

ભૌતિકવિજ્ઞાન

ભાગ II

ધોરણ XII

ગુજરાત રાજ્યના શિક્ષણવિભાગના પત્ર-ક્રમાંક
મશબ/1219/119-125/છ, તા. 16-02-2019 - થી મંજૂર

ભૌતિકવિજ્ઞાન

ભાગ II

ધોરણ XII



પ્રતિજ્ઞાપત્ર

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

કિંમત : ₹ 153.00



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



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

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

અનુવાદ

પ્રો. ડૉ. પી. એન. ગજજર
પ્રો. એમ. એસ. રામી
પ્રો. ડૉ. એન. કે. ભટ્ટ
ડૉ. દીપક એચ. ગદાણી
શ્રી કે. ડી. પટેલ

સમીક્ષા

પ્રો. ડૉ. પી. બી. ઠાકોર
ડૉ. જી. એમ. સુતરિયા
ડૉ. તરુણ આર. ત્રિવેદી
શ્રી અશ્વિન એફ. ડોડિયા
શ્રી દિનેશ વી. સુથાર
ડૉ. મુકેશ એન. ગાંધી
શ્રી સી. ડી. પટેલ
શ્રી પી. એમ. પટેલ
શ્રી મયૂર એમ. રાવલ
શ્રી વાસુદેવ બી. રાવલ
શ્રી પરિતોષ એન. ભટ્ટ
શ્રી મહેશભાઈ ધાંધલા
શ્રી આનંદ એન. ઠક્કર
શ્રી નગીન એમ. પટેલ
શ્રી એ. જી. મોમીન

ભાષાશુદ્ધિ

પ્રો. ડૉ. દીપક બી. ભટ્ટ

સંયોજન

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

નિર્માણ-સંયોજન

શ્રી હરેન શાહ
(નાયબ નિયામક : શૈક્ષણિક)

મુદ્રણ-આયોજન

શ્રી હરેશ એસ. લીમ્બાચીયા
(નાયબ નિયામક : ઉત્પાદન)

પ્રસ્તાવના

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

આ પાઠ્યપુસ્તકનો અનુવાદ તથા તેની સમીક્ષા નિષ્ણાત પ્રાધ્યાપકો અને
શિક્ષકો પાસે કરાવવામાં આવ્યા છે અને સમીક્ષકોનાં સૂચનો અનુસાર હસ્તપ્રતમાં
યોગ્ય સુધારા-વધારા કર્યા પછી આ પાઠ્યપુસ્તક પ્રસિદ્ધ કરતાં પહેલાં આ
પાઠ્યપુસ્તકની મંજૂરી માટે એક સ્ટેટ લેવલની કમિટીની રચના કરવામાં આવી.
આ કમિટીની સાથે NCERTના પ્રતિનિધી તરીકે RIE, ભોપાલથી ઉપસ્થિત
રહેલા નિષ્ણાતોની એક દ્વિદિવસીય કાર્ય શિબીરનું આયોજન કરવામાં આવ્યું
અને પાઠ્યપુસ્તકને અંતિમ સ્વરૂપ આપવામાં આવ્યું છે. જેમાં
ડૉ. એસ. કે. મકવાણા (RIE, ભોપાલ), ડૉ. કલ્પના મસ્કી (RIE, ભોપાલ),
ડૉ. પી. એન. ગજજર, પ્રો. એમ. એસ. રામી, ડૉ. જી. એમ. સુતરિયા,
શ્રી સી. ડી. પટેલ, ડૉ. એમ. એન. ગાંધી અને શ્રી મયૂર એમ. રાવલે ઉપસ્થિત
રહી પોતાના કીમતી સૂચનો અને માર્ગદર્શન પૂરા પાડ્યા છે.

પ્રસ્તુત પાઠ્યપુસ્તકને રસપ્રદ, ઉપયોગી અને ક્ષતિરહિત બનાવવા માટે
મંડળ દ્વારા પૂરતી કાળજી લેવામાં આવી છે, તેમ છતાં શિક્ષણમાં રસ ધરાવનાર
વ્યક્તિઓ પાસેથી ગુણવત્તા વધારે તેવાં સૂચનો આવકાર્ય છે.

NCERT, નવી દિલ્લીના સહકાર બદલ તેમના આભારી છીએ.

અવંતિકા સિંઘ (IAS)

નિયામક
તા. 03-04-2019

કાર્યવાહક પ્રમુખ
ગાંધીનગર

પ્રથમ આવૃત્તિ : 2019

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

મુદ્રક :

FOREWORD

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

Director

New Delhi
20 December 2006

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 standalone 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 material on specific topics and also provide learners with 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, 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 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 GROUP 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

THE CONSTITUTION OF INDIA

PREAMBLE

WE, THE PEOPLE OF INDIA, having solemnly resolved to constitute India into a ¹**[SOVEREIGN SOCIALIST SECULAR DEMOCRATIC REPUBLIC]** and to secure to all its citizens :

JUSTICE, social, economic and political;

LIBERTY of thought, expression, belief, faith and worship;

EQUALITY of status and of opportunity; and to promote among them all

FRATERNITY assuring the dignity of the individual and the ²[unity and integrity of the Nation];

IN OUR CONSTITUENT ASSEMBLY
this twenty-sixth day of November, 1949 do
HEREBY ADOPT, ENACT AND GIVE TO OURSELVES THIS CONSTITUTION.

1. Subs. by the Constitution (Forty-second Amendment) Act, 1976, Sec. 2, for "Sovereign Democratic Republic" (w.e.f. 3.1.1977)
2. Subs. by the Constitution (Forty-second Amendment) Act, 1976, Sec.2, for Unity of the Nation" (w.e.f. 3.1.1977)

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), Mysuru; R. Bhattacharjee, *Assistant 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; and 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. Koirang, *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, *Copy Editor*; Ashima Srivastava, *Proof Reader* in shaping this book.

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

અનુક્રમણિકા ભૌતિકવિજ્ઞાન ભાગ I
ધોરણ XII

પ્રકરણ એક

વિદ્યુતભારો અને ક્ષેત્રો (ELECTRIC CHARGES AND FIELDS) 1

પ્રકરણ બે

સ્થિતવિદ્યુત સ્થિતિમાન અને કેપેસિટન્સ (ELECTROSTATIC POTENTIAL AND CAPACITANCE) 51

પ્રકરણ ત્રણ

પ્રવાહ વિદ્યુત (CURRENT ELECTRICITY) 93

પ્રકરણ ચાર

ગતિમાન વિદ્યુતભારો અને ચુંબકત્વ (MOVING CHARGES AND MAGNETISM) 132

પ્રકરણ પાંચ

ચુંબકત્વ અને દ્રવ્ય (MAGNETISM AND MATTER) 173

પ્રકરણ છ

વિદ્યુતચુંબકીય પ્રેરણ (ELECTROMAGNETIC INDUCTION) 204

પ્રકરણ સાત

પ્રત્યાવર્તી પ્રવાહ (ALTERNATING CURRENT) 233

પ્રકરણ આઠ

વિદ્યુતચુંબકીય તરંગો (ELECTRO MAGNETIC WAVES) 269

જવાબો (ANSWERS) 288

અનુક્રમણિકા

FOREWORD

v

PREFACE

vii

પ્રકરણ 9

કિરણ પ્રકાશશાસ્ત્ર અને પ્રકાશીય ઉપકરણો (RAY OPTICS AND OPTICAL INSTRUMENTS)

9.1	પ્રસ્તાવના	309
9.2	ગોળીય અરીસાઓ વડે થતું પ્રકાશનું પરાવર્તન	310
9.3	વક્રીભવન	316
9.4	પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તન	319
9.5	ગોળીય સપાટીઓ આગળ અને લેન્સ વડે થતું વક્રીભવન	323
9.6	પ્રિઝમ દ્વારા વક્રીભવન	330
9.7	સૂર્યપ્રકાશને કારણે કેટલીક કુદરતી ઘટનાઓ	332
9.8	પ્રકાશીય ઉપકરણો	335

પ્રકરણ 10

તરંગ પ્રકાશશાસ્ત્ર (WAVE OPTICS)

10.1	પ્રસ્તાવના	351
10.2	હાઈગેન્સનો સિદ્ધાંત	353
10.3	હાઈગેન્સના સિદ્ધાંતની મદદથી સમતલ તરંગોનું વક્રીભવન અને પરાવર્તન	355
10.4	તરંગોનું સુસમ્બંધ અને અસુસમ્બંધ સરવાળો	360
10.5	પ્રકાશ તરંગોનું વ્યતિકરણ અને યંગનો પ્રયોગ	362
10.6	વિવર્તન	367
10.7	ધ્રુવીભવન	376

પ્રકરણ 11

વિકિરણ અને દ્રવ્યની દ્વિત પ્રકૃતિ (DUAL NATURE OF RADIATION AND MATTER)

11.1	પ્રસ્તાવના	386
11.2	ઇલેક્ટ્રોનનું ઉત્સર્જન	387
11.3	ફોટો ઇલેક્ટ્રીક અસર	388
11.4	ફોટો ઇલેક્ટ્રીક અસરનો પ્રાયોગિક અભ્યાસ	389

11.5 ફોટો ઇલેક્ટ્રીક અસર અને પ્રકાશનો તરંગવાદ	393
11.6 આઈન્સ્ટાઈનનું ફોટો ઇલેક્ટ્રીક સમીકરણ : વિકિરણ ઊર્જાનો ક્વોન્ટમ	393
11.7 પ્રકાશનું કણ સ્વરૂપ : ફોટોન	395
11.8 દ્રવ્યનું તરંગ સ્વરૂપ	398
11.9 ડેવિસન અને ગર્મરનો પ્રયોગ	403
- પરિશિષ્ટ	412

પ્રકરણ 12

પરમાણુઓ (ATOMS)

12.1 પ્રસ્તાવના	414
12.2 આલ્ફા-કણ પ્રકીર્ણન અને પરમાણુ અંગેનું રધરફર્ડનું ન્યુક્લિયર મોડેલ	415
12.3 પરમાણુ વર્ણપટ	420
12.4 હાઈડ્રોજન પરમાણુનું બોહ્ર મોડેલ	422
12.5 હાઈડ્રોજન પરમાણુના રેખીય વર્ણપટ	428
12.6 બોહ્રની ક્વોન્ટમીકરણની બીજી સ્વીકૃતિની ડિ બ્રોગ્લીની સમજૂતી	430

પ્રકરણ 13

ન્યુક્લિયસ (NUCLEI)

13.1 પ્રસ્તાવના	438
13.2 પરમાણુ દળો અને ન્યુક્લિયસનું બંધારણ	438
13.3 ન્યુક્લિયસનું પરિમાણ	441
13.4 દળ-ઊર્જા અને ન્યુક્લિયર બંધન ઊર્જા	442
13.5 ન્યુક્લિયર બળ	445
13.6 રેડિયો એક્ટિવિટી	446
13.7 ન્યુક્લિયર ઊર્જા	451

પ્રકરણ 14

સેમિકન્ડક્ટર ઇલેક્ટ્રોનિક્સ : દ્રવ્યો, રચનાઓ અને સાદા પરિપથો

(SEMICONDUCTOR ELECTRONICS : MATERIALS, DEVICES AND SIMPLE CIRCUITS)

14.1 પ્રસ્તાવના	467
14.2 ધાતુઓ, સુવાહકો અને અર્ધવાહકોનું વર્ગીકરણ	468
14.3 શુદ્ધ (આંતરિક) અર્ધવાહક	472
14.4 અશુદ્ધ (બાહ્ય) અર્ધવાહક	474
14.5 $p-n$ જંકશન	478
14.6 અર્ધવાહક ડાયોડ	479
14.7 જંકશન ડાયોડનો રેક્ટિફાયર તરીકે ઉપયોગ	483

14.8 કેટલાક વિશિષ્ટ હેતુ માટેના $p-n$ જંકશન ડાયોડ	485
14.9 ડિજિટલ ઇલેક્ટ્રોનિક્સ અને લોજિક ગેટ	490
પરિશિષ્ટ (APPENDICES)	500
જવાબો (ANSWERS)	502
BIBLIOGRAPHY	518
પારિભાષિક શબ્દો	520

COVER DESIGN
(Adapted from <http://nobelprize.org> and
the Nobel Prize in Physics 2006)

Different stages in the evolution of
the universe.

BACK COVER
(Adapted from <http://www.iter.org> and
<http://www.dae.gov.in>)

Cut away view of International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER) device. The man in the bottom shows the scale.

ITER is a joint international research and development project that aims to demonstrate the scientific and technical feasibility of fusion power.

India is one of the seven full partners in the project, the others being the European Union (represented by EURATOM), Japan, the People's Republic of China, the Republic of Korea, the Russian Federation and the USA. ITER will be constructed in Europe, at Cadarache in the South of France and will provide 500 MW of fusion power.

Fusion is the energy source of the sun and the stars. On earth, fusion research is aimed at demonstrating that this energy source can be used to produce electricity in a safe and environmentally benign way, with abundant fuel resources, to meet the needs of a growing world population.

For details of India's role, see Nuclear India, Vol. 39, No. 11-12/ May-June 2006, issue available at Department of Atomic Energy (DAE) website mentioned above.

પ્રકરણ નવ

કિરણ પ્રકાશશાસ્ત્ર અને પ્રકાશીય ઉપકરણો

RAY OPTICS AND OPTICAL INSTRUMENTS



9.1 પ્રસ્તાવના (INTRODUCTION)

કુદરતે મનુષ્યની આંખ (ખરેખર Retina)ને વિદ્યુતચુંબકીય વર્ણપટ પૈકીના નાના વિસ્તારના તરંગોની પરખ માટે જ સંવેદનશીલ બનાવી છે. વર્ણપટના આ વિસ્તારના વિદ્યુતચુંબકીય વિકિરણ (તરંગલંબાઈ લગભગ 400 nm થી 750 nm) પ્રકાશ (Light) તરીકે ઓળખાય છે. મુખ્યત્વે આ પ્રકાશ અને દૃશ્ય ઈન્દ્રિય મારફતે જ આપણે આસપાસના વિશ્વને જોઈ અને સમજી શકીએ છીએ.

આપણા સામાન્ય અનુભવ પરથી પ્રકાશ વિશે બે મહત્વના મુદ્દાઓનો ઉલ્લેખ કરી શકીએ છીએ. એક એ છે કે પ્રકાશ અતિ તીવ્ર ઝડપથી ગતિ કરે છે અને બીજો એ છે કે તે એક સીધી રેખામાં ગતિ કરે છે. લોકોને એ સમજતાં થોડો સમય લાગ્યો કે પ્રકાશની ઝડપ સિમીત અને માપી શકાય તેવી છે. શૂન્યાવકાશમાં તેનું અત્યારે સ્વીકારાયેલ મૂલ્ય $c = 2.99792458 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ છે. ઘણા હેતુઓ માટે $c = 3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ લેવાનું પુરતું છે. શૂન્યાવકાશમાં પ્રકાશની ઝડપ એ કુદરતમાં મેળવી શકાય તેવી મહત્તમ ઝડપ છે.

પ્રકાશ એક સીધી રેખામાં ગતિ કરે છે એ ખ્યાલ અને આપણે પ્રકરણ-8માં જે શીખ્યા હતા કે પ્રકાશ વર્ણપટના દૃશ્ય વિભાગના તરંગલંબાઈના વિદ્યુતચુંબકીય તરંગ છે, તે ખ્યાલ એકબીજાથી વિરુદ્ધ લાગે છે. આ બંને હકીકતોને કેવી રીતે એક કરી શકાય ?

આ પ્રશ્નનો જવાબ એ છે કે આપણે રોજંદા વ્યવહારમાં ઉપયોગમાં લઈએ છે તેવી વસ્તુઓની સરખામણીમાં પ્રકાશની તરંગલંબાઈ ઘણી જ નાની છે. (વ્યવહારમાં આપણે થોડા cm કે તેનાથી વધુ લંબાઈની વસ્તુઓ ધ્યાનમાં લઈએ છીએ) આ પરિસ્થિતિમાં તમે પ્રકરણ-10માં અભ્યાસ કરશો તે મુજબ



પ્રકાશના તરંગને એક બિંદુથી બીજા બિંદુ સુધી તેમને જોડતા સુરેખ માર્ગે ગતિ કરતું લઈ શકાય છે. પ્રકાશના ગતિમાર્ગને કિરણ કહે છે. આવા કિરણોના સમુહને કિરણજૂથ (Beam) કહે છે.

પ્રસ્તુત પ્રકરણમાં આપણે પ્રકાશના કિરણ સ્વરૂપની મદદથી પરાવર્તન, વક્રીભવન અને વિભાજન જેવી ઘટનાઓનો અભ્યાસ કરીશું. પરાવર્તન અને વક્રીભવનના મૂળભૂત નિયમોનો ઉપયોગ કરી, આપણે સમતલ અને ગોળીય પરાવર્તક અને વક્રાકાર સપાટીઓ વડે રચાતા પ્રતિબિંબોનો અભ્યાસ કરીશું. પછી આપણે માનવ આંખ સહિત કેટલાંક મહત્વનાં પ્રકાશીય ઉપકરણોની રચના અને કાર્યનું વર્ણન કરીશું.

પ્રકાશનું કણ (PARTICLE) મોડેલ

ન્યૂટનની ગણિતશાસ્ત્ર, યંત્રશાસ્ત્ર અને ગુરુત્વાકર્ષણમાં પાયારૂપ ભૂમિકાને કારણે તેણે કરેલા પ્રકાશના ખૂબ જ ઊંડાણપૂર્વકના સૈદ્ધાંતિક અને પ્રાયોગિક કાર્ય બાબતે આપણે ઘણીવાર અજાણ રહીએ છીએ. ન્યૂટનની પ્રકાશ-શાસ્ત્રમાં પણ એક પ્રણેતા (Pioneer) તરીકેની મહત્ત્વની ભૂમિકા રહી છે.

ડેસ્કાર્ટેસ નામના વિજ્ઞાનીએ રજૂ કરેલા પ્રકાશના કણ-મોડેલને તેણે આગળ વિકસાવ્યો, તેણે ધાર્યું કે પ્રકાશઊર્જા અત્યંત નાના-નાના સૂક્ષ્મ કણોમાં કેન્દ્રિત થયેલી હોય છે. આ સૂક્ષ્મ કણોને તેણે કોર્પસ્ક્યુલ્સ કહ્યા. તેણે વધુમાં એવી પણ ધારણા કરી કે આ પ્રકાશના સૂક્ષ્મકણો દળ રહિત અને સ્થિતિસ્થાપક કણો છે. ન્યૂટને તેની યંત્રશાસ્ત્રની સમજને આધારે આ સૂક્ષ્મકણોનાં પરાવર્તન અને વક્રીભવનનું સરળ મોડેલ આપ્યું. એક સામાન્ય અવલોકન મુજબ જ્યારે સમતલ સપાટી પરથી બોલનું પરાવર્તન થાય છે ત્યારે પરાવર્તનના નિયમોનું પાલન થાય છે. જ્યારે આ અથડામણ સ્થિતિસ્થાપક હોય છે ત્યારે વેગમાન તેનું તે જ રહે છે. સપાટી લીસી હોવાથી, સપાટીને સમાંતર કોઈ બળ લાગતું નથી, આથી વેગમાનનો આ દિશામાંનો ઘટક તેનો તે જ રહે છે. ફક્ત સપાટીને લંબદિશાનો વેગમાનનો ઘટક પરાવર્તનમાં ઊલટાય છે. ન્યૂટને એવી દલીલ કરી કે અરીસા જેવી લીસી સપાટીઓ પ્રકાશના સૂક્ષ્મકણોનું પરાવર્તન પણ બરોબર આ જ પ્રમાણે કરે છે.

વક્રીભવનની ઘટના સમજાવવા ન્યૂટને ધારણા કરી હતી કે આ સૂક્ષ્મ કણોની ઝડપ પાણી અને કાચ જેવા ઘટ્ટ માધ્યમમાં હવામાં વેગ કરતાં વધારે હોય છે. જો કે, પાછળથી એવું શોધાયું કે પ્રકાશનો વેગ પાણી અને કાચ જેવા માધ્યમમાં હવામાંના વેગ કરતાં ઓછો હોય છે.

પ્રકાશશાસ્ત્રમાં ન્યૂટન-એક સિદ્ધાંતવાદી કરતાં ન્યૂટન-એક પ્રયોગકર્તા તરીકે વધુ મહાન રહ્યા છે. પ્રકાશના કણસ્વરૂપ વડે સમજવી ખૂબ જ કઠીન એવી ઘણી ઘટનાઓ ન્યૂટને સ્વયં જોઈ હતી. ઉદાહરણ તરીકે પાણી પર તેલનાં પાતળા સ્તરો વડે દેખાતા રંગોની ઘટના. પ્રકાશનાં અંશતઃ પરાવર્તનની ઘટનાનું બીજું ઉદાહરણ, તળાવમાં નજર કરતાં વ્યક્તિને તેનો પોતાનો ચહેરો પણ દેખાય છે અને તળાવનું તળિયું પણ દેખાય છે. ન્યૂટને એવી દલીલ કરી કે પાણી પર આપાત થતાં સૂક્ષ્મકણો (Corpuscles) પૈકી કેટલાક કણોનું પરાવર્તન થાય છે, જ્યારે કેટલાક કણો પારગમન પામે છે. પરંતુ આ બંને પ્રકારનાં સૂક્ષ્મકણોને અલગ પાડતો ગુણધર્મ કયો? ન્યૂટને એવો અધિતર્ક કરવો પડ્યો કે કેટલીક શક્ય ઘટનાઓ છે, કે જે અગાઉથી જાણી શકાતી નથી કે કોઈ એક વ્યક્તિગત સૂક્ષ્મકણ પરાવર્તન પામશે કે નહીં. અન્ય કેટલીક ઘટનાઓ સમજાવવા એવું ધારી લેવામાં આવ્યું છે કે બધા જ સૂક્ષ્મકણો સમાન હોય તે રીતે વર્તે છે. પ્રકાશનાં તરંગ સ્વરૂપમાં આવી મુશ્કેલી ઉદ્ભવતી નથી, અને આપાત તરંગ હવા અને પાણીને છૂટા પાડતી સપાટી પાસે બે નબળા તરંગોમાં વિભાજિત થાય છે.

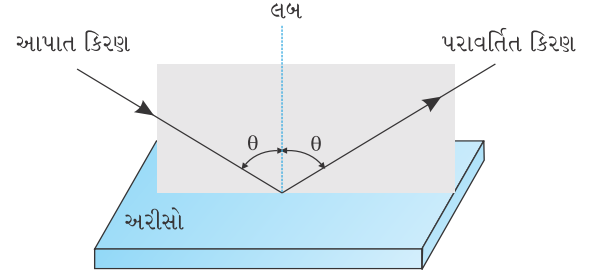
9.2 ગોળીય અરીસાઓ વડે થતું પ્રકાશનું પરાવર્તન (REFLECTION OF LIGHT BY SPHERICAL MIRRORS)

આપણે પરાવર્તનના નિયમોથી સુપરિચિત છીએ. આપાતકોણ (આપાત કિરણે પરાવર્તનકારક સપાટીને અથવા અરીસાને રચેલ લંબ સાથે બનાવેલો ખૂણો) અને પરાવર્તનકોણ (પરાવર્તિત કિરણે લંબ સાથે બનાવેલો ખૂણો) સમાન હોય છે. આપાત કિરણ, પરાવર્તિત કિરણ અને પરાવર્તનકારક સપાટીને લંબ એક જ સમતલમાં હોય છે (જેને આપાત સમતલ કહે છે). આપાત કિરણ અને પરાવર્તિત કિરણ લંબની સામસામેની બાજુ હોય છે (આકૃતિ 9.1). આ નિયમો સમતલ કે વક્ર દરેક પરાવર્તક સપાટીના કોઈ પણ બિંદુ પાસે સત્ય છે. છતાં, આપણો અભ્યાસ ગોળીય સપાટી પૂરતો મર્યાદિત રાખીશું. ગોળીય

કિરણ પ્રકાશશાસ્ત્ર અને પ્રકાશીય ઉપકરણો

સપાટી આપાત બિંદુ પાસે દોરેલા સ્પર્શકને લંબ, એ સપાટીને લંબ થશે. આ અર્થમાં અરીસાનાં વક્રતાકેન્દ્રમાંથી અરીસાની સપાટી પર કોઈ પણ બિંદુને જોડતો રેખાખંડ આ બિંદુ પાસે અરીસાને દોરેલ લંબ થશે.

આપણે અગાઉ અભ્યાસ કરી ચૂક્યા છીએ કે, ગોળીય અરીસાનાં ભૌમિતિક કેન્દ્રને અરીસાનો ધ્રુવ (Pole) P કહે છે, જ્યારે ગોળીય લેન્સ માટે તેને પ્રકાશીય કેન્દ્ર (Optical Centre) કહે છે. અરીસા માટે ધ્રુવીયબિંદુ P અને વક્રતાકેન્દ્ર C ને જોડતી રેખાને અરીસાની મુખ્ય અક્ષ કહે છે. ગોળીય લેન્સ માટે પ્રકાશીય કેન્દ્ર અને મુખ્ય કેન્દ્રને જોડતી રેખાને લેન્સની મુખ્ય અક્ષ કહે છે, તે તમે હવે પછી જોશો.



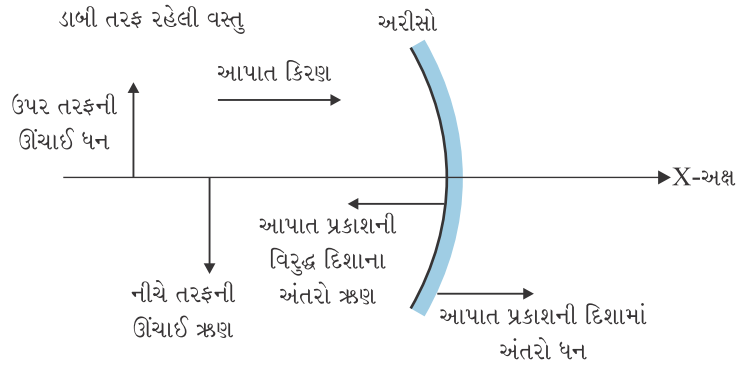
આકૃતિ 9.1 આપાત કિરણ, પરાવર્તિત કિરણ અને પરાવર્તક સપાટીને રચેલો લંબ એક જ સમતલમાં હોય છે.

9.2.1 સંજ્ઞા પદ્ધતિ (Sign Convention)

ગોળીય અરીસા દ્વારા થતા પરાવર્તન અને ગોળીય લેન્સ દ્વારા થતા વક્રીભવન માટે વિવિધ સૂત્રોની તારવણી માટે સૌ પ્રથમ, આપણે અંતરો માપવા માટે સંજ્ઞા પદ્ધતિ સ્વીકારીશું. આ પાઠ્યપુસ્તકમાં આપણે કાર્ટેઝિયન સંજ્ઞા પદ્ધતિને અનુસરીશું. આ સંજ્ઞા પદ્ધતિ મુજબ અરીસા માટે તમામ અંતરો ધ્રુવ (Pole) P થી માપવામાં આવે છે અને લેન્સ માટે તમામ અંતરો તેના પ્રકાશીય કેન્દ્રથી માપવામાં આવે છે.

આપાત કિરણની દિશામાં મપાયેલા અંતરો ધન ગણાય છે. જ્યારે આપાત કિરણની વિરુદ્ધ દિશામાં મપાયેલા અંતરો ઋણ ગણાય છે (આકૃતિ 9.2). X-અક્ષની ઉપર તરફની અને અરીસા/લેન્સની મુખ્ય અક્ષને લંબ ઊંચાઈઓ ધન અને નીચે તરફની ઊંચાઈઓ ઋણ લેવામાં આવે છે.

આ સ્વીકૃત સંજ્ઞા પદ્ધતિ વડે અરીસા માટે એક સૂત્ર તેમજ લેન્સ માટે એક સૂત્રની મદદથી જુદા જુદા બધા કિસ્સાઓ સમજાવી શકાય છે.

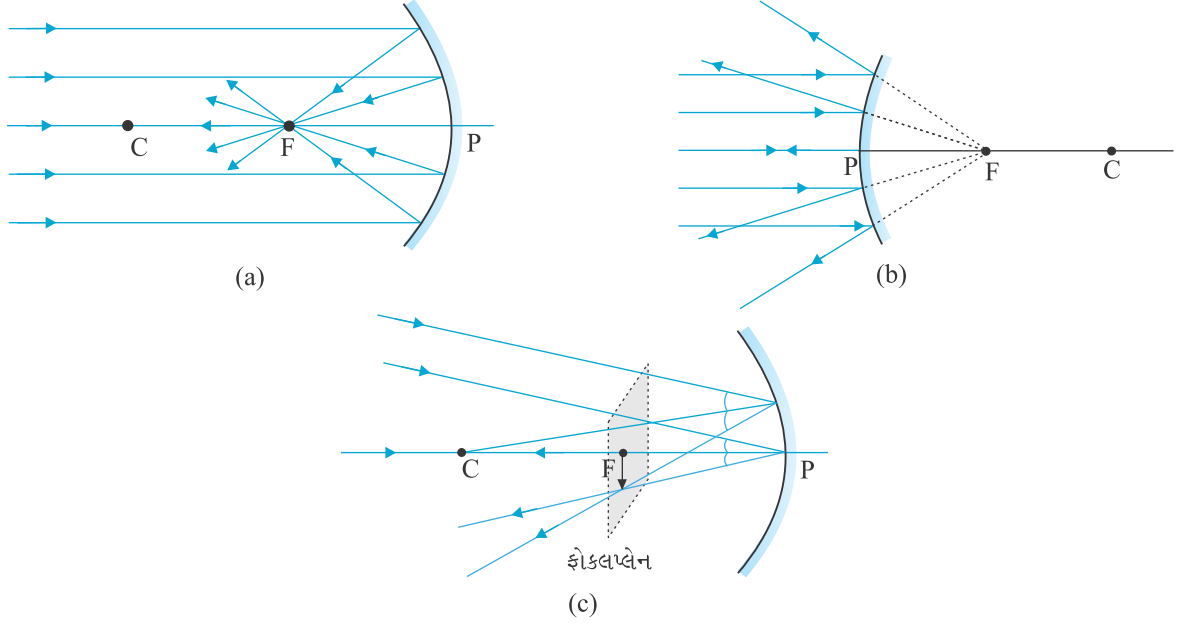


આકૃતિ 9.2 કાર્ટેઝિયન સંજ્ઞા પદ્ધતિ

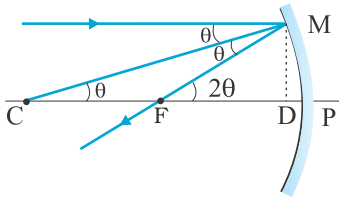
9.2.2 ગોળીય અરીસાની કેન્દ્રલંબાઈ (F) (Focal Length of Spherical Mirrors)

(a) અંતર્ગોળ અરીસા અને (b) બહિર્ગોળ અરીસા પર જ્યારે સમાંતર કિરણજુથ (કિરણાવલી) આપાત થાય છે ત્યારે શું થાય છે તે આકૃતિ 9.3માં બતાવ્યું છે. આપણે ધારીશું કે કિરણો પેરેક્સિઅલ (Paraxial) છે, અર્થાત્ અરીસાના ધ્રુવ P ની નજીક આપાત થયેલ છે અને મુખ્ય અક્ષ સાથે નાના ખૂણા બનાવે છે. અંતર્ગોળ અરીસા માટે મુખ્ય અક્ષને સમાંતર કિરણો પરાવર્તન પામી બિંદુ F પાસે કેન્દ્રિત થાય છે [આકૃતિ 9.3(a)]. બહિર્ગોળ અરીસા માટે મુખ્ય અક્ષને સમાંતર કિરણો તેની મુખ્ય અક્ષ પરના બિંદુ F પાસેથી અપકેન્દ્રિત થતા જણાય છે [આકૃતિ 9.3(b)]. બિંદુ F ને અરીસાનું મુખ્ય કેન્દ્ર કહે છે. જો અરીસા પર આપાત થતા પેરેક્સિઅલ કિરણો મુખ્ય અક્ષને સમાંતર ન હોય [આકૃતિ 9.3(c)] તો તેઓ મુખ્ય કેન્દ્રમાંથી પસાર થતા અને મુખ્ય અક્ષને લંબ હોય તેવા સમતલમાંના બિંદુ પર કેન્દ્રિત થાય (અથવા અપકેન્દ્રિત થતા જણાતા હોય). આ સમતલને ફોકલ પ્લેન (Focal Plane) કહે છે.

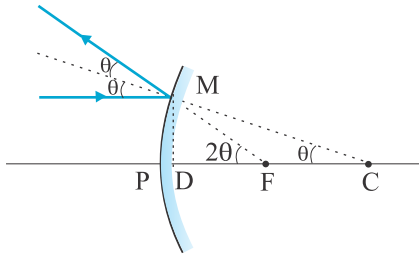
મુખ્ય કેન્દ્ર (F) અને ધ્રુવ (P) વચ્ચેના અંતરને અરીસાની કેન્દ્રલંબાઈ કહે છે, તેને f વડે દર્શાવાય છે. હવે આપણે $f = R/2$ મેળવીશું, જ્યાં R એ અરીસાની વક્રતાત્રિજ્યા છે. આકૃતિ 9.4માં બતાવ્યા પ્રમાણે, આપાત કિરણનું અરીસાની સપાટી પરથી પરાવર્તન થાય છે.



આકૃતિ 9.3 અંતર્ગોળ અને બહિર્ગોળ અરીસાના મુખ્ય કેન્દ્ર



(a)



(b)

આકૃતિ 9.4 આપાત કિરણના પરાવર્તનથી રચાતી ભૂમિતિ (a) અંતર્ગોળ અરીસા માટે (b) બહિર્ગોળ અરીસા માટે

ધારો કે C અરીસાનું વક્રતાકેન્દ્ર છે. મુખ્યઅક્ષને સમાંતર કિરણ અરીસાની સપાટી પર M બિંદુ એ આપાત થાય છે. આથી CM એ M બિંદુ પાસે અરીસાની સપાટીને દોરેલો લંબ થશે. ધારો કે, આપાતકોણ θ છે, અને MD એ બિંદુ Mમાંથી મુખ્ય અક્ષ પર દોરેલો લંબ છે. તો,

$$\angle MCP = \theta \text{ અને } \angle MFP = 2\theta$$

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

પેરેક્સિઅલ કિરણો માટે θ અત્યંત સૂક્ષ્મ હોય તો

$$\tan\theta \approx \theta \text{ અને } \tan 2\theta \approx 2\theta.$$

સમીકરણ (9.1) પરથી,

$$\frac{MD}{FD} = \frac{2MD}{CD} \quad (9.2)$$

હવે θ ના નાના મૂલ્ય માટે બિંદુ D એ બિંદુ Pની ખૂબ જ નજીક છે.

આથી, $FD = f$ અને $CD = R$. સમીકરણ (9.2) પરથી

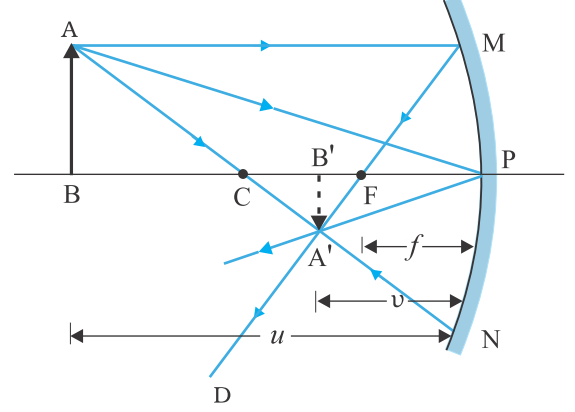
$$f = R/2 \quad (9.3)$$

9.2.3 અરીસાનું સૂત્ર (The Mirror Equation)

જો કિરણો કોઈ એક બિંદુમાંથી ઉત્સર્જિત થઈ પરાવર્તન અને / અથવા વક્રીભવન પામી બીજા કોઈ બિંદુ પાસે કેન્દ્રિત થતાં હોય, તો તે બિંદુને પ્રથમ બિંદુનું પ્રતિબિંબ કહે છે. જો કિરણો તે બિંદુ પર ખરેખર કેન્દ્રિત થતાં હોય તો પ્રતિબિંબ સાચું (Real) અને કિરણો ખરેખર કેન્દ્રિત થતાં ન હોય પણ પાછળ લંબાવતાં તે બિંદુએથી અપકેન્દ્રિત થતાં હોય તેમ જણાય તો પ્રતિબિંબ આભાસી (Virtual) કહેવાય. આમ, પ્રતિબિંબ એ પરાવર્તન / અથવા વક્રીભવન દ્વારા વસ્તુ સાથે રચાતી બિંદુથી બિંદુની અનુરૂપતા (Point to Point Correspondence) છે.

સિદ્ધાંતમાં, આપણે વસ્તુના કોઈ એક બિંદુમાંથી ઉત્સર્જિત થતાં કોઈ બે કિરણો લઈ તેમનો ગતિપથ દોરી બંને કિરણોનું છેદનબિંદુ શોધી ગોળીય અરીસાથી થતા પરાવર્તનને લીધે મળતું પ્રતિબિંબ શોધી શકીએ. છતાં વ્યવહારમાં નીચે દર્શાવેલ કિરણો પૈકી કોઈ પણ બે કિરણો પસંદ કરવાનું અનુકૂળ છે :

- કોઈ બિંદુમાંથી મુખ્ય અક્ષને સમાંતર કિરણ તે પરાવર્તન પામી અરીસાના મુખ્ય કેન્દ્રમાંથી પસાર થાય છે.
- અંતર્ગોળ અરીસા માટે વક્રતા કેન્દ્રમાંથી પસાર થતું કિરણ અને બહિર્ગોળ અરીસા માટે વક્રતા કેન્દ્રમાંથી પસાર થતું હોય તેવો ભાસ થતું કિરણ. તે અરીસા પરથી પરાવર્તન પામી એ જ માર્ગે પરત થતું હોય છે.
- અંતર્ગોળ અરીસાના મુખ્ય કેન્દ્રમાંથી પસાર થતું (અથવા તેની તરફ જતું) કિરણ અથવા બહિર્ગોળ અરીસાના મુખ્ય કેન્દ્રમાંથી પસાર થતું હોય તેવો ભાસ થતું (અથવા તેની તરફ જતું) કિરણ પરાવર્તન પામી મુખ્ય અક્ષને સમાંતર થાય છે.
- અરીસાના ધ્રુવ (P) સાથે કોઈ પણ કોણે આપાત થતું કિરણ. પરાવર્તિત કિરણ પરાવર્તનના નિયમોનું પાલન કરે છે.



આકૃતિ 9.5 અંતર્ગોળ અરીસા વડે રચાતા
પ્રતિબિંબની કિરણાકૃતિ

આકૃતિ 9.5માં ત્રણ કિરણોને ધ્યાનમાં લીધા છે. AB વસ્તુ છે અને A'B' તેનું અંતર્ગોળ અરીસા વડે મળતું પ્રતિબિંબ (આ કિસ્સામાં સાચું) છે. આનો અર્થ એવો નથી કે, માત્ર ત્રણ કિરણોનું ઉત્સર્જન થાય છે, હકીકતમાં કોઈ પણ ઉદ્ગમમાંથી અનંત કિરણો બધી દિશામાં ઉત્સર્જાય છે. આમ બિંદુ Aમાંથી નીકળતાં બધાં કિરણો અંતર્ગોળ અરીસા પર પડીને પરાવર્તન બાદ બિંદુ A'માંથી પસાર થાય તો A' એ બિંદુ Aનું પ્રતિબિંબ છે.

હવે, આપણે વસ્તુઅંતર (u), પ્રતિબિંબઅંતર (v) અને કેન્દ્રલંબાઈ (f) વચ્ચે સંબંધ દર્શાવતું સૂત્ર તારવીશું.

આકૃતિ 9.5 પરથી બે કાટકોણ ત્રિકોણો $\triangle A'B'F$ અને $\triangle MPF$ સમરૂપ ત્રિકોણો છે. (પેરેક્સિઅલ કિરણો માટે MPને મુખ્ય અક્ષ CPને લંબ સુરેખા ગણી શકાય) આથી,

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

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

$\angle APB = \angle A'PB'$ હોવાથી કાટકોણ ત્રિકોણો ABP અને A'B'P પણ સમરૂપ છે.

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

સમીકરણ (9.4) અને (9.5)ને સરખાવતાં,

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

સમીકરણ 9.6 અંતરોના માન વચ્ચે સંબંધ દર્શાવતું સૂત્ર છે. હવે સંજ્ઞા પદ્ધતિ લાગુ પાડીએ. આપણે જાણીએ છીએ કે વસ્તુથી અરીસા MPNની દિશામાં પ્રકાશ ગતિ કરે છે. આથી આ દિશા ધન ગણાશે. અહીં વસ્તુ AB અને તેનું પ્રતિબિંબ A'B' તથા મુખ્ય કેન્દ્ર F એ આપાત પ્રકાશની વિરુદ્ધ દિશામાં હોવાથી, આ ત્રણેયના અંતરો ઋણ ગણાશે.



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

સમીકરણ (9.6) પરથી,

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

$$\text{અથવા } \frac{v - f}{f} = \frac{v}{u}$$

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

v વડે ભાગતાં

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f} \text{ મળે.}$$

(9.7)

આ સમીકરણ (9.7)ને અરીસાનું સૂત્ર કહે છે.

અહીં બીજી ધ્યાનમાં લેવાની બાબત વસ્તુની ઊંચાઈની સરખામણીએ પ્રતિબિંબનું પરિમાણ છે. પ્રતિબિંબની ઊંચાઈ (h') અને વસ્તુની ઊંચાઈ (h)ના ગુણોત્તરને રેખીય મોટવણી (Linear Magnification) કહે છે.

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

(9.8)

આપણે અપનાવેલી સંજ્ઞા પદ્ધતિ મુજબ h અને h' ને ધન અથવા ઋણ લેવામાં આવે છે. ΔABP અને $\Delta A'B'P$ પરથી,

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

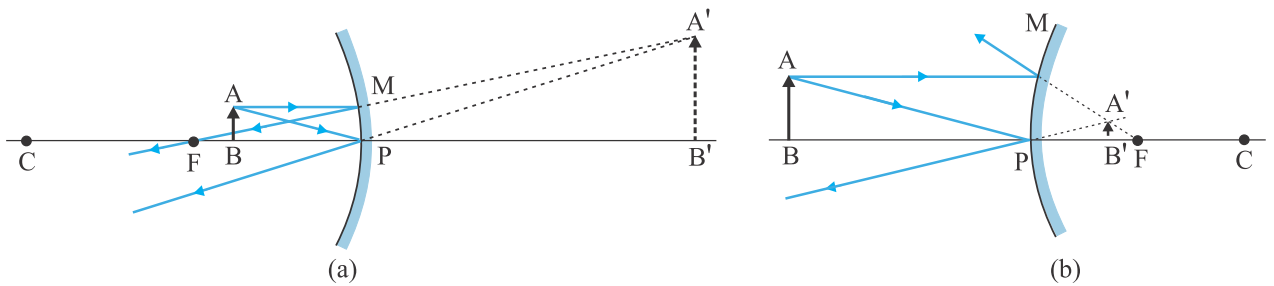
$$\frac{-h'}{h} = \frac{-v}{-u} \text{ (સંજ્ઞા પદ્ધતિ મુજબ)}$$

આથી,

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

(9.9)

અહીં આપણે અરીસાનું સૂત્ર (સમીકરણ 9.7) અને મોટવણીનું સૂત્ર (સમીકરણ 9.9) અંતર્ગોળ અરીસા માટે વસ્તુનું પ્રતિબિંબ સાચું (વાસ્તવિક) અને ઊલટું હોય તે કિસ્સા માટે તારવ્યા છે. સંજ્ઞા પદ્ધતિનો યોગ્ય ઉપયોગ કરી આ સૂત્રો ગોળીય અરીસાથી પરાવર્તન માટે (અંતર્ગોળ તેમજ બહિર્ગોળ) તમામ કિસ્સાઓમાં સાચા કે આભાસી પ્રતિબિંબો માટે તારવી શકાય. આકૃતિ 9.6 અંતર્ગોળ તેમજ બહિર્ગોળ અરીસા માટે આભાસી પ્રતિબિંબ કેવી રીતે મેળવી શકાય તે દર્શાવે છે. સમીકરણ (9.7) અને (9.9) આ કિસ્સાઓમાં પણ લાગુ પડે છે તે તમારે ચકાસવું જોઈએ.



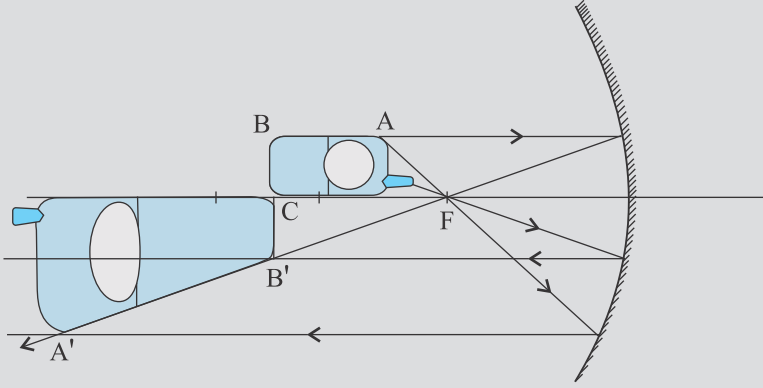
આકૃતિ 9.6 વસ્તુ P અને F વચ્ચે હોય ત્યારે (a) અંતર્ગોળ અરીસા વડે અને (b) બહિર્ગોળ અરીસા વડે રચાતા પ્રતિબિંબ

ઉદાહરણ 9.1 આકૃતિ 9.5માં દર્શાવેલ અંતર્ગોળ અરીસાની નીચેની અડધી, પરાવર્તક સપાટીને અપરાવર્તક દ્રવ્ય વડે ઢાંકી દીધી છે. આ અરીસાની સામે મૂકેલી વસ્તુના પ્રતિબિંબ પર શી અસર થશે ?

ઉકેલ આપ કદાચ વિચારતાં હશો કે હવે વસ્તુનું અડધું (Half) પ્રતિબિંબ જ રચાશે, પરંતુ એવું નથી બનતું. અરીસાના બાકીના ભાગના દરેક બિંદુ પાસે પરાવર્તનના નિયમો લાગુ પડતા હોવાથી પ્રતિબિંબ સમગ્ર વસ્તુનું મળશે. (હા, પ્રતિબિંબની તીવ્રતા જરૂર ઘટે છે. અહીં અડધી થાય છે.)

ઉદાહરણ 9.1

ઉદાહરણ 9.2 એક અંતર્ગોળ અરીસાની અક્ષ પર આકૃતિ (9.7)માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે એક મોબાઈલ ફોન મૂક્યો છે. યોગ્ય આકૃતિ દોરી તેનું પ્રતિબિંબ મેળવો. મોટવણી એક સમાન કેમ નથી તે સમજાવો. શું પ્રતિબિંબની વિકૃતિ અરીસાની સાપેક્ષે મોબાઈલના સ્થાન પર આધાર રાખે છે ?



આકૃતિ 9.7

ઉકેલ

મોબાઈલનું પ્રતિબિંબ મેળવવા માટે કિરણોનો માર્ગ આકૃતિ 9.7માં દર્શાવ્યા મુજબ મળે છે. મુખ્ય અક્ષને લંબ સમતલના ભાગનું પ્રતિબિંબ એજ સમતલમાં રચાય છે. તે તેટલા જ પરિમાણનું હશે. એટલે કે, $B'C = BC$. પ્રતિબિંબની મોટવણી એક સમાન કેમ નથી તે તમે જાતે સમજી શકો છો. હા અરીસાથી મોબાઈલનું અંતર બદલતાં પ્રતિબિંબ અલગ મળે.

ઉદાહરણ 9.2

ઉદાહરણ 9.3 એક અંતર્ગોળ અરીસાની વક્રતાત્રિજ્યા 15 cm છે. આ અરીસાની સામે વસ્તુને (i) 10 cm અને (ii) 5 cm દૂર મૂકતાં રચાતાં પ્રતિબિંબનાં સ્થાન, પ્રકાર અને મોટવણી દરેક કિસ્સામાં મેળવો.

ઉકેલ

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

$$(i) \text{ વસ્તુ અંતર } u = -10 \text{ cm. સમીકરણ (9.7) મુજબ } \frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

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

$$\text{અથવા } \frac{10 \times 7.5}{-2.5} = -30 \text{ cm}$$

આમ, પ્રતિબિંબ અરીસાથી 30 cm દૂર વસ્તુની બાજુએ જ છે.

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

પ્રતિબિંબ વાસ્તવિક, ઊલટું અને વિવર્ધિત (મોટું) મળે છે.

ઉદાહરણ 9.3



(ii) વસ્તુઅંતર $u = -5$ cm. સમીકરણ (9.7) મુજબ $\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$

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

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

આમ, પ્રતિબિંબ અરીસાથી 15 cm દૂર અરીસાની પાછળ મળશે. તે આભાસી પ્રતિબિંબ છે.

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

પ્રતિબિંબ આભાસી, ચતુ અને વિવર્ધિત મળે છે.

ઉદાહરણ 9.4 ધારોકે, તમે પાર્ક કરેલી કારમાં બેઠા છો અને $R = 2$ m વાળા સાઈડ વ્યુ મીરરમાં એક વ્યક્તિને કાર તરફ દોડતી આવતી નીહાળો છો. જો વ્યક્તિની ઝડપ 5 m s^{-1} હોય તો જ્યારે તે અરીસાથી (a) 39 m, (b) 29 m, (c) 19 m અને (d) 9 m દૂર હોય ત્યારે તેનું પ્રતિબિંબ કેટલી ઝડપથી ગતિ કરતું દેખાશે ?

ઉકેલ અરીસાના સૂત્ર પરથી,

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

બહિર્ગોળ અરીસા માટે, $R = 2$ m, $\therefore f = 1$ m

$$(a) \quad u = -39 \text{ m માટે } v = \frac{(-39) \times 1}{-39 - 1} = \frac{39}{40} \text{ m}$$

હવે દોડતી વ્યક્તિની અચળ ઝડપ $= 5 \text{ m s}^{-1}$. આમ, 1 સેકન્ડના અંતે તે અરીસાથી $-39 + 5 = -34$ m દૂર હશે.

આમ, પ્રતિબિંબ $v = \frac{34}{35} \text{ m}$ મળશે.

આથી 1 sમાં પ્રતિબિંબના સ્થાનમાં ફેરફાર

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

આથી, દોડતી વ્યક્તિ જ્યારે 39 m અને 34 m વચ્ચે હોય ત્યારે તેની સરેરાશ ઝડપ $1/280 \text{ m s}^{-1}$ થશે. આજ પ્રમાણે (b) 29 m, (c) 19 m અને (d) 9 m માટે ગણતરી કરી ઝડપ અનુક્રમે $1/150 \text{ m s}^{-1}$, $1/60 \text{ m s}^{-1}$ અને $1/10 \text{ m s}^{-1}$ મેળવી શકાય છે.

અહીં, દોડતી વ્યક્તિ અચળ ઝડપથી ગતિ કરે છે તેમ છતાં તે જેમ જેમ અરીસાની નજીક આવે છે તેમ તેમ તેની ઝડપ વધતી હોય એવું દેખાય છે. પાર્કિંગમાં સ્થિર કારમાં અથવા બસમાં બેઠેલી કોઈ પણ વ્યક્તિ આ ઘટના અનુભવી શકે છે. ગતિમાન વાહનોના કિસ્સામાં પણ આવી જ ઘટના અનુભવી શકાય, જો અરીસામાં દેખાતું પાછળનું વાહન અચળ ઝડપથી ગતિ કરતું હોય તો.

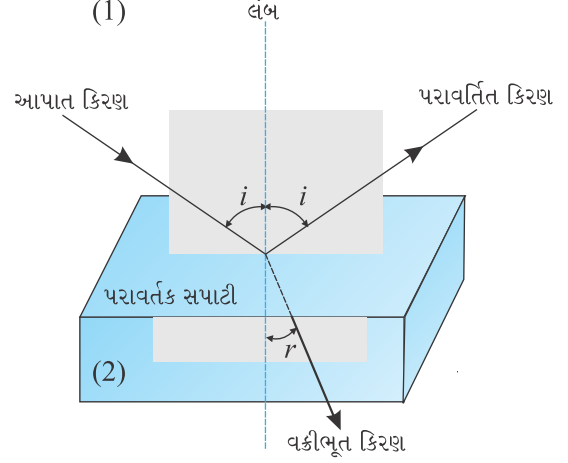
9.3 વક્રીભવન (REFRACTION)

જ્યારે પ્રકાશનું કિરણજુથ કોઈ એક માધ્યમમાંથી બીજા પારદર્શક માધ્યમમાં પ્રવેશે છે. ત્યારે આપાત પ્રકાશનો થોડો ભાગ પ્રથમ માધ્યમમાં પરાવર્તન પામે છે જ્યારે બાકીનો પ્રકાશ બીજા માધ્યમમાં પ્રવેશે છે. ત્રાંસા આપાત ($0 < i < 90^\circ$) થયેલા કિરણની દિશા, બે માધ્યમને છૂટી પાડતી સપાટી પાસેથી બદલાય છે. આ ઘટનાને પ્રકાશનું વક્રીભવન કહે છે. સ્નેલ નામના વિજ્ઞાનીએ પ્રાયોગિક રીતે વક્રીભવન માટે નીચેના નિયમો મેળવ્યાં.

કિરણ પ્રકાશશાસ્ત્ર અને પ્રકાશીય ઉપકરણો

- (i) આપાત કિરણ, વક્રીભૂત કિરણ અને આપાતબિંદુએ આંતરસપાટીને લંબ એક જ સમતલમાં હોય છે.
- (ii) આપેલાં બે માધ્યમો માટે આપાતકોણના sine અને વક્રીભૂતકોણના sineનો ગુણોત્તર અચળ રહે છે. યાદ રાખો કે, આપાતકોણ i અને વક્રીભૂતકોણ r એ અનુક્રમે આપાત કિરણો અને વક્રીભૂત કિરણો લંબ સાથે બનાવેલા કોણ છે.

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



આકૃતિ 9.8 પ્રકાશનું વક્રીભવન અને પરાવર્તન

જ્યાં, અચળાંક n_{21} ને માધ્યમ-2નો માધ્યમ-1ની સાપેક્ષ વક્રીભવનાંક કહે છે. સમીકરણ 9.10 વક્રીભવન માટેનો જાણીતો સ્નેલનો નિયમ છે. આપણે એ નોંધીએ કે વક્રીભવનાંક n_{21} એ બે માધ્યમને જોડતી લાક્ષણિકતા છે. (જે તરંગલંબાઈ λ પર પણ આધાર રાખે છે.) પરંતુ આપાતકોણથી સ્વતંત્ર છે.

સમીકરણ 9.10 પરથી, જો $n_{21} > 1$, $r < i$ એટલે કે વક્રીભૂત કિરણ લંબ તરફ વળાંક લે છે. આવા કિસ્સામાં માધ્યમ-2ને માધ્યમ-1ની સાપેક્ષ પ્રકાશીય ઘટ્ટ (અથવા ટૂંકમાં ઘટ્ટ) માધ્યમ કહે છે.

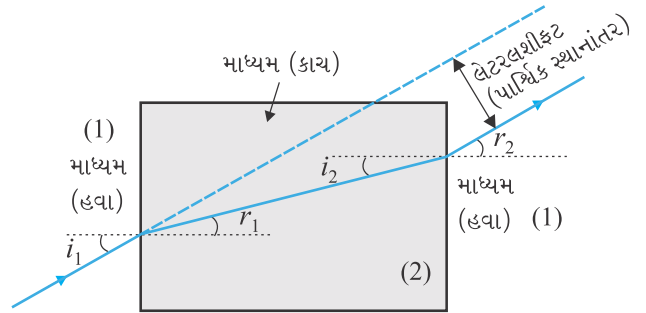
જો $n_{21} < 1$, તો $r > i$, વક્રીભૂત કિરણ લંબથી દૂર તરફ વળાંક લે છે. અહીં આપાત કિરણ પ્રકાશીય ઘટ્ટ માધ્યમમાં છે અને તે પાતળા માધ્યમમાં વક્રીભવન પામે છે.

નોંધ : પ્રકાશીય ઘનતા અને દળ-ઘનતા વચ્ચે ગૂંચવણ થવી ન જોઈએ. દળ ઘનતા એકમ કદનું દળ દર્શાવે છે. એવું શક્ય છે કે પ્રકાશીય ઘટ્ટ માધ્યમની દળ-ઘનતા એ પ્રકાશીય પાતળા માધ્યમ કરતાં ઓછી હોય. (પ્રકાશીય ઘનતા એ બંને માધ્યમમાં પ્રકાશના વેગનો ગુણોત્તર છે) દા. ત. ટર્પેન્ટાઈન અને પાણી. પાણી કરતાં ટર્પેન્ટાઈનની પ્રકાશીય ઘનતા વધુ છે પરંતુ તેની દળ ઘનતા પાણીની દળ ઘનતા કરતાં ઓછી છે.

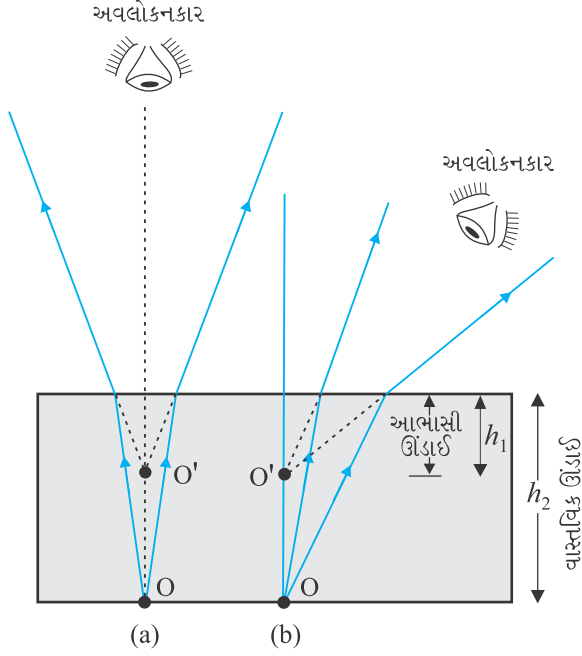
જો n_{21} = માધ્યમ-2નો માધ્યમ-1ને સાપેક્ષ વક્રીભવનાંક અને n_{12} = માધ્યમ-1નો માધ્યમ-2ને સાપેક્ષ વક્રીભવનાંક હોય તો,

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

વધુમાં n_{32} = માધ્યમ-3નો માધ્યમ-2ની સાપેક્ષ વક્રીભવનાંક હોય તો $n_{32} = n_{31} \times n_{12}$ જ્યાં n_{31} માધ્યમ-3નો માધ્યમ-1ને સાપેક્ષ વક્રીભવનાંક વક્રીભવનના નિયમો પરથી કેટલાક પ્રાથમિક પરિણામો મેળવી શકાય છે.



આકૃતિ 9.9 સમાંતર બાજુઓ ધરાવતાં સ્લેબમાંથી વક્રીભવન પામતાં કિરણ માટે લેટરલ શિફ્ટ.

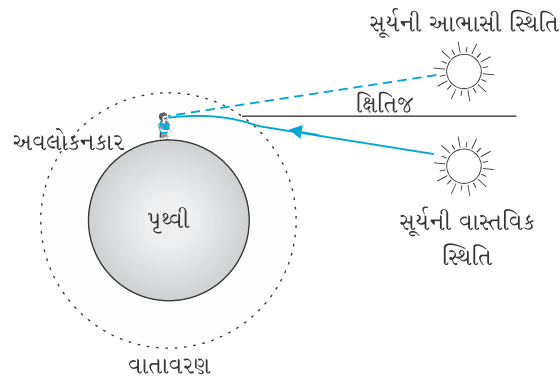


આકૃતિ 9.10 (a) લંબરૂપે અને
(b) ત્રાંસી રીતે જોતાં મળતી આભાસી ઊંડાઈ

લંબચોરસ સ્લેબ માટે બે આંતર સપાટી (હવા-કાય અને કાય-હવા) આગળ વક્રીભવનની ઘટના ઉદ્ભવે છે. આકૃતિ 9.9 પરથી સરળતાથી સમજી શકાય છે કે $r_2 = i_1$ અર્થાત્ નિર્ગમન કિરણ આપાત કિરણને સમાંતર છે. આમ આપાત કિરણનું વિચલન થતું નથી. પરંતુ, તે આપાત કિરણને સાપેક્ષ લેટરલ શીફ્ટ (પાર્થિક સ્થાનાંતર) અનુભવે છે. બીજું જાણીતું અવલોકન એ છે કે પાણીથી ભરેલી ટાંકીના તળિયાને લંબરૂપે જોતાં, તેનું તળિયું ઊંચકાયેલું (Raised) જોવા મળે છે (આકૃતિ 9.10). લંબદિશાની નજીકથી જોતા એવું દર્શાવી શકાય કે, આભાસી ઊંડાઈ (h_1) એ વાસ્તવિક ઊંડાઈ (h_2) અને માધ્યમ (પાણી)ના વક્રીભવનાંકના ગુણોત્તર જેટલી હોય છે.

વાતાવરણમાં પ્રકાશના વક્રીભવનને કારણે ઘણી રસપ્રદ ઘટનાઓ બને છે. દા.ત., વાતાવરણમાંથી પ્રકાશના વક્રીભવનને લીધે ખરેખરા સૂર્યોદયના સમય કરતાં સૂર્ય થોડો વહેલો દેખાય છે અને સૂર્યાસ્ત પછી પણ થોડા સમય સુધી દેખાય છે, (આકૃતિ 9.11). ખરેખરો સૂર્યોદય એટલે સૂર્ય ક્ષિતિજ (Horizon)ને ખરેખર ઓળંગે તે. આ અસરને દર્શાવવા માટે આકૃતિ ઘણી મોટી કરીને દર્શાવેલ છે.

હવાનો શૂન્યાવકાશને સાપેક્ષ વક્રીભવનાંક 1.00029 છે. આના કારણે સૂર્યની દિશામાં આભાસી શીફ્ટ (સ્થાનાંતર) મળે છે જે આશરે 0.5° જેટલું હોય છે અને અનુરૂપ સમયનો તફાવત 2 મિનિટ છે. (જુઓ ઉદાહરણ 9.5) આમ, આભાસી સૂર્યોદય અને ખરેખરા સૂર્યોદય (અથવા આભાસી સૂર્યાસ્ત અને ખરેખરા સૂર્યાસ્ત) વચ્ચેનો સમય તફાવત 2 મિનિટ મળે છે (આકૃતિ 9.11). સૂર્યોદય તેમજ સૂર્યાસ્ત સમયે ચપટો (Flattened) દેખાતો સૂર્ય (Oval Shape) પણ આ જ ઘટનાના કારણે છે.



આકૃતિ 9.11 વાતાવરણીય વક્રીભવનને લીધે વહેલો સૂર્યોદય અને મોડો સૂર્યાસ્ત

ઉદાહરણ 9.5 પૃથ્વીને પોતાની ધરીને અનુલક્ષીને એક પરિભ્રમણ કરતાં 24 h લાગે છે. પૃથ્વી પરથી સૂર્યને જોતાં તેની 1° જેટલી શીફ્ટ માટે તેને કેટલો સમય લાગશે ?

ઉકેલ

360° શીફ્ટ થતાં લાગતો સમય = 24 h

1° શીફ્ટ માટેનો સમય = $(1 \times 24/360) h = 4 \text{ min}$

તરણકુંડમાં ડૂબતો બાળક, લાઈફ ગાર્ડ અને સ્નેલનો નિયમ

આકૃતિમાં PQSR એક લંબચોરસ તરણકુંડ છે. તરણકુંડની બહાર નજીકમાં G બિંદુ પાસે રહેલો જીવનસંરક્ષક (લાઈફ ગાર્ડ) તરણકુંડમાં C બિંદુ પાસે એક બાળક પાણીમાં ડૂબી રહ્યો હોવાનું નોંધે છે. ગાર્ડ આ બાળકને જોઈ તેની પાસે ઓછામાં ઓછા સમયમાં પહોંચવા માંગે છે. G અને C વચ્ચેની તરણકુંડની બાજુ SR છે. તેણે આકૃતિમાં દર્શાવ્યા પ્રમાણે G અને C વચ્ચેનો સુરેખમાર્ગ GAC પર જવું કે GBC માર્ગે કે જેમાં પાણીમાંનો પથ BC ટૂંકામાં ટૂંકો હોય તે માર્ગે જવું અથવા કોઈ બીજા GXC માર્ગે જવું જોઈએ? આ ગાર્ડની જમીન પર દોડવાની ઝડપ v_1 તેની પાણીમાં તરવાની ઝડપ v_2 કરતાં વધારે છે, તે જાણે છે.

ધારોકે ગાર્ડ બિંદુ X પાસેથી તરણકુંડમાં દાખલ થાય છે. જો $GX = l_1$ અને $XC = l_2$ હોય તો G થી C સુધી પહોંચતા લાગતો સમય

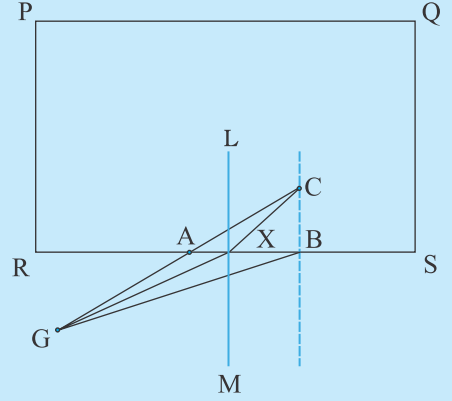
$$t = \frac{l_1}{v_1} + \frac{l_2}{v_2}$$

આ સમયને લઘુત્તમ બનાવવા તેનું વિકલન (Xના યામને અનુલક્ષીને) કરવું પડે અને બિંદુ X એવું શોધી કાઢવું પડે કે જ્યાં સમય t લઘુત્તમ થાય. આવી ગણતરીઓ (અહીં આપણે તે છોડી દઈએ છીએ) દર્શાવે છે કે બિંદુ X એવી જગ્યાએ મળે કે જ્યાં સ્નેલના નિયમનું પાલન થાય. આ સમજવા માટે, SR બાજુને X આગળ લંબ LM દોરો. $\angle GXM = i$, $\angle CXL = r$, તો એમ જણાય છે કે t ત્યારે જ લઘુત્તમ મળે કે જ્યારે

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2} \text{ થાય.}$$

પ્રકાશના કિસ્સામાં v_1/v_2 એ પ્રકાશના શૂન્યાવકાશમાંના વેગ અને માધ્યમમાંના વેગનો ગુણોત્તર છે જે માધ્યમનો વક્રીભવનાંક n છે.

આમ, તરંગ હોય या કણ કે કોઈ વ્યક્તિ, જો તેણે લઘુત્તમ સમય લેવો હોય તો બે માધ્યમ અને તેમાં બે વેગ સંકળાયેલા હોય ત્યારે સ્નેલના નિયમનું પાલન થવું જોઈએ.

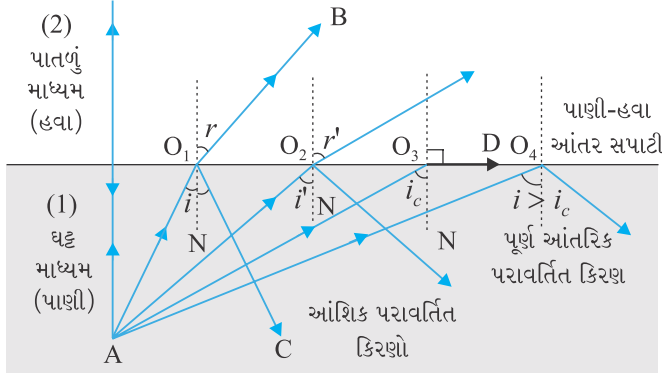


9.4 પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તન (TOTAL INTERNAL REFLECTION)

જ્યારે પ્રકાશનું કિરણ પ્રકાશીય ઘટ્ટ માધ્યમમાંથી પ્રકાશીય પાતળા માધ્યમમાં પ્રવેશે છે. ત્યારે તેનું, બંને માધ્યમોને છૂટી પાડતી સપાટી આગળ તે જ માધ્યમમાં તેનું આંશિક પરાવર્તન અને બીજા માધ્યમમાં આંશિક પારગમન થાય છે. આ પરાવર્તનને આંતરિક પરાવર્તન કહે છે.

જ્યારે પ્રકાશનું કિરણ પ્રકાશીય ઘટ્ટ માધ્યમમાંથી પ્રકાશીય પાતળા માધ્યમમાં પ્રવેશે છે ત્યારે તે લંબથી દૂર તરફ વિચલન પામે છે. દા.ત. આકૃતિ 9.12માં દર્શાવેલ કિરણ AO_1B . આપાતકિરણ AO_1 નું આંશિક પરાવર્તન (O_1C) અને આંશિક વક્રીભવન (O_1B) થાય છે.

આપાતકોણ (i) કરતાં વક્રીભૂતકોણ (r) મોટો છે. હવે આપાતકોણનું મૂલ્ય વધારતાં વક્રીભૂતકોણ પણ વધે છે; આવું AO_3 કિરણ સુધી બને છે કે જ્યાં વક્રીભૂતકોણ $\pi/2$ બને છે. અહીં વક્રીભૂતકિરણ ખૂબ વળીને બંને માધ્યમોને છૂટી પાડતી સપાટીને સમાંતર થાય છે. આ કિરણ AO_3D વડે દર્શાવ્યું છે, (આકૃતિ 9.12). જો આપાતકોણનું મૂલ્ય હજી પણ વધારવામાં આવે (દા.ત. કિરણ AO_4) તો તેનું વક્રીભવન શક્ય નથી અને તેનું સંપૂર્ણ પરાવર્તન જ થાય છે. જેને પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તન કહે છે. સામાન્ય રીતે જ્યારે પ્રકાશનું પરાવર્તન થાય છે ત્યારે તેનો કેટલોક અંશ પારગમન પામે છે. આથી જ પરાવર્તક સપાટી ગમે



આકૃતિ 9.12 ઘટ્ટ માધ્યમ (પાણી)માં રાખેલ બિંદુ Aમાંથી પાતળા માધ્યમ (હવા)ની સપાટીએ જુદા-જુદા કોણે આપાત થતાં કિરણોનું પરાવર્તન અને પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તન

તેટલી લીસી હોય તો પણ પરાવર્તિત કિરણ ઓછી તીવ્રતાવાળું હોય છે. પરંતુ, જ્યારે આપાત કિરણનું પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તન થાય છે ત્યારે પ્રકાશનું પારગમન થતું નથી.

વક્રીભૂતકોણ 90° બને ત્યારે અનુરૂપ આપાતકોણ (આકૃતિમાં $\angle AO_3N$)ને આપેલા માધ્યમોની જોડ માટેનો ક્રાંતિકોણ (i_c) કહે છે. સ્નેલના નિયમ (સમીકરણ 9.10) પરથી કહી શકાય કે જો વક્રીકારક માધ્યમનો સાપેક્ષ વક્રીભવનાંક 1 કરતાં ઓછો હોય તો, $\sin r$ નું મહત્તમ મૂલ્ય એક હોવાથી, સ્નેલના નિયમના પાલન માટે $\sin i$ ના મૂલ્યને એક ઉચ્ચ સીમા હોય છે. એટલે કે $i = i_c$, કે જેથી

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

i_c કરતાં i ના મોટા ($i > i_c$) મૂલ્યો માટે સ્નેલનો વક્રીભવનનો નિયમ પળાતો નથી અને તેથી વક્રીભવન શક્ય નથી. ઘટ્ટ માધ્યમ-1નો પાતળા માધ્યમ-2ને સાપેક્ષ વક્રીભવનાંક $n_{12} = 1/\sin i_c$. કેટલાક માધ્યમ માટે ક્રાંતિકોણના મૂલ્યો નીચેના કોષ્ટક 9.1માં દર્શાવ્યા છે.

કોષ્ટક 9.1 હવાની સાપેક્ષ કેટલાક માધ્યમોના ક્રાંતિકોણ

દ્રવ્ય માધ્યમ	વક્રીભવનનાંક	ક્રાંતિકોણ (i_c)
પાણી	1.33	48.75°
કાઉનકાય	1.52	41.14°
ઘટ્ટ ફ્લિન્ટ કાય	1.62	37.31°
ડાયમંડ (હીરો)	2.42	24.41°

પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તનનું નિર્દેશન

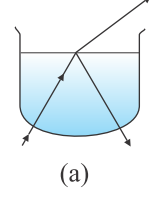
આજકાલ ખૂબ જ સરળ રીતે પ્રાપ્ત થઈ શકે છે તે લેસર ટોર્ચ કે પોઈન્ટરની મદદથી બધી પ્રકાશીય ઘટનાઓ ખૂબ જ સરળતાથી દર્શાવી શકાય છે. એક કાયના બીકરમાં સ્વચ્છ પાણી ભરો. એક સાબુ વડે આ પાણીને થોડો સમય હલાવો કે જેથી એ થોડું કલુષિત (ડહોળું) બને. લેસર કિરણને આ કલુષિત પાણી પર આપાત કરો. તમે પાણીમાં તેનો પ્રકાશિત માર્ગ જોઈ શકશો.

બીકરના તળિયાના ભાગ પરથી લેસર કિરણ એવી રીતે આપાત કરો કે તે બીજા છેડે પાણીની સપાટી પર આપાત થાય. શું તમે આપાત કિરણનું આંશિક પરાવર્તન (ટેબલ પર એક પ્રકાશીત ટપકું મળશે.) અને આંશિક વક્રીભવન (છત પર પ્રકાશિત ટપકું મળશે) જોઈ શકો છો [આકૃતિ 9.13(a)] ?

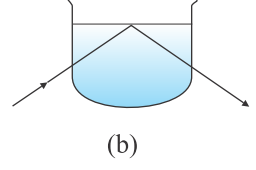
હવે, બીકરની એક બાજુથી લેસર કિરણ એવી રીતે આપાત કરો કે તે પાણીની ઉપરની સપાટી પર વધુ ટ્રાંસુ આપાત થાય [આકૃતિ 9.13 (b)]. ધીમે ધીમે લેસર કિરણની દિશા બદલી એવી ગોઠવી એવો કોણ શોધો કે જેથી પાણીની સપાટીની ઉપરનું વક્રીભવન અદૃશ્ય બને અને આપાતકિરણનું પાણીમાં જ પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તન થાય. આ પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તનનું સૌથી સરળ નિર્દેશન છે.

આ પાણીને કાચની લાંબી નળીમાં ભરી આકૃતિ [9.13(c)]માં બતાવ્યા પ્રમાણે નળીની ઉપરની બાજુથી લેસર કિરણ આપાત કરો. લેસર કિરણની દિશા એવી ગોઠવો કે નળી દિવાલ પર આપાત થાય ત્યારે દરેક વખતે તે પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તન પામે. ઓપ્ટીકલ ફાઇબરમાં બરોબર આ જ રીતે અનેકવાર પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તન થાય છે.

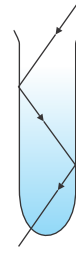
લેસર કિરણ ક્યારેય તમારી આંખમાં સીધું કે અન્યના ચહેરા પર આપાત ન થાય તેની કાળજી રાખજો.



(a)



(b)



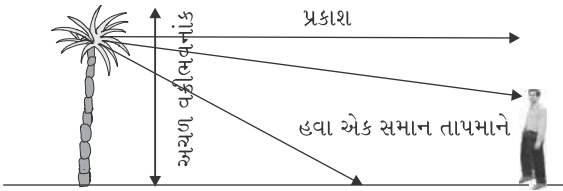
(c)

9.4.1 કુદરતમાં પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તન અને આ ઘટનાના પ્રૌદ્યોગીકી ઉપયોગો (Total Internal Reflection in Nature and its Technological Applications)

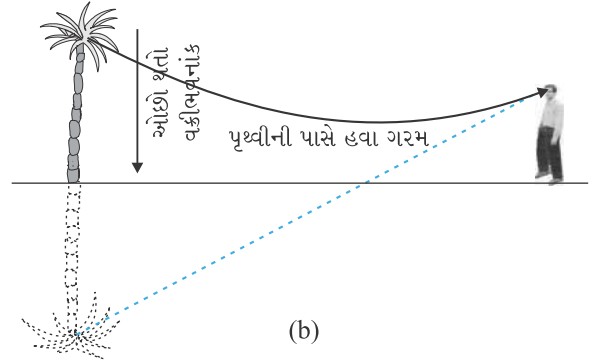
(i) **મરીચિકા (Mirage) :** ઉનાળાની ગરમીમાં જમીનના સંપર્કમાં રહેલ હવા ઉપરના સ્તરની હવા કરતાં વધુ ગરમ થાય છે. હવાનો વક્રીભવનાંક તેની ઘનતા વધે તેમ વધે છે. વધુ ગરમ હવા ઓછી ઘટ્ટ હોય છે અને પાતળી હવા કરતાં તેનો વક્રીભવનાંક ઓછો હોય છે. જો હવાના પ્રવાહો નાના હોય એટલે કે હવા સ્થિર હોય તો જુદા જુદા સ્તરોની પ્રકાશીય ઘનતા ઊંચાઈ સાથે વધે છે. આથી કોઈ ઝાડ જેવા ઊંચા પદાર્થ પરથી આવતું કિરણ જમીન તરફ જતાં સતત ઘટતા વક્રીભવનાંક વાળા માધ્યમમાંથી પસાર થાય છે. આમ આવા પદાર્થમાંથી આવતું કિરણ સતત રીતે લંબથી દૂર તરફ વિચલન અનુભવતું જાય છે અને જમીનની નજીકની હવા માટે આપાતકોણ ક્રાંતિકોણ કરતાં વધે ત્યારે પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તન પામે છે. આ આકૃતિ 9.14(b)માં દર્શાવ્યું છે. દૂરના નિરીક્ષકને પ્રકાશ ક્યાંક જમીનની નીચેના ભાગ પરથી આવતો હોય તેવો ભાસ થાય છે અને જમીન પર પાણીનું ખાબોચીયું હોય અને તેમાં ઝાડનું પ્રતિબિંબ રચાતું હોય તેવું માની લે છે. દૂરના ઊંચા પદાર્થોનાં આવાં ઊંધા પ્રતિબિંબો નિરીક્ષકને પ્રકાશીય ભ્રમણમાં નાંખી દે છે. આ ઘટનાને **મરીચિકા** કહે છે. ગરમ રણ પ્રદેશમાં આવી મરીચિકા દેખાવાનું સામાન્ય છે. તમે કદાચ એ નોંધ્યું હશે કે, ગરમીના દિવસે બસમાં કે કારમાં જતા પાસ કરીને હાઈવે પર દૂરના રસ્તાનો ભાગ ભીનો દેખાય છે. પરંતુ તે સ્થળે પહોંચતાં કોઈ ભીનાશ જણાતી નથી. આ પણ મરીચિકાને લીધે છે.

(ii) **હીરો (ડાયમંડ) :** તે ચળકાટ માટે પ્રસિદ્ધ છે. તેના આ ચળકાટનું મુખ્ય કારણ, તેમાં બનતી પ્રકાશના પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તનની ઘટના છે. હીરા અને હવાના આંતરપૃષ્ઠ માટે વક્રીભવનાંકનું મૂલ્ય ઘણું મોટું અને ક્રાંતિકોણ ઘણો નાનો ($\cong 24.4^\circ$ જેટલો) છે. આ કારણોસર હીરા પર આપાત થતાં પ્રકાશનું, તેની અંદર પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તન થવાની ઘણી શક્યતા છે. કુદરતમાંથી પ્રાપ્ત થતાં ડાયમંડ (હીરા) ભાગ્યે જ બહુ ઝળહળાટ દર્શાવે છે. ડાયમંડ કટરની કુશળતા ડાયમંડને આટલા બધા ઝળહળતા બનાવે છે. ડાયમંડને યોગ્ય રીતે ઘસીને અનેક પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તનની ઘટના શક્ય બનાવાય છે.

આકૃતિ 9.13 પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તનનું નિર્દેશન (કાચનું બીકર ખૂબ જ પાતળું હોવાના કારણે તેમાં થનાર અપવર્તનને નગણ્ય માનવામાં આવે છે.)

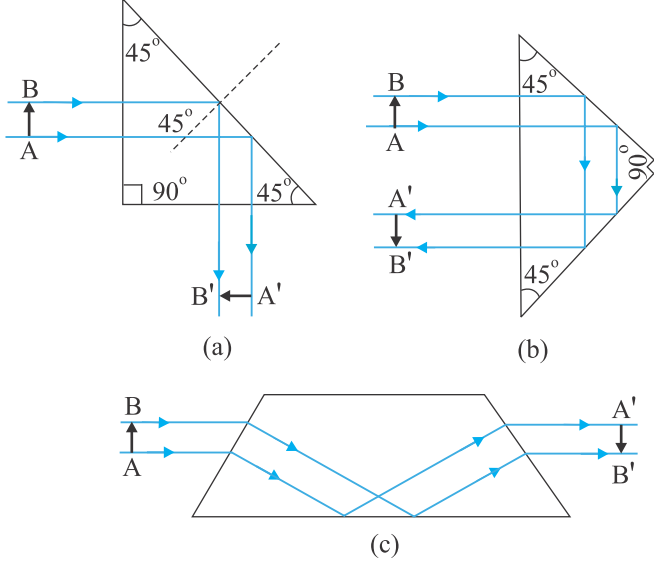


(a)



(b)

આકૃતિ 9.14 (a) જ્યારે જમીન પાસેની હવા અને ઉપરની હવા સમાન તાપમાને હોય ત્યારે અવલોકનકર્તાને વૃક્ષ એ જે સ્થાને હોય ત્યારે ત્યાં જ દેખાશે. (b) જ્યારે જમીનની સપાટીની નજીકની હવા પ્રમાણમાં ગરમ હોય અને તેનું તાપમાન હવાનાં સ્તરો સાથે બદલાતું હોય ત્યારે દૂરના વૃક્ષ પરથી આવતું કિરણ પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તન અનુભવે છે અને વૃક્ષનું આભાસી પ્રતિબિંબ, વૃક્ષ પાણીના ખાબોચીયા નજીક હોય તેવો ભાસ અવલોકનકારને કરાવે છે.



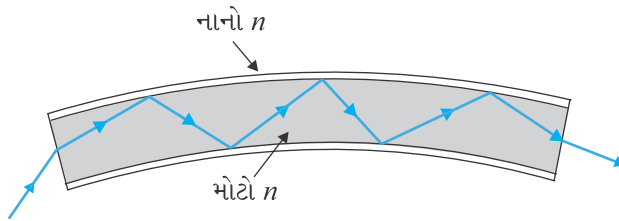
આકૃતિ 9.15 કિરણોને 90° અથવા 180° ના કોણે વાંકાવાળે (Bend) અથવા પ્રતિબિંબને સાર્વજિક બદલ્યા વિના ઉલટું કરે તેવી ખાસ રચના ધરાવતાં પ્રિઝમ બનાવવા પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તનનો ઉપયોગ

(iii) **પ્રિઝમ :** પ્રકાશને 90° કે 180° નું આવર્તન કરાવતા પ્રિઝમ પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તનની ઘટનાનો ઉપયોગ કરે છે [આકૃતિ 9.15(a) અને (b)]. આવા પ્રિઝમનો ઉપયોગ પ્રતિબિંબનાં પરિમાણમાં ફેરફાર કર્યા વિના પ્રતિબિંબને ઊલટાવવામાં પણ થાય છે [આકૃતિ 9.15(c)]. પ્રથમ બે કિસ્સા માટે પ્રિઝમના દ્રવ્યનો ક્રાંતિકોણ i_c , 45° કરતાં નાનો હોવો જરૂરી છે. કોષ્ટક 9.1 પરથી જોઈ શકાય છે કે સાદા કાઉન કાય તથા ઘટ્ટ ફ્લિન્ટ કાય બંને માટે તે શક્ય છે.

(iv) **ઓપ્ટિકલ ફાઇબર્સ (Optical Fibres) :** વર્તમાન સમયમાં શ્રાવ્ય અને દ્રશ્ય સંકેતો (ઓડિયો અને વિડિયો સિગ્નલો)નું લાંબા અંતર સુધી પ્રસારણ કરવા ઓપ્ટિકલ ફાઇબર્સનો વિસ્તૃત ઉપયોગ થાય છે. ઓપ્ટિકલ ફાઇબરમાં પણ પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તનની ઘટનાનો જ ઉપયોગ થાય છે. ઓપ્ટિકલ ફાઇબર ઉચ્ચ ગુણવત્તાવાળા ફ્યુઝડ ગ્લાસ/ક્વાર્ટ્ઝમાંથી બનાવવામાં આવે છે. દરેક

ફાઇબર ચોક્કસ ગર્ભ (Core) અને ચોક્કસ આવરણ (Cladding) ધરાવે છે. ગર્ભ (કોર)ના દ્રવ્યનો વક્રીભવનાંક, આવરણ (ક્લેડિંગ)ના દ્રવ્યના વક્રીભવનાંક કરતાં મોટો હોય છે.

જ્યારે ફાઇબરના એક છેડેથી પ્રકાશનું સિગ્નલ યોગ્ય કોણે આપાત થાય છે ત્યારે ફાઇબરની લંબાઈ પર તેનું વારંવાર પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તન થાય છે અને છેવટે તે બીજે છેડેથી નિર્ગમન પામે છે



આકૃતિ 9.16 પ્રકાશ ઓપ્ટિકલ ફાઇબરમાંથી પસાર થાય છે ત્યારે તે એક પછી એક એમ સતત પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તન અનુભવે છે.

(આકૃતિ 9.16). અહીં, પ્રકાશનું પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તન થવાથી તેની તીવ્રતામાં કોઈ નોંધનીય ઘટાડો થતો નથી. ઓપ્ટિકલ ફાઇબરની રચના એવી કરવામાં આવે છે કે અંદરની એક બાજુ પર આપાત થતો પ્રકાશ સામેની બાજુ પર ક્રાંતિકોણ કરતાં મોટા કોણે આપાત થાય. ફાઇબર વળેલા હોવા છતાં પ્રકાશ તેની લંબાઈ પર સરળતાથી ગતિ કરી શકે છે. આમ, ઓપ્ટિકલ ફાઇબરનો ઉપયોગ ઓપ્ટિકલ પાઈપ તરીકે કરી શકાય છે.

ઓપ્ટિકલ ફાઇબર્સનો જથ્થો (Bundle) બનાવી તેનો વિવિધ ઉપયોગ કરવામાં આવે છે. વિદ્યુત સંકેતો (Electrical Signals) ટ્રાન્સડ્યુસર્સની મદદથી પ્રકાશમાં રૂપાંતરિત કરવામાં આવે છે તેમને પ્રસારિત કરવામાં અને ઝીલવા (Receive)માં ઓપ્ટિકલ ફાઇબર્સ ખૂબ જ બહોળા પ્રમાણમાં ઉપયોગી છે. આ વિદ્યુત સંકેતોને યોગ્ય ટ્રાન્સડ્યુસર (Transducer)ની મદદથી પ્રકાશમાં રૂપાંતરિત કરવામાં આવે છે. સ્વાભાવિક રીતે જ ઓપ્ટિકલ ફાઇબર ઓપ્ટિકલ સિગ્નલોનું પણ પ્રસારણ (Transmission) કરવામાં વાપરી શકાય છે. ઉદાહરણ તરીકે, ઓપ્ટિકલ ફાઇબરને પ્રકાશીય નળી તરીકે વાપરી

અન્નનળી, જઠર અને આંતરડા જેવા શરીરના આંતરિક અવયવોની દૃશ્ય તપાસ થઈ શકે છે. બહુ સામાન્ય બનેલા ડેકોરેટીવ લેમ્પ તમે જોયા હશે, જેમાં પ્લાસ્ટિકના ફાઇબરોના મુક્ત છેડા ફૂવારાના આકાર બનાવે છે. જેનો એક છેડો મુક્ત અને બીજો છેડો લેમ્પ સાથે જોડેલો હોય છે. હવે સ્વીચ ઓન કરતાં દરેક ફાઇબરમાં પ્રકાશ તળીયેથી પસાર થઈ ફાઇબરના છેડે પ્રકાશિત ટપકું રચે છે. આ પ્રકારના ડેકોરેટીવ લેમ્પમાં વપરાતા ફાઇબર ઓપ્ટિકલ ફાઇબર જ છે.

ઓપ્ટિકલ ફાઇબર બનાવવાની મુખ્ય જરૂરિયાત એ છે કે, પ્રકાશ તેમાં ખૂબ જ લાંબા અંતર સુધી મુસાફરી કરે તેમ છતાં ખુબ જ ઓછા પ્રમાણમાં પ્રકાશનું શોષણ થાય. તેનું શુદ્ધિકરણ અને ચોક્કસ પ્રકારના ક્વર્ટ્ઝ જેવા દ્રવ્ય બનાવવાથી આવું શક્ય બને છે. સીલીકા ગ્લાસ ફાઇબરમાં પ્રકાશ 1 km સુધી પ્રસરણ પામે છે. ત્યારે 95 %થી વધારે પ્રકાશનું પ્રસરણ કરી શકાય છે.

(આની સરખામણીએ જો બારીના કાચના 1 km જાડાઈના બ્લોકનો ઉપયોગ કરીએ તો શું થાય તે તમે વિચારી જુઓ).

9.5 ગોળીય સપાટીઓ આગળ અને લેન્સ વડે થતું વક્રીભવન

(REFRACTION AT SPHERICAL SURFACES AND BY LENSES)

અત્યાર સુધી આપણે સમતલ સપાટી પાસેથી થતાં વક્રીભવનની ચર્ચા કરી. હવે આપણે બે પારદર્શક માધ્યમોના ગોળીય આંતરપૃષ્ઠ આગળ થતું વક્રીભવન ધ્યાનમાં લઈશું. વક્રસપાટીના અત્યંત નાના ભાગને સમતલ ગણી, દરેક બિંદુ પાસે વક્રીભવનના તે જ નિયમો લાગુ પાડી શકાય છે. વક્ર અરીસાથી થતા પરાવર્તનની જેમ જ આપાત બિંદુએ દોરેલો લંબ તે બિંદુએ ગોળીય સપાટીને દોરેલો સ્પર્શકને લંબ છે. તેથી અહીં પણ તે વક્રતાકેન્દ્રમાંથી પસાર થાય છે. પ્રથમ માત્ર એક વક્રીભવનકારક સપાટીથી થતા વક્રીભવનની ચર્ચા કરીશું, બાદમાં પાતળા લેન્સ વડે થતાં વક્રીભવનની ચર્ચા કરીશું. બે વક્રીભવનકારક સપાટી વચ્ચે પારદર્શક માધ્યમ ધરાવતી રચનાને લેન્સ કહે છે. જેમાંની ઓછામાં ઓછી એક ગોળીય સપાટી છે. એક વક્રીભવનકારક ગોળીય સપાટી વડે રચાતા પ્રતિબિંબનું સૂત્ર મેળવી, તેનો લેન્સની બંને સપાટી પાસે વારાફરતી ઉપયોગ કરી લેન્સ મેક્સનું સમીકરણ અને પછી લેન્સનું સૂત્ર મેળવીશું.

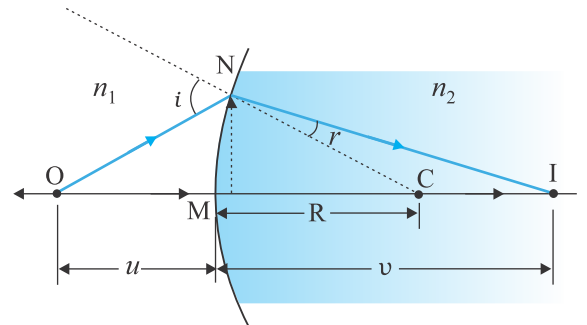
9.5.1 ગોળીય સપાટી પાસે થતું વક્રીભવન (Refraction at a Spherical Surface)

જે વક્રસપાટીનું વક્રતાકેન્દ્ર C અને વક્રતાત્રિજ્યા R છે, તેવી વક્રસપાટીના મુખ્ય અક્ષ પર મુકેલી વસ્તુ Oનું પ્રતિબિંબ I રચાવાની ભૂમિતિ આકૃતિ 9.17માં દર્શાવેલ છે. n_1 વક્રીભવનાંક ધરાવતા માધ્યમમાંથી કિરણો આપાત થાય છે અને n_2 વક્રીભવનાંક ધરાવતા બીજા માધ્યમમાં વક્રીભવન પામે છે. અગાઉની જેમ સંલગ્ન અંતરોની સરખામણીમાં વક્રસપાટીનું મુખ (Aperture) નાનું ધારીશું (અથવા રેખીય પરિમાણ નાનું લઈશું) જેથી ખૂણાઓને નાના ધારી શકાશે. અને ખાસ તો NMને બિંદુ Nમાંથી મુખ્ય અક્ષ પર દોરેલા લંબ જેટલી લંબાઈનું લઈ શકાશે. હવે, નાના ખૂણાઓ માટે;

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

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

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



હવે, ΔNOC માટે, i બહિષ્કોણ છે. માટે,

$$i = \angle NOM + \angle NCM$$

આકૃતિ 9.17 બે પારદર્શક માધ્યમોને અલગ કરનાર કોઈ ગોળીય આંતરપૃષ્ઠ આગળ થતું વક્રીભવન



પ્રકાશના સ્રોત અને પ્રકાશમાપન

એ જાણીતું છે કે કોઈ પણ પદાર્થ નિરપેક્ષ શૂન્ય કરતાં ઊંચા તાપમાને પોતાનામાંથી વિદ્યુત-ચુંબકીય વિકિરણનું ઉત્સર્જન કરે છે. ઉત્સર્જિત વિકિરણની તરંગલંબાઈ (λ) (અથવા આવૃત્તિ ν)નો વિસ્તાર પદાર્થના નિરપેક્ષ તાપમાન પર આધાર રાખે છે. ગરમ પદાર્થમાંથી ઉત્સર્જિત વિકિરણો, દા.ત. ટેંગસ્ટનના ફિલામેન્ટમાંથી 2850 K તાપમાને ઉત્સર્જિત થતા વિકિરણો, અંશતઃ અદૃશ્ય હોય છે અને મોટેભાગે તેઓ પારસ્કત (ગરમીના કિરણો - Heat Rays) વિસ્તારમાં હોય છે. પદાર્થનું તાપમાન વધતાં ઉત્સર્જિત થતા વિકિરણની તરંગલંબાઈ પણ વધે છે, જે દૃશ્ય વિસ્તારમાં હોય છે. આશરે 5500 K તાપમાને સૂર્ય જે વિકિરણોનું ઉત્સર્જન કરે છે તેના માટે ઊર્જા વિરુદ્ધ તરંગલંબાઈના આલેખમાં મહત્તમ મૂલ્ય (Peak) 550 nm તરંગલંબાઈને અનુરૂપ મળે છે, જે લીલા રંગનો પ્રકાશ છે અને તે દૃશ્ય વિસ્તારના લગભગ મધ્યમાં છે. આપેલ પદાર્થ માટે ઊર્જા વિરુદ્ધ તરંગલંબાઈ વહેંચણીનો આલેખ અમુક ચોક્કસ-તરંગલંબાઈ માટે મહત્તમ (Peak) મૂલ્ય આપે છે, આ તરંગલંબાઈ પદાર્થના નિરપેક્ષ તાપમાનના વ્યસ્તપ્રમાણમાં હોય છે.

મનુષ્યની આંખ જે પ્રકાશને જોઈ શકે છે તેના માપનને પ્રકાશમાપન-દીપ્તિમાપન (Photometry) કહે છે. દીપ્તિમાપન એ શરીર વિજ્ઞાન અંગેની (Physiological) અસરનું માપન છે, જે પ્રકાશીય ઉત્તેજના છે જેમાં પ્રકાશ મનુષ્યની આંખ વડે પ્રાપ્ત થયા બાદ પ્રકાશીય ચેતાતંતુઓ દ્વારા પરિવહન પામે અને મગજ દ્વારા તેનું વિશ્લેષણ થાય છે. દીપ્તિમાપનની મુખ્ય ત્રણ ભૌતિક રાશિ છે. (i) સ્રોતની જ્યોતિ તીવ્રતા (Luminous intensity of source) (ii) જ્યોતિ ફ્લક્સ (Luminous flux) અથવા સ્રોતમાંથી પ્રકાશનો પ્રવાહ (iii) સપાટીનું દીપ્તિમાન (Illuminance of the surface). જ્યોતિ તીવ્રતાનો SI એકમ કેન્ડેલા (cd) છે. આપેલી દિશામાં 540×10^{12} Hz આવૃત્તિ ધરાવતાં એકરંગી વિકિરણની વિકિરણ તીવ્રતા $1/683$ watt/sr જેટલી હોય તો તે દિશામાં જ્યોતિતીવ્રતા 1 cd કહેવાય. જો પ્રકાશનું ઉદ્ભવ 1 કેન્ડેલા જેટલી જ્યોતિતીવ્રતા ઉત્સર્જિત કરે અને 1 sr જેટલા ઘનકોણ પર આપાત થતી હોય તો આ ઘનકોણમાં ઉત્સર્જિત થતું કુલ જ્યોતિ ફ્લક્સ 1 લ્યુમેન (lm) કહેવાય. પ્રમાણિત 100 wattનો પ્રકાશનો બલ્બ જ્યારે પ્રકાશિત હોય ત્યારે આશરે 1700 લ્યુમેન જ્યોતિ ફ્લક્સ ઉત્સર્જિત કરે છે.

દીપ્તિમાપનમાં જો સીધું માપન થઈ શકતી કોઈ રાશિ હોય તો તે સપાટીનું દીપ્તિમાન (Illuminance) છે. સપાટીના એકમ ક્ષેત્રફળ પર આપાત થતાં જ્યોતિ ફ્લક્સને તે સપાટીનું દીપ્તિમાન (lm/m^2 અથવા lux) કહે છે. મોટા ભાગના પ્રકાશમાપકો આ રાશિ માપે છે. જ્યોતિ તીવ્રતા I ધરાવતાં ઉદ્ભવ દ્વારા ઉદ્ભવતું દીપ્તિમાન E હોય તો, $E = I/r^2$ વડે દર્શાવી શકાય. જ્યાં r = ઉદ્ભવથી સપાટીનું લંબ અંતર. ઉત્સર્જક અથવા પરાવર્તક સપાટ સપાટીની પ્રકાશિતતા (Brightness) જ્યોતિર્મયતા (લ્યૂમીનન્સ - L) નામની રાશિ વડે દર્શાવાય છે. તેનો એકમ cd/m^2 (ઔદ્યોગિક ક્ષેત્રમાં તેને “nit” કહે છે). એક સારા LCD કમ્પ્યુટર મોનીટરની પ્રકાશિતતા 250 nit જેટલી હોય છે.

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

આ જ પ્રમાણે,

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

$$\therefore r = \frac{MN}{MC} - \frac{MN}{MI} \quad (9.14)$$

હવે સ્નેલના નિયમ પ્રમાણે,

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

નાના ખૂણાઓ માટે,

$$n_1 i = n_2 r$$

સમીકરણ 9.13 અને 9.14માંથી કિંમતો મૂકતાં,

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

અહીં OM, MI અને MC અંતરોનાં માન દર્શાવે છે. કાર્તેઝિય સંજ્ઞા પ્રણાલિ લાગુ પાડતાં,

$$OM = -u, MI = +v \text{ અને } MC = +R$$

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

સમીકરણ 9.16 વસ્તુઅંતર અને પ્રતિબિંબ અંતર વચ્ચેનો સંબંધ માધ્યમના વક્રીભવનાંક અને વક્રસપાટીની વક્રતાત્રિજ્યાના પદમાં દર્શાવે છે.

આ સમીકરણ દરેક ગોળીય સપાટી માટે સાચું છે.

ઉદાહરણ 9.6 હવામાં રાખેલા એક બિંદુવત્ ઉદ્ગમમાંથી પ્રકાશ એક કાયની ગોળીય સપાટી ($n = 1.5$ અને વક્રતા ત્રિજ્યા $= 20 \text{ cm}$) પર આપાત થાય છે. આ ગોળીય સપાટીથી પ્રકાશ ઉદ્ગમ 100 cm દૂર છે. પ્રતિબિંબ કયા સ્થાને રચાશે ?

ઉકેલ સમીકરણ 9.16માંના સંબંધનો ઉપયોગ કરીએ. અહીં,

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

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

$$\text{અથવા } v = +100 \text{ cm}$$

આમ, સપાટીથી આપાત કિરણની દિશામાં 100 cm દૂર પ્રતિબિંબ મળશે.

9.5.2 લેન્સ વડે વક્રીભવન (Refraction by a Lens)

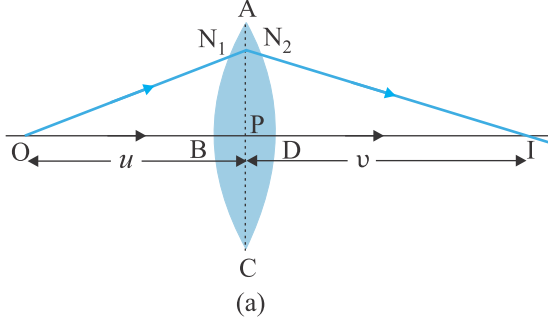
[આકૃતિ 9.18 (a)] બહિર્ગોળ લેન્સ વડે પ્રતિબિંબની રચનાની ભૂમિતિ દર્શાવે છે. પ્રતિબિંબની રચના બે તબક્કે થતી જોઈ શકાય. (i) પ્રથમ વક્રીકારક સપાટી વસ્તુ O નું પ્રતિબિંબ I_1 આપે છે, [આકૃતિ 9.18(b)] આ પ્રતિબિંબ I_1 એ બીજી વક્રીકારક સપાટી માટે આભાસી વસ્તુ તરીકે વર્તે છે. [આકૃતિ 9.18(c)] પ્રથમ આંતરપૃષ્ઠ ABC પાસે સમીકરણ (9.15) પરથી,

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

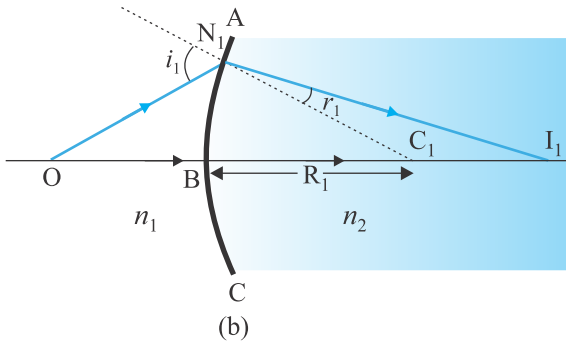
બીજા આંતરપૃષ્ઠ* ADC પાસે આવી જ પ્રક્રિયા કરતાં,

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

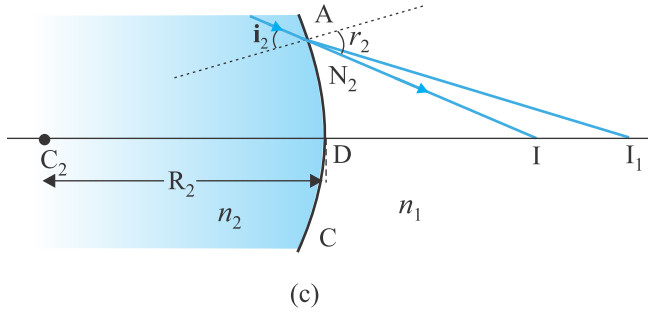
* નોંધ : હવે ADCની જમણી બાજુના માધ્યમનો વક્રીભવનાંક n_1 અને ડાબી બાજુનો વક્રીભવનાંક n_2 છે. વધુમાં, DI_1 ઋણ ગણાશે કારણકે આ અંતર આપાત કિરણની વિરુદ્ધ દિશામાં માપવામાં આવ્યું છે.



(a)



(b)



(c)

આકૃતિ 9.18 (a) બહિર્ગોળ લેન્સ વડે વસ્તુના રચાતા પ્રતિબિંબનું સ્થાન (b) પ્રથમ ગોળીય સપાટી પાસે વક્રીભવન (c) બીજી ગોળીય સપાટી પાસે વક્રીભવન

પાતળા લેન્સ માટે,

$$BI_1 = DI_1$$

સમીકરણ 9.17 અને 9.18નો સરવાળો કરતાં,

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

ધારોકે વસ્તુ અનંત અંતરે છે.

એટલે કે, $OB \rightarrow \infty$ અને $DI = f$, સમીકરણ (9.19) પરથી,

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

અનંત અંતરે રાખેલી વસ્તુનું પ્રતિબિંબ જ્યાં મળે છે તે બિંદુને લેન્સનું મુખ્યકેન્દ્ર F કહે છે અને અંતર $f (= PF)$ તેની કેન્દ્રલંબાઈ દર્શાવે છે. લેન્સને બે મુખ્યકેન્દ્રો F અને F' તેની જુદી જુદી બાજુએ હોય છે. (આકૃતિ 9.19), સંજ્ઞા પદ્ધતિ પ્રમાણે,

$$BC_1 = +R_1$$

$$DC_2 = -R_2$$

સમીકરણ 9.20 પરથી,

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

સમીકરણ 9.21ને લેન્સમેકરનું સમીકરણ કહે છે. આ સૂત્રની મદદથી યોગ્ય વક્રતાત્રિજ્યાની સપાટીઓનો ઉપયોગ કરી ઇચ્છિત કેન્દ્રલંબાઈના લેન્સ બનાવી શકાય છે. અત્રે નોંધનીય છે કે લેન્સમેકરનું આ સૂત્ર અંતર્ગોળ લેન્સ માટે પણ સાચું છે. અંતર્ગોળ લેન્સ માટે R_1 ઋણ છે અને R_2 ધન છે. આથી, f ઋણ મળે છે.

સમીકરણ (9.19) અને (9.20) પરથી,

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

પાતળા લેન્સ માટે B અને D બંને, લેન્સના ઓપ્ટિકલ કેન્દ્રની ખુબ જ નજીક હોય છે, સંજ્ઞા પદ્ધતિ મુજબ

$$BO = -u \text{ અને } DI = +v \text{ લેતાં,}$$

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

$$(9.23)$$

સમીકરણ (9.23)એ પાતળા લેન્સ માટેનું જાણીતું સૂત્ર છે. આ સમીકરણ આપણે બહિર્ગોળ લેન્સ વડે રચાતા વાસ્તવિક પ્રતિબિંબ માટે મેળવ્યું હોવા છતાં અંતર્ગોળ અને બહિર્ગોળ બંને લેન્સ માટે તથા વાસ્તવિક અને આભાસી બંને પ્રતિબિંબ માટે સાચું છે.

એ નોંધપાત્ર છે કે દ્વિઅંતર્ગોળ અથવા દ્વિબહિર્ગોળ લેન્સ માટે મળતા બે મુખ્યકેન્દ્રો F અને F' બંને લેન્સના ઓપ્ટિકલ કેન્દ્રથી સમાન અંતરે હોય છે. મૂળ ઉદ્દગમ તરફના મુખ્યકેન્દ્રને પ્રથમ મુખ્યકેન્દ્ર અને બીજી તરફના મુખ્યકેન્દ્રને દ્વિતીય મુખ્યકેન્દ્ર કહે છે.

કિરણ પ્રકાશશાસ્ત્ર અને પ્રકાશીય ઉપકરણો

લેન્સ વડે રચાતું પ્રતિબિંબ મેળવવા માટે, સિદ્ધાંતમાં આપણે વસ્તુના કોઈ એક બિંદુમાંથી ઉત્સર્જિત થતાં કોઈ પણ બે કિરણો લઈ, વક્રીભવનના નિયમોની મદદથી તેમનો માર્ગ નક્કી કરીશું, અને આ બે વક્રીભૂત કિરણો જ્યાં મળે છે. (અથવા મળતાં હોય તેવો ભાસ થાય છે) તે બિંદુ શોધી કાઢીશું. જો કે, વ્યવહારિક રીતે નીચેના પૈકી કોઈ પણ બે કિરણો પસંદ કરવાનું સુગમ છે :

- વસ્તુમાંથી ઉત્સર્જિત થઈ લેન્સની મુખ્ય અક્ષને સમાંતર કિરણ વક્રીભવન થયા બાદ દ્વિતીય મુખ્યકેન્દ્રમાંથી પસાર થાય (બહિર્ગોળ લેન્સમાં) અથવા પ્રથમ મુખ્ય કેન્દ્રમાંથી અપકેન્દ્રિત થાય (અંતર્ગોળ લેન્સમાં).
- લેન્સના ઓપ્ટિકલ કેન્દ્રમાંથી પસાર થતું કિરણ, વક્રીભવન બાદ વિચલન પામ્યા વિના પસાર થાય છે.
- બહિર્ગોળ લેન્સ માટે પ્રથમ મુખ્ય કેન્દ્રમાંથી પસાર થતું કિરણ અથવા (અંતર્ગોળ લેન્સ માટે બીજા મુખ્ય કેન્દ્રમાં જતું હોય તેમ દેખાતું કિરણ) વક્રીભવન બાદ મુખ્ય અક્ષને સમાંતર નિર્ગમ થાય છે.

આકૃતિ 9.19 (a) અને (b) અનુક્રમે બહિર્ગોળ લેન્સ અને અંતર્ગોળ લેન્સ માટે આ નિયમો દર્શાવે છે. તમારે લેન્સની આગળ જુદા જુદા સ્થાને રહેલી વસ્તુ માટે આવી કિરણાકૃતિઓ દોરવાનો મહાવરો કરવો જોઈએ અને લેન્સનું સૂત્ર (સમીકરણ 9.23) બધા કિસ્સાઓમાં લાગુ પડે છે તે પણ ચકાસવું જોઈએ.

અત્રે ફરી એ બાબત યાદ રાખવી જોઈએ કે વસ્તુ પરનું દરેક બિંદુ અનંત કિરણો ઉત્સર્જિત કરે છે. આ બધા કિરણો લેન્સ આગળ વક્રીભવન બાદ પ્રતિબિંબના એક જ બિંદુમાંથી પસાર થાય છે.

અરીસાની જેમ લેન્સ વડે મળતા પ્રતિબિંબની ઊંચાઈ અને વસ્તુની ઊંચાઈના ગુણોત્તરને પ્રતિબિંબની મોટવણી (m) કહે છે. ગોળાકાર અરીસાની જેમ આગળ વધતાં લેન્સ માટે નીચેનું સૂત્ર મળે છે.

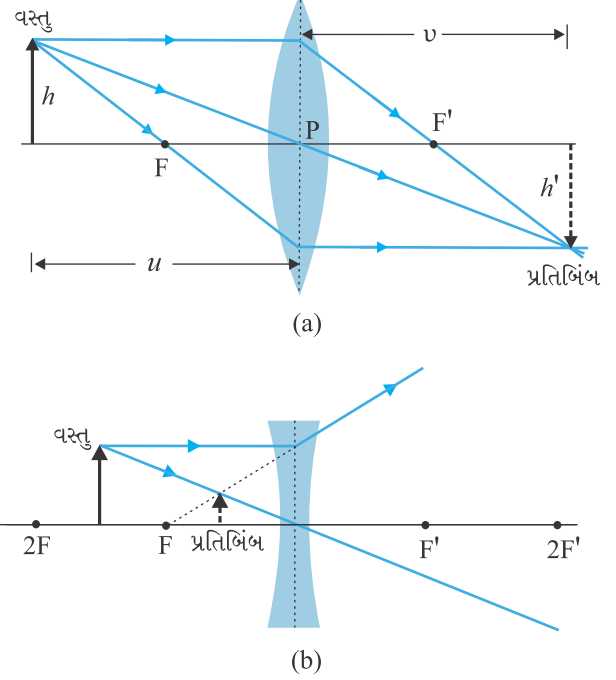
$$m = \frac{h'}{h} = \frac{v}{u} \quad (9.24)$$

સંજ્ઞા પદ્ધતિ લાગુ પાડતાં જણાય છે કે, બહિર્ગોળ કે અંતર્ગોળ લેન્સ દ્વારા રચાતું પ્રતિબિંબ જો ચતું (અને આભાસી) હોય તો m ધન છે અને જો ઉલટું (અને વાસ્તવિક) હોય તો m ઋણ છે.

ઉદાહરણ 9.7 એક જાદુગર તેના પ્રોગ્રામમાં એક પ્રવાહીમાં રાખેલા કાયના લેન્સ ($n = 1.47$)ને અદૃશ્ય કરે છે. તો પ્રવાહીનો વક્રીભવનાંક કેટલો હશે ? શું આ પ્રવાહી પાણી હોઈ શકે ?

ઉકેલ

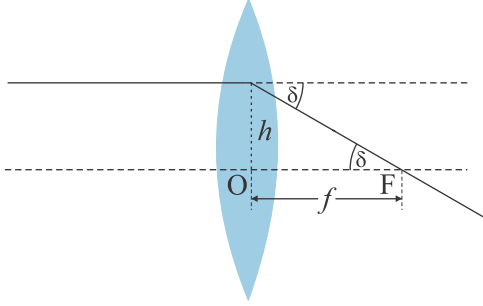
લેન્સ અદૃશ્ય થાય તે માટે જરૂરી છે કે પ્રવાહીનો વક્રીભવનાંક લેન્સના દ્રવ્યના વક્રીભવનાંક $n = 1.47$ જેટલો જ હોવો જોઈએ. એટલેકે $n_1 = n_2$. આ પરથી $1/f = 0$ અથવા $f \rightarrow \infty$ થશે. પ્રવાહીમાં લેન્સ કાયની સમતલ પ્લેટ તરીકે વર્તશે. ના, આ પ્રવાહી પાણી ન હોઈ શકે. તે ગ્લિસરીન હોઈ શકે.



આકૃતિ 9.19 (a) બહિર્ગોળ લેન્સ (b) અંતર્ગોળ લેન્સમાંથી પસાર થતા કિરણો

9.5.3 લેન્સનો પાવર (Power of a Lens)

લેન્સની તેના ઉપર આપાત થતા પ્રકાશને કેન્દ્રિત કે વિકેન્દ્રિત કરવાની ક્ષમતાને (માપને) લેન્સનો પાવર કહે છે. સ્પષ્ટ છે કે જેમ લેન્સની કેન્દ્રલંબાઈ નાની તેમ બહિર્ગોળ લેન્સના કિસ્સામાં કેન્દ્રિત કરવામાં અને



આકૃતિ 9.20 લેન્સનો પાવર

અંતર્ગોળ લેન્સના કિસ્સામાં વિકેન્દ્રિત કરવાનાં લેન્સ કિરણોને વધારે વાંકા વાળે છે. લેન્સના ઓપ્ટિકલ કેન્દ્રથી એકમ અંતરે ($h = 1$) મુખ્ય અક્ષને સમાંતર લેન્સ પર આપાત થતું કિરણ જૂથ જેટલા કોણે કેન્દ્રિત અથવા વિકેન્દ્રિત થાય છે તેના ટેન્જેન્ટ (Tangent)ના મૂલ્યને લેન્સનો પાવર P કહે છે (આકૃતિ 9.20).

$$\tan \delta = \frac{h}{f}; \text{ જો } h = 1 \text{ હોય તો, } \tan \delta = \frac{1}{f} \text{ અથવા } \delta \text{ ના નાના મૂલ્યો માટે, } \delta = \frac{1}{f}$$

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

પાવરનો SI એકમ Dioptre (D) છે : $1D = 1 \text{ m}^{-1}$. 1 m કેન્દ્રલંબાઈના લેન્સનો પાવર 1 D છે. બહિર્ગોળ (અભિસારી) લેન્સ માટે પાવરનું મૂલ્ય ધન અને અંતર્ગોળ (અપસારી) લેન્સ માટે ઋણ હોય છે. જ્યારે આંખના ડોક્ટર (Optician) +2.5 D પાવરના લેન્સનું પ્રિસ્ક્રિપ્શન (Prescription) આપે છે ત્યારે એનો અર્થ એમ થાય છે કે જરૂરી બહિર્ગોળ લેન્સની કેન્દ્રલંબાઈ +40 cm છે. જો લેન્સનો પાવર -4 D હોય તો જરૂરી અંતર્ગોળ લેન્સની કેન્દ્રલંબાઈ -25 cm છે.

ઉદાહરણ 9.8 (i) કાચના લેન્સ માટે $f = 0.5 \text{ m}$ હોય તો લેન્સનો પાવર કેટલો હશે ?
(ii) દ્વિ-બહિર્ગોળ લેન્સની બંને બાજુઓની વક્રતાત્રિજ્યા અનુક્રમે 10 cm અને 15 cm છે. તેની કેન્દ્રલંબાઈ 12 cm હોય તો લેન્સના દ્રવ્ય (કાચનો) વક્રીભવનાંક કેટલો હશે ?
(iii) એક બહિર્ગોળ લેન્સની હવામાં કેન્દ્રલંબાઈ 20 cm છે. તો પાણીમાં તેની કેન્દ્રલંબાઈ કેટલી હશે ? (હવા-પાણીનો વક્રીભવનાંક 1.33 છે, હવા-કાચ માટે વક્રીભવનાંક 1.5 છે.)

ઉકેલ

- (i) પાવર = +2 ડાયોપ્ટર
(ii) અહીં, આપણી પાસે $f = +12 \text{ cm}$, $R_1 = +10 \text{ cm}$, $R_2 = -15 \text{ cm}$ છે. હવાનો વક્રીભવનાંક 1 લેવાય છે.

સમીકરણ (9.22) લેન્સ સૂત્રના ઉપયોગ કરતાં f , R_1 અને R_2 માટે સંજ્ઞા પદ્ધતિ લાગુ પાડી કિંમતો મૂકતાં,

$$\frac{1}{12} = (n - 1) \left(\frac{1}{10} - \frac{1}{-15} \right)$$

આ પરથી, $n = 1.5$ મળે છે.

- (iii) હવાના માધ્યમમાં રહેલ કાચના લેન્સ માટે, $n_2 = 1.5$, $n_1 = 1$, $f = +20 \text{ cm}$. તેથી લેન્સ ફોર્મ્યુલા મુજબ

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

કાચનો આજ લેન્સ પાણીના માધ્યમમાં હોય ત્યારે, $n_2 = 1.5$, $n_1 = 1.33$ માટે

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

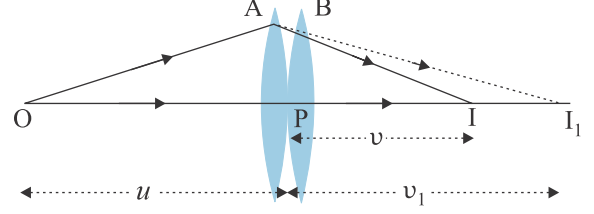
આ બે સમીકરણોને ઉકેલતાં $f = +78.2 \text{ cm}$ મળે છે.

ઉદાહરણ 9.8

9.5.4 સંપર્કમાં રહેલા પાતળા લેન્સનું સંયોજન (Combination of Thin Lenses in Contact)

f_1 અને f_2 કેન્દ્રલંબાઈના બે લેન્સ A અને B ને એકબીજાના સંપર્કમાં રાખ્યા છે. પ્રથમ લેન્સ A ના મુખ્યકેન્દ્રથી દૂર વસ્તુ O ને રાખી છે (આકૃતિ 9.21).

પ્રથમ લેન્સ I_1 સ્થાને પ્રતિબિંબ રચે છે. આ પ્રતિબિંબ વાસ્તવિક છે અને બીજા લેન્સ B માટે આભાસી વસ્તુ તરીકે વર્તે છે અને અંતિમ પ્રતિબિંબ I પાસે મળે છે. છતાં, બરાબર નોંધી લો કે પ્રથમ લેન્સના કારણે મળતા પ્રતિબિંબની ધારણા માત્ર અંતિમ પ્રતિબિંબ મેળવવા માટે જ કરવામાં આવે છે. હકીકતમાં પ્રથમ લેન્સમાંથી બહાર આવતાં કિરણો જ બીજા લેન્સ વડે તેના પર આપાત થયેલા કોણને અનુરૂપ યોગ્ય કોણે વક્રીભૂત થઈ અંતિમ પ્રતિબિંબ આપે છે. બંને લેન્સ પાતળા હોવાથી તેમના ઓપ્ટિકલ કેન્દ્રો એકબીજા પર સંપાત થાય છે. તેમ લઈશું ધારોકે આ કેન્દ્ર બિંદુ P વડે દર્શાવ્યું છે.



આકૃતિ 9.21 સંપર્કમાં રાખેલા બે પાતળા લેન્સના સંયોજન વડે રચાતું પ્રતિબિંબ

પ્રથમ લેન્સ A વડે રચાતા પ્રતિબિંબ માટે,

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

બીજા લેન્સ B વડે રચાતા પ્રતિબિંબ માટે,

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

(9.27) અને (9.28)નો સરવાળો કરતાં

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

બે લેન્સના તંત્રને કેન્દ્રલંબાઈ f ધરાવતા એક સમતુલ્ય લેન્સ તરીકે લઈએ તો,

$$\begin{aligned} \frac{1}{v} - \frac{1}{u} &= \frac{1}{f} \quad \text{આથી} \\ \frac{1}{f} &= \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \end{aligned} \quad (9.30)$$

આ સૂત્ર ગમે તેટલી સંખ્યાના સંપર્કમાં રહેલા લેન્સો માટે સાચું છે. f_1, f_2, f_3, \dots કેન્દ્રલંબાઈના પાતળા ઘણા લેન્સ સંપર્કમાં હોય તો, તેમના સંયોજનની અસરકારક કેન્દ્રલંબાઈ,

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} + \frac{1}{f_3} + \dots \quad \text{પરથી મળે છે.} \quad (9.31)$$

પાવરના પદમાં સમીકરણ (9.31)

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + \dots \text{તરીકે લખાય.} \quad (9.32)$$

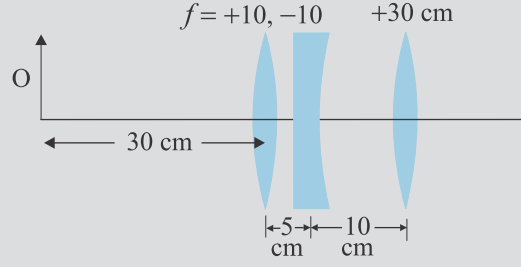
જ્યાં P એ લેન્સના સંયોજનનો પરિણામી પાવર છે. નોંધો કે સમીકરણ 9.32માં જે સરવાળો છે તે, દરેક પાવરનો બૈજીક સરવાળો દર્શાવે છે. આમ, જમણી બાજુના પદોમાં કેટલાક પદો ધન છે. (બહિર્ગોળ લેન્સ માટે) અને કેટલાક પદો ઋણ છે (અંતર્ગોળ લેન્સ માટે). લેન્સોનું યોગ્ય સંયોજન કરી ઈચ્છિત મોટવણીવાળા અભિસારી કે અપસારી લેન્સ મેળવી શકાય છે તેમજ પ્રતિબિંબની તીક્ષ્ણતા (Sharpness) પણ વધારી શકાય છે. પ્રથમ લેન્સના કારણે મળતું પ્રતિબિંબ બીજા લેન્સ માટે વસ્તુ તરીકે વર્તે છે; આથી સમીકરણ (9.25) પરથી કહી શકાય છે જો દરેક લેન્સની મોટવણી અનુક્રમે m_1, m_2, m_3, \dots હોય તો સંયોજનની કુલ મોટવણી તેમના ગુણાકાર જેટલી છે.

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



લેન્સોના સંયોજનનો ઉપયોગ કેમેરામાં, માઈક્રોસ્કોપમાં, ટેલિસ્કોપમાં તેમજ અન્ય પ્રકાશીય ઉપકરણોની રચનામાં થાય છે.

ઉદાહરણ 9.9 આકૃતિ 9.22માં દર્શાવેલા લેન્સના સંયોજન માટે પ્રતિબિંબ સ્થાન મેળવો.



આકૃતિ 9.22

ઉકેલ પ્રથમ લેન્સ દ્વારા મળતું પ્રતિબિંબ,

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

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

અથવા $v_1 = 15 \text{ cm}$

પ્રથમ લેન્સ વડે રચાતું આ પ્રતિબિંબ બીજા લેન્સ માટે વસ્તુ તરીકે વર્તે છે અને તે બીજા લેન્સની જમણી બાજુએ $(15 - 5) \text{ cm} = 10 \text{ cm}$ અંતરે છે. જોકે પ્રતિબિંબ વાસ્તવિક છે પરંતુ બીજા લેન્સ માટે તે આભાસી વસ્તુ તરીકે વર્તે છે. બીજા લેન્સ માટે કિરણો તેમાંથી આવતા જણાય છે. બીજા લેન્સ માટે,

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

અથવા $v_2 = \infty$

બીજા લેન્સના કારણે આભાસી પ્રતિબિંબ અનંત અંતરે બીજા લેન્સની ડાબી તરફ મળે છે. આથી આ પ્રતિબિંબ ત્રીજા લેન્સ માટે વસ્તુ તરીકે વર્તે છે.

ત્રીજા લેન્સ માટે,

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

અથવા $\frac{1}{v_3} - \frac{1}{\infty} = \frac{1}{30}$

અથવા $v_3 = 30 \text{ cm}$

\therefore અંતિમ પ્રતિબિંબ ત્રીજા લેન્સથી જમણી તરફ 30 cm દૂર મળશે.

9.6 પ્રિઝમ દ્વારા વક્રીભવન (REFRACTION THROUGH A PRISM)

આકૃતિ 9.23 ત્રિપાશ્વ કાચના પ્રિઝમ (ABC)માંથી પસાર થતાં એકરંગી પ્રકાશનો માર્ગ દર્શાવે છે. પ્રથમ બાજુ AB પાસે આપાતકોણ i અને વક્રીભૂતકોણ r_1 છે. બીજી બાજુ AC માટે (કાચમાંથી હવામાં) આપાતકોણ r_2 અને વક્રીભૂતકોણ અથવા નિર્ગમનકોણ e છે. નિર્ગમનકિરણ RS અને આપાત કિરણ PQની દિશા વચ્ચેના ખૂણાને વિચલનકોણ δ કહે છે.

કિરણ પ્રકાશશાસ્ત્ર અને પ્રકાશીય ઉપકરણો

ચતુષ્કોણ AQNR માટે (શિરોબિંદુ Q અને R પાસેના) બે ખૂણાઓ 90° છે. આમ બાકીના બે ખૂણાઓનો સરવાળો 180° થશે.

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

ΔQNR માટે,

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

આ બે સમીકરણોને સરખાવતાં

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

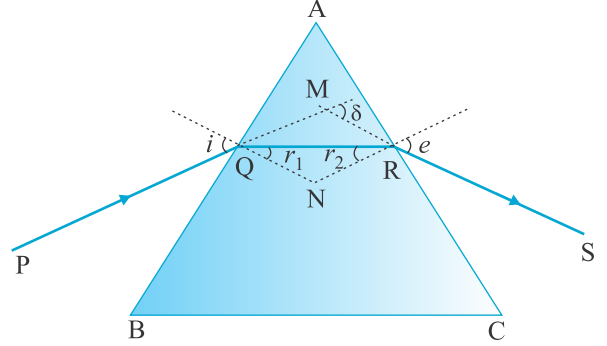
મળે. બંને બાજુના વિચલનનો સરવાળો કુલ વિચલન δ દર્શાવે છે.

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

આથી,

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

આમ વિચલનકોણ (δ) આપાતકોણ (i) પર આધાર રાખે છે.



આકૃતિ 9.23 કાચના ત્રિપાશ્વ (ત્રિકોણીય)
પ્રિઝમમાંથી પસાર થતું પ્રકાશનું કિરણ

વિચલનકોણ δ વિરુદ્ધ આપાતકોણનો આલેખ આકૃતિ 9.24માં દર્શાવેલો છે. આલેખ પરથી સમજી શકાય કે સામાન્યતઃ $i = e$ સિવાય, એક જ વિચલનકોણ (δ) માટે આપાતકોણ i ના અને તેથી e ના પણ બે મૂલ્યો મળે છે. હકીકતમાં આ બાબત, સમીકરણ (9.35)માં i અને e ની સંમિતિ પરથી અપેક્ષિત છે. એટલે કે i અને e ની અદલાબદલી કરતાં વિચલનકોણ (δ) સમાન મળે છે. ભૌતિક રીતે આ હકીકત આકૃતિ 9.23માં કિરણનો માર્ગ ઊલટો દોરવામાં આવે તો પણ વિચલનકોણ સમાન જ મળે છે તેની સાથે સંબંધિત છે. લઘુત્તમ વિચલન કોણ D_m માટે, પ્રિઝમમાં વક્રીભૂત કિરણ તેના પાયાને સમાંતર બને છે.

આમ, $\delta = D_m$ અને $i = e$ જે સુચવે છે કે, $r_1 = r_2$

સમીકરણ 9.34 પરથી

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

આજ રીતે સમીકરણ (9.35) પરથી,

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

પ્રિઝમના દ્રવ્યનો વક્રીભવનાંક,

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

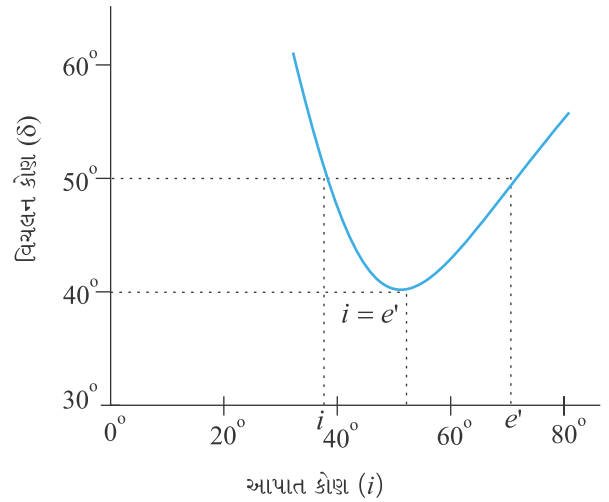
પ્રાયોગિક રીતે ખૂણો A અને D_m માપી શકાય છે. પ્રિઝમનાં દ્રવ્યનાં વક્રીભવનાંક નક્કી કરવાની રીત સમીકરણ (9.38) પૂરી પાડે છે.

નાના પ્રિઝમ કોણ A માટે D_m પણ નાનો હોય, અને આમ

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

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

આમ પાતળા પ્રિઝમ પ્રકાશનું વધારે વિચલન કરતાં નથી.



આકૃતિ 9.24 ત્રિપાશ્વ પ્રિઝમ માટે વિચલનકોણ (δ)
વિરુદ્ધ આપાતકોણ (i)નો આલેખ



9.7 સૂર્યપ્રકાશને કારણે કેટલીક કુદરતી ઘટનાઓ

(SOME NATURAL PHENOMENA DUE TO SUNLIGHT)

આપણી આસપાસની વસ્તુઓ સાથે સૂર્યપ્રકાશની આંતરક્રિયાને કારણે ઘણી સુંદર ઘટનાઓનું નિર્માણ થાય છે. આપણી આસપાસ કાયમ રંગોની જે વિવિધ ભવ્યતા માણીએ છીએ તે સૂર્યપ્રકાશના કારણે શક્ય બન્યું છે.

પ્રિઝમ દ્વારા દૃશ્ય (અથવા સફેદ) પ્રકાશના વિભાજન (ધોરણ X) અને વિદ્યુત ચુંબકીય વર્ણપટ (પ્રકરણ 8, ધોરણ XII)ના અભ્યાસ દરમિયાન આપણે જાણ્યું કે, પ્રત્યેક રંગ તરંગલંબાઈ સાથે સંકળાયેલ છે. દૃશ્ય પ્રકાશના વર્ણપટમાં, સૌથી મોટી તરંગલંબાઈ તરફના છેડા પાસે લાલ રંગ (~ 700 nm) અને સૌથી નાની તરંગલંબાઈ તરફના છેડા પાસે જાંબલી રંગ (~ 400 nm) હોય છે. જુદા જુદા રંગો માટે માધ્યમનો વક્રીભવનાંક જુદો જુદો હોવાથી રંગોનું વિભાજન થાય છે. ઉદાહરણ તરીકે કાચના પ્રિઝમમાં સફેદ પ્રકાશનાં લાલ ઘટકનું વિચલન સૌથી ઓછું થાય છે; જ્યારે જાંબલી ઘટકનું વિચલન સૌથી વધારે થાય છે અને સમતુલ્ય રીતે કહીએ તો કાચના પ્રિઝમમાં લાલ પ્રકાશ જાંબલી પ્રકાશ કરતાં ઝડપથી મુસાફરી કરે છે. કાઉન કાચ અને ફ્લિન્ટ કાચ (Flint Glass) માટે વિવિધ રંગોના વક્રીભવનાંક કોષ્ટક 9.2માં દર્શાવ્યા છે. જાડા લેન્સ, ઘણા પ્રિઝમોના બનેલા ધારી શકાય, તેથી જાડા લેન્સ પ્રકાશના વિભાજનને કારણે વર્ણ-વિપથન (Chromatic Aberration) દર્શાવે છે. જ્યારે સફેદ પ્રકાશ જાડા લેન્સમાંથી પસાર થાય ત્યારે, લાલ અને વાદળી રંગો જુદા-જુદા બિંદુઓએ કેન્દ્રિત થાય છે. આ ઘટના વર્ણ વિપથનની ક્ષતિ તરીકે ઓળખાય છે.

કોષ્ટક 9.2 જુદી જુદી તરંગલંબાઈ માટે વક્રીભવનાંક

રંગ	તરંગલંબાઈ (nm)	કાઉન કાચ	ફ્લિન્ટ કાચ
જાંબલી	396.9	1.533	1.663
વાદળી	486.1	1.523	1.639
પીળો	589.3	1.517	1.627
રાતો	656.3	1.515	1.622

તરંગલંબાઈ સાથે વક્રીભવનાંકમાં થતો ફેરફાર કેટલાક માધ્યમમાં બીજા કરતાં વધુ પ્રમાણમાં હોય છે. શૂન્યાવકાશમાં જો કે પ્રકાશનો વેગ તેની તરંગલંબાઈથી સ્વતંત્ર છે. આમ, શૂન્યાવકાશ એ અ-વિભાજક (અ-વિક્ષેપી) (Non-Dispersive) માધ્યમ છે. જેમાં બધા રંગો સમાન ઝડપથી ગતિ કરે છે. સૂર્યપ્રકાશ આપણા સુધી સફેદ પ્રકાશ સ્વરૂપે જ આવે છે. નહીં કે ઘટક રંગોના સ્વરૂપમાં, આ ઘટના પરથી પણ આ હકીકત સમજી શકાય છે. જ્યારે બીજી તરફ કાચ એ વિભાજક (વિક્ષેપી) (Dispersive) માધ્યમ છે.

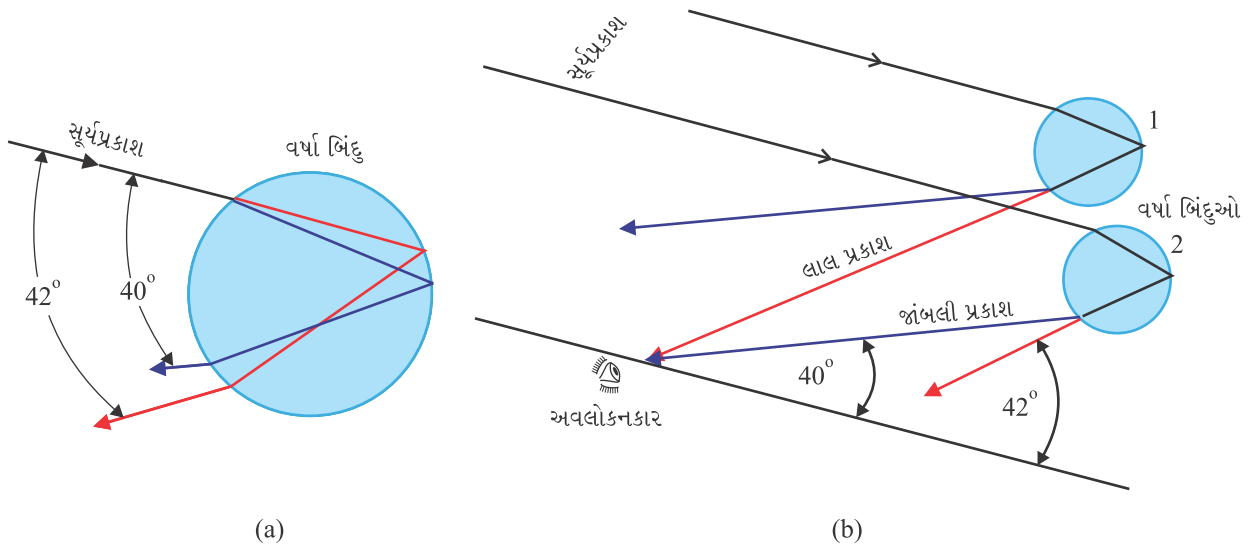
આકાશનો વાદળી રંગ, વાદળોનો સફેદ રંગ, સૂર્યોદય તેમજ સૂર્યાસ્ત સમયે સૂર્યનો રતાશ પડતો રંગ, મેઘધનુષ, કેટલાક મોતીઓના તથા કેટલાક પક્ષીઓની પાંખોના અદ્ભૂત રંગોથી આપણે પરિચિત છીએ. આ પૈકીની કેટલીક ઘટનાઓની આપણે ભૌતિકવિજ્ઞાનની દૃષ્ટિએ ચર્ચા કરીશું.

9.7.1 મેઘધનુષ (The Rainbow)

મેઘધનુષ એ સૂર્યપ્રકાશનું વાતાવરણમાંના પાણીના બુંદો દ્વારા થતાં વિભાજનનું એક ઉદાહરણ છે. વરસાદના ગોળાકાર બુંદને કારણે સૂર્યપ્રકાશનું વિભાજન, પરાવર્તન અને વક્રીભવન જેવી ઘટનાઓની સંયુક્ત અસરના કારણે આ ઘટના બને છે. મેઘધનુષ જોઈ શકાય તે માટેની શરત એ છે કે સૂર્ય આકાશમાં માત્ર એક તરફથી (ધારોકે પશ્ચિમ તરફના ક્ષિતિજ તરફથી) પ્રકાશિત હોવો જોઈએ અને બીજી તરફ (પૂર્વ તરફના ક્ષિતિજ બાજુ) વરસાદ પડતો હોવો જોઈએ અને જોનાર વ્યક્તિની પીઠ સૂર્ય તરફ હોય ત્યારે જ મેઘધનુષ જોઈ શકાય છે.

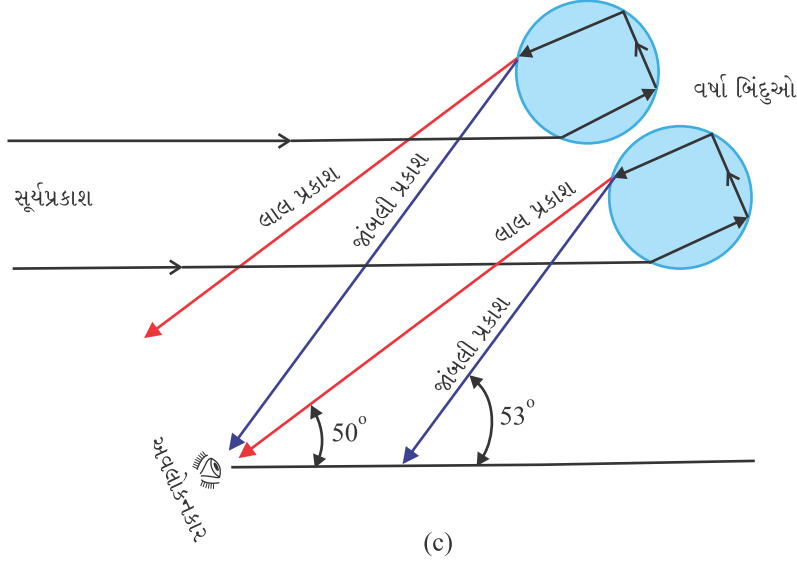
મેઘધનુષના નિર્માણને સમજવા માટે આકૃતિ [9.25(a)] ધ્યાનમાં લો. સૂર્યપ્રકાશ જ્યારે વરસાદના બુંદમાં પ્રવેશે છે ત્યારે પ્રથમ તેનું વક્રીભવન થાય છે અને આ સફેદ કિરણનું જુદી જુદી તરંગલંબાઈ (રંગમાં)માં વિભાજન થાય છે. વધુ તરંગલંબાઈ ધરાવતાં પ્રકાશનું (લાલ રંગનું) વક્રીભવન સૌથી ઓછું થાય છે જ્યારે ઓછી તરંગલંબાઈ ધરાવતા પ્રકાશનું (જાંબલી રંગ) વક્રીભવન સૌથી વધારે થાય છે. આ ઘટક કિરણો બુંદમાં તેની અંદરની સપાટી પર આપાત થાય છે, હવે જો આ વક્રીભૂત કિરણ અને બુંદની સપાટીને દોરેલા લંબ વચ્ચેનો ખૂણો ક્રાંતિકોણ (આ કિસ્સામાં 48°) કરતાં વધારે હોય તો, આપાત કિરણનું બુંદની અંદર પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તન થાય છે. આ પરાવર્તિત કિરણ બુંદની સપાટી પાસેથી પુનઃ વક્રીભવન થઈ બુંદમાંથી આકૃતિમાં દર્શાવ્યા પ્રમાણે બહાર આવે છે. એવું માલુમ પડ્યું કે, આપાતકિરણની સાથે 40° કોણે જાંબલી રંગનું કિરણ નિર્ગમન પામે છે. જ્યારે 42° ના કોણે લાલ રંગનું કિરણ નિર્ગમન પામે છે. બાકીના રંગો માટે નિર્ગમનકોણનાં મૂલ્યો આ બે ખૂણાઓની વચ્ચે મળે છે.

આકૃતિ 9.25 (b) પ્રાથમિક મેઘધનુષનું નિર્માણ સમજાવે છે. આપણે જોઈએ છીએ કે પાણીના બુંદ-1 માંથી નિર્ગમન પામતું લાલરંગનું પ્રકાશનું કિરણ અને બુંદ-2 માંથી નિર્ગમન પામતું જાંબલી રંગનું પ્રકાશનું કિરણ અવલોકન કર્તાની આંખ સુધી પહોંચે છે. જ્યારે બુંદ-1 માંથી નિર્ગમન પામતાં જાંબલી કિરણની દિશા અને બુંદ-2 માંથી નિર્ગમન પામતા લાલ કિરણની દિશા અવલોકનકર્તાની આંખની ઉપર અથવા નીચે હોય છે આમ, અવલોકનકર્તાને લાલ રંગ સૌથી ઉપર અને જાંબલી રંગ સૌથી નીચે હોય તે રીતે મેઘધનુષ દેખાય છે. આમ, પ્રાથમિક મેઘધનુષ ત્રણ તબક્કામાં થતી પ્રક્રિયા એટલેકે વક્રીભવન, પરાવર્તન અને વક્રીભવનથી રચાય છે.



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





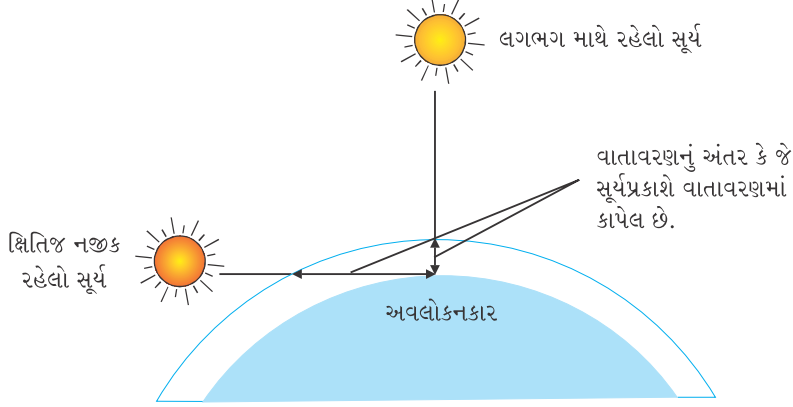
આકૃતિ 9.25 મેઘધનુષ (a) પાણીના બુંદ પર આપાત સૂર્યના કિરણનું બુંદ વડે બે વાર વક્રીભવન અને એકવાર પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તન થાય છે. (b) પ્રાથમિક મેઘધનુષમાં પાણીનાં બુંદમાં પ્રકાશનાં કિરણનું પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તન અને વક્રીભવનની વિવર્ણિત આકૃતિ (c) પાણીના બુંદમાં બે વખત થતાં પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તનથી ગૌણ મેઘધનુષ રચાય છે.

વરસાદનાં બુંદમાં જ્યારે પ્રકાશના કિરણનું મુખ્ય મેઘધનુષમાં જેમ 1 વાર પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તન થાય છે તેને બદલે 2 વાર પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તન થાય ત્યારે ગૌણ મેઘધનુષ રચાય છે, [આકૃતિ 9.25(c)]. ગૌણ મેઘધનુષ ચાર તબક્કામાં થતી વક્રીભવન, પરાવર્તન, પરાવર્તન અને વક્રીભવનની પ્રક્રિયાથી રચાય છે. બીજી વારના પરાવર્તનની ઘટનાના કારણે પ્રકાશની તીવ્રતા ઘણી ઘટી જાય છે. આથી ગૌણ મેઘધનુષ પ્રાથમિક મેઘધનુષ કરતાં ઝાંખુ દેખાય છે. વધુમાં ગૌણ મેઘધનુષમાં જોવા મળતા રંગોનો ક્રમ પણ પ્રાથમિક મેઘધનુષના રંગો કરતાં ઊલટો હોય છે, જે આકૃતિ 9.25(c)] પરથી સ્પષ્ટ છે.

9.7.2 પ્રકાશનું પ્રકીર્ણન (Scattering of Light)

સૂર્યપ્રકાશનું કિરણ જ્યારે પૃથ્વીના વાતાવરણમાંથી પસાર થાય છે ત્યારે વાતાવરણના સૂક્ષ્મકણો દ્વારા તેનું પ્રકીર્ણન (Scattering) (એની દિશા બદલે છે) થાય છે. ટૂંકી તરંગલંબાઈના પ્રકાશનું પ્રકીર્ણન લાંબી તરંગલંબાઈના પ્રકાશ કરતાં ઘણું વધારે થાય છે. (પ્રકીર્ણનની માત્રા તરંગલંબાઈના ચતુર્થઘાતના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં હોય છે અને રેલે પ્રકીર્ણન કહે છે.) ભૂરા રંગની તરંગલંબાઈ લાલ રંગની તરંગલંબાઈ કરતાં ઘણી ઓછી હોય છે આથી ભૂરા રંગનું પ્રકીર્ણન ખૂબ જ વધારે પ્રમાણમાં થાય છે, આથી સ્વચ્છ આકાશમાં ભૂરો રંગ છવાઈ જાય છે. હકીકતમાં જાંબલી રંગની તરંગલંબાઈ ભૂરા રંગની તરંગલંબાઈ કરતાં ઓછી હોવાથી જાંબલી રંગનું પ્રકીર્ણન ભૂરા રંગના પ્રકીર્ણન કરતાં પણ વધારે થતું હોય છે. પરંતુ આપણી આંખ જાંબલી રંગ કરતાં ભૂરા રંગ માટે વધારે સંવેદી હોવાથી આપણને આકાશ ભૂરા રંગનું દેખાય છે.

વાતાવરણમાં રહેલા ધૂળના રજકણો અને પાણીના બુંદો જેવા મોટા કણો દ્વારા થતાં પ્રકીર્ણન અલગ હોય છે. અહીં સંબંધ ધરાવતી રાશિ પ્રકાશની તરંગલંબાઈ λ અને પ્રકીર્ણન કરતાં કણનું સાપેક્ષ પરિમાણ છે. જો કણોના લાક્ષણિક પરિમાણને a કહીએ તો, $a \ll \lambda$ હોય ત્યારે રેલે પ્રકીર્ણન જોવા મળે છે. જ્યાં પ્રકીર્ણનની માત્રા $1/\lambda^4$ ના સમપ્રમાણમાં હોય છે. જો $a \gg \lambda$ હોય અર્થાત્ મોટા કણો (દા.ત. વરસાદનાં ટીંપા, ધૂળની મોટી રજકણો, બરફની કણો વિગેરે) માટે આ સત્ય નથી, પ્રકીર્ણનની માત્રા બધી λ માટે લગભગ સમાન છે. આથી વાદળો કે જેમાં $a \gg \lambda$ ધરાવતાં પાણી બુંદો હોય છે, તેઓ સામાન્ય રીતે સફેદ દેખાય છે.



આકૃતિ 9.26 સૂર્યોદય કે સૂર્યાસ્ત સમયે સૂર્યપ્રકાશ વાતાવરણમાં વધારે અંતર કાપે છે.

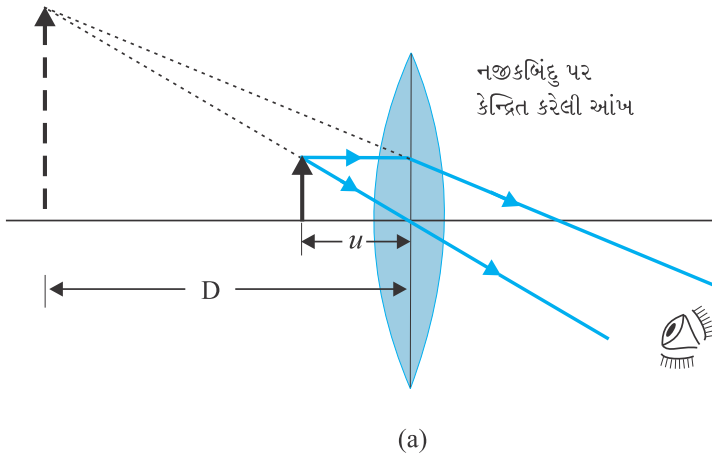
આકૃતિ 9.26માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે, સૂર્યોદય કે સૂર્યાસ્ત સમયે સૂર્યપ્રકાશ વાતાવરણમાં વધારે અંતર કાપવું પડે છે. આ દરમિયાન ભૂરા રંગ ઉપરાંત ટૂંકી તરંગલંબાઈના અન્ય રંગોનું પણ પ્રકીર્ણન થઈ દૂર થઈ ગયા હોય છે. આથી આપણી આંખમાં ઓછું પ્રકીર્ણન પામેલ પ્રકાશ પ્રવેશે છે. આથી સૂર્ય રતાશ (Reddish or Orange-Red) પડતા રંગનો દેખાય છે. આ જ કારણોસર સૂર્ય અને પૂનમનો ચંદ્ર પણ ક્ષિતિજ પાસે રતાશ (Reddish) પડતા રંગનો દેખાય છે.

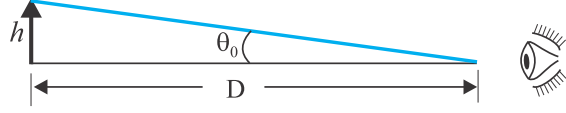
9.8 પ્રકાશીય ઉપકરણો (OPTICAL INSTRUMENTS)

અરીસા, લેન્સ અને પ્રિઝમના પરાવર્તન અને વક્રીભવનના ગુણધર્મોનો ઉપયોગ કરી ઘણા પ્રકાશીય ઉપકરણો બનાવવામાં આવ્યા છે. પેરિસ્કોપ (Periscope), કેલિડોસ્કોપ (Kaleidoscope), બાઈનોક્યુલર્સ (Binoculars), દૂરબીન (Telescope) સૂક્ષ્મદર્શક (Microscope) વિગેરે પ્રકાશીય ઉપકરણો વ્યવહારમાં ખૂબ જ સામાન્ય છે. માનવ આંખ એ કુદરતે આપણને આપેલ સર્વોત્તમ પ્રકાશીય ઉપકરણ છે એમ ચોક્કસ કહી શકાય. માનવ આંખ વિષે આપણે ધોરણ Xમાં અભ્યાસ કરી ગયા છીએ. હવે આપણે માઈક્રોસ્કોપ અને ટેલિસ્કોપના સિદ્ધાંત અને કાર્યપદ્ધતિ સમજીશું.

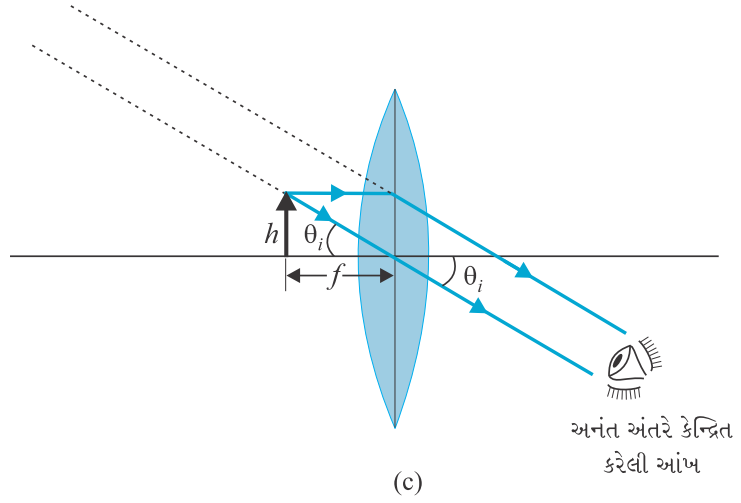
9.8.1 માઈક્રોસ્કોપ (Microscope)

સાદું વિવર્ધક અથવા માઈક્રોસ્કોપ એ નાની કેન્દ્રલંબાઈ ધરાવતો અભિસારી (બહિર્ગોળ) લેન્સ છે (આકૃતિ 9.27). આવા લેન્સનો માઈક્રોસ્કોપ તરીકે ઉપયોગ કરવા માટે, લેન્સને વસ્તુની નજીક, એક કેન્દ્રલંબાઈ અથવા તેના કરતાં ઓછા અંતરે રાખવામાં આવે છે





(b)



(c)

આકૃતિ 9.27 સાદું માઈક્રોસ્કોપ (a) વિવર્ધક લેન્સને એવા સ્થાન પાસે રાખ્યો છે કે પ્રતિબિંબ નજીકબિંદુ પાસે રચાય. (b) વસ્તુ વડે આંતરાતો ખૂણો, નજીકબિંદુ અંતર પાસેના ખૂણા જેટલો જ હોય છે. (c) લેન્સના મુખ્ય કેન્દ્ર નજીક રાખેલ વસ્તુનું પ્રતિબિંબ ખૂબ જ દૂરના અંતરે, પરંતુ અનંત અંતર કરતાં નજીક મળે છે.

અને લેન્સની બીજી બાજુ લેન્સથી નજીક આંખને રાખવામાં આવે છે. અહીં યોજના એવી હોય છે કે વસ્તુનું, સીધું (ચતું) આભાસી અને વિવર્ધિત પ્રતિબિંબ એવા અંતરે મળે કે તેને સુગમતાથી જોઈ શકાય, અર્થાત્ 25 cm અથવા વધુ અંતરે મળે. જો વસ્તુ f જેટલા અંતરે હોય તો તેનું પ્રતિબિંબ અનંત અંતરે મળે છે. તેમ છતાં જો વસ્તુ લેન્સની કેન્દ્રલંબાઈથી સહેજ જ ઓછા અંતરે હોય તો પ્રતિબિંબ આભાસી, ચતું, વિવર્ધિત અને અનંત અંતર કરતાં નજીક મળે છે. પ્રતિબિંબને સરળતાથી આરામદાયક રીતે સ્પષ્ટ જોઈ શકાય તે માટે પ્રતિબિંબ નજીક બિંદુ અંતરે ($D \cong 25 \text{ cm}$) હોવા છતાં, તે આંખને થોડો શ્રમ પહોંચાડે છે. આથી ઘણીવાર અનંત અંતરે રચાતા પ્રતિબિંબને આંખ વડે આરામદાયક રીતે જોવા માટે સૌથી યોગ્ય ગણવામાં આવે છે. આ બંને કિસ્સાઓ આપણે આકૃતિ 9.27માં જોઈ શકીએ છીએ. પ્રથમ કિસ્સો આકૃતિ (a)માં અને બીજો કિસ્સો આકૃતિ (b) અને (c)માં દર્શાવ્યો છે.

સાદા માઈક્રોસ્કોપ વડે નજીક બિંદુ D પાસે રચાતા પ્રતિબિંબની રેખીય મોટવણી m નીચેના સૂત્ર વડે આપવામાં આવે છે.

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

હવે, આપણી સંજ્ઞા પદ્ધતિ મુજબ v ઋણ છે અને તે માનાંકમાં D જેટલું છે. આમ મોટવણી

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

પરથી મળે છે. $D = 25 \text{ cm}$ છે, આથી મોટવણી 6 મેગવવા માટે લેન્સની કેન્દ્રલંબાઈ $f = 5 \text{ cm}$ રાખવી પડે.

નોંધો કે $m = h'/h$ જ્યાં h = વસ્તુની ઊંચાઈ અને h' = પ્રતિબિંબની ઊંચાઈ. આરામદાયક રીતે જોવા D અંતરે રાખેલ વસ્તુના પ્રતિબિંબે બનાવેલ ખૂણા અને વસ્તુએ બનાવેલ ખૂણાનો ગુણોત્તર પણ આ મોટવણી જેટલો છે. (નોંધો કે આ ખૂણો એ ખરેખર વસ્તુએ આંખ સાથે બનાવેલ ખૂણો જે h/u જેટલો હોય છે તે નથી) એક લેન્સવાળા સાદા વિવર્ધક (મેગ્નીફાયર) એટલું જ કરે છે કે તે વસ્તુને આંખથી D કરતાં નજીક લાવે છે.

હવે, આપણે પ્રતિબિંબ અનંત અંતરે હોય ત્યારે મોટવણી મેળવીશું. આ કિસ્સામાં આપણે કોણીય મોટવણી મેળવવી પડશે. ધારોકે વસ્તુની ઊંચાઈ h છે. જ્યારે વસ્તુ નજીક બિંદુ પર હોય અર્થાત્ D અંતરે હોય છે ત્યારે તે મહત્તમ કોણ બનાવે અને (લેન્સ વગર) તેને સ્પષ્ટ જોઈ શકાય છે. રચાતો ખૂણો નીચેના સૂત્ર વડે આપી શકાય છે.

$$\tan \theta_0 = \left(\frac{h}{D} \right) = \theta_0 \quad (9.40)$$

હવે આપણે વસ્તુ જ્યારે u અંતરે હોય ત્યારે, પ્રતિબિંબે આંખ સાથે બનાવેલો ખૂણો શોધીશું.

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

સૂત્ર પરથી પ્રતિબિંબે બનાવેલ ખૂણો,

$$\tan \theta_i = \frac{h'}{-v} = \frac{h}{-u} \cdot \frac{v}{u} = \frac{h}{-u} \approx \theta_i \text{ વસ્તુ જ્યારે } u = -f \text{ અંતરે હોય ત્યારે તેણે બનાવેલ ખૂણો,}$$

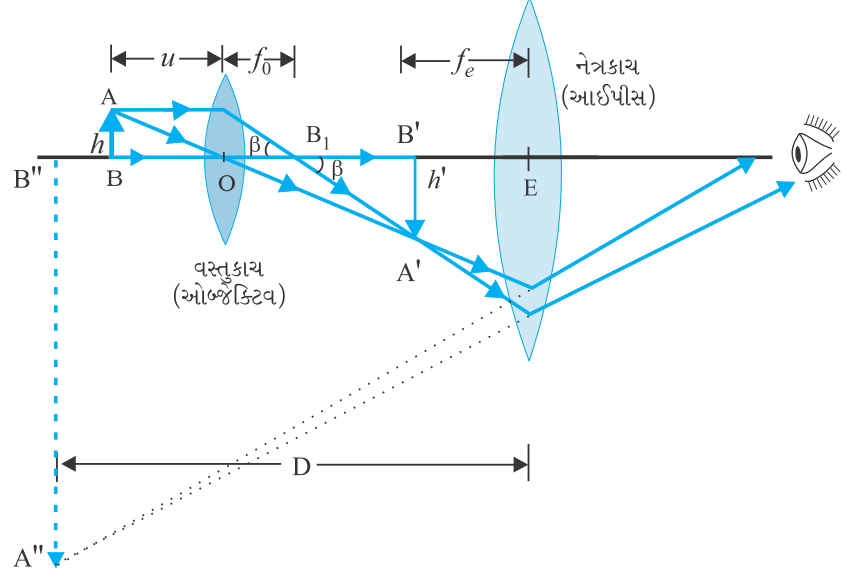
$$\theta_i = \left(\frac{h}{f} \right) \quad (9.41)$$

જે આકૃતિ 9.27(c) પરથી સ્પષ્ટ છે. આથી, કોણીય મોટવણી

$$m = \left(\frac{\theta_i}{\theta_0} \right) = \frac{D}{f} \quad (9.42)$$

જ્યારે પ્રતિબિંબ નજીક બિંદુ અંતર પાસે હોય (સમીકરણ 9.39) ત્યારે મળતી મોટવણી કરતાં આ એક જેટલું ઓછું છે પરંતુ પ્રતિબિંબ ખૂબ જ આરામદાયક રીતે જોઈ શકાય છે અને મોટવણીમાં મળતો તફાવત સામાન્ય રીતે ઘણો નાનો હોય છે. હવે પછીની પ્રકાશીય ઉપકરણો (માઈક્રોસ્કોપ અને ટેલિસ્કોપ)ની ચર્ચામાં આપણે પ્રતિબિંબ અનંત અંતરે મળે છે તેવું ધારીશું.

વાસ્તવિક કેન્દ્રલંબાઈઓ માટે સાદા માઈક્રોસ્કોપ વડે મળતી વધુમાં વધુ મોટવણી મર્યાદિત (≤ 9) છે. આનાથી વધુ મોટવણી મેળવવા માટે બે લેન્સનો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે, એક લેન્સની અસર બીજા લેન્સ દ્વારા મોટી થાય છે. આને સંયુક્ત માઈક્રોસ્કોપ કહે છે. સંયુક્ત માઈક્રોસ્કોપની રૂપરેખા આકૃતિ 9.28માં દર્શાવી છે. વસ્તુની નજીકના લેન્સને વસ્તુકાય (Objective) કહે છે, જે વસ્તુનું સાચું, ઊલટું અને મોટું પ્રતિબિંબ આપે છે. આ પ્રતિબિંબ બીજા લેન્સ નેત્રકાય (Eye Piece) માટે વસ્તુ તરીકે વર્તે છે, જે સાદા માઈક્રોસ્કોપ અથવા મેગ્નીફાયરની જેમ વર્તે છે, અને અંતિમ પ્રતિબિંબ આપે છે જે આભાસી અને મોટું હોય છે.



આકૃતિ 9.28 સંયુક્ત માઈક્રોસ્કોપ વડે રચાતા પ્રતિબિંબની કિરણાકૃતિ

પ્રથમ ઊલટું પ્રતિબિંબ આઈ-પીસના ફોકલ પ્લેન પર (અથવા અંદર) રચાય છે, જે અંતિમ પ્રતિબિંબ અનંત અંતરે આપે છે અથવા નજીક બિંદુ આગળ પ્રતિબિંબ રચાવા જરૂરી હોય તે કરતાં સહેજ નજીક આપે છે. સ્પષ્ટ છે કે, અંતિમ પ્રતિબિંબ વસ્તુને સાપેક્ષે ઊલટું મળે છે.

હવે આપણે સંયુક્ત માઈક્રોસ્કોપના કારણે મોટવણીનું સૂત્ર મેળવીશું. આકૃતિ (9.28) દર્શાવે છે કે ઓબ્જેક્ટીવને લીધે (રેખીય) મોટવણી,

$$m_0 = \frac{h'}{h} = \frac{L}{f_0} \quad (9.43)$$

બરાબર છે, જ્યાં આપણે

$$\tan \beta = \left(\frac{h}{f_0} \right) = \left(\frac{h'}{L} \right) \text{ સૂત્રનો ઉપયોગ કર્યો છે.}$$

અહીં $L = B_1B'$ છે. અહીં h' પ્રથમ પ્રતિબિંબની ઊંચાઈ છે, h વસ્તુની ઊંચાઈ અને f_0 ઓબ્જેક્ટીવ લેન્સની કેન્દ્રલંબાઈ છે. પ્રથમ પ્રતિબિંબ આઈ-પીસના મુખ્ય કેન્દ્ર પાસે રચાય છે. ઓબ્જેક્ટીવ લેન્સના દ્વિતીય મુખ્ય કેન્દ્ર B_1 અને આઈ-પીસના પ્રથમ મુખ્ય કેન્દ્ર B' (કેન્દ્ર લંબાઈ f_e) વચ્ચેના અંતરને સંયુક્ત માઈક્રોસ્કોપની ટ્યૂબલેન્થ (અંતર L) કહે છે.

પ્રથમ ઊલટું પ્રતિબિંબ આઈ-પીસના મુખ્યકેન્દ્ર પાસે મળતું હોવાથી સાદા માઈક્રોસ્કોપ માટેની અગાઉની ચર્ચા મુજબ મળેલ પરિણામનો ઉપયોગ કરી આપણે તેને લીધે મળતી (કોણીય) મોટવણી m_e (સમીકરણ 9.39) મેળવીશું, જ્યારે અંતિમ પ્રતિબિંબ નજીક બિંદુ પર મળશે.

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

જ્યારે અંતિમ પ્રતિબિંબ અનંત અંતરે મળે છે ત્યારે આઈ-પીસના કારણે કોણીય મોટવણી (સમીકરણ 9.42) મુજબ

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

આમ, પ્રતિબિંબ અનંત અંતરે મળે છે ત્યારે કુલ મોટવણી (સમીકરણ 9.33 પ્રમાણે),

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

સ્પષ્ટ છે કે સૂક્ષ્મ વસ્તુનું મોટું વિવર્ધન મેળવવા માટે (એટલે જ માર્કોસ્કોપ નામ છે) ઓબ્જેક્ટીવ લેન્સ અને આઈપીસની કેન્દ્રલંબાઈ ઓછી હોવી જોઈએ. વ્યવહારમાં, 1 cm કરતાં વધારે ઓછી કેન્દ્રલંબાઈ બનાવવાનું અઘરું છે. વળી L ને મોટો કરવા માટે મોટા લેન્સ બનાવવા પડે છે. ઉદાહરણ તરીકે $f_o = 1.0$ cm ના ઓબ્જેક્ટીવ, $f_e = 2.0$ cm ના આઈપીસ અને ટ્યૂબલેન્થ 20 cm હોય તો,

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

અન્ય ઘણી બાબતો જેમકે, વસ્તુની દીપ્તિમાન (પ્રકાશિતતા) (illumination) વિગેરે પણ પ્રતિબિંબની ગુણવત્તા અને દૃશ્યતામાં અસર કરે છે. આધુનિક માર્કોસ્કોપમાં ઓબ્જેક્ટીવ અને આઈ-પીસ બંને માટે બહુ-ઘટક લેન્સો વપરાય છે જેથી લેન્સની વિવિધ ત્રુટિઓનું (ક્ષતિઓનું) નિવારણ કરી પ્રતિબિંબની ગુણવત્તા સુધારી શકાય.

9.8.2 ટેલિસ્કોપ (Telescope)

ટેલિસ્કોપનો ઉપયોગ દૂરની કોણીય મોટવણી (આકૃતિ 9.29) મેળવવા માટે થાય છે. તેમાં પણ ઓબ્જેક્ટીવ અને આઈ-પીસ એમ બે લેન્સ હોય છે, પરંતુ અહીં ઓબ્જેક્ટીવની કેન્દ્રલંબાઈ અને વ્યાસ આઈ-પીસના પ્રમાણમાં ખૂબ જ મોટા રાખવામાં આવે છે. દૂરની વસ્તુમાંથી આવતાં કિરણો ઓબ્જેક્ટીવમાં દાખલ થઈ તેના દ્વિતીય મુખ્ય કેન્દ્ર પાસે નળીમાં તેનું વાસ્તવિક પ્રતિબિંબ રચે છે. આઈપીસ તેનું વિવર્ધિત એવું અંતિમ અને ઊલટું પ્રતિબિંબ રચે છે. અંતિમ પ્રતિબિંબ આંખ સાથે આંતરેલ ખૂણો (β) અને વસ્તુએ ઓબ્જેક્ટીવ (અથવા આંખ) સાથે આંતરેલ ખૂણો (α) ના ગુણોત્તરને ટેલિસ્કોપની મોટવશક્તિ (મોટવણી) (Magnifying Power) કહે છે. આથી,

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

આ કિસ્સામાં ટેલિસ્કોપની ટ્યૂબ લંબાઈ $f_o + f_e$ છે.

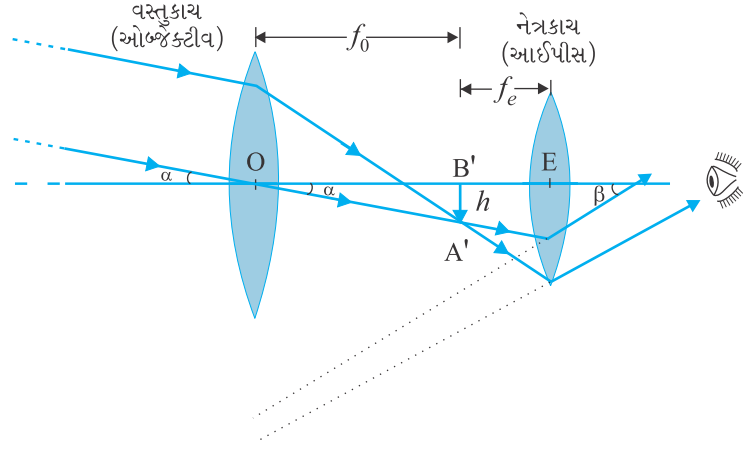
ટેરેસ્ટ્રિયલ ટેલિસ્કોપ (Terrestrial Telescope) માં ઈન્વર્ટીંગ લેન્સની એક વધારાની જોડ હોય છે, જે અંતિમ પ્રતિબિંબ ચતુર્તુ (સીધું) આપે છે.

રિફ્રેક્ટીંગ (વકીકારક) ટેલિસ્કોપનો ઉપયોગ ટેરેસ્ટ્રિયલ તેમજ એસ્ટ્રોનોમીકલ એમ બંને વસ્તુઓના અવલોકનો માટે થાય છે. ઉદાહરણ તરીકે, એક ટેલિસ્કોપના ઓબ્જેક્ટીવ લેન્સની કેન્દ્રલંબાઈ 100 cm અને આઈપીસની કેન્દ્રલંબાઈ 1 cm છે. આ ટેલિસ્કોપ માટે મોટવશક્તિ

$$m = 100 / 1 = 100.$$



ધારોકે આ ટેલિસ્કોપ વડે $1'$ (એક મિનિટ ચાપ) જેટલું અંતર ધરાવતાં બે તારાઓનું નિરીક્ષણ કરવામાં આવે છે. આ તારાઓ એકબીજાથી $100 \times 1' = 100' = 1.67^\circ$ જેટલા કોણીય અંતરે હોય તેમ જણાશે.

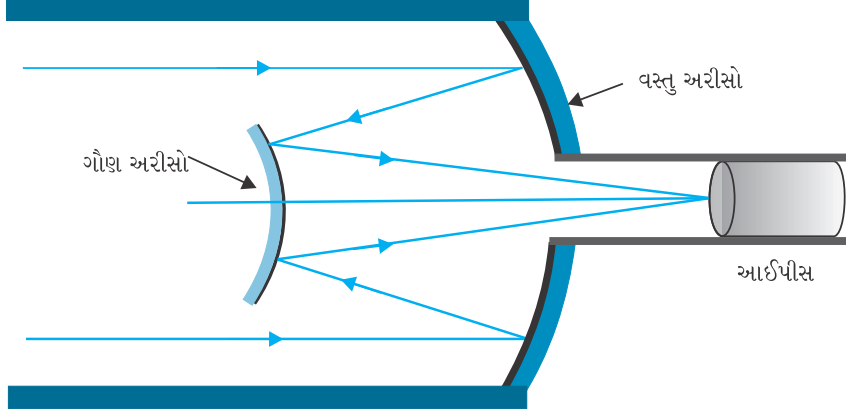


આકૃતિ 9.29 રિફ્રેક્ટીંગ (વક્રીકારક) ટેલિસ્કોપ

એસ્ટ્રોનોમીકલ ટેલિસ્કોપ માટે પ્રકાશ સમાવેશ ક્ષમતા (Light Gathering Power) અને તેનું વિભેદન અથવા વિભેદન શક્તિ (Resolving Power) મહત્વની બાબતો છે. આ પૈકી પ્રકાશ સમાવેશ ક્ષમતા સ્પષ્ટ રીતે ઓબ્જેક્ટીવના ક્ષેત્રફળ પર આધાર રાખે છે. મોટા વ્યાસવાળા લેન્સની મદદથી ઝાંખી વસ્તુઓ પણ જોઈ શકાય છે. વિભેદન શક્તિ અથવા નજીકની બે વસ્તુઓને અલગ-અલગ જોવાની ક્ષમતા પણ ઓબ્જેક્ટીવના વ્યાસ પર આધાર રાખે છે. આમ, પ્રકાશીય ટેલિસ્કોપ તેના ઓબ્જેક્ટીવનો વ્યાસ મોટો હોય તેવા બનાવવા જરૂરી છે. અત્યારે વપરાતા સૌથી મોટા ઓબ્જેક્ટીવ લેન્સનો વ્યાસ 40 ઈંચ (~ 1.02 m) જેટલો છે. આવો ટેલિસ્કોપ USAમાં Wisconsin ખાતે આવેલી Yerkes વેધશાળા (Observatory)માં છે. આવા મોટા લેન્સ ખૂબ જ વજનદાર હોય છે અને તેમને બનાવવાનું અને છેડા પાસેથી ટેકવવાનું ખૂબ જ મુશ્કેલ છે. વધુમાં એવા લેન્સ બનાવવાનું ખૂબ જ મુશ્કેલ અને ખર્ચાળ પણ છે કે જેઓ વર્ણવિપથન (Chromatic Aberration)થી અને વિકૃતિથી મુક્ત હોય તેવાં પ્રતિબિંબ આપે.

આવા કારણોસર આધુનિક ટેલિસ્કોપમાં ઓબ્જેક્ટીવ તરીકે લેન્સને બદલે અંતર્ગોળ અરીસાનો ઉપયોગ થાય છે. ઓબ્જેક્ટીવ તરીકે અરીસાનો ઉપયોગ થતો હોય તેવા ટેલિસ્કોપને *પરાવર્તક* (Reflecting) ટેલિસ્કોપ કહે છે. તેના કેટલાક ફાયદા છે. પ્રથમ તો અરીસા માટે વર્ણવિપથન હોતું નથી. બીજું, જો પારવલયિક (પેરાબોલિક) પરાવર્તક સપાટીનો ઉપયોગ કરવામાં આવે તો ગોળીય વિપથન (Spherical Aberration) પણ નાબૂદ થઈ શકે છે. અરીસાનું વજન સમાન પ્રકાશીય ક્ષમતા ધરાવતા લેન્સ કરતાં ઘણું ઓછું હોય છે. તેને માત્ર કિનારી પર નહિ પણ તેની પાછળની સમગ્ર સપાટી પર ટેકવી શકાય છે તેથી યાંત્રિક ટેકાનો પ્રશ્ન ઘણો ઘટી જાય છે.

પરાવર્તક ટેલિસ્કોપની એક સ્વભાવિક મુશ્કેલી એ છે કે, ઓબ્જેક્ટીવ અરીસો ટેલિસ્કોપ ટ્યૂબની અંદર જ પ્રકાશને કેન્દ્રિત કરે છે. આથી આઈ-પીસ અને અવલોકનકાર પણ ત્યાં જ હોવા જરૂરી છે. પરંતુ આનાથી થોડો પ્રકાશ (જે અવલોકનકારના પાંજરા પર આધારિત છે) અવરોધાય છે. કેલિફોર્નિયા ખાતે આવેલા Mt. Palomar ટેલિસ્કોપમાં આ માટે ખૂબ જ મોટો 200 ઈંચ (≈ 5.08 m) નો વ્યાસ રાખવામાં આવ્યો છે. નાના પાંજરામાં અવલોકનકર્તા અરીસાના મુખ્યકેન્દ્ર પાસે બેસે છે. મુશ્કેલીના અન્ય ઉકેલમાં પ્રકાશને વિચલિત કરી એક બીજા અરીસા વડે કેન્દ્રિત કરાય છે. આવી એક રચનામાં ગૌણ



આકૃતિ 9.30 પરાવર્તક ટેલિસ્કોપ (કેસેગ્રેઈન)ની સંજ્ઞાત્મક આકૃતિ

બહિર્ગોળ અરીસા પરથી પરાવર્તિત થતાં કિરણો ઓબ્જેક્ટીવ પ્રાથમિક અરીસામાં રાખેલ છિદ્ર (Hole)માંથી પસાર થઈને આઈ-પીસ પર કેન્દ્રિત થાય છે, તે (આકૃતિ 9.30)માં દર્શાવેલ છે. આ ટેલિસ્કોપ તેના શોધકના નામ પરથી કેસેગ્રેઈન (Cassegrain) ટેલિસ્કોપ તરીકે જાણીતું છે. એમાં નાના ટેલિસ્કોપમાં મોટી કેન્દ્રલંબાઈ મેળવવાનો ફાયદો છે. ભારતમાં સૌથી મોટું ટેલિસ્કોપ તામિલનાડુમાં કાવાલૂર (Kavalur) ખાતે છે તે 2.34 m વ્યાસ ધરાવતું પરાવર્તક (કેસેગ્રેઈન) ટેલિસ્કોપ છે. તેને જમીન પર રાખી, પોલીશ કરી ગોઠવીને તેનો ઉપયોગ ઈન્ડિયન ઈન્સ્ટિટ્યૂટ ઓફ એસ્ટ્રોફિઝિક્સ, બેંગ્લોર દ્વારા થાય છે. વિશ્વમાં સૌથી મોટા પરાવર્તક ટેલિસ્કોપ USAમાં હવાઈ (Hawaii) ખાતે આવેલા કેક (Keck) ટેલિસ્કોપની જોડ છે, જેમાં 10 m વ્યાસના પરાવર્તકો છે.

સારાંશ

1. પરાવર્તન $\angle i = \angle r$ સૂત્ર દ્વારા અને વક્રીભવન સ્નેલનાં નિયમ $\sin i / \sin r = n$ દ્વારા સંચાલન પામે છે. જ્યાં આપાતકોણ, પરાવર્તનકોણ અને વક્રીભૂતકોણ અનુક્રમે i , r અને r છે. જ્યાં આપાતકિરણ, પરાવર્તિતકિરણ અને વક્રીભૂતકિરણ અને લંબ એક જ સમતલમાં હોય છે.
2. ઘટ્ટ માધ્યમમાંથી પાતળા માધ્યમ પર આપાત થતાં કિરણ માટે ક્રાંતિકોણ i_c એ એવો કોણ છે કે જ્યારે વક્રીભૂતકિરણ 90° નો બને ત્યારે $i > i_c$ માટે પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તન થાય છે. હીરા ($i_c \cong 24.4^\circ$)માં થતું અનેક વારનું પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તન પૂર્ણ પરાવર્તક પ્રિઝમો અને મરીચિકાની ઘટના એ પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તનના કેટલાક ઉદાહરણો છે. કાચના ફાઈબરમાંથી બનાવેલા ઓપ્ટિકલ ફાયબરની ફરતે ઓછા વક્રીભવનાંક ધરાવતાં દ્રવ્યનું આવરણ કરેલું હોય છે. ફાઈબર વાંકા વાળેલા હોવા છતાં એક છેડા પાસેથી દાખલ થતો પ્રકાશ અનેકવાર પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તન અનુભવી બીજા છેડેથી બહાર આવે છે.
3. કાર્તેઝિયન સંજ્ઞા પ્રણાલી : આપાતકિરણની દિશામાં માપેલા અંતરો ધન અને તેની વિરુદ્ધ દિશામાં માપેલા અંતરો ઋણ ગણવામાં આવે છે. બધા જ અંતરો અરીસા/લેન્સના ધ્રુવ/ઓપ્ટિકલ કેન્દ્રથી મુખ્ય અક્ષ પર માપવામાં આવે છે. x -અક્ષની ઉપર તરફ અને મુખ્ય અક્ષને લંબ માપેલ ઊંચાઈ ધન ગણાય છે. અધો દિશામાં માપેલ ઊંચાઈ ઋણ ગણાય છે.



4. અરીસાનું સૂત્ર :

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

જ્યાં u વસ્તુઅંતર, v પ્રતિબિંબ અંતર છે અને કેન્દ્રલંબાઈ f એ વક્રતાત્રિજ્યા R કરતાં (લગભગ) અડધી હોય છે. અંતર્ગોળ અરીસા માટે f ઋણ અને બહિર્ગોળ અરીસા માટે f ધન છે.

5. પ્રિઝમકોણ A અને વક્રીભવનાંક n_2 ધરાવતાં પ્રિઝમને n વક્રીભવનાંક ધરાવતાં માધ્યમમાં મૂકતાં,

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

જ્યાં, D_m લઘુત્તમ વિચલન કોણ છે.

6. ગોળીય આંતર સપાટી દ્વારા થતાં વક્રીભવન માટે, (માધ્યમ-1 અને 2ના વક્રીભવનાંક અનુક્રમે n_1 અને n_2 છે.)

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

પાતળા લેન્સ માટે,

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

લેન્સ મેકરનું સૂત્ર

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

R_1 અને R_2 લેન્સની વક્રસપાટીઓની વક્રતાત્રિજ્યાઓ છે. અભિસારી (Converging) લેન્સ માટે f ધન અને અપસારી (Diverging) લેન્સ માટે f ઋણ હોય છે.

લેન્સનો પાવર $P = 1/f$

લેન્સના પાવરનો SI એકમ ડાયોપ્ટર (D) છે : $1 \text{ D} = 1 \text{ m}^{-1}$. f_1, f_2, f_3, \dots કેન્દ્રલંબાઈ ધરાવતાં લેન્સને સંપર્કમાં રાખવામાં આવે તો તેમની અસરકારક કેન્દ્રલંબાઈ f પરથી મળે છે.

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

વિવિધ લેન્સના સંયોજનનો કુલ પાવર $P = P_1 + P_2 + P_3 + \dots$

7. પ્રકાશની તેના ઘટક રંગોમાં છૂટા પડવાની ઘટનાને વિભાજન કહે છે.

8. સાદા માઈક્રોસ્કોપ માટે મોટવશક્તિ, $m = 1 + (D/f)$ પરથી મળે છે, જ્યાં $D = 25 \text{ cm}$ નજીક બિંદુ અંતર છે અને f બહિર્ગોળ લેન્સની કેન્દ્રલંબાઈ છે. જો પ્રતિબિંબ અનંત અંતરે મળે તો, $m = D/f$ થાય.

સંયુક્ત માઈક્રોસ્કોપ માટે મોટવશક્તિ $m = m_e \times m_0$ મળે છે જ્યાં $m_e = 1 + D/f_e$ જે આઈપીસને લીધે મોટવણી છે. અને m_0 ઓબ્જેક્ટીવથી મળતી મોટવણી છે.

$$m = \frac{L}{f_0} \times \frac{D}{f_e} \text{ (આશરે)}$$

જ્યાં f_0 ઓબ્જેક્ટીવની કેન્દ્રલંબાઈ, f_e આઈપીસની કેન્દ્રલંબાઈ અને L બંનેનાં મુખ્યકેન્દ્ર વચ્ચેનું અંતર છે.

9. ટેલિસ્કોપની મોટવ શક્તિ, પ્રતિબિંબ વડે આંખ આગળ આંતરાતા કોણ β અને વસ્તુ વડે આંખ આગળ આંતરાતા કોણ α નો ગુણોત્તર છે.

$$m = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{f_0}{f_e}$$

જ્યાં f_0 અને f_e અનુક્રમે ઓબ્જેક્ટીવ અને આઈપીસની કેન્દ્રલંબાઈ છે.

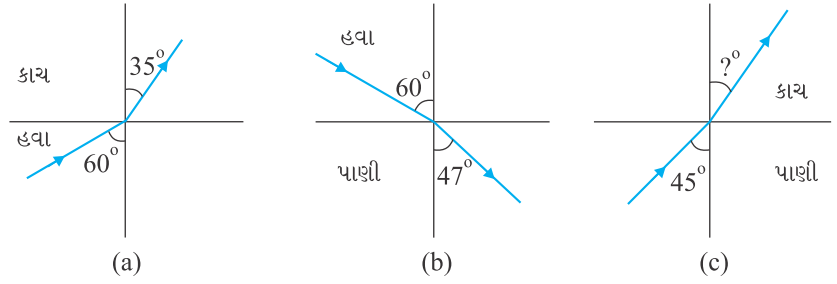
ગહન વિચારણાના મુદ્દા

1. આપાતબિંદુ પાસે પરાવર્તન અને વક્રીભવનનાં નિયમો તમામ સપાટીઓ માટે અને માધ્યમોની જોડ માટે સાચાં છે.
2. જ્યારે બહિર્ગોળ લેન્સની સામે વસ્તુ f અને $2f$ ની વચ્ચે રાખવામાં આવે છે ત્યારે પ્રતિબિંબના સ્થાન પાસે પડદો રાખતાં પડદા પર વાસ્તવિક પ્રતિબિંબ જોઈ શકાય છે. હવે જો પડદાને દૂર કરવામાં આવે તો શું પ્રતિબિંબ હજી ત્યાં જ હશે ? આ પ્રશ્ન ઘણાને મૂંઝવે છે. કારણકે, પડદા વગરના પ્રતિબિંબને હવામાં લટકતું કલ્પવામાં આપણને તકલીફ થાય છે. પરંતુ પડદો દૂર કરતાં પણ પ્રતિબિંબ ત્યાં હોય છે જ. વસ્તુ પરના આપેલ બિંદુમાંથી આવતાં કિરણો હવામાં જ પ્રતિબિંબ બિંદુએ અભિસરણ પામીને પછી એકબીજાથી દૂર અપસારિત થાય છે. પડદો આ કિરણોને માત્ર વિખેરે (diffuses) છે. જે પૈકી કેટલાંક કિરણો આપણી આંખમાં પ્રવેશે છે અને પરિણામે પ્રતિબિંબ જોઈ શકાય છે. આ હકીકત લેસર-શો દરમ્યાન પડદા વગર હવામાં રચાતા પ્રતિબિંબ દ્વારા જોઈ શકાય છે.
3. પ્રતિબિંબની રચના માટે નિયમિત પરાવર્તન/વક્રીભવનની જરૂર છે. સિદ્ધાંતમાં આપેલા બિંદુમાંથી નિકળતાં બધાં જ કિરણો એક જ સમાન પ્રતિબિંબ બિંદુએ પહોંચવા જોઈએ. આજ કારણોસર અનિયમિત પરાવર્તક સપાટી દા. ત. પુસ્તકનું પાનું-માં તમે તમારું પ્રતિબિંબ જોઈ શકતા નથી.
4. જાડા લેન્સ વિભાજનના કારણે રંગીન પ્રતિબિંબો આપે છે. આપણી આસપાસ વસ્તુઓના જે વિવિધ રંગો આપણે જોઈએ છીએ તે તેમની પર આપાત પ્રકાશના વિવિધ ઘટક રંગોના કારણે છે. સફેદ પ્રકાશમાં જે રંગ દેખાય છે તે કરતાં એકરંગી પ્રકાશ વસ્તુના રંગ અંગે સંપૂર્ણ જુદો જ ખ્યાલ ઉપજાવી શકે છે.
5. સાદા માઈક્રોસ્કોપ માટે, વસ્તુનું કોણીય પરિમાણ અને પ્રતિબિંબનું કોણીય પરિમાણ સમાન હોય છે. છતાં તે મોટું દેખાય છે. કારણ કે, આપણે નાની વસ્તુને આંખથી 25 cmથી વધુ નજીક રાખી શકીએ છે, જેથી એ મોટો કોણ આંતરે છે. પ્રતિબિંબ 25 cm અંતરે છે જે આપણે જોઈ શકીએ છીએ. માઈક્રોસ્કોપ વગર, નાની સૂક્ષ્મ વસ્તુને તમારે 25 cm દૂર મૂકવાની જરૂર છે, જે ખૂબ જ નાનો કોણ આંતરે છે.



સ્વાધ્યાય

- 9.1** 36 cm વક્રતાત્રિજ્યા ધરાવતાં અંતર્ગોળ અરીસાની સામે 2.5 cm ઊંચાઈની એક નાની મીણબત્તી 27 cm અંતરે મૂકવામાં આવે છે. મીણબત્તીનું સ્પષ્ટ પ્રતિબિંબ મેળવવા માટે પડદાને અરીસાથી કેટલા અંતરે મૂકવો જોઈએ ? પ્રતિબિંબનો પ્રકાર અને ઊંચાઈ જણાવો. જો મીણબત્તીને અરીસાની નજીક ખસેડવામાં આવે તો પડદાને કેવી રીતે ખસેડવો પડે ?
- 9.2** 15 cm કેન્દ્રલંબાઈ ધરાવતાં બહિર્ગોળ અરીસાથી 4.5 cm ઊંચાઈવાળી સોયને 12 cm દૂર મૂકવામાં આવે છે. પ્રતિબિંબનું સ્થાન અને મોટવણી આપો. સોયને અરીસાથી જેમ દૂર ખસેડવામાં આવે તેમ શું થશે તે જણાવો.
- 9.3** એક ટાંકીને 12.5 cmની ઊંચાઈ સુધી પાણીથી ભરવામાં આવે છે. ટાંકીના તળિયે રહેલી સોયની આભાસી ઊંડાઈ માઈક્રોસ્કોપ વડે માપતાં તે 9.4 cm મળે છે. પાણીનો વક્રીભવનાંક કેટલો હશે ? જો 1.63 વક્રીભવનાંક ધરાવતાં પ્રવાહીને પાણીના બદલે તેટલી જ ઊંચાઈએ ભરવામાં આવે તો, સોય પર ફરીથી માઈક્રોસ્કોપને કેન્દ્રિત કરવા માટે તેને કેટલા અંતરે ખસેડવું પડે ?
- 9.4** હવામાં ગતિ કરતું કિરણ કાચ-હવા અને પાણી-હવાની સપાટીએ રચેલા લંબ સાથે 60° ના ખૂણે આપાત થાય છે. જેનાં વક્રીભવન આકૃતિઓ અનુક્રમે 9.31(a) અને (b) દર્શાવે છે.

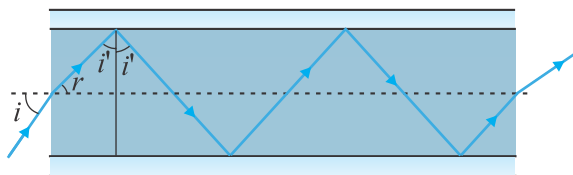


આકૃતિ 9.31

પાણી-કાચની આંતર સપાટીએ રચેલા લંબ સાથે પાણીમાં 45° નો આપાતકોણ હોય ત્યારે કાચમાં વક્રીભવનકોણનું મૂલ્ય શોધો [આકૃતિ 9.31(c)].

- 9.5** 80 cm ઊંડાઈ સુધી પાણી ભરેલી ટાંકીના તળિયે એક નાનો બલ્બ મૂક્યો છે. બલ્બમાંથી ઉત્સર્જિત થતો પ્રકાશ પાણીની સપાટી પાસેથી કેટલા ક્ષેત્રફળમાંથી બહાર આવશે ? પાણીનો વક્રીભવનાંક 1.33 છે (બલ્બને બિંદુવત ઉદ્ગમ તરીકે ગણો).
- 9.6** અજ્ઞાત વક્રીભવનાંક ધરાવતાં કાચમાંથી એક પ્રિઝમ બનાવેલ છે. તેની એક સપાટી ઉપર પ્રકાશનું સમાંતર કિરણજૂથ આપાત કરવામાં આવે છે. લઘુત્તમ વિચલન કોણ 40° મળે છે. પ્રિઝમના દ્રવ્યનો વક્રીભવનાંક શોધો. પ્રિઝમનો વક્રતાકારક કોણ 60° છે. જો આ પ્રિઝમને (1.33 વક્રીભવનાંક ધરાવતાં) પાણીમાં મૂકવામાં આવે તો સમાંતર કિરણજૂથ માટે લઘુત્તમ વિચલન કોણ શોધો.
- 9.7** 1.55 વક્રીભવનાંક ધરાવતાં કાચમાંથી બંને સપાટીઓની વક્રતાત્રિજ્યા સમાન હોય તેવા દ્વિ-બહિર્ગોળ લેન્સ બનાવવો છે તો 20 cm કેન્દ્રલંબાઈ મેળવવા માટે જરૂરી વક્રતાત્રિજ્યા કેટલી હશે ?
- 9.8** પ્રકાશની કિરણાવલી કોઈ એક બિંદુ P પાસે કેન્દ્રિત થાય છે. જો માર્ગમાં P બિંદુથી 12 cmના અંતરે (a) 20 cm કેન્દ્રલંબાઈવાળો બહિર્ગોળ લેન્સ અને (b) 16 cm કેન્દ્રલંબાઈવાળો અંતર્ગોળ લેન્સ મૂકવામાં આવે તો, આ કિરણાવલી કયા બિંદુએ કેન્દ્રિત થશે ?
- 9.9** 21 cm કેન્દ્રલંબાઈવાળા અંતર્ગોળ લેન્સની સામે 14 cmનાં અંતરે, 3.0 cmની ઊંચાઈની એક વસ્તુ મૂકેલી છે. લેન્સ વડે મળતાં પ્રતિબિંબનું વર્ણન કરો. જો વસ્તુને લેન્સથી વધુ દૂર લઈ જવામાં આવે તો શું થશે ?

- 9.10 30 cm કેન્દ્રલંબાઈના બહિર્ગોળ લેન્સને 20 cm કેન્દ્રલંબાઈના અંતર્ગોળ લેન્સ સાથે સંપર્કમાં રાખ્યો છે. આ સંયોજનની સમતુલ્ય કેન્દ્રલંબાઈ શોધો. આ સંયોજન (તંત્ર) અભિસારી (બહિર્ગોળ) લેન્સ હશે કે અપસારી (અંતર્ગોળ) લેન્સ હશે ? લેન્સની જાડાઈ અવગણો.
- 9.11 2.0 cm કેન્દ્રલંબાઈનો ઓબ્જેક્ટીવ અને 6.25 cm કેન્દ્રલંબાઈના આઈપીસ ધરાવતાં સંયુક્ત માઈક્રોસ્કોપમાં તે બે લેન્સ વચ્ચેનું અંતર 15 cm છે. વસ્તુને ઓબ્જેક્ટીવથી કેટલા અંતરે રાખવી જોઈએ કે જેથી મળતું અંતિમ પ્રતિબિંબ (a) નજીકબિંદુ અંતરે (25 cm) અને (b) અનંત અંતરે મળે ? બંને કિસ્સામાં માઈક્રોસ્કોપની મોટવશક્તિ શોધો.
- 9.12 સામાન્ય નજીકબિંદુ (25 cm) ધરાવતો એક વ્યક્તિ 8.0 mm કેન્દ્રલંબાઈવાળા ઓબ્જેક્ટીવ અને 2.5 cm કેન્દ્રલંબાઈના આઈપીસ ધરાવતા સંયુક્ત માઈક્રોસ્કોપ વડે, ઓબ્જેક્ટીવથી 9.0 mm દૂર રાખેલી વસ્તુનું સ્પષ્ટ પ્રતિબિંબ મેળવે છે. બંને લેન્સ વચ્ચેનું અંતર શોધો. માઈક્રોસ્કોપની મોટવશક્તિ શક્તિ પણ શોધો.
- 9.13 એક નાના ટેલિસ્કોપના ઓબ્જેક્ટીવની કેન્દ્રલંબાઈ 144 cm અને આઈપીસની કેન્દ્રલંબાઈ 6.0 cm છે. ટેલિસ્કોપની મોટવશક્તિ તથા ઓબ્જેક્ટીવ અને આઈપીસ વચ્ચેનું અંતર શોધો.
- 9.14 (a) એક વેધશાળામાં આવેલ વિશાળ વકીકારક ટેલિસ્કોપમાં ઓબ્જેક્ટીવ લેન્સની કેન્દ્રલંબાઈ 15 m અને આઈપીસની કેન્દ્રલંબાઈ 1 cm છે. તો કોણીય મોટવશક્તિ શોધો. (b) આ ટેલિસ્કોપના ઓબ્જેક્ટીવ વડે મળતાં ચંદ્રના પ્રતિબિંબનો વ્યાસ કેટલો હશે ? ચંદ્રનો વ્યાસ 3.48×10^6 m અને ચંદ્રની કક્ષાની ત્રિજ્યા 3.8×10^8 m છે.
- 9.15 અરીસાના સૂત્રનો ઉપયોગ કરી સાબિત કરો કે :
- (a) અંતર્ગોળ અરીસાના f અને $2f$ ની વચ્ચે વસ્તુને મૂકવામાં આવે તો વસ્તુનું સાચું પ્રતિબિંબ $2f$ થી દૂર મળે.
- (b) બહિર્ગોળ અરીસો હંમેશા વસ્તુના સ્થાનથી સ્વતંત્ર એવું આભાસી પ્રતિબિંબ જ આપે છે.
- (c) બહિર્ગોળ અરીસા વડે મળતું આભાસી પ્રતિબિંબ હંમેશા કદમાં નાનું અને અરીસાના ધ્રુવ તેમજ મુખ્યકેન્દ્રની વચ્ચે જ હોય છે.
- (d) અંતર્ગોળ અરીસાના ધ્રુવ અને મુખ્યકેન્દ્ર વચ્ચે મુકેલ વસ્તુનું પ્રતિબિંબ કદમાં મોટું અને આભાસી હોય છે. [આ સ્વાધ્યાય કિરણ આકૃતિઓથી મળતા પ્રતિબિંબના ગુણધર્મો તમને બીજગણિતથી મેળવવામાં મદદ કરે છે.]
- 9.16 ટેબલની સપાટી ઉપર જડી દીધેલી નાની પીનને 50 cm ઊંચાઈથી જોવામાં આવે છે. આ જ બિંદુએ, ઉપરથી બિંદુથી ટેબલની સપાટીને સમાંતર રાખેલા 15 cm જાડાઈના કાચના સ્લેબમાંથી તેને જોતાં, પીન કેટલી ઊંચે આવેલી દેખાશે ? કાચનો વકીભવનાંક 1.5 છે. ઉપર મેળવેલ જવાબ સ્લેબના સ્થાન ઉપર આધાર રાખે ?
- 9.17 (a) આકૃતિ 9.32માં કાચના ફાઈબરમાંથી બનાવેલ 1.68 વકીભવનાંક ધરાવતી ‘પ્રકાશનળી’નો આડછેદ દર્શાવ્યો છે. બહારની બાજુએ 1.44 વકીભવનાંક ધરાવતા દ્રવ્યનું આવરણ કરેલું છે. આકૃતિમાં દર્શાવ્યા મુજબ આપાતકિરણનું પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તન થઈ શકે તે માટે જરૂરી આપાતકિરણોના નળીને અક્ષ સાથેના કોણનો વિસ્તાર રેન્જ (Range) જણાવો.
- (b) જો પાઈપની બહારની બાજુએ કોઈ આવરણ ના કરવામાં આવે તો તમારો જવાબ શું છે ?



આકૃતિ 9.32



9.18 નીચેના પ્રશ્નોનાં જવાબ આપો :

- તમે એવું ભણી ગયા છો કે સમતલ અને બહિર્ગોળ અરીસાઓ વસ્તુનું આભાસી પ્રતિબિંબ આપે છે. શું તેઓ દ્વારા અમુક પરિસ્થિતિઓમાં સાચું પ્રતિબિંબ મેળવી શકાય ? સમજાવો.
- આપણે હંમેશા કહીએ છીએ કે, આભાસી પ્રતિબિંબને પડદા ઉપર ઝીલી શકાતું નથી. છતાં, આપણે જ્યારે આભાસી પ્રતિબિંબને “જોઈએ” છીએ ત્યારે સ્વભાવિક છે કે આપણે તેને આંખના પડદા (રેટિના) પર ઝીલીએ છીએ. શું અહીં કોઈ વિરોધાભાસ છે ?
- પાણીની અંદરથી (Under Water) એક વ્યક્તિ તળાવના કિનારે ઊભા રહેલા એક માછીમારને ત્રાંસી રીતે (Obliquely) જુએ છે, તો તેને આ માછીમાર તેની ખરેખરી ઊંચાઈ કરતાં લાંબો દેખાશે કે ટૂંકો ?
- જો ત્રાંસી દિશામાં જોવામાં આવે તો, પાણીની ટાંકીની આભાસી ઊંડાઈ બદલાશે ? જો ‘હા’ તો તે આભાસી ઊંડાઈ વધારે હશે કે ઓછી ?
- સાદા કાચ કરતાં હીરાનો વક્રીભવનાંક ઘણો મોટો હોય છે. આ હકીકત હીરાઘસુને કોઈ રીતે ઉપયોગી છે ?

9.19 ઓરડાની એક દિવાલ સાથે જડિત નાના વિદ્યુત બલ્બનું 3 m દૂર આવેલી સામેની દિવાલ પર પ્રતિબિંબ મેળવવા માટે બહિર્ગોળ લેન્સની શક્ય મહત્તમ કેન્દ્રલંબાઈ શોધો.

9.20 વસ્તુથી 90 cm દૂર એક પડદો રાખ્યો છે. એકબીજાથી 20 cm અંતરે આવેલા હોય તેવા બે સ્થાનો આગળ વારાફરતી એક બહિર્ગોળ લેન્સ મુકતાં પ્રતિબિંબ તે જ પડદા પર મળે છે. તો લેન્સની કેન્દ્રલંબાઈ શોધો.

9.21 (a) સ્વાધ્યાય 9.10માં સંપાત થતી મુખ્ય અક્ષ પર બે લેન્સો વચ્ચેનું અંતર 8.0 cm હોય તો સંયોજનની અસરકારક કેન્દ્રલંબાઈ શોધો. આ જવાબ, સંયોજનની કઈ તરફથી પ્રકાશની સમાંતર કિરણાવલી (Beam) આપાત કરવામાં આવે છે તેના પર આધારિત છે ? શું સંયોજનની અસરકારક કેન્દ્રલંબાઈનો ખ્યાલ સહેજ પણ ઉપયોગી છે ?

(b) ઉપર્યુક્ત ગોઠવણી (a)માં 1.5 cm ઊંચાઈની એક વસ્તુને બહિર્ગોળ લેન્સ તરફ 40 cm અંતરે મૂકવામાં આવે છે બે લેન્સનાં સંયોજનથી મળતી મોટવણી અને પ્રતિબિંબની ઊંચાઈ શોધો.

9.22 60°નો વક્રતાકારકકોણ ધરાવતા પ્રિઝમની સપાટી પર કેટલા લઘુત્તમ આપાતકોણે આપાત થતા કિરણનું બીજી સપાટીએથી સહેજ (Just) પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તન થાય ? પ્રિઝમના દ્રવ્યનો વક્રીભવનાંક 1.524 છે.

9.23 1 mm²ના ચોરસોમાં વિભાગેલા એક સમતલ ટુકડાને 9 cm કેન્દ્રલંબાઈના વિવર્ધક (અભિસારી) લેન્સ વડે જોવામાં આવે છે. આ લેન્સ ટુકડાથી 9 cm દૂર આંખની નજીક રાખ્યો છે.

(a) લેન્સની મોટવણી શોધો. ટુકડાના આભાસી પ્રતિબિંબમાં દરેક ચોરસનું ક્ષેત્રફળ શોધો.

(b) લેન્સની કોણીય મોટવણી (મોટવશક્તિ) શોધો.

(c) (a)માં મેળવેલ મોટવણી અને (b)માં મેળવેલ મોટવશક્તિ સમાન છે ? સમજાવો.

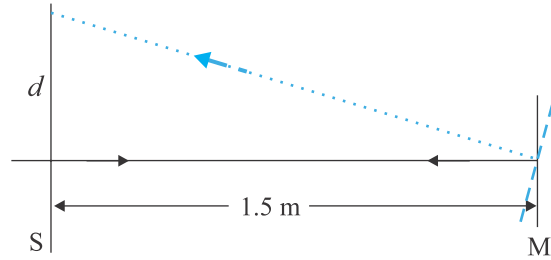
- 9.24** (a) સ્વાધ્યાય 9.29માં સમતલમાંની આકૃતિથી લેન્સને કેટલા અંતરે રાખવો જોઈએ જેથી મહત્તમ શક્ય મોટવશક્તિ સાથે ચોરસો સ્પષ્ટ દેખાય ?
(b) આ કિસ્સામાં મોટવણી કેટલી મળશે ?
(c) શું મોટવણી અને મોટવશક્તિ આ કિસ્સામાં સમાન છે ? સમજાવો.
- 9.25** સ્વાધ્યાય 9.30માં જો દરેક ચોરસના આભાસી પ્રતિબિંબનું ક્ષેત્રફળ 6.25 mm^2 મેળવવું હોય તો વસ્તુ અને વિવર્ધક કાચ વચ્ચેનું અંતર કેટલું રાખવું જોઈએ ? જો આંખને આ વિવર્ધક કાચની ખુબ જ નજીક રાખવામાં આવે તો ચોરસને તમે સ્પષ્ટ જોઈ શકશો ? (નોંધ : સ્વાધ્યાય 9.29 થી 9.31 નિરપેક્ષ પરિમાણમાં મોટવણી અને સાધનની કોણીય મોટવણી (મોટવશક્તિ) વચ્ચેનો તફાવત સમજવામાં ઉપયોગી થશે.)
- 9.26** નીચેના પ્રશ્નોના ઉત્તર આપો :
- (a) વસ્તુએ આંખ સાથે બનાવેલો ખૂણો અને વિવર્ધક લેન્સથી રચાયેલા તેના આભાસી પ્રતિબિંબે આંખ સાથે બનાવેલો ખૂણો સમાન છે. તો પછી વિવર્ધક કાચ કયા અર્થમાં કોણીય મોટવણી આપે છે ?
(b) સામાન્ય રીતે કોઈ પણ વ્યક્તિ વિવર્ધક કાચમાંથી વસ્તુને જોવા માટે આંખને લેન્સની ઘણી નજીક રાખે છે. જો આંખને દૂર રાખવામાં આવે તો કોણીય મોટવણીમાં ફેરફાર થાય ?
(c) સાદા માઈક્રોસ્કોપની મોટવશક્તિ કેન્દ્રલંબાઈના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં છે. તો વધુને વધુ મોટવણી મેળવવા માટે ઓછામાં ઓછી કેન્દ્રલંબાઈનો લેન્સ વાપરવામાં આપણને કયું કારણ રોકી રહ્યું છે ?
(d) સંયુક્ત માઈક્રોસ્કોપમાં ઓબ્જેક્ટીવ અને આઈપીસ બંનેની કેન્દ્રલંબાઈ નાની શા માટે રાખવામાં આવે છે ?
(e) સંયુક્ત માઈક્રોસ્કોપમાંથી જોવામાં આંખને આઈપીસની અડોઅડ નહીં પરંતુ સહેજ દૂર રાખવામાં આવે છે. શા માટે ? આઈપીસ અને આંખ વચ્ચેનું આ નાનું અંતર કેટલું હોવું જોઈએ ?
- 9.27** 1.25 cm કેન્દ્રલંબાઈના ઓબ્જેક્ટીવ અને 5 cm કેન્દ્રલંબાઈના આઈપીસ વડે 30X કોણીય મોટવણી (મોટવશક્તિ) મેળવવી હોય તો સંયુક્ત માઈક્રોસ્કોપની ગોઠવણી કઈ રીતે કરવી જોઈએ ?
- 9.28** એક નાના ટેલિસ્કોપમાં 140 cm કેન્દ્રલંબાઈનો ઓબ્જેક્ટીવ અને 5 cm કેન્દ્રલંબાઈનો આઈપીસ છે. આ ટેલિસ્કોપની મોટવશક્તિ,
(a) જ્યારે ટેલિસ્કોપની સામાન્ય ગોઠવણી કરેલ હોય. (અંતિમ પ્રતિબિંબ અનંત અંતરે મળતું હોય) ત્યારે અને
(b) જ્યારે અંતિમ પ્રતિબિંબ નજીક બિંદુ અંતરે (25 cm) મળતું હોય ત્યારે શોધો.
- 9.29** (a) સ્વાધ્યાય 9.28(a)માં દર્શાવેલ ટેલિસ્કોપ માટે ઓબ્જેક્ટીવ અને આઈપીસ વચ્ચેનું અંતર કેટલું હશે ?
(b) જો આ ટેલિસ્કોપનો 3 km દૂર આવેલા 100 m ઊંચાઈના ટાવરને જોવા માટે ઉપયોગ કરવામાં આવે તો ઓબ્જેક્ટીવ લેન્સ વડે રચાતા ટાવરના પ્રતિબિંબની ઊંચાઈ શોધો.



(c) જો ટાવરનું અંતિમ પ્રતિબિંબ 25 cm અંતરે મેળવવામાં આવે તો પ્રતિબિંબની ઊંચાઈ શોધો.

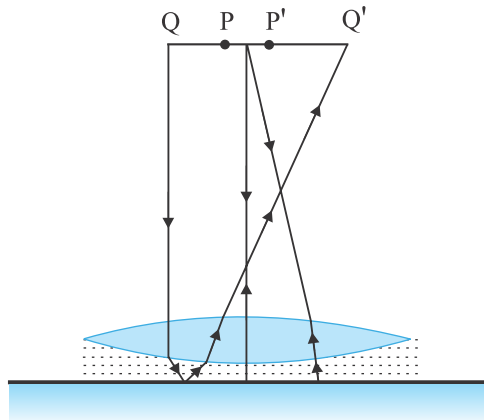
9.30 એક કેસેગ્રેઈન (Cassegrain) ટેલિસ્કોપમાં આકૃતિ 9.30માં બતાવ્યા મુજબ બે અરીસાઓ વાપરવામાં આવે છે. આ ટેલિસ્કોપમાં અરીસાઓ એકબીજાથી 20 mm અંતરે રાખેલ છે. મોટા અરીસાની વક્રતાત્રિજ્યા 220 mm અને નાના અરીસાની 140 mm હોય તો અનંત અંતરે રહેલી વસ્તુનું અંતિમ પ્રતિબિંબ કયાં મળશે ?

9.31 ગેલ્વેનોમીટરના ગૂંચળા (કોઈલ) સાથે જોડેલ સમતલ અરીસાની ઉપર લંબરૂપે આપાત કરેલ કિરણ આકૃતિ 9.33માં બતાવ્યા પ્રમાણે તે જ માર્ગે પાછું ફરે છે. ગૂંચળામાંથી પસાર થતાં વિદ્યુતપ્રવાહનાં કારણે અરીસો 3.5° નું કોણાવર્તન અનુભવે છે. અરીસાથી 1.5 m દૂર મૂકેલા પડદા ઉપર પરાવર્તિત કિરણના બિન્દુ (Stop) નું સ્થાનાંતર કેટલું હશે ?



આકૃતિ 9.33

9.32 આકૃતિ (9.34)માં એક બહિર્ગોળ લેન્સ કે જેની બંને બાજુની વક્રતાત્રિજ્યાઓ સમાન છે, (વક્રીભવનાંક 1.5 છે) તેને પ્રવાહીના સંપર્કમાં, સમતલ અરીસા પર મૂકેલો છે. એક નાની સોયને મુખ્ય અક્ષ પર રહે તે રીતે, તેનું ઊલટું પ્રતિબિંબ એ સોયના સ્થાને જ દેખાય ત્યાં સુધી ખસેડવામાં આવે છે. પીનનું લેન્સથી અંતર 45.0 cm છે. હવે પ્રવાહીને દૂર કરી પ્રયોગનું પુનરાવર્તન કરતાં આ અંતર 30.0 cm મળે છે. તો પ્રવાહીનો વક્રીભવનાંક શોધો.



આકૃતિ 9.34

નોંધ

નોંધ