 এর সমতুল্য (যদি সর্বদা 1 অপেক্ষা কম), তখন আমরা আপেক্ষিকতাবাদের প্রয়োগ ক্ষেত্রে এসে পড়ি যেখানে নিম্নলিখিত সূত্রগুলো প্রযোজ্য:
 আপেক্ষিকীয় ভরবেগ (Relativistic momentum) $p = m v$
 মোট শক্তি $E = m c^2$

$$\text{গতিশক্তি } K = m c^2 - m_0 c^2,$$

$$\text{যেখানে আপেক্ষিকীয় ভর (relativistic mass) } m = m_0 \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{-1/2}$$

m_0 হল কণার স্থির ভর (rest mass)। এই সম্পর্কগুলো থেকে লেখা যায় :

$$E = (p^2 c^2 + m_0^2 c^4)^{1/2}$$

লক্ষ করে দেখো, আপেক্ষিকতাবাদের প্রয়োগ ক্ষেত্রে (relativistic domain) যখন v/c , 1-এর সমতুল্য, K অথবা শক্তি $\geq m_0 c^2$ (স্থির ভর শক্তি)। ইলেকট্রনের স্থির ভর শক্তি প্রায় 0.51 MeV। অতএব 10 MeV গতিশক্তি, ইলেকট্রনের স্থির ভর শক্তি অপেক্ষা অনেক বেশি হওয়ায় তা আপেক্ষিকতা সূত্রাবলি প্রয়োগ করে পাই, v (10 MeV গতিশক্তির জন্য) = $0.999 c$ ।

11.21 (a) 22.7 cm

(b) না। যেরূপ উপরে ব্যাখ্যা করা হয়েছে, 20 MeV শক্তিবিশিষ্ট ইলেকট্রন আপেক্ষিকীয় দ্রুতিতে গতিশীল। এর ফলে অনাপেক্ষিকীয় সূত্র $R = (m_0 v / e B)$ প্রযোজ্য নয়। আপেক্ষিকীয় সূত্র হল

$$R = p / eB = mv / eB \quad \text{or} \quad R = m_0 v / \left(eB \sqrt{1 - v^2 / c^2} \right)$$

11.22 আমরা জানি $e V = (m v^2 / 2)$ এবং $R = (m v / e B)$ যা থেকে আমরা পাই $(e/m) = (2V/R^2 B^2)$; প্রদত্ত তথ্যগুলো ব্যবহার করে পাই $(e/m) = 1.73 \times 10^{11} \text{ C kg}^{-1}$ ।

11.23 (a) 27.6 keV (b) 30 kV-এর ক্রমে

11.24 $\lambda = (hc/E)$ সমীকরণে $E = 5.1 \times 1.602 \times 10^{-10} \text{ J}$ বসিয়ে পাই $\lambda = 2.43 \times 10^{-16} \text{ m}$ ।

11.25 (a) $\lambda = 500 \text{ m}$ হলে $E = (h c / \lambda) = 3.98 \times 10^{-28} \text{ J}$ হয় প্রতি সেকেন্ডে নিঃসৃত ফোটন কণার সংখ্যা = $10^4 \text{ J s}^{-1} / 3.98 \times 10^{-28} \text{ J} \simeq 3 \times 10^{31} \text{ s}^{-1}$

আমরা দেখি যে, বিকীর্ণ ফোটনের শক্তি অত্যন্ত ক্ষুদ্র এবং বিকীর্ণ রশ্মিগুচ্ছে প্রতি সেকেন্ডে বিপুল সংখ্যক ফোটন নিঃসৃত হয়। অতএব, ন্যূনতম শক্তি কোয়ান্টাম (ফোটন)-এর অস্তিত্ব অগ্রাহ্য করলে এবং একটি বেতার তরঙ্গের মোট শক্তিকে নিরবচ্ছিন্ন বলে ধরে নিলে সংশ্লিষ্ট ত্রুটি নগণ্য হয়।

(b) $v = 6 \times 10^{14} \text{ Hz}$ -এর জন্য $E \simeq 4 \times 10^{-19} \text{ J}$ । ন্যূনতম প্রাবল্যের সঙ্গে সংশ্লিষ্ট ফোটন ফ্লাক্স = $10^{-10} \text{ W m}^{-2} / 4 \times 10^{-19} \text{ J} = 2.5 \times 10^8 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$

প্রতি সেকেন্ডে তারারশ্রে প্রবেশকারী ফোটনের সংখ্যা = $2.5 \times 10^8 \times 0.4 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1} = 10^4 \text{ s}^{-1}$ । যদিও এই সংখ্যাটি উপরে (a) তে দেওয়া সংখ্যার মতো বৃহৎ নয় তবুও পৃথকভাবে ফোটনগুলোকে আমাদের চোখ দ্বারা অনুভব বা গণনা করার পক্ষে যথেষ্ট বড়ো নয়।

11.26 $\phi_0 = h \nu - e V_0 = 6.7 \times 10^{-19} \text{ J} = 4.2 \text{ eV}$; $\nu_0 = \frac{\phi_0}{h} = 1.0 \times 10^{15} \text{ Hz}$; $\lambda = 6328 \text{ \AA}$

এই মান $\nu = 4.7 \times 10^{14} \text{ Hz} < \nu_0$ -এর সঙ্গে সঙ্গতিপূর্ণ লেসার রশ্মির প্রাবল্য যতই উচ্চমানের হোক, আলোকীয় কোশ তাতে কোনো সাড়া দেবে না।

11.27 উভয় উৎসের ক্ষেত্রে $e V_0 = h \nu - \phi_0$ ব্যবহার কর। প্রথম উৎস থেকে প্রাপ্ত তথ্য থেকে পাই, $\phi_0 = 1.40 \text{ eV}$ । এই মান ব্যবহার করে দ্বিতীয় উৎসের জন্য আমরা পাই $V_0 = 1.50 \text{ V}$ ।

11.28 V_0 বনাম ν লেখচিত্র অঙ্কন কর। লেখচিত্রের নতি (h/e) এবং এটি ν -অক্ষকে V_0 তে ছেদ করে। প্রথম চারটি বিন্দু প্রায় একই সরলরেখায় অবস্থিত যা ν -অক্ষকে $\nu_0 = 5.0 \times 10^{14} \text{ Hz}$ (সূচনা কম্পাঙ্ক) বিন্দুতে ছেদ করে। পঞ্চম বিন্দুটি যেখানে $\nu < \nu_0$, সেখানে কোনো আলোক-তড়িৎ নিঃসরণ হবে না এবং তাই তড়িৎপ্রবাহ বন্ধ করার জন্য কোনো নিবৃত্তি বিভবের প্রয়োজন হবে না।

লেখটির নতি হবে $4.15 \times 10^{-15} \text{ V s}$. $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ ব্যবহার করে পাই $h = 6.64 \times 10^{-34} \text{ J s}$ (h -এর প্রমাণ মান $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}$), $\phi_0 = h \nu_0 = 2.11 \text{ V}$ ।

11.29 দেখা যায় যে, প্রদত্ত আপতিত রশ্মির কম্পাঙ্ক ν , ν_0 (Na) এবং ν_0 (K)-এর চেয়ে বৃহত্তর। কিন্তু ν_0 (Mo) এবং ν_0 (Ni)-এর চেয়ে ছোটো। অতএব, Mo এবং Ni থেকে আলোক তড়িৎ নিঃসরণ ঘটেবে না। যদি লেজার রশ্মিকে অধিকতর নিকটে আনা হয়, তবে বিকিরণের প্রাবল্য বৃদ্ধি পায়, কিন্তু Mo এবং Ni-এর ক্ষেত্রে এর কোনো প্রভাব পড়ে না। যদিও Na এবং K থেকে নির্গত আলোক তড়িৎপ্রবাহ প্রাবল্যের সঙ্গে আনুপাতিক হারে বৃদ্ধি পাবে।

11.30 প্রতি পরমাণুতে একটি পরিবাহী ইলেকট্রন কল্পনা করো। কার্যকরী পারমাণবিক ক্ষেত্র $\sim 10^{-20} \text{ m}^2$

$$\text{পাঁচটি স্তরে ইলেকট্রনের সংখ্যা} = \frac{5 \times 2 \times 10^{-4} \text{ m}^2}{10^{-20} \text{ m}^2} = 10^{17}$$

$$\text{আপতিত আলোর ক্ষমতা} = 10^{-5} \text{ W m}^{-2} \times 2 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 2 \times 10^{-9} \text{ W}$$

তরঙ্গাচিত্রে, আপতিত আলোর ক্ষমতা সকল ইলেকট্রন দ্বারা নিরবচ্ছিন্নভাবে সমপরিমাণে শোষিত হয়। এর ফলে প্রতি সেকেন্ডে প্রতি ইলেকট্রন দ্বারা শোষিত শক্তি

$$= 2 \times 10^{-9} / 10^{17} = 2 \times 10^{-26} \text{ W}$$

আলোক তড়িৎ নিঃসরণের জন্য প্রয়োজনীয় সময়

$$= 2 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J} / 2 \times 10^{-26} \text{ W} = 1.6 \times 10^7 \text{ s}$$

যা প্রায় 0.5 বছর।

তৎপর্য: পরীক্ষামূলকভাবে আলোক তড়িৎ নিঃসরণ ক্রিয়া তাৎক্ষণিকভাবে ($\sim 10^{-9} \text{ s}$) দেখা যায়। অতএব তরঙ্গাচিত্রটি মোটের উপর পরীক্ষালব্ধ ফলাফলের সঙ্গে সঙ্গতিপূর্ণ নয়। ফোটন চিত্রে, উপরিতলের ইলেকট্রনগুলো বিকীর্ণ শক্তি নিরবচ্ছিন্নভাবে সমপরিমাণে ভাগ করে নেয় না। বরং, শক্তি বিচ্ছিন্ন 'কোয়ান্টা'র আকারে বেরিয়ে আসে এবং ক্রমান্বয়ে শক্তির শোষণ ঘটে না। একটি ফোটন একটি ইলেকট্রন দ্বারা তাৎক্ষণিকভাবে শোষিত হয় বা শোষিত হয় না।

11.31 $\lambda = 1 \text{ \AA}$ -এর ক্ষেত্রে ইলেকট্রনের শক্তি = 150 eV। ফোটনের শক্তি = 12.4 keV। অতএব, একই তরঙ্গদৈর্ঘ্যের জন্য, একটি ইলেকট্রনের চেয়ে একটি ফোটনের শক্তি অনেক বেশি।

11.32 (a) $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2 m K}}$; তাই K-এর একই মানের জন্য m -এর বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে λ -এর মান

হ্রাস পায় ($1/\sqrt{m}$)। এখন, $(m_n/m_e) = 1838.6$ । 150 eV শক্তির জন্য (অনুশীলনী

11.31-এর মতো) নিউট্রনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য = $(1/\sqrt{1838.6}) \times 10^{-10} \text{ m} = 2.33 \times 10^{-12} \text{ m}$

আন্তর পারমাণবিক ব্যবধান এই মানের চেয়ে প্রায় শতগুণ বেশি। তাই, 150 eV শক্তিসম্পন্ন নিউট্রন রশ্মিগুচ্ছ অপবর্তন পরীক্ষার জন্য উপযুক্ত নয়।

(b) $\lambda = (h / \sqrt{3 m k T})$ ব্যবহার করে আমরা পাই $\lambda = 1.45 \times 10^{-10} \text{ m}$ যা একটি কেলাসের আন্তঃপারমাণবিক ব্যবধানের সমতুল্য। স্পষ্টতই (a) এবং (b) থেকে পাই। অপবর্তন পরীক্ষার জন্য তাপীয় নিউট্রন উপযুক্ত। ফলে, অপবর্তন পরীক্ষায় ব্যবহার করার পূর্বে উচ্চক্ষমতা সম্পন্ন নিউট্রন রশ্মিকে প্রথমে উত্তপ্ত thermalised) করতে হবে।

11.33 $\lambda = 5.5 \times 10^{-12} \text{ m}$

$$\lambda \text{ (হলুদ আলো)} = 5.9 \times 10^{-7} \text{ m}$$

বিশ্লেষণী ক্ষমতা (RP) তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ব্যাস্তানুপাতিক। অতএব একটি ইলেকট্রন মাইক্রোস্কোপের RP, একটি আলোকীয় মাইক্রোস্কোপের প্রায় 10^5 গুণ। বস্তুতঃ অন্যান্য (জ্যামিতিক) বিষয়গুলোর পার্থক্য এই তুলনামূলক মানকে কিছুটা পরিবর্তন করতে পারে।

$$11.34 \quad p = \frac{h}{\lambda} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}}{10^{-15} \text{ m}} = 6.63 \times 10^{-19} \text{ kg m s}^{-1}$$

শক্তির জন্য আপেক্ষিকতার সূত্র প্রয়োগ কর :

$$E^2 = c^2 p^2 + m_0^2 c^4 = 9 \times (6.63)^2 \times 10^{-22} + (0.511 \times 1.6)^2 \times 10^{-26}$$

$$\simeq 9 \times (6.63)^2 \times 10^{-22},$$

দ্বিতীয় পদটি (স্থির ভরশক্তি) নগণ্য বলে অগ্রাহ্য করা যায়। অতএব $E = 1.989 \times 10^{-10} \text{ J} = 1.24 \text{ BeV}$ । তাই, ত্বরক থেকে নির্গত ইলেকট্রনের শক্তি কয়েক BeV-এর ক্রমে থাকে।

$$11.35 \quad \lambda = \frac{h}{\sqrt{3 m k T}} \quad \text{এবং} \quad m_{\text{in}} = \frac{4 \times 10^{-3}}{6 \times 10^{23}} \text{ kg} \quad \text{ব্যবহার করে পাই, } \lambda = 0.73 \times 10^{-10} \text{ m.}$$

গড় ব্যবধান $r = (V/N)^{1/3} = (kT/p)^{1/3}$

$T = 300 \text{ K}$ এবং $p = 1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ হলে $r = 3.4 \times 10^{-9} \text{ m}$; অর্থাৎ $r \gg \lambda$.

11.36 অনুশীলনী 11.35-এর অনুরূপ সূত্র ব্যবহার করে পাই $\lambda = 6.2 \times 10^{-9} \text{ m}$ যা আন্তঃইলেকট্রন ব্যবধানের চেয়ে অনেক বড়ো।

- 11.37 (a) কোয়ার্কগুলো একটি প্রোটন বা নিউট্রনের মধ্যে বলসমূহের দ্বারা এমনভাবে আবদ্ধ রয়েছে বলে কল্পনা করা যায় যে, কেউ যদি তাদের টেনে আলাদা করতে চায় তবে সেই বলসমূহ অধিকতর শক্তিশালী হয়। অতএব মনে করা যায় যে, প্রকৃতিতে যদিও খণ্ডিত আধানের অস্তিত্ব থাকতে পারে তবুও পর্যবেক্ষিত আধান, e -এর পূর্ণসংখ্যার সরল গুণিতক।
- (b) তড়িৎ এবং চৌম্বকক্ষেত্রের জন্য যথাক্রমে $e V = (1/2) m v^2$ বা $e E = m a$ এবং $e B v = m v^2 / r$, মৌলিক সম্পর্ক দুটি দেখায় যে, ইলেকট্রনের গতিবিদ্যা e এবং m দ্বারা পৃথকভাবে নির্ণয় করা যায় না কিন্তু e/m দ্বারা নির্ণয় করা যায়।
- (c) নিম্নচাপে, আয়নগুলো সংশ্লিষ্ট তড়িৎদ্বারে পৌঁছানোর সম্ভাবনা থাকে এবং একটি তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি করে। গ্যাস অণুগুলোর সঙ্গে সংঘর্ষে এবং পুনঃসংযুক্তির জন্য সাধারণ চাপে আয়নগুলোর তড়িৎদ্বারে পৌঁছানোর সম্ভাবনা থাকে না।
- (d) কার্য অপেক্ষক হল ধাতুর পরিবহন পটির সর্বোচ্চ স্তর থেকে ইলেকট্রনকে বের করে আনার জন্য প্রয়োজনীয় ন্যূনতম শক্তি। ধাতুর সমস্ত ইলেকট্রনগুলো এই স্তরে অবস্থান করে না। তারা কতকগুলো স্তরের নিরবচ্ছিন্ন পটিতে অবস্থান করে। ফলস্বরূপ, একই বিকিরণের জন্য বিভিন্ন স্তর থেকে বিভিন্ন শক্তিসম্পন্ন ইলেকট্রনগুলো ছুটে বেরিয়ে আসে।
- (e) কোনো কণার শক্তির (কিন্তু ভরবেগ p নয়) পরম মানকে সংযোজী ধ্রুবক পর্যায়ে একটি স্বেচ্ছাধীন মান হিসেবে ধরে নেওয়া যায়। ফলে, যেখানে λ ভৌত তাৎপর্যপূর্ণ, একটি ইলেকট্রনের বস্তুর তরঙ্গের v -এর পরম মানের কোনো ভৌত অর্থ নেই। একই রকমভাবে দশা দ্রুতি (phase speed) $v\lambda$ ভৌত তাৎপর্যপূর্ণ নয়। গুচ্ছ দ্রুতি (group speed)

$$\frac{dv}{d(1/\lambda)} = \frac{dE}{dp} = \frac{d}{dp} \left(\frac{p^2}{2m} \right) = \frac{p}{m} \quad \text{ভৌত তাৎপর্যপূর্ণ।}$$

অধ্যায় 12

- 12.1 (a) পৃথক নয়
 (b) থমসন মডেল; রাদারফোর্ড মডেল
 (c) রাদারফোর্ডের মডেল
 (d) থমসনের মডেল; রাদারফোর্ডের মডেল
 (e) উভয় মডেল

12.2 একটি হাইড্রোজেন পরমাণু নিউক্লিয়াসে রয়েছে একটি প্রোটন। এর ভর $1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$, যেখানে আপতিত α -কণার ভর $6.64 \times 10^{-27} \text{ kg}$ । কারণ বিক্ষিপিত কণা লক্ষ্য (target) নিউক্লিয়াস (প্রোটন)-এর চেয়ে অধিকতর ভর সম্পন্ন এবং α -কণাটি সম্মুখ সংঘর্ষেও ফিরে আসে না। এটি একটি ফুটবল এবং স্থির টেনিস বলের সংঘর্ষের অনুরূপ। অতএব, এক্ষেত্রে বড়ো কোনো কোণে বিক্ষেপণ ঘটবে না।

12.3 820 nm.

12.4 $5.6 \times 10^{14} \text{ Hz}$

12.5 13.6 eV; -27.2 eV

12.6 $9.7 \times 10^{-8} \text{ m}$; $3.1 \times 10^{15} \text{ Hz}$.

12.7 (a) $2.18 \times 10^6 \text{ m/s}$; $1.09 \times 10^6 \text{ m/s}$; $7.27 \times 10^5 \text{ m/s}$

(b) $1.52 \times 10^{-16} \text{ s}$; $1.22 \times 10^{-15} \text{ s}$; $4.11 \times 10^{-15} \text{ s}$.

12.8 $2.12 \times 10^{-10} \text{ m}$; $4.77 \times 10^{-10} \text{ m}$

12.9 লাইম্যান শ্রেণি; 103 nm এবং 122 nm; বামার শ্রেণি : 656 nm.

12.10 2.6×10^{74}

12.11 (a) প্রায় সমান।

(b) অনেক কম।

(c) এটি বোঝায় যে, প্রধানত একক সংঘর্ষের ফলে বিক্ষেপণ ঘটে। কারণ একক সংঘর্ষের সম্ভাবনা লক্ষ্য (target) পরমাণু সংখ্যার সাথে রৈখিকভাবে বৃদ্ধি পায়। ফলে বেধ-এর সাথেও রৈখিকভাবে বৃদ্ধি পায়।

(d) থমসন মডেলে একক সংঘর্ষে বিক্ষেপণ খুব ক্ষুদ্র হয়। পর্যবেক্ষিত গড় বিক্ষেপণ কোণ কেবলমাত্র বহু বিক্ষেপণ (multiple scattering) দ্বারা ব্যাখ্যা করা যায়। তাই থমসন মডেলে, বহু বিক্ষেপণকে উপেক্ষা করা ভুল হবে। রাদারফোর্ড মডেলে, বেশিরভাগ বিক্ষেপণ ঘটে একক সংঘর্ষের ফলে এবং প্রাথমিক অনুমান হিসেবে বহু বিক্ষেপণের প্রভাবগুলোকে উপেক্ষা করা যায়।

12.12 বোরের মডেলের প্রথম কক্ষপথের ব্যাসার্ধ $a_0 = \frac{4\pi\epsilon_0(h/2\pi)^2}{m_e e^2}$ । যদি আমরা ধরে নেই, পরমাণুটি

মহাকর্ষ বল ($Gm_p m_e / r^2$) দ্বারা আবদ্ধ, তবে আমাদের, $(e^2 / 4\pi\epsilon_0)$ -কে $Gm_p m_e$ দ্বারা

প্রতিস্থাপিত করতে হবে। অর্থাৎ বোরের প্রথম কক্ষপথের ব্যাসার্ধ হবে $a_0^G = \frac{(h/2\pi)^2}{Gm_p m_e^2} \cong 1.2 \times$

10^{29} m । যা সম্পূর্ণ বিশ্ব ব্রহ্মাণ্ডের গণনাকৃত আকারের চেয়ে অনেক বড়ো !

12.13
$$v = \frac{me^4}{(4\pi)^3 \epsilon_0^2 (h/2\pi)^3} \left[\frac{1}{(n-1)^2} - \frac{1}{n^2} \right] = \frac{me^4(2n-1)}{(4\pi)^3 \epsilon_0^2 (h/2\pi)^3 n^2(n-1)^2}$$

বৃহৎ n -এর জন্য, $v \cong \frac{me^4}{32\pi^3 \epsilon_0^2 (h/2\pi)^3 n^3}$

কক্ষীয় কম্পাঙ্ক $\nu_c = (v/2\pi r)$ । বোর মডেলে $v = \frac{n(h/2\pi)}{mr}$, এবং $r = \frac{4\pi\epsilon_0(h/2\pi)^2}{me^2} n^2$ ।

এর থেকে পাই, $\nu_c = \frac{n(h/2\pi)}{2\pi m r^2} = \frac{me^4}{32\pi^3 \epsilon_0^2 (h/2\pi)^3 n^3}$ যা বৃহৎ n -এর জন্য v -এর অনুরূপ।

12.14 (a) $\left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 mc^2} \right)$ এই রাশিটির মাত্রা হল দৈর্ঘ্যের মাত্রা। এর মান $2.82 \times 10^{-15} \text{m}$ – পরমাণুর

সাধারণ আকারের চেয়ে অনেক ছোটো।

(b) $\frac{4\pi\epsilon_0(h/2\pi)^2}{me^2}$ এই রাশিটির মাত্রা হল দৈর্ঘ্যের মাত্রা। এর মান $0.53 \times 10^{-10} \text{m}$ –

পরমাণুর আকারের ক্রমে রয়েছে (লক্ষ করো যে, মাত্রিক বিশ্লেষণ থেকে আমরা বুঝতে পারি না যে, সঠিক আকার পাওয়ার জন্য h -এর পরিবর্তে 4π এবং $h/2\pi$ ব্যবহার করা উচিত।)

12.15 বোরের মডেলে, $mvr = nh$ এবং $\frac{mv^2}{r} = \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$ যা থেকে পাই,

$$T = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{Ze^2}{8\pi\epsilon_0 r} ; r = \frac{4\pi\epsilon_0 h^2}{Ze^2 m} n^2$$

স্থিতিশক্তির শূন্যস্তর চয়নের ক্ষেত্রে এই সম্পর্কগুলোর কোনো ভূমিকা নেই। এখন অসীমে স্থিতিশক্তির শূন্যস্তর চয়নের ক্ষেত্রে আমরা পাই $V = -(Ze^2/4\pi\epsilon_0 r)$ যা থেকে পাই $V = -2T$ এবং $E = T + V = -T$

(a) প্রথাগতভাবে স্থিতিশক্তির শূন্যস্তরকে অসীমে ধরে শক্তির প্রদত্ত মান $E = -3.4 \text{eV}$ । $E = -T$ ব্যবহার করে, এই স্তরে ইলেকট্রনের গতিশক্তি হবে $+3.4 \text{eV}$ ।

(b) $V = -2T$, ব্যবহার করে পাই, ইলেকট্রনের স্থিতিশক্তি $= -6.8 \text{eV}$

(c) যদি স্থিতিশক্তির শূন্যস্তরকে অন্যভাবে চয়ন করা হয়, তবে গতিশক্তির কোনো পরিবর্তন হয় না। এর মান $+3.4 \text{eV}$ যা স্থিতিশক্তির শূন্যস্তর চয়নের উপর নির্ভর করে না। যদি স্থিতিশক্তির একটি ভিন্ন শূন্যস্তর চয়ন করা হয় তবে ওই স্তরে স্থিতিশক্তি ও মোট শক্তির পরিবর্তন হবে।

12.16 গ্রহের গতির সঙ্গে সংশ্লিষ্ট কৌণিক ভরবেগ h -এর তুলনায় মাত্রাতিরিক্ত বড়ো। উদাহরণস্বরূপ, পৃথিবীর কক্ষপথে এর কৌণিক ভরবেগ $10^{70}h$ -এর ক্রমে রয়েছে। বোরের কোয়ান্টায়ন স্বীকার্য অনুসারে, n -এর মান খুব বড়ো হবে (10^{70} -এর ক্রমে)। n -এর এরূপ বৃহৎ মানের জন্য, বোর মডেলের পরপর কোয়ান্টায়িত স্তরগুলোর মধ্যে শক্তি এবং কৌণিক ভরবেগের পার্থক্য সকল বাস্তবক্ষেত্রে শক্তি এবং কৌণিক ভরবেগের তুলনায় এতই ক্ষুদ্র যে সংশ্লিষ্ট স্তরগুলোকে নিরবচ্ছিন্ন বলে ধরে নেওয়া যায়।

12.17 বোর মডেলের সূত্রগুলোতে m_e -এর পরিবর্তে m_μ বসানো প্রয়োজন। আমরা লক্ষ করি যে, অন্যান্য রাশিগুলো স্থির থাকলে, $r \propto (1/m)$ এবং $E \propto m$ ।

অতএব,

$$r_\mu = \frac{r_e m_e}{m_\mu} = \frac{0.53 \times 10^{-10} \text{m}}{207} = 2.56 \times 10^{-13} \text{m}$$

$$E_\mu = \frac{E_e m_\mu}{m_e} = -(13.6 \times 207) \text{eV} \cong -2.8 \text{keV}$$

অধ্যায় 13

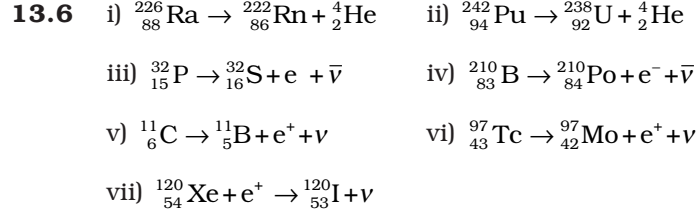
13.1 (a) 6.941 u (b) 19.9%, 80.1%

13.2 20.18 u

13.3 104.7 MeV

13.4 8.79 MeV, 7.84 MeV

13.5 $1.584 \times 10^{25} \text{MeV}$ অথবা $2.535 \times 10^{12} \text{J}$



13.7 (a) 5 T বছর (b) 6.65 T বছর

13.8 4224 বছর

13.9 $7.126 \times 10^{-6} \text{ g}$

13.10 $7.877 \times 10^{10} \text{ Bq}$ অথবা 2.13 Ci

13.11 1.23

13.12 (a) $Q = 4.93 \text{ MeV}$, $E_\alpha = 4.85 \text{ MeV}$ (b) $Q = 6.41 \text{ MeV}$, $E_\alpha = 6.29 \text{ MeV}$

13.13 ${}_{6}^{11}\text{C} \rightarrow {}_{6}^{11}\text{B} + e^+ + \nu + Q$

$$Q = [m_N({}_{6}^{11}\text{C}) - m_N({}_{6}^{11}\text{B}) - m_e]c^2,$$

যেখানে নিউক্লিয়াস সমূহের ভরের উল্লেখ করা হয়েছে। পরমাণুসমূহের ভর নয়। যদি আমরা পারমাণবিক ভর ব্যবহার করে, ${}_{6}^{11}\text{C}$ -এর ক্ষেত্রে আমাদের $6m_e$ এবং ${}_{6}^{11}\text{B}$ -এর ক্ষেত্রে $5m_e$ যোগ করতে হবে। অর্থাৎ,

$$Q = [m({}_{6}^{11}\text{C}) - m({}_{6}^{11}\text{B}) - 2m_e]c^2 \quad (\text{লক্ষ করো যে, } m_e\text{-এর মান দ্বিগুণ হয়েছে})$$

প্রদত্ত ভর ব্যবহার করে পাই, $Q = 0.961 \text{ MeV}$ ।

$$Q = E_d + E_e + E_\nu$$

e^+ এবং ν -এর তুলনায় অপত্য (Daughter) নিউক্লিয়াসটি অনেক বেশি ভারি। তাই এটি অতিসামান্য পরিমাণ শক্তি বহন করে ($E_d \approx 0$)। যদি নিউট্রিনো দ্বারা বাহিত গতিশক্তি সর্বনিম্ন (অর্থাৎ শূন্য) হয়, পজিট্রন সর্বাধিক শক্তি বহন করে এবং এটি বাস্তবে সর্বমোট শক্তি Q । ফলে সর্বোচ্চ $E_e \approx Q$ ।

13.14 ${}_{10}^{23}\text{Ne} \rightarrow {}_{11}^{23}\text{Na} + e + \bar{\nu} + Q$; $Q = [m_N({}_{10}^{23}\text{Ne}) - m_N({}_{11}^{23}\text{Na}) - m_e]c^2$, যেখানে 13.13 অনুশীলনীর মতো, নিউক্লিয়াস সমূহের ভর ব্যবহার করা হয়েছে, পরমাণু সমূহের ভর নয়। পারমাণবিক ভর ব্যবহার করে পাই, $Q = [m({}_{10}^{23}\text{Ne}) - m({}_{11}^{23}\text{Na})]c^2$ । লক্ষ করো, m_e কে বাদ দেওয়া হয়েছে। প্রদত্ত ভর ব্যবহার করে পাই, $Q = 4.37 \text{ MeV}$ । 13.13 অনুশীলনীর মতো, ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি ($\max E_e$) = $Q = 4.37 \text{ MeV}$ ।

13.15 (i) $Q = -4.03 \text{ MeV}$; তাপগ্রাহী

(ii) $Q = 4.62 \text{ MeV}$; তাপমোচী

13.16 $Q = m({}_{26}^{56}\text{Fe}) - 2m({}_{13}^{28}\text{Al}) = 26.90 \text{ MeV}$; সম্ভব নয়।

13.17 $4.536 \times 10^{26} \text{ MeV}$

13.18 প্রতি গ্রাম ${}_{92}^{235}\text{U}$ থেকে উদ্ধৃত শক্তি = $\frac{6 \times 10^{23} \times 200 \times 1.6 \times 10^{-13}}{235} \text{ J g}^{-1}$

5 বছরের 80% সময়ে ব্যয়িত ${}_{92}^{235}\text{U}$ -এর পরিমাণ

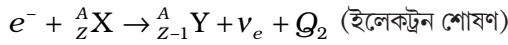
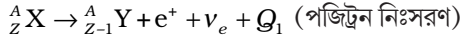
$$= \frac{5 \times 0.8 \times 3.154 \times 10^{16} \times 235}{1.2 \times 1.6 \times 10^{13}} \text{ g} = 1544 \text{ kg}$$

${}_{92}^{235}\text{U}$ -এর প্রারম্ভিক পরিমাণ = 3088 kg।

13.19 প্রায় 4.9×10^4 বছর।

13.20 360 KeV

13.22 পরস্পর বিপরীত দুটো প্রক্রিয়া কল্পনা কর :



$$\begin{aligned} Q_1 &= [m_N({}^A_Z\text{X}) - m_N({}^A_{Z-1}\text{Y}) - m_e]c^2 \\ &= [m_N({}^A_Z\text{X}) - Zm_e - m({}^A_{Z-1}\text{Y}) - (Z-1)m_e - m_e]c^2 \\ &= [m({}^A_Z\text{X}) - m({}^A_{Z-1}\text{Y}) - 2m_e]c^2 \end{aligned}$$

$$Q_2 = [m_N({}^A_Z\text{X}) + m_e - m_N({}^A_{Z-1}\text{Y})]c^2 = [m({}^A_Z\text{X}) - m({}^A_{Z-1}\text{Y})]c^2$$

অর্থাৎ, $Q_1 > 0$ বোঝায় যে, $Q_2 > 0$, কিন্তু $Q_2 > 0$ আবশ্যিকীয়ভাবে বোঝায় না যে $Q_1 > 0$ । তাই আমরা এই ফলাফল পাই।

13.23 ${}_{12}^{25}\text{Mg}$: 9.3%, ${}_{12}^{26}\text{Mg}$: 11.7%

13.24 কোনো একটি নিউক্লিয়াস ${}^A_Z\text{X}$ -এর নিউট্রন পৃথকীকরণ শক্তি

$$S_n = [m_N({}^{A-1}_Z\text{X}) + m_n - m_N({}^A_Z\text{X})]c^2$$

প্রদত্ত তথ্য থেকে, $S_n({}_{20}^{41}\text{Ca}) = 8.36\text{MeV}$, $S_n({}_{13}^{27}\text{Al}) = 13.06\text{MeV}$

13.25 209 d

13.26 ${}^{14}_6\text{C}$ নিঃসরণের জন্য

$$\begin{aligned} Q &= [m_N({}^{223}_{88}\text{Ra}) - m_N({}^{209}_{82}\text{Pb}) - m_N({}^{14}_6\text{C})]c^2 \\ &= [m({}^{223}_{88}\text{Ra}) - m({}^{209}_{82}\text{Pb}) - m({}^{14}_6\text{C})]c^2 = 31.85 \text{ MeV} \end{aligned}$$

$${}^4_2\text{He} \text{ নিঃসরণের জন্য, } Q = [m({}^{223}_{88}\text{Ra}) - m({}^{219}_{86}\text{Rn}) - m({}^4_2\text{He})]c^2 = 5.98\text{MeV}$$

13.27 $Q = [m({}^{238}_{92}\text{U}) + m_n - m({}^{140}_{58}\text{Ce}) - m({}^{99}_{44}\text{Ru})]c^2 = 231.1 \text{ MeV}$

13.28 (a) $Q = [m({}^2_1\text{H}) + m({}^3_1\text{H}) - m({}^4_2\text{He}) - m_n]c^2 = 17.59 \text{ MeV}$

(b) কুলম্বীয় বিকর্ষণ অতিক্রম করার জন্য প্রয়োজনীয় শক্তি = 480.0 keV

$$480.0 \text{ KeV} = 7.68 \times 10^{-14} \text{ J} = 3kT$$

$$\therefore T = \frac{7.68 \times 10^{-14}}{3 \times 1.381 \times 10^{-23}} \text{ (যেহেতু } k = 1.381 \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}\text{)}$$

$$= 1.85 \times 10^9 \text{ K (প্রয়োজনীয় তাপমাত্রা)}$$

13.29 $K_{\max}(\beta_1^-) = 0.284 \text{ MeV}$, $K_{\max}(\beta_2^-) = 0.960 \text{ MeV}$

$$\nu(\gamma_1) = 2.627 \times 10^{20} \text{ Hz}, \nu(\gamma_2) = 0.995 \times 10^{20} \text{ Hz}, \nu(\gamma_3) = 1.632 \times 10^{20} \text{ Hz}$$

- 13.30** (a) লক্ষ্য করো যে, সূর্যের অভ্যন্তরে, চারটি ${}^1_1\text{H}$ নিউক্লিয়াস সংযুক্ত হয়ে একটি ${}^4_2\text{He}$ নিউক্লিয়াস গঠন করে যেখানে প্রতি সংযোজনে 26MeV শক্তি নির্গত হয়। 1kg হাইড্রোজেনের সংযোজনে নির্গত শক্তি = 39×10^{26} MeV ।
- (b) 1kg ${}^{235}_{92}\text{U}$ বিভাজনে নির্গত শক্তি = 5.1×10^{26} MeV
1kg হাইড্রোজেন সংযোজনে নির্গত শক্তি, 1 kg ইউরেনিয়াম বিভাজনে নির্গত শক্তির প্রায় আট (8) গুণ।
- 13.31** 3.076×10^4 kg

অধ্যায় 14

- 14.1** (c)
14.2 (d)
14.3 (c)
14.4 (c)
14.5 (c)
14.6 (b), (c)
14.7 (c)
14.8 50 Hz অর্ধ তরঙ্গের জন্য, 100 Hz পূর্ণ তরঙ্গের জন্য।
14.9 $v_i = 0.01$ V ; $I_B = 10$ μ A
14.10 না ($h\nu$, E_g -এর চেয়ে বৃহত্তর হতে হবে)।
14.11 $n_e \approx 4.95 \times 10^{22}$; $n_h = 4.75 \times 10^9$; n-টাইপ যেহেতু $n_e \gg n_h$
আধান নিরপেক্ষতার জন্য $N_D - N_A = n_e - n_h$; $n_e \cdot n_h = n_i^2$
এই সমীকরণগুলো সমাধান করে পাই, $n_e = \frac{1}{2} \left[(N_D - N_A) + \sqrt{(N_D - N_A)^2 + 4n_i^2} \right]$
14.12 প্রায় 1×10^5
14.13 (a) 0.0629 A, (b) 2.97 A, (c) 0.336 Ω
(d) উভয় ভোল্টেজের জন্য প্রবাহমাত্রা I , I_0 -এর প্রায় সমান হবে যা বিপরীত বায়াসে অসীম গতিয় রোধ প্রদর্শন করে।
14.15 NOT ;
A Y
0 1
1 0
14.16 (a) AND (b) OR
14.17 OR গেট
14.18 (a) NOT, (b) AND
14.19 2V

অধ্যায় 15

- 15.1** (b) 10 kHz বিকিরিত হতে পারবে না (অ্যান্টেনার আকার), 1GHz এবং 1000GHz ভেদ করে চলে যাবে।

15.2 (d) 15.2 সারণি দেখো।

15.3 (c) দশমিক পদ্ধতি নিরবচ্ছিন্ন মানের সেটকে বোঝায়

15.4 না। পরিষেবা ক্ষেত্র হবে $A = \pi d_T^2 = \frac{22}{7} \times 162 \times 6.4 \times 10^6 = 3258 \text{ km}^2$.

15.5 $\mu = 0.75 = \frac{A_m}{A_c}$

$$A_m = 0.75 \times 12 = 9V.$$

15.6 যেহেতু AM তরঙ্গকে $(A_c + A_m \sin \omega_m t) \cos \omega_c t$, দ্বারা প্রকাশ করা হয়, সর্বোচ্চ বিস্তার হবে $M_1 = A_c + A_m$ যেখানে ন্যূনতম বিস্তার হবে $M_2 = A_c - A_m$ । সুতরাং মডুলেশন সূচক

$$m = \frac{A_m}{A_c} = \frac{M_1 - M_2}{M_1 + M_2} = \frac{8}{12} = \frac{2}{3}.$$

$M_2 = 0$ হলে স্পর্শতই $m=1$, M_1 -এর যে-কোনো মানের জন্য।

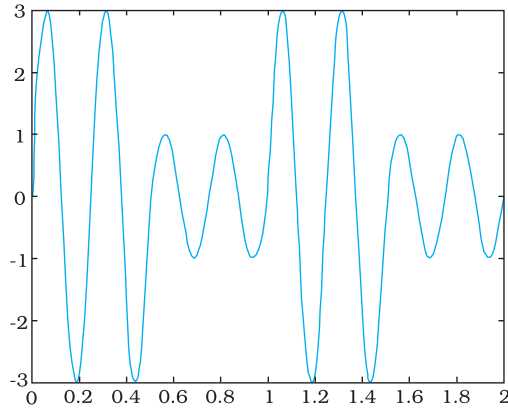
15.7 গাণিতিক সরলতার জন্য ধরা যাক, গৃহীত সংকেত হবে $A_1 \cos (\omega_c + \omega_m) t$ । গ্রাহক স্টেশনে বাহক তরঙ্গ $A_c \cos \omega_c t$ পাওয়া যায়। দুটো সংকেতকে গুণ করে আমরা পাই,

$$A_1 A_c \cos (\omega_c + \omega_m) t \cos \omega_c t \\ = \frac{A_1 A_c}{2} [\cos (2\omega_c + \omega_m) t + \cos \omega_m t]$$

যদি এই সংকেতকে একটি লো-পাস ফিল্টার (low-pass filter)-এর মধ্য দিয়ে পাঠানো হয়,

তবে আমরা মূল সংকেত বা মডুলেটিং সংকেত $\frac{A_1 A_c}{2} \cos \omega_m t$ -কে রেকর্ড করতে পারি।

15.8 (a)



(b) $\mu = 0.5$

BIBLIOGRAPHY

TEXTBOOKS

For additional reading on the topics covered in this book, you may like to consult one or more of the following books. Some of these books however are more advanced and contain many more topics than this book.

- 1 **Ordinary Level Physics**, A.F. Abbott, Arnold-Heinemann (1984).
- 2 **Advanced Level Physics**, M. Nelkon and P. Parker, 6th Edition, Arnold-Heinemann (1987).
- 3 **Advanced Physics**, Tom Duncan, John Murray (2000).
- 4 **Fundamentals of Physics**, David Halliday, Robert Resnick and Jearl Walker, 7th Edition John Wiley (2004).
- 5 **University Physics** (Sears and Zemansky's), H.D. Young and R.A. Freedman, 11th Edition, Addison—Wesley (2004).
- 6 **Problems in Elementary Physics**, B. Bukhovtza, V. Krivchenkov, G. Myakishev and V. Shalnov, MIR Publishers, (1971).
- 7 **Lectures on Physics** (3 volumes), R.P. Feynman, Addison – Wesley (1965).
- 8 **Berkeley Physics Course** (5 volumes) McGraw Hill (1965).
 - a. Vol. 1 – Mechanics: (Kittel, Knight and Ruderman)
 - b. Vol. 2 – Electricity and Magnetism (E.M. Purcell)
 - c. Vol. 3 – Waves and Oscillations (Frank S. Crawford)
 - d. Vol. 4 – Quantum Physics (Wichmann)
 - e. Vol. 5 – Statistical Physics (F. Reif)
- 9 **Fundamental University Physics**, M. Alonso and E. J. Finn, Addison – Wesley (1967).
- 10 **College Physics**, R.L. Weber, K.V. Manning, M.W. White and G.A. Weygand, Tata McGraw Hill (1977).
- 11 **Physics: Foundations and Frontiers**, G. Gamow and J.M. Cleveland, Tata McGraw Hill (1978).
- 12 **Physics for the Inquiring Mind**, E.M. Rogers, Princeton University Press (1960).
- 13 **PSSC Physics Course**, DC Heath and Co. (1965) Indian Edition, NCERT (1967).
- 14 **Physics Advanced Level**, Jim Breithampt, Stanley Thornes Publishers (2000).
- 15 **Physics**, Patrick Fullick, Heinemann (2000).
- 16 **Conceptual Physics**, Paul G. Hewitt, Addison—Wesley (1998).
- 17 **College Physics**, Raymond A. Serway and Jerry S. Faughn, Harcourt Brace and Co. (1999).
- 18 **University Physics**, Harris Benson, John Wiley (1996).
- 19 **University Physics**, William P. Crummet and Arthur B. Western, Wm.C. Brown (1994).
- 20 **General Physics**, Morton M. Sternheim and Joseph W. Kane, John Wiley (1988).
- 21 **Physics**, Hans C. Ohanian, W.W. Norton (1989).

- 22 Advanced Physics**, Keith Gibbs, Cambridge University Press (1996).
- 23 Understanding Basic Mechanics**, F. Reif, John Wiley (1995).
- 24 College Physics**, Jerry D. Wilson and Anthony J. Buffa, Prentice Hall (1997).
- 25 Senior Physics, Part – I**, I.K. Kikoin and A.K. Kikoin, MIR Publishers (1987).
- 26 Senior Physics, Part – II**, B. Bekhovtsev, MIR Publishers (1988).
- 27 Understanding Physics**, K. Cummings, Patrick J. Cooney, Priscilla W. Laws and Edward F. Redish, John Wiley (2005).
- 28 Essentials of Physics**, John D. Cutnell and Kenneth W. Johnson, John Wiley (2005).

GENERAL BOOKS

For instructive and entertaining general reading on science, you may like to read some of the following books. Remember however, that many of these books are written at a level far beyond the level of the present book.

- 1 Mr. Tompkins** in paperback, G. Gamow, Cambridge University Press (1967).
- 2 The Universe and Dr. Einstein**, C. Barnett, Time Inc. New York (1962).
- 3 Thirty years that Shook Physics**, G. Gamow, Double Day, New York (1966).
- 4 Surely You're Joking, Mr. Feynman**, R.P. Feynman, Bantam books (1986).
- 5 One, Two, Three... Infinity**, G. Gamow, Viking Inc. (1961).
- 6 The Meaning of Relativity**, A. Einstein, (Indian Edition) Oxford and IBH Pub. Co. (1965).
- 7 Atomic Theory and the Description of Nature**, Niels Bohr, Cambridge (1934).
- 8 The Physical Principles of Quantum Theory**, W. Heisenberg, University of Chicago Press (1930).
- 9 The Physics—Astronomy Frontier**, F. Hoyle and J.V. Narlikar, W.H. Freeman (1980).
- 10 The Flying Circus of Physics with Answer**, J. Walker, John Wiley and Sons (1977).
- 11 Physics for Everyone** (series), L.D. Landau and A.I. Kitaigorodski, MIR Publisher (1978).
 Book 1: Physical Bodies
 Book 2: Molecules
 Book 3: Electrons
 Book 4: Photons and Nuclei.
- 12 Physics can be Fun**, Y. Perelman, MIR Publishers (1986).
- 13 Power of Ten**, Philip Morrison and Eames, W.H. Freeman (1985).
- 14 Physics in your Kitchen Lab.**, I.K. Kikoin, MIR Publishers (1985).
- 15 How Things Work: The Physics of Everyday Life**, Louis A. Bloomfield, John Wiley (2005).
- 16 Physics Matters: An Introduction to Conceptual Physics**, James Trefil and Robert M. Hazen, John Wiley (2004).

INDEX

Absorption spectra	421	Bandwidth of transmission medium	518
AC current	233	Bar magnet	174
AC Generator	224	as solenoid	176
AC voltage	233	Barrier potential	479
applied to a capacitor	241	Base	491
applied to a resistor	234	Becquerel	448
applied to an inductor	237	Beta decay	450
applied to a series LCR circuit	244	Binding energy per nucleon	444
Accelerators in India	142	Biot-Savart law	143
Accommodation of eye	336	Bohr magneton	163
Activity of radioactive substances	447	Bohr radius	425
Additivity of charges	8	Bohr's model of atom	422
Alpha decay	449	Bohr's postulates	424
Alpha particle scattering	415	Brewster's angle	380
Ammeter	165	Brewster's law	381
Ampere	155	C.A. Volta	53
Amperes circuital law	147	Capacitance	73
Amplification	517	Capacitive reactance	241
Amplitude modulation	524	Capacitive circuit	252
Analog signal	501	Capacitor	
AND gate	503	parallel plate	74
Andre, Ampere	148	in parallel	79
Angle		in series	78
of deviation	330	Cartesian sign convention	311
of incidence	355	Cassegrain telescope	342
of reflection	357	Cells	110
of refraction	355	in parallel	114
Angular magnification	341	in series	113
Apparent depth	318	Chain reaction	453
Area element vector	26	Channel	515
Astigmatism	337	Charging by induction	6
Atomic		Charles August de Coulomb	11
mass unit	439	Chromatic aberration	333
number	440	Ciliary muscles	336
spectra	420	Coercivity	195
Attenuation	516	Coherent source	360
Aurora Borealis	139	Collector	491
Band gap	471	Colour code of resistors	103
Bandwidth of signal	517	Combination of lenses	328

Index

Combination of resistors		Eddy currents	218
series	107	Einstein's photoelectric equation	394
parallel	108	Electric	
Composition of nucleus	438	charge	1
Concave mirror	312	current	93
Conduction band	469	dipole	27
Conductivity	97, 468	displacement	77
Conductors	5	field	18
Conservation of charge	8	field, physical significance	20
Conservative force	51	field due to a system of charges	19
Continuous charge distribution	32	field lines	23
Control rods	454	flux	25
Convex mirror	312	susceptibility	72
Coulomb	11	Electrical energy	105
Coulomb's law	10	Electromagnetic	
Critical angle	320	waves, sources	274
Curie temperature	194	waves, nature	275
Curie	448	damping	218
Current	94	spectrum	280
amplification factor	495	Electron emission	387
density	97	Electrostatic	
loop as a magnetic dipole	160	analog	180
sensitivity of galvanometer	165	potential	53
Cut-off voltage/Stopping potential	391	shielding	69
Cyclotron	140	Electrostatics	1
frequency	141	of conductors	67
Davisson & Germer Experiment	403	Electromotive force (emf)	110
de Broglie		Emission spectra	421
relation	398	Emitter	491
wavelength	398	Energy	
explanation	430	bands	469
Decay constant	446	generation in stars	455
Detection of amplitude modulated wave	526	levels	427
Diamagnetism	192	stored in a capacitor	80
Dielectrics	71	Equipotential surfaces	60
Dielectric		Excited state	427
constant	76	Experiments of Faraday & Henry	205
strength	74	Extrinsic semiconductor	474
Diffraction	367	Eye	336
single slit	368	Farad	74
Digital		Faraday's law of Induction	207
electronics	501	Fast breeder reactor	453
signal	502	Ferromagnetism	193
Diopetre	328	Field	
Dipole		due to infinite plane sheet	38
moment	28	due to uniformly charged thin spherical	
moment vector	28	shell	39
in uniform electric field	31	Field emission	388
physical significance	29	Flux leakage	261
Dispersion by a prism	332	Focal length	311
Displacement current	270	Force between two parallel currents	154
Doppler effect	358	Forward bias	479
Drift velocity	98	Franck-Hertz experiment	428
Earth's magnetism	185		
Earthing	5		

Fringe width	364	Lateral shift	317
Full-wave rectifier	483	Law	
G.S. Ohm	95	of radioactive decay	447
Gamma		of reflection	357
rays	283	of refraction	356
decay	451	LC oscillations	255
Gauss's law	33	Least distance of distinct vision	336
its applications	37	Lenz's law	210
in magnetism	181	Lens maker's formula	326
Gaussian surface	35	Light emitting diode	488
Geographic meridian	186	Limitations of Ohm's law	101
Gold leaf electroscope	4	Linear	
Ground		charge density	32
state	427	magnification/Magnifying power	339
wave	519	Logic gates	502
H.A. Lorentz	134	Lorentz force	134
Half life	448	Magnetic	
Half-wave rectifier	483	declination	186
Hallwachs' and Lenard's observations	388	dipole	177
Henry	220	dipole moment of a revolving electron	162
Hertz Experiment	274	field	132
Holes	472	field lines	175
Horizontal component of earth's		field on the axis of a circular current loop	145
magnetic field	187	flux	182, 206
Huygen's Principle	353	force on a current carrying conductor	135
Hypermetropia	337	force	133
Impact parameter	418	hysteresis	195
Impedence diagram	246	inclination	187
Inductance	219	intensity	190
mutual	220	meridian	186
self	222	moment of a current loop	158
Induction	6	moment	178
of charge	6	permeability	190
Inductive		potential energy	178
circuit	252	susceptibility	190
reactance	238	torque	178
Input resistance of a transistor	494	Magnetisation	189
Insulators	5	Majority carriers	476
Integrated circuits (IC)	505	Mass	
Interference		defect	443
constructive	361	number	440
destructive	361	energy relation	442
fringes	363	Maxwell's equations	273
Internal resistance	110	Mean life	448
Intrinsic semiconductor	472	Meter bridge	120
Ionisation energy	427	Michael Faraday	208
Iris	336	Microscope	339
Isobars	441	compound	340
Isotones	441	Microwaves	281
Isotopes	439	Minority carriers	476
J.C. Maxwell	270	Mirage	321
Junction transistor	490	Mirror equation	314
K.F. Gauss	182	Mobility	100
Kirchhoff's rules	115	Moderator	454

Index

Modulation	517, 522	Polarisation	71, 376
index	525	by reflection	380
Motion in a magnetic field	137	by scattering	379
Motional emf	212	Polarity of charge	2
Moving coil galvanometer	163	Polaroid	378
Multiplication factor (fission)	454	Potential	53
Myopia	336	due to an electric dipole	55
NAND gate	504	due to a point charge	54
Near point	336	due to a system of charges	57
Neutrons	440	energy difference	53
Noise	516	energy for a system of charges	61
Non-polar molecules	72	energy of a dipole	66
NOR gate	505	energy of a single charge	64
North pole	174	energy of a system of two charges	65
NOT gate	502	energy	52
n-p-n transistor	491	Potentiometer	122
n-type semi conductor	475	Power (electrical)	106
Nuclear		factor	252
binding energy	442	in ac circuit	252
density	442	of lens	327
energy	451	Pressurised heavy water reactors	453
fission	452	Primary coil	
force	445	Principal focus	311
fusion	455	Principle of superposition	15
holocaust	457	Principle quantum number	425
reactor	452	Production of amplitude modulated wave	525
size	441	Properties of electric charge	8
winter	457	p-type semi conductor	476
Numerical aperture	375	Q factor/quality factor	250
Ohm	95	Quanta of energy	393
Ohm's law	95	Quantisation of charge	8
Optical fibres	321	Radio waves	281
OR gate	502	Radioactivity	446
Orbital magnetic moment	163	Rainbow	333
Output resistance of a transistor	495	Ray optics, validity of	375
Paramagnetism	192	Rayleigh scattering	335
Permanent magnets	195	Rectifier	483
Permeability of free space	143	Red shift	358
Permittivity		Reflection of light	310
of free space	11, 76	Refraction	318
of medium	76	of a plane wave	355
Phasors	237	Refractive index	317, 356
diagram	237	Relation between field and potential	61
Photodiode	487	Relaxation time	98
Photoelectric effect	388	Rententivity	195
Photocell	399	Repeater	517
Photoelectric emission	388	Resistance	95
Photoelectrons	389	Resistivity	96, 468
Photon	395	of some materials	102
Pith ball	2	Resolving power	373
Plane polarised wave	377	of eye	374
p-n Junction	478	Resonance	248
p-n-p transistor	491	Sharpness	249
Point charge	10	Resonant frequency	248
Polar molecules	72	Reverse bias	480

Right hand rule	149	Tokamak	153
Root mean square (rms) or effective current	235	Toroid	152
voltage	236	Torque	
Roget's spiral	156	on a current loop	157
Rutherford's model of atom	415	on a dipole	31
Saturation current	390	Total internal reflection	319
Scattering of light	335	Transducer	516
Secondary wavelet	354	Transformer	259
Semiconductors	469	Step-down	261
diode	479	Step-up	261
elemental	468	Transistor	
compound	468	as a switch	496
Shunt resistance	164	as an amplifier	497
Signal	516	oscillator	500
Sky wave	520	common emitter configuration	493
Snell's law	317, 356	Truth table	502
Solar cell	489	Uncertainty Principle	400
Solenoid	151	Unpolarised wave	377
South pole	174	Ultraviolet rays	282
Space wave	521	Valence band	469
Spectral series	421	Van de Graaff Generator	83
Brackett	422	Velocity selector	140
Fund	422	Visible rays	282
Lyman	422	Voltage Regulator	486
Paschen	422	Voltage sensitivity of a galvanometer	165
Spectrum of light	332	Voltmeter	165
Spherical mirror	310, 311	Volume charge density	32
Spin magnetic moment	163	Wattless current	252
Surface charge density	32	Wavefront	353
Telescope	341	plane	354
Temperature dependence of resistivity	103	spherical	354
Tesla	135	Wheatstone bridge	118
Thermionic emission	388	Work function	394
Thermonuclear fusion	456	X rays	283
Thin lens formula	326	Young's experiment	362
Threshold frequency	392	Zener	
		diode	485
		breakdown	485

Notes

Notes