Downloaded from https:// www.studiestoday.com

ભૌતિકવિજ્ઞાન

ભાગ II

ધોરણ XII

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

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

राष्ट्रीय शैक्षिक अनुसंधान और प्रशिक्षण परिषद्
NATIONAL COUNCIL OF EDUCATIONAL RESEARCH AND TRAINING

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

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

© 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. ગજ્જર
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 મુકતા ગુજરાત રાજ્ય શાળા પાઠ્યપુસ્તક મંડળ આનંદ અનુભવે છે.

આ પાઠ્યપુસ્તકનો અનુવાદ તથા તેની સમીક્ષા નિષ્ણાત પ્રાધ્યાપકો અને શિક્ષકો પાસે કરાવવામાં આવ્યા છે અને સમીક્ષકોનાં સૂચનો અનુસાર હસ્તપ્રતમાં યોગ્ય સુધારા-વધારા કર્યા પછી આ પાઠ્યપુસ્તક પ્રસિદ્ધ કરતાં પહેલા આ પાઠ્યપુસ્તકની મંજૂરી માટે એક સ્ટેટ લેવલની કમિટીની રચના કરવામાં આવી. આ કમિટિની 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. ગજ્જર, 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 :

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

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

National Council of Educational
Research and Training

New Delhi
20 December 2006

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

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 withsome relevant website addresses under the title *ePhysics*. These sites provide additional material on specific topics and also provide learners with opportunites 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,

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

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

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

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

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

THE CONSTITUTION OF INDIA

PREAMBLE

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

JUTICE, 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)

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

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. Koireng, *Assistant Professor*, DCS, NCERT, New Delhi; Shashi Prabha, *Professor*, DESM, NCERT, New Delhi; and S.V. Sharma, *Professor*, RIE, Ajmer.

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

The Council also acknowledges the support provided by the APC office and the administrative staff of the DESM; Deepak Kapoor, *Incharge,* Computer Station; Inder Kumar, *DTP Operator*; Mohd. Qamar Tabrez, *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.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

અનુક્રમણિકા ભૌતિકવિજ્ઞાન ભાગ I
ધોરણ XII

પ્રકરણ એક

વિદ્યુતભારો અને ક્ષેત્રો (ELECTRIC CHARGES AND FIELDS) 1

પ્રકરણ બે

સ્થિતવિદ્યુત સ્થિતિમાન અને કેપેસીટન્સ (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 (MAGNESTISM 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

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

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 સુસમ્બધ્ધ અને અસુસમ્બધ્ધ સરવાળો 360

10.5 પ્રકાશ તરંગોનું વ્યતિકરણ અને યંગનો પ્રયોગ 362

10.6 વિવર્તન 367

10.7 ધ્રુવીભવન 376

પ્રકરણ 11

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

11.1 પ્રસ્તાવના 386

11.2 ઇલેક્ટ્રૉનનું ઉત્સર્જન 387

11.3 ફોટો ઇલેક્ટ્રીક અસર 388

11.4 ફોટો ઇલેક્ટ્રીક અસરનો પ્રાયોગિક અભ્યાસ 389

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

11.5 ફોટો ઇલેક્ટ્રીક અસર અને પ્રકાશનો તરંગવાદ 393
11.6 આઈન્સ્ટાઈનનું ફોટો ઇલેક્ટ્રીક સમીકરણ : વિકિરણ ઊર્જાનો ક્વૉન્ટમ 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 મૉડેલ 422
12.5 હાઈડ્રોજન પરમાણુના રેખીય વર્ણપટ 428
12.6 બોહ્‌રની ક્વૉન્ટમીકરણની 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 જંક્શન 478
14.6 અર્ધવાહક ડાયોડ 479
14.7 જંક્શન ડાયોડનો રેક્ટિફાયર તરીકે ઉપયોગ 483

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

14.8 કેટલાક વિશિષ્ટ હેતુ માટેના *p-n* જંક્શન ડાયોડ 485

14.9 ડિજિટલ ઇલેક્ટ્રૉનિક્સ અને લૉજિક ગેટ 490

પરિશિષ્ટ (APPENDICES) 500

જવાબો (ANSWERS) 502

BIBLIOGRAPHY 518

પારિભાષિક શબ્દો 520

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

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.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

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 ઇન્દ્રિય મારફતે જ આપણે આસપાસના વિશ્વને જોઈ અને સમજી શકીએ છીએ.

આપણા સામાન્ય અનુભવ પરથી પ્રકાશ વિશે બે મહત્ત્વના 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 $c = 2.99792458 \times 10^8$ m s^{-1} છે. ઘણા હેતુઓ માટે $c = 3 \times 10^8$ 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 રોજીંદા 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

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

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 વક્રકાર સપાટીઓ વડે રચાતા પ્રતિબિંબોનો અભ્યાસ કરીશું. પછી આપણે માનવ આંખ સહિત કેટલાંક મહત્વનાં પ્રકાશીય ઉપકરણોની રચના અને કાર્યનું વર્ણન કરીશું.

પ્રકાશનું કણ (PARTICLE) મૉડેલ

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-મૉડેલને તેણે આગળ વિકસાવ્યો, તેણે ધાર્યું કે પ્રકાશઊર્જા અત્યંત નાના-નાના સૂક્ષ્મ કણોમાં કેન્દ્રિત થયેલી હોય છે. આ સૂક્ષ્મ કણોને તેણે *કૉર્પસ્ક્યુલ્સ* 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 મૉડેલ આપ્યું. એક સામાન્ય અવલોકન મુજબ જ્યારે સમતલ સપાટી પરથી બૉલનું 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 વિભાજીત થાય છે.

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

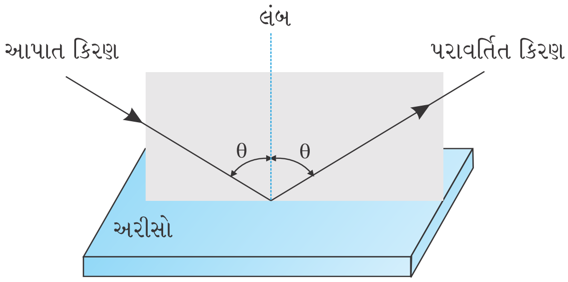
આપણે પરાવર્તનના નિયમોથી સુપરિચિત છીએ. આપાતકોણ (આપાત કિરણે પરાવર્તનકારક સપાટીને અથવા અરીસાને રચેલ લંબ સાથે બનાવેલો ખૂણો) અને પરાવર્તનકોણ (પરાવર્તિત કિરણે લંબ સાથે બનાવેલો ખૂણો) સમાન હોય છે. આપાત કિરણ, પરાવર્તિત કિરણ અને પરાવર્તનકારક સપાટીને લંબ એક જ સમતલમાં હોય છે (જેને આપાત સમતલ કહે છે). આપાત કિરણ અને 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

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

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 Cને 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.

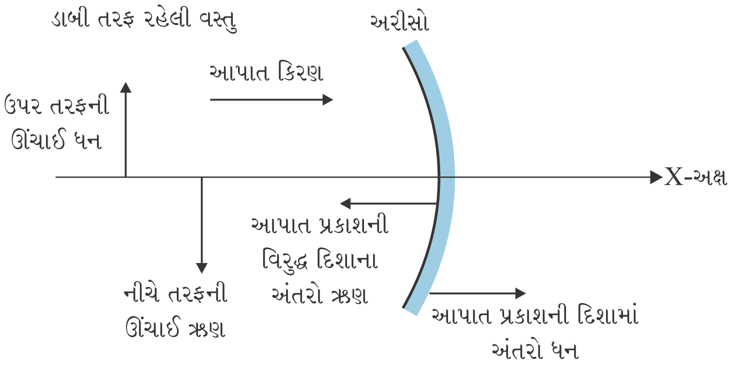


આકૃતિ 9.1 આપાત કિરણ, પરાવર્તિત કિરણ અને પરાવર્તક સપાટીને રચેલો લંબ એક જ સમતલમાં હોય છે.

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 *કાર્તેઝિય સંજ્ઞા પદ્ધતિ*ને અનુસરીશું. આ સંજ્ઞા પદ્ધતિ મુજબ અરીસા માટે તમામ અંતરો ધ્રુવ (Pole) Pથી 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 કાર્તેઝિય સંજ્ઞા પદ્ધતિ

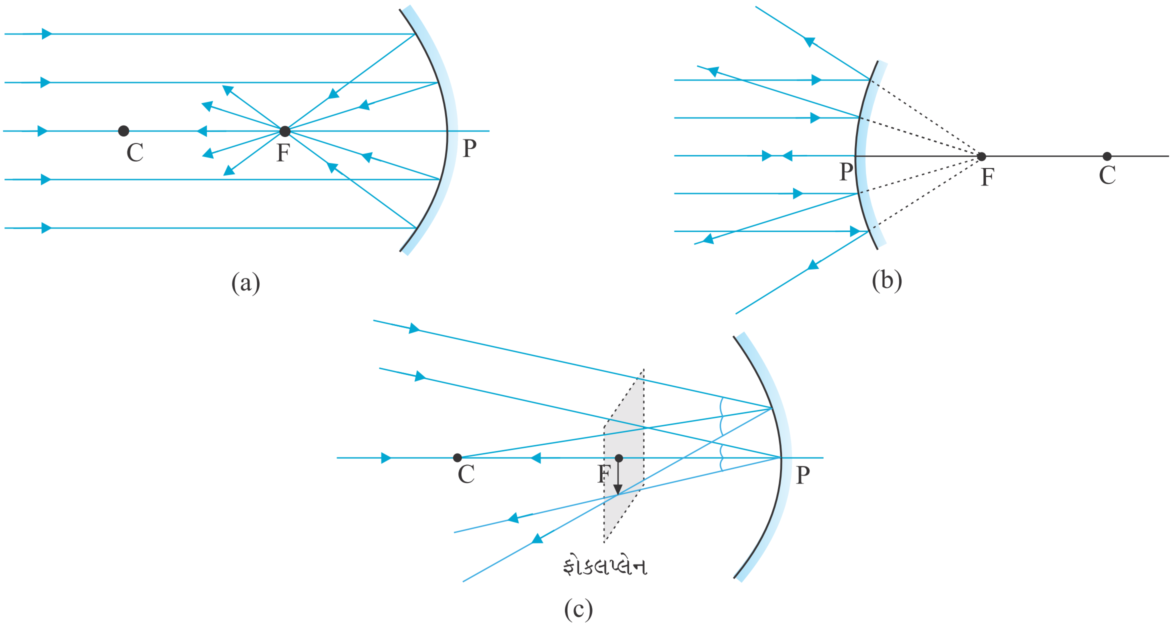
9.2.2 ગોળીય અરીસાની કેન્દ્રલંબાઈ (F) (Focal Length of Shperical Mirrors)

(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 Pની નજીક આપાત થયેલ છે અને મુખ્ય અક્ષ સાથે નાના ખૂણા બનાવે છે. અંતર્ગોળ અરીસા માટે મુખ્ય અક્ષને સમાંતર કિરણો પરાવર્તન પામી બિન્દુ 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 Fને 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.

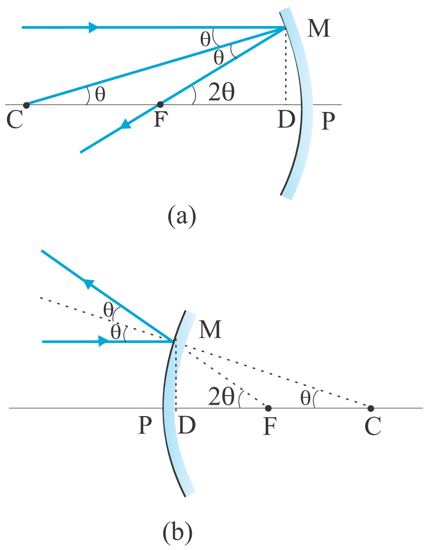
મુખ્ય કેન્દ્ર (F) અને ધ્રુવ (P) વચ્ચેના અંતરને અરીસાની *કેન્દ્રલંબાઈ* કહે છે, તેને f વડે દર્શાવાય છે. હવે આપણે f = R/2 મેળવીશું, જ્યાં R એ અરીસાની વક્રતાત્રિજ્યા છે. આકૃતિ 9.4માં બતાવ્યા પ્રમાણે, આપાત કિરણનું અરીસાની સપાટી પરથી પરાવર્તન થાય છે.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com



આકૃતિ 9.3 અંતર્ગોળ અને બહિર્ગોળ અરીસાના મુખ્ય કેન્દ્ર



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,

$\angle MCP = \theta$ અને $\angle MFP = 2\theta$

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

પેરેક્સિઅલ કિરણો માટે θ અત્યંત સૂક્ષ્મ હોય તો

$\tan\theta \approx \theta$ અને $\tan 2\theta \approx 2\theta$.

સમીકરણ (9.1) પરથી,

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

$$\therefore FD = \frac{CD}{2} \qquad (9.2)$$

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

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

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

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.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

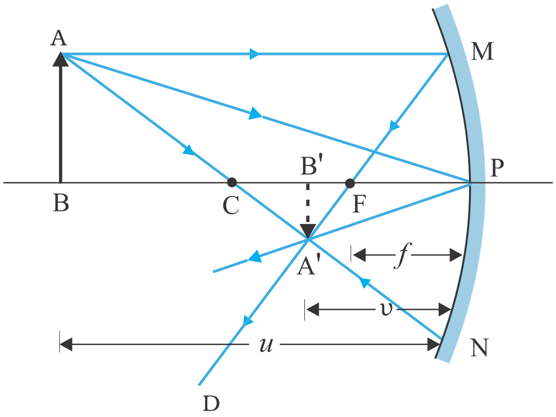
સિદ્ધાંતમાં, આપણે વસ્તુના કોઈ એક બિંદુમાંથી ઉત્સર્જિત થતાં કોઈ બે કિરણો લઈ તેમનો ગતિપથ દોરી બંને કિરણોનું છેદનબિંદુ શોધી ગોળીય અરીસાથી થતા પરાવર્તનને લીધે મળતું પ્રતિબિંબ શોધી શકીએ. છતાં વ્યવહારમાં નીચે દર્શાવેલ કિરણો પૈકી કોઈ પણ બે કિરણો પસંદ કરવાનું અનુકૂળ છે :

(i) કોઈ બિંદુમાંથી મુખ્ય અક્ષને સમાંતર કિરણ તે પરાવર્તન પામી અરીસાના મુખ્ય કેન્દ્રમાંથી પસાર થાય છે.

(ii) 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.

(iii) 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.

(iv) 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 (υ) અને કેન્દ્રલંબાઈ (f) વચ્ચે સંબંધ દર્શાવતું સૂત્ર તારવીશું.

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

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

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

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

$$\therefore \frac{B'A'}{BA} = \frac{B'P}{BP} \tag{9.5}$$

સમીકરણ (9.4) અને (9.5)ને સરખાવતાં,

$$\frac{B'F}{FP} \quad \frac{B'P \quad FP}{FP} \quad \frac{B'P}{BP} \tag{9.6}$$

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.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

$$B'P = -\upsilon,\ FP = -f,\ BP = -u$$

સમીકરણ (9.6) પરથી,

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

અથવા $\frac{\upsilon - f}{f} = \frac{\upsilon}{u}$

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

υ વડે ભાગતાં

$$\frac{1}{\upsilon} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f} \text{ મળે.} \qquad (9.7)$$

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.

$$\therefore\ m = \frac{h'}{h} \qquad (9.8)$$

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

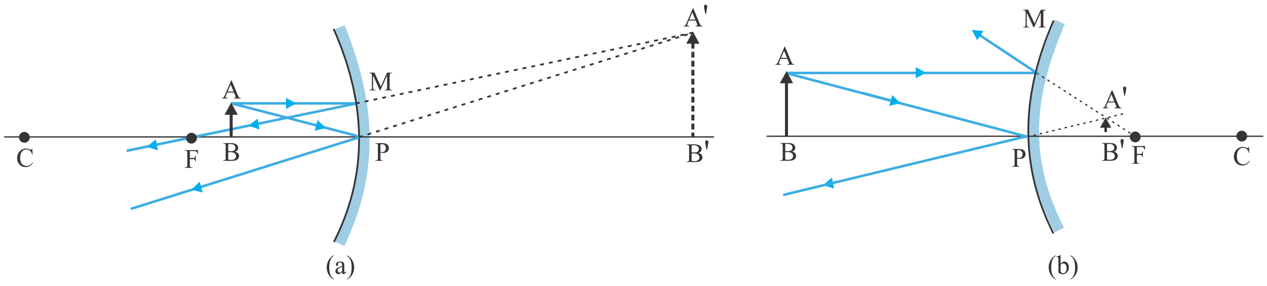
$$\frac{B'A'}{BA} \quad \frac{B'P}{BP}$$

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

આથી,

$$m = \frac{-h'}{h} = -\frac{\upsilon}{u} \qquad (9.9)$$

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

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

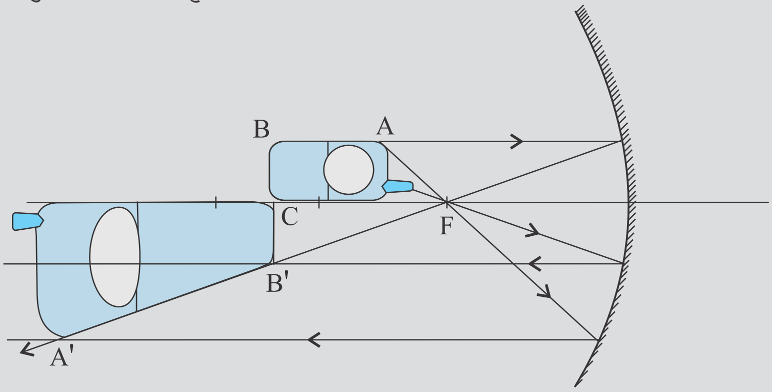
કિરણ પ્રકાશશાસ્ત્ર અને પ્રકાશીય ઉપકરણો

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 (i) 5 cm દૂર મૂકતાં રચાતાં પ્રતિબિંબનાં સ્થાન, પ્રકાર અને મોટવણી દરેક કિસ્સામાં મેળવો.

ઉકેલ

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

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

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

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

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

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

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

ઉદાહરણ 9.3

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

ઉદાહરણ 9.3

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

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

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

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

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

પ્રતિબિંબ આભાસી, ચત્તુ અને વિવર્ધિત મળે છે.

ઉદાહરણ 9.4

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,

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

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

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

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

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

આથી 1 sમાં પ્રતિબિંબના સ્થાનમાં ફેરફાર

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

આથી, દોડતી વ્યક્તિ જ્યારે 39 m અને 34 m વચ્ચે હોય ત્યારે તેની સરેરાશ ઝડપ 1/280 m s^{-1} થશે. આજ પ્રમાણે (b) 29 m, (c) 19 m અને (d) 9 m માટે ગણતરી કરી ઝડપ અનુક્રમે 1/150 m s^{-1}, 1/60 m s^{-1} અને 1/10 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 ($0 < i < 90°$)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.

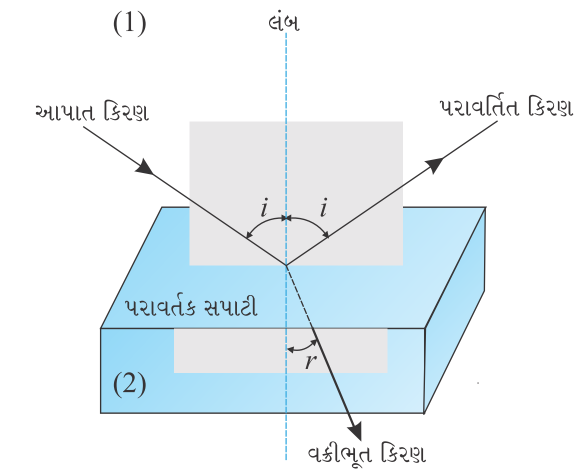
Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

(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 કિરણે અને વક્રીભૂત કિરણે લંબ સાથે બનાવેલા કોણ છે.

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



આકૃતિ 9.8 પ્રકાશનું વક્રીભવન અને પરાવર્તન

જ્યાં, અચળાંક n_{21}ને માધ્યમ-2નો માધ્યમ-1ની સાપેક્ષે *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 સાપેક્ષે *પ્રકાશીય ઘટ્ટ* (અથવા ટૂંકમાં *ઘટ્ટ*) માધ્યમ કહે છે.

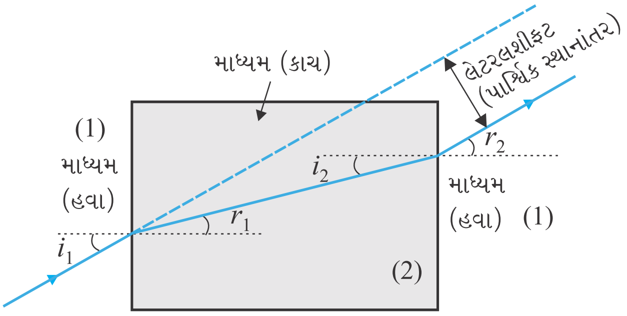
જો $n_{21} < 1$, તો $r > i$, વક્રીભૂત કિરણ લંબથી દૂર તરફ વળાંક લે છે. અહીં આપાત કિરણ પ્રકાશીય ઘટ્ટ માધ્યમમાં છે અને તે પાતળા માધ્યમમાં વક્રીભવન પામે છે.

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,

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

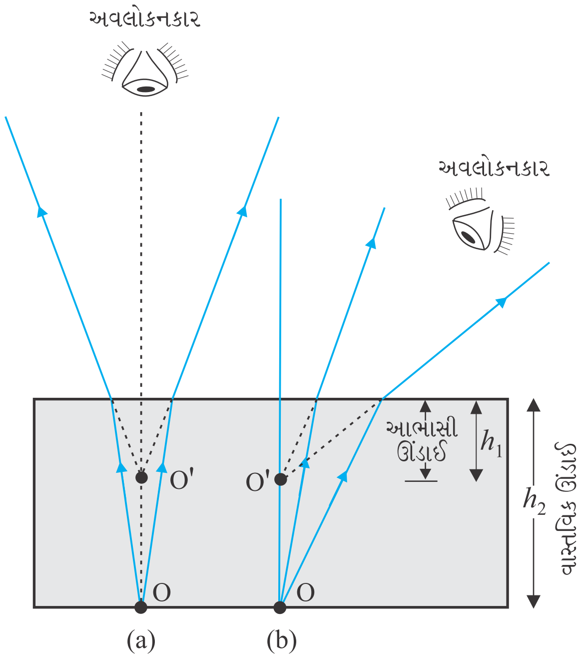
વધુમાં n_{32} = માધ્યમ-3નો માધ્યમ-2ની સાપેક્ષે વક્રીભવનાંક હોય તો $n_{32} = n_{31} \times n_{12}$ જ્યાં n_{31} માધ્યમ-3નો માધ્યમ-1ને સાપેક્ષ વક્રીભવનાંક વક્રીભવનના નિયમો પરથી કેટલાક પ્રાથમિક પરિણામો મેળવી શકાય છે.



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

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

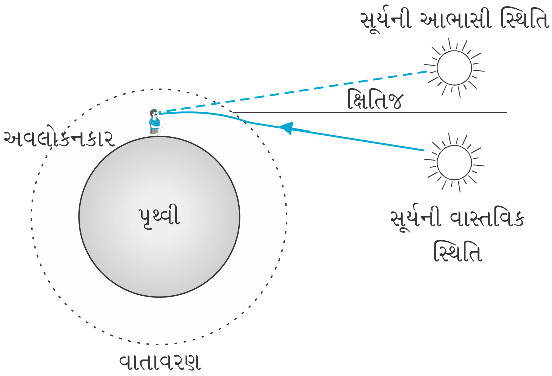


આકૃતિ 9.10 (a) લંબરૂપે અને (b) ત્રાંસી રીતે જોતાં મળતી આભાસી ઊંડાઈ

લંબચોરસ સ્લેબ માટે બે આંતર સપાટી (હવા-કાચ અને કાચ-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 (પાર્શ્વિક 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

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

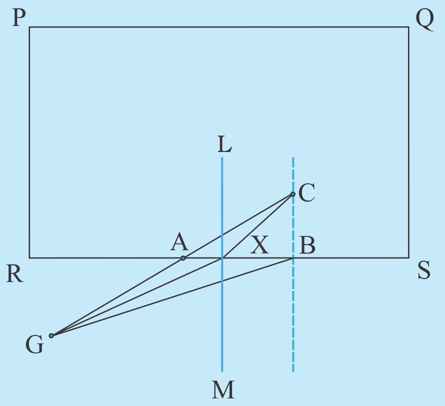
1° શીફ્ટ માટેનો સમય = $(1 \times 24/360)\, h = 4$ min

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

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 υ_1 તેની પાણીમાં તરવાની ઝડપ υ_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

$$t = \frac{l_1}{\upsilon_1} + \frac{l_2}{\upsilon_2}$$

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

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\upsilon_1}{\upsilon_2} \text{ થાય.}$$

પ્રકાશના કિસ્સામાં υ_1/υ_2 એ પ્રકાશના શૂન્યાવકાશમાંના વેગ અને માધ્યમમાંના વેગનો ગુણોત્તર છે જે માધ્યમનો વક્રીભવનાંક n છે.

આમ, તરંગ હોય યા 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)

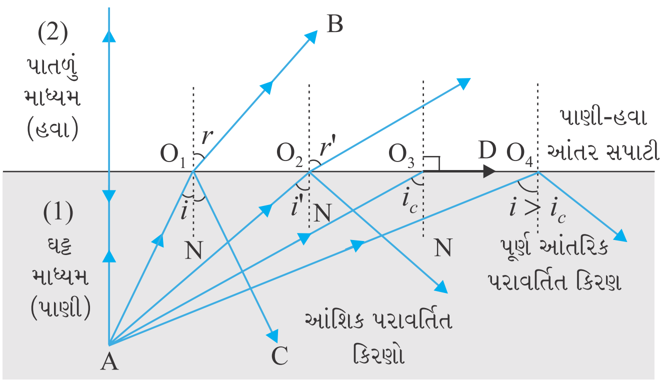
જ્યારે પ્રકાશનું કિરણ પ્રકાશીય ઘટ્ટ માધ્યમમાંથી પ્રકાશીય પાતળા માધ્યમમાં પ્રવેશે છે. ત્યારે તેનું, બંને માધ્યમોને છૂટી પાડતી સપાટી આગળ તે જ માધ્યમમાં તેનું આંશિક પરાવર્તન અને બીજા માધ્યમમાં આંશિક પારગમન થાય છે. આ પરાવર્તનને *આંતરિક પરાવર્તન* કહે છે.

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_1નું 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

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com



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

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

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 સાપેક્ષે કેટલાક માધ્યમોના ક્રાંતિકોણ

દ્રવ્ય માધ્યમ	વક્રીભવનાંક	ક્રાંતિકોણ (i_c)
પાણી	1.33	48.75^{o}
ક્રાઉનકાચ	1.52	41.14^{o}
ઘટ્ટ ફ્લિન્ટ કાચ	1.62	37.31^{o}
ડાયમંડ (હીરો)	2.42	24.41^{o}

પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તનનું નિર્દેશન

આજકાલ ખૂબ જ સરળ રીતે પ્રાપ્ત થઈ શકે છે તે લેસર ટૉર્ચ કે પોઈન્ટરની મદદથી બધી પ્રકાશીય ઘટનાઓ ખૂબ જ સરળતાથી દર્શાવી શકાય છે. એક કાચના 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)] ?

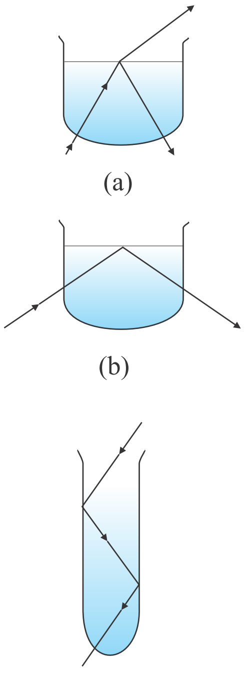
હવે, બીકરની એક બાજુથી લેસર કિરણ એવી રીતે આપાત કરો કે તે પાણીની ઉપરની સપાટી પર વધુ ત્રાંસુ આપાત થાય [આકૃતિ 9.13 (b)]. ધીમે ધીમે લેસર કિરણની દિશા બદલી એવી ગોઠવી એવો કોણ શોધો કે જેથી પાણીની સપાટીની ઉપરનું વક્રીભવન અદૃશ્ય બને અને આપાતકિરણનું પાણીમાં જ પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તન થાય. આ પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તનનું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

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

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 ફાઈબરમાં 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.

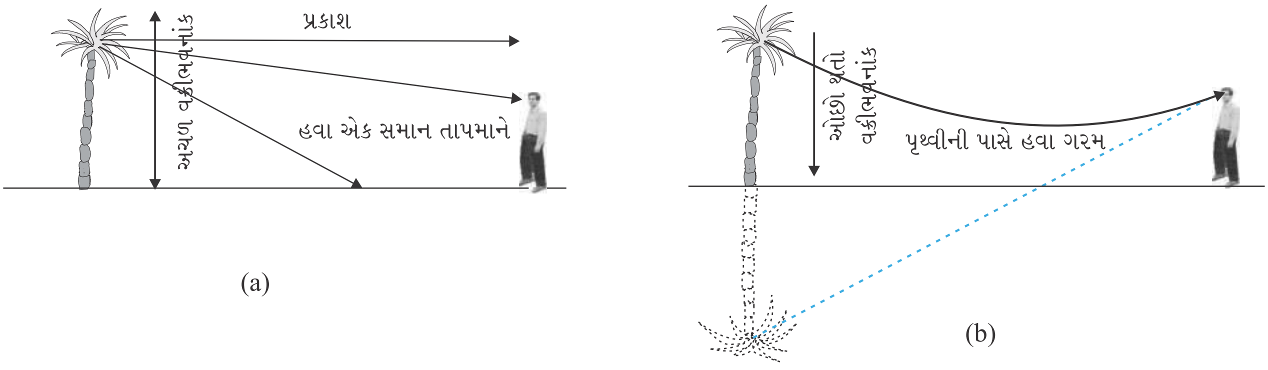


આકૃતિ 9.13 પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તનનું નિર્દેશન (કાચનું બીકર ખૂબ જ પાતળું હોવાના કારણે તેમાં થનાર અપવર્તનને નગણ્ય માનવામાં આવે છે.)

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 જમીનનાં 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 ખાસ કરીને હાઈવે પર દૂરના રસ્તાનો ભાગ ભીનો દેખાય છે. પરંતુ તે સ્થળે પહોંચતાં કોઈ ભીનાશ જણાતી નથી. આ પણ મરીચિકાને લીધે છે.

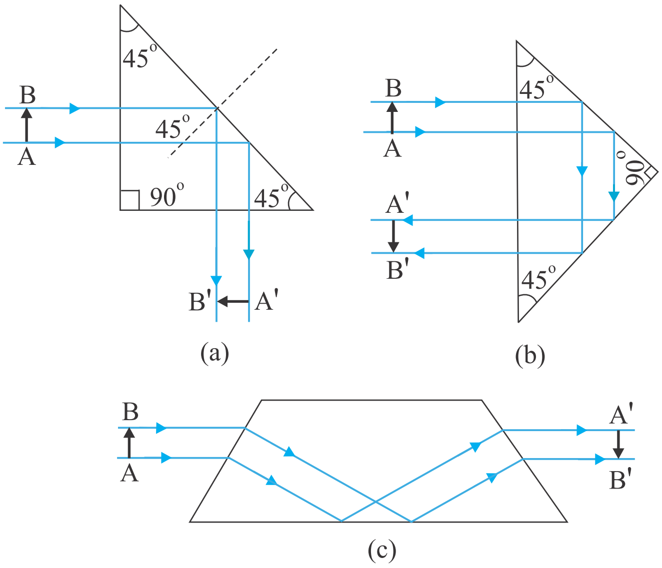
(ii) *હીરો (ડાયમંડ)* **:** તે ચળકાટ માટે પ્રસિદ્ધ છે. તેના આ ચળકાટનું મુખ્ય કારણ, તેમાં બનતી પ્રકાશના પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તનની ઘટના છે. હીરા અને હવાના આંતરપૃષ્ઠ માટે વક્રીભવનાંકનું મૂલ્ય ઘણું મોટું અને ક્રાંતિકોણ ઘણો નાનો ($\cong 24.4^\circ$ જેટલો) છે. આ કારણોસર હીરા પર આપાત થતાં પ્રકાશનું, તેની અંદર 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 9.14 (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.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

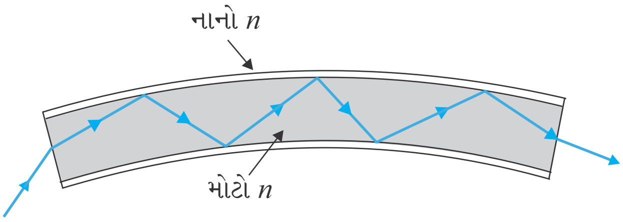


આકૃતિ 9.15 કિરણોને 90° અથવા 180°ના કોણે વાંકાવાળે (Bend) અથવા પ્રતિબિંબને સાઈઝ બદલ્યા વિના ઉલટું કરે તેવી ખાસ રચના ધરાવતાં પ્રિઝમ બનાવવા પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તનનો ઉપયોગ

(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 ક્રાઉન કાચ તથા ઘટ્ટ ફ્લિન્ટ કાચ બંને માટે તે શક્ય છે.

(iv) *ઑપ્ટિકલ ફાઈબર્સ (Optical Fibres)* : વર્તમાન સમયમાં શ્રાવ્ય અને દ્રશ્ય સંકેતો (ઑડિયો અને વિડિયો સિગ્નલો)નું લાંબા અંતર સુધી પ્રસારણ કરવા ઑપ્ટિકલ ફાઈબર્સનો વિસ્તૃત ઉપયોગ થાય છે. ઑપ્ટિકલ ફાઈબરમાં પણ પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તનની ઘટનાનો જ ઉપયોગ થાય છે. ઑપ્ટિકલ ફાઈબર ઉચ્ચ ગુણવત્તાવાળા ફ્યુઝડ ગ્લાસ/ક્વાર્ટ્ઝમાંથી બનાવવામાં આવે છે. દરેક ફાઈબર ચોક્કસ ગર્ભ (Core) અને ચોક્કસ આવરણ (Cladding) ધરાવે છે. ગર્ભ (કૉર)ના દ્રવ્યનો વક્રીભવનાંક, આવરણ (ક્લેડિંગ)ના દ્રવ્યના વક્રીભવનાંક કરતાં મોટો હોય છે.

જ્યારે ફાઈબરના એક છેડેથી પ્રકાશનું સિગ્નલ યોગ્ય કોણે આપાત થાય છે ત્યારે ફાઈબરની લંબાઈ પર તેનું વારંવાર પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તન થાય છે અને છેવટે તે બીજે છેડેથી નિર્ગમન પામે છે (આકૃતિ 9.16). અહીં, પ્રકાશનું પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તન થવાથી તેની તીવ્રતામાં કોઈ નોંધનીય ઘટાડો થતો નથી. ઑપ્ટિકલ ફાઈબરની રચના એવી કરવામાં આવે છે કે અંદરની એક બાજુ પર આપાત થતો પ્રકાશ સામેની બાજુ પર ક્રાંતિકોણ કરતાં મોટા કોણે આપાત થાય. ફાઈબર વળેલા હોવા છતાં પ્રકાશ તેની લંબાઈ પર સરળતાથી ગતિ કરી શકે છે. આમ, ઑપ્ટિકલ ફાઈબરનો ઉપયોગ ઑપ્ટિકલ પાઈપ તરીકે કરી શકાય છે.



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

ઑપ્ટિકલ ફાઈબર્સનો 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 ઑપ્ટિકલ ફાઈબર્સ ખૂબ જ બહોળા પ્રમાણમાં ઉપયોગી છે. આ વિદ્યુત સંકેતોને યોગ્ય ટ્રાન્સડ્યુસર (Transducer)ની મદદથી પ્રકાશમાં રૂપાંતરિત કરવામાં આવે છે. સ્વાભાવિક રીતે જ ઑપ્ટિકલ ફાઈબર ઑપ્ટિકલ સિગ્નલોનું પણ પ્રસારણ (Transmission) કરવામાં વાપરી શકાય છે. ઉદાહરણ તરીકે, ઑપ્ટિકલ ફાઈબરને પ્રકાશીય નળી તરીકે વાપરી

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

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

ઑપ્ટિકલ ફાઈબર 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 ક્વાર્ટ્ઝ જેવા દ્રવ્ય બનાવવાથી આવું શક્ય બને છે. સીલીકા ગ્લાસ ફાઈબરમાં પ્રકાશ 1 km સુધી પ્રસરણ પામે છે. ત્યારે 95 %થી વધારે પ્રકાશનું પ્રસરણ કરી શકાય છે.

(આની સરખામણીએ જો બારીના કાચના 1 km જાડાઈના બ્લૉકનો 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 મેકર્સનું સમીકરણ અને પછી લેન્સનું સૂત્ર મેળવીશું.

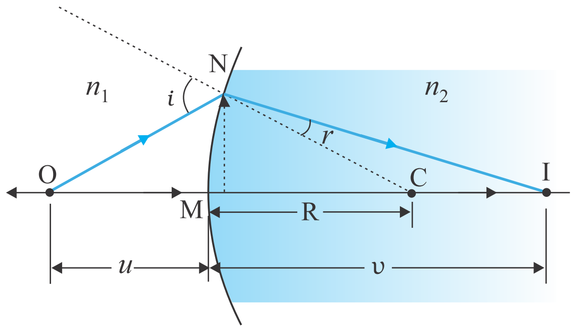
9.5.1 ગોળીય સપાટી પાસે થતું વક્રીભવન (Refraction at a Spherical Surface)

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;

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

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

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



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

હવે, ΔNOC માટે, i બહિષ્કોણ છે. માટે,

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

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

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. ટંગસ્ટનના ફિલામેન્ટમાંથી 2850 K તાપમાને ઉત્સર્જિત થતા વિકિરણો, અંશતઃ અદૃશ્ય હોય છે અને મોટેભાગે તેઓ પારરક્ત (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 પ્રકાશમાન-*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 તીવ્રતા*નો 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 ઉદ્‌ગમ 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 સીધુ 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 ઉદ્‌ગમ દ્વારા ઉદ્‌ભવતું દીપ્તિમાન E હોય તો, $E = I/r^2$ વડે દર્શાવી શકાય. જ્યાં r = ઉદ્‌ગમથી 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.

$$\therefore\ i = \frac{MN}{OM} + \frac{MN}{MC} \tag{9.13}$$

આ જ પ્રમાણે,

$r = \angle NCM - \angle NIM$

$$\therefore\ r = \frac{MN}{MC} - \frac{MN}{MI} \tag{9.14}$$

હવે સ્નેલના નિયમ પ્રમાણે,

$n_1 \sin i = n_2 \sin r$

નાના ખૂણાઓ માટે,

$n_1 i = n_2 r$

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

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,

$OM = -u,\ MI = +\upsilon$ અને $MC = +R$

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

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 કાચની ગોળીય સપાટી ($n = 1.5$ અને વક્રતા ત્રિજ્યા = 20 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,

$u = -100$ cm, $\upsilon = ?$, $R = +20$ cm, $n_1 = 1$, $n_2 = 1.5$

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

અથવા $\upsilon = +100$ cm

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

ઉદાહરણ 9.6

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 Oનું 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,

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

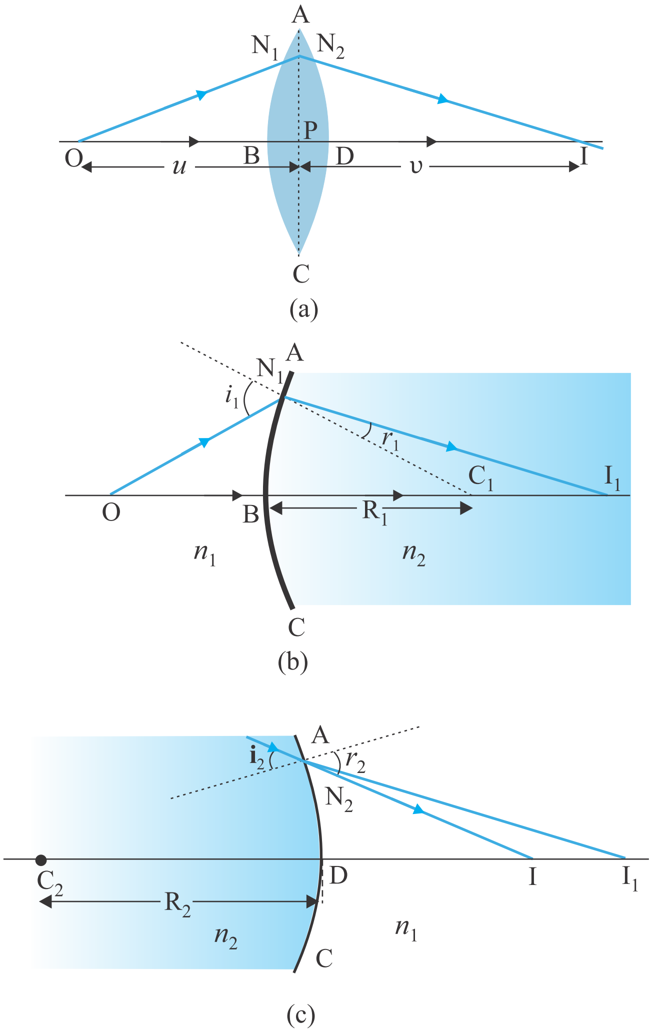
બીજા આંતરપૃષ્ઠ* ADC પાસે આવી જ પ્રક્રિયા કરતાં,

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

* **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.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com



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, $OB \to \infty$ 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,

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

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 ઑપ્ટિકલ કેન્દ્રની ખુબ જ નજીક હોય છે, સંજ્ઞા પદ્ધતિ મુજબ

$BO = -u$ અને $DI = +υ$ લેતાં,

$$\frac{1}{υ} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f} \quad (9.23)$$

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 ઑપ્ટિકલ કેન્દ્રથી સમાન અંતરે હોય છે. મૂળ ઉદ્‌ગમ તરફના મુખ્યકેન્દ્રને *પ્રથમ મુખ્યકેન્દ્ર* અને બીજી તરફના મુખ્યકેન્દ્રને *દ્વિતીય મુખ્યકેન્દ્ર* કહે છે.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

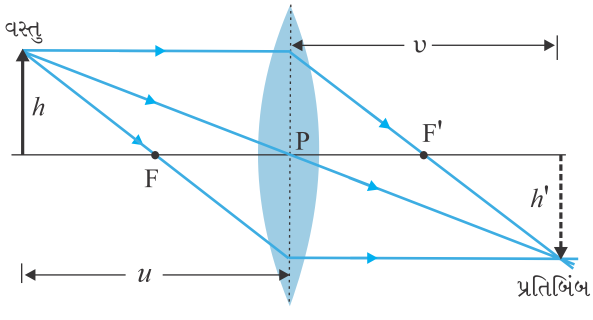
લેન્સ વડે રચાતું પ્રતિબિંબ મેળવવા માટે, સિદ્ધાંતમાં આપણે વસ્તુના કોઈ એક બિંદુમાંથી ઉત્સર્જિત થતાં કોઈ પણ બે કિરણો લઈ, વક્રીભવનના નિયમોની મદદથી તેમનો માર્ગ નક્કી કરીશું, અને આ બે વક્રીભૂત કિરણો જ્યાં મળે છે. (અથવા મળતાં હોય તેવો ભાસ થાય છે) તે બિંદુ શોધી કાઢીશું. જો કે, વ્યાવહારીક રીતે નીચેના પૈકી કોઈ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

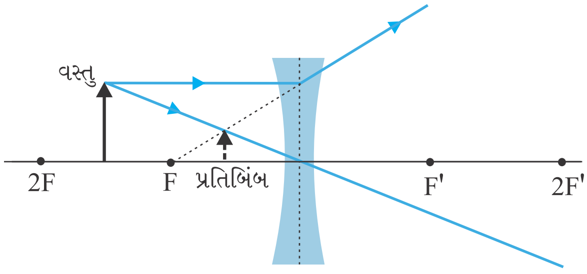
(i) વસ્તુમાંથી ઉત્સર્જિત થઈ લેન્સની મુખ્ય અક્ષને સમાંતર કિરણ વક્રીભવન થયા બાદ દ્વિતીય મુખ્યકેન્દ્રમાંથી પસાર થાય (બહિર્ગોળ લેન્સમાં) અથવા પ્રથમ મુખ્ય કેન્દ્રમાંથી અપકેન્દ્રિત થાય (અંતર્ગોળ લેન્સમાં).

(ii) લેન્સના ઑપ્ટિકલ કેન્દ્રમાંથી પસાર થતું કિરણ, વક્રીભવન બાદ વિચલન પામ્યા વિના પસાર થાય છે.

(iii) 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.





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

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.

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

સંજ્ઞા પદ્ધતિ લાગુ પાડતાં જણાય છે કે, બહિર્ગોળ કે અંતર્ગોળ લેન્સ દ્વારા રચાતું પ્રતિબિંબ જો ચત્તું (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 કાચના 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 $f \to \infty$ થશે. પ્રવાહીમાં લેન્સ કાચની સમતલ પ્લેટ તરીકે વર્તશે. ના, આ પ્રવાહી પાણી ન હોઈ શકે. તે ગ્લિસરીન હોઈ શકે.

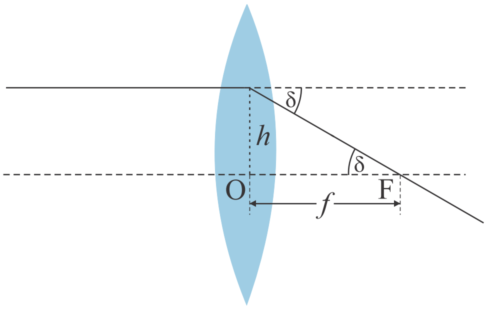
ઉદાહરણ 9.7

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

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com



આકૃતિ 9.20 લેન્સનો પાવર

અંતર્ગોળ લેન્સના કિસ્સામાં વિકેન્દ્રિત કરવાનાં લેન્સ કિરણોને વધારે વાંકા વાળે છે. લેન્સના ઑપ્ટિકલ 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).

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

$$\text{આમ, } P = \frac{1}{f} \tag{9.25}$$

પાવરનો SI એકમ Dioptre (D) છે : $1 D = 1 m^{-1}$. 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 ડૉક્ટર (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 $f = 0.5$ 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 $f = +12$ cm, $R_1 = +10$ cm, $R_2 = -15$ 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, $n_2 = 1.5$, $n_1 = 1$, $f = +20$ 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

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

આ બે સમીકરણોને ઉકેલતાં $f = +78.2$ cm મળે છે.

ઉદાહરણ 9.8

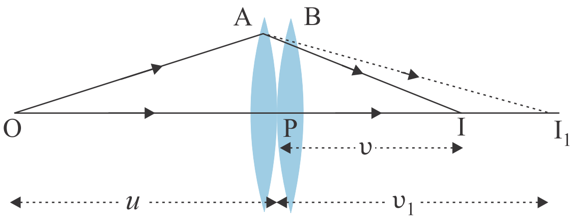
9.5.4 સંપર્કમાં રહેલા પાતળા લેન્સનું સંયોજન (Combination of Thin Lenses in Contact)

f_1 અને f_2 કેન્દ્રલંબાઈના બે લેન્સ A અને Bને એકબીજાના સંપર્કમાં રાખ્યા છે. પ્રથમ લેન્સ Aના મુખ્યકેન્દ્રથી દૂર વસ્તુ Oને રાખી છે (આકૃતિ 9.21).

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

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 ઑપ્ટિકલ 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,

$$\frac{1}{υ_1} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f_1} \qquad (9.27)$$

બીજા લેન્સ B વડે રચાતા પ્રતિબિંબ માટે,

$$\frac{1}{υ} - \frac{1}{υ_1} = \frac{1}{f_2} \qquad (9.28)$$

(9.27) અને (9.28)નો સરવાળો કરતાં

$$\frac{1}{υ} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \qquad (9.29)$$

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

$$\frac{1}{υ} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$ આથી

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

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

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

પાવરના પદમાં સમીકરણ (9.31)

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + ... \qquad (9.32)$$ તરીકે લખાય.

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 ઇચ્છિત 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, ... હોય તો સંયોજનની કુલ મોટવણી તેમના ગુણાકાર જેટલી છે.

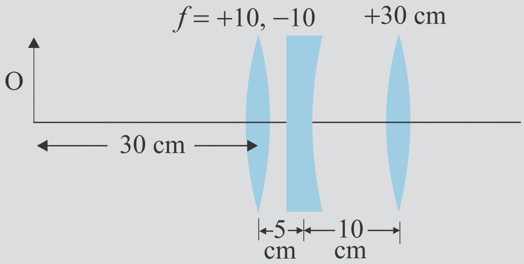
$$m = m_1\, m_2\, m_3 \,.... \qquad (9.33)$$

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

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,

$$\frac{1}{\upsilon_1} - \frac{1}{u_1} = \frac{1}{f_1}$$

$$\frac{1}{\upsilon_1} - \frac{1}{-30} = \frac{1}{10}$$

અથવા $\upsilon_1 = 15$ cm

પ્રથમ લેન્સ વડે રચાતું આ પ્રતિબિંબ બીજા લેન્સ માટે વસ્તુ તરીકે વર્તે છે અને તે બીજા લેન્સની જમણી બાજુએ (15 – 5) cm = 10 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,

$$\frac{1}{\upsilon_2} - \frac{1}{10} = \frac{1}{-10}$$

અથવા $\upsilon_2 = \infty$

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,

$$\frac{1}{\upsilon_3} - \frac{1}{u_3} = \frac{1}{f_3}$$

અથવા $\frac{1}{\upsilon_3} - \frac{1}{\infty} = \frac{1}{30}$

અથવા $\upsilon_3 = 30$ cm

∴ અંતિમ પ્રતિબિંબ ત્રીજા લેન્સથી જમણી તરફ 30 cm દૂર મળશે.

ઉદાહરણ 9.9

9.6 પ્રિઝમ દ્વારા વક્રીભવન (Refraction Through a Prism)

આકૃતિ 9.23 ત્રિપાર્શ્વ 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.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

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

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

ΔQNR માટે,

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

આ બે સમીકરણોને સરખાવતાં

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

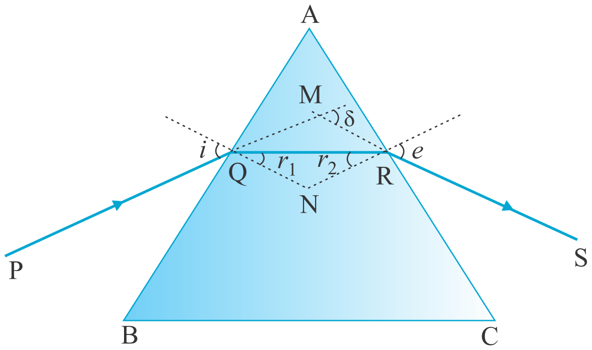
મળે. બંને બાજુના વિચલનનો સરવાળો કુલ વિચલન δ દર્શાવે છે.

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

આથી,

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

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



આકૃતિ 9.23 કાચના ત્રિપાર્શ્વ (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 iના અને તેથી eના પણ બે મૂલ્યો મળે છે. હકીકતમાં આ બાબત, સમીકરણ (9.35)માં i અને eની સંમિતિ પરથી અપેક્ષિત છે. એટલે કે i અને eની 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

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

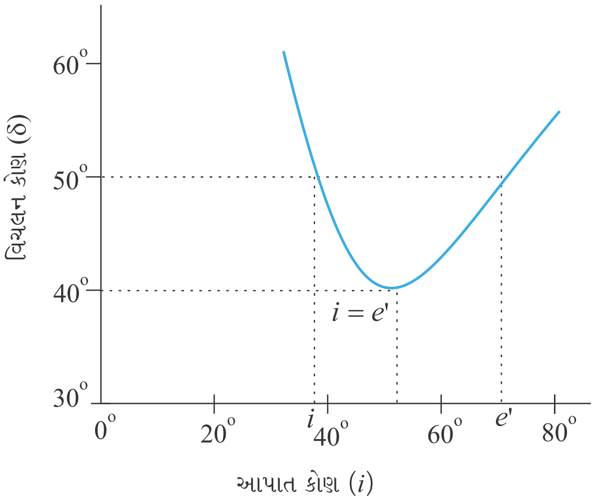
આજ રીતે સમીકરણ (9.35) પરથી,

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

પ્રિઝમના દ્રવ્યનો વક્રીભવનાંક,

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

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



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

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.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

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 દશ્ય (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. દશ્ય 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 આને સમતુલ્ય રીતે કહીએ તો કાચના પ્રિઝમમાં લાલ પ્રકાશ જાંબલી પ્રકાશ કરતાં ઝડપથી મુસાફરી કરે છે. ક્રાઉન 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)	ક્રાઉન 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.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

9.7.1 મેઘધનુષ (The Rainbow)

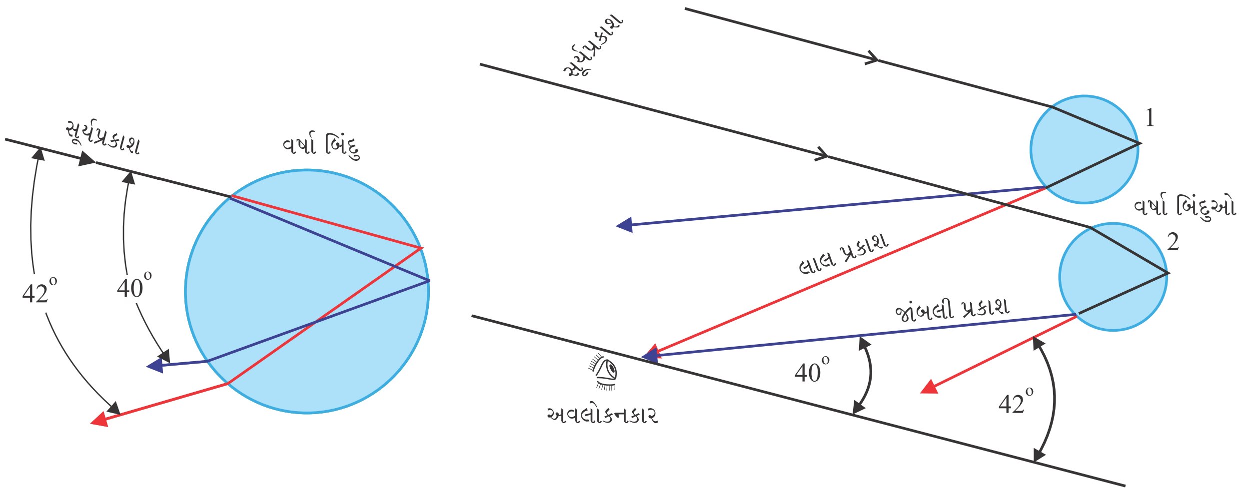
મેઘધનુષ એ સૂર્યપ્રકાશનું વાતાવરણમાંના પાણીના બુંદો દ્વારા થતાં વિભાજનનું એક ઉદાહરણ છે. વરસાદના ગોળાકાર બુંદને કારણે સૂર્યપ્રકાશનું વિભાજન, પરાવર્તન અને વક્રીભવન જેવી ઘટનાઓની સંયુક્ત અસરના કારણે આ ઘટના બને છે. મેઘધનુષ જોઈ શકાય તે માટેની શરત એ છે કે સૂર્ય આકાશમાં માત્ર એક તરફથી (ધારોકે પશ્ચિમ તરફના ક્ષિતિજ 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 નિર્ગમ 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-1માંથી નિર્ગમન પામતું લાલરંગનું પ્રકાશનું કિરણ અને બુંદ-2માંથી નિર્ગમન પામતું જાંબલી રંગનું પ્રકાશનું કિરણ અવલોકન કર્તાની આંખ સુધી પહોંચે છે. જ્યારે બુંદ-1માંથી 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

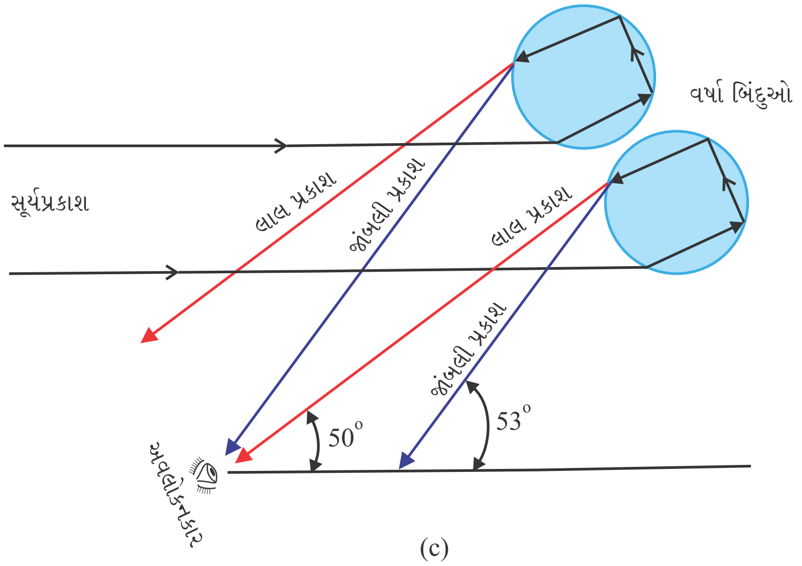
PHYSICS



(a) (b)

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com



(c)

આકૃતિ 9.25 મેઘધનુષ (a) પાણીના બુંદ પર આપાત સૂર્યનાં 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 વિવર્ધિત 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.

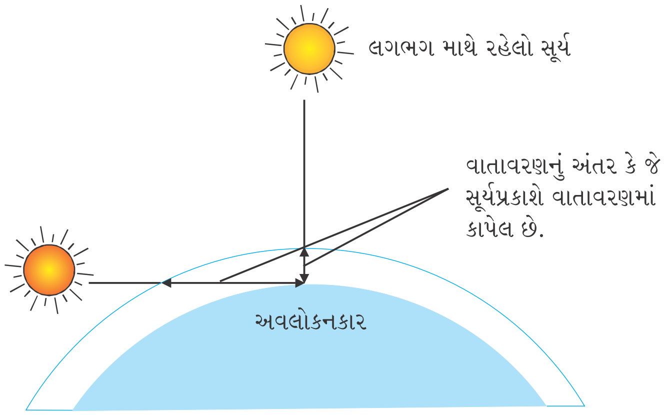
9.7.2 પ્રકાશનું પ્રકીર્ણન (Scattering of Light)

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 આને રેલે પ્રકીર્ણન કહે છે.) ભૂરા રંગની તરંગલંબાઈ લાલ રંગની તરંગલંબાઈ કરતાં ઘણી ઓછી હોય છે આથી ભૂરા રંગનું પ્રકિર્ણન 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, $a << \lambda$ હોય ત્યારે રેલે પ્રકીર્ણન જોવા મળે છે. જ્યાં પ્રકીર્ણનની માત્રા $1/\lambda^4$ના સમપ્રમાણમાં હોય છે. જો $a >> \lambda$ 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 $a >> \lambda$ ધરાવતાં પાણી બુંદો હોય છે, તેઓ સામાન્ય રીતે સફેદ દેખાય છે.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com



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

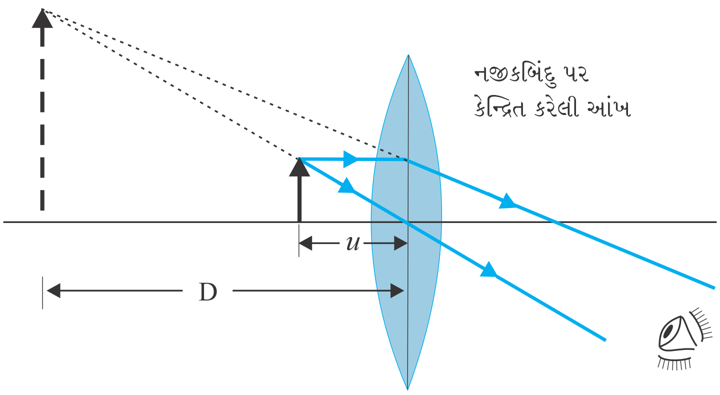
આકૃતિ 9.26માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે, સૂર્યોદય કે સૂર્યાસ્ત સમયે સૂર્યપ્રકાશે વાતાવરણમાં વધારે અંતર કાપવું પડે છે. આ દરમ્યાન ભૂરા રંગ ઉપરાંત ટૂંકી તરંગલંબાઈના અન્ય રંગોનું પણ પ્રકીર્ણન થઈ દૂર થઈ ગયા હોય છે. આથી આપણી આંખમાં ઓછું પ્રકીર્ણન પામેલ પ્રકાશ પ્રવેશે છે. આથી સૂર્ય રતાશ (Reddish or Orange-Red) પડતા 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)

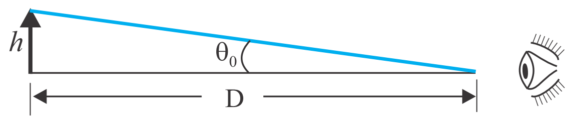
સાદું વિવર્ધક અથવા માઈક્રોસ્કોપ એ નાની કેન્દ્રલંબાઈ ધરાવતો અભિસારી (બહિર્ગોળ) લેન્સ છે (આકૃતિ 9.27). આવા લેન્સનો માઈક્રોસ્કોપ તરીકે ઉપયોગ કરવા માટે, લેન્સને વસ્તુની નજીક, એક કેન્દ્રલંબાઈ અથવા તેનાં કરતાં ઓછા અંતરે રાખવામાં આવે છે



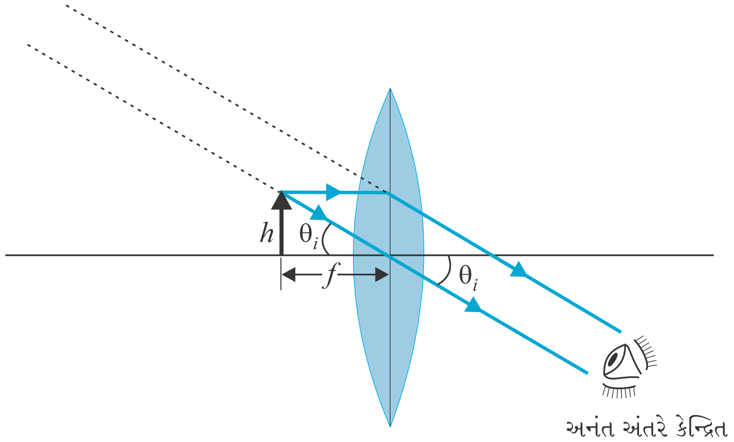
(a)

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com



(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 (ચત્તું) 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, ચત્તુ, વિવર્ધિત અને અનંત અંતર કરતાં નજીક મળે છે. પ્રતિબિંબને સરળતાથી આરામદાયક રીતે સ્પષ્ટ જોઈ શકાય તે માટે પ્રતિબિંબ નજીક બિંદુ અંતરે ($D \cong 25$ 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.

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

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

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

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

પરથી મળે છે. D = 25 cm છે, આથી મોટવણી 6 મેળવવા માટે લેન્સની કેન્દ્રલંબાઈ f = 5 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.

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

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,

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

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

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

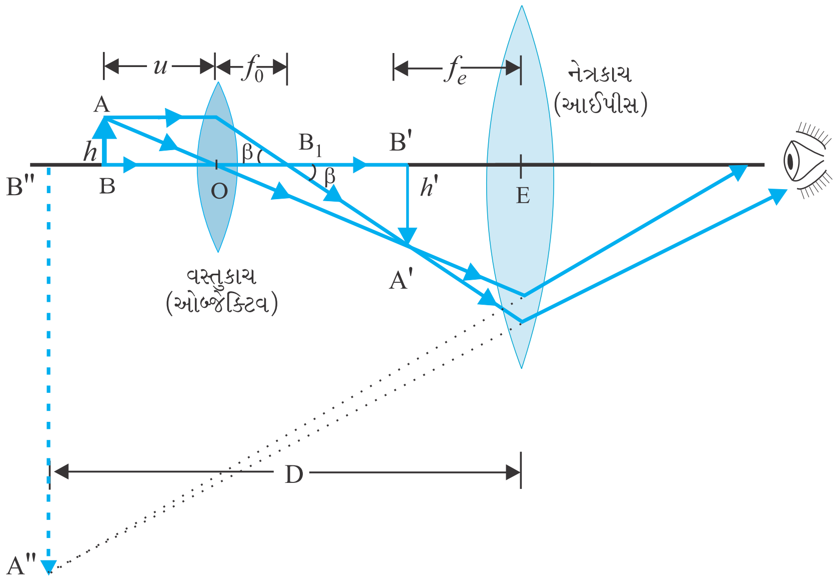
$$m = \left(\frac{\theta_i}{\theta_0}\right) = \frac{D}{f} \tag{9.42}$$

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 *વસ્તુકાચ* (*Objective*) કહે છે, જે વસ્તુનું સાચું, ઊલટું અને મોટું પ્રતિબિંબ આપે છે. આ પ્રતિબિંબ બીજા લેન્સ *નેત્રકાચ* (*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.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com



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,

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

બરાબર છે, જ્યાં આપણે

$\tan\beta = \left(\frac{h}{f_0}\right) = \left(\frac{h'}{L}\right)$ 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.

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

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

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

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

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

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

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

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

$$= \frac{20}{1} \times \frac{25}{2} = 250$$

અન્ય ઘણી બાબતો જેમકે, વસ્તુની દીપ્તિમાન (પ્રકાશિતતા) (illumination) વિગેરે પણ પ્રતિબિંબની ગુણવત્તા અને દૃશ્યતામાં અસર કરે છે. આધુનિક માઈક્રોસ્કોપમાં 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,

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

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

ટેરેસ્ટ્રિયલ ટેલિસ્કોપ (Terrestrial Teles-cope) માં ઈન્વર્ટીંગ લેન્સની એક વધારાની જોડ હોય છે, જે અંતિમ પ્રતિબિંબ ચત્તું (સીધું) આપે છે.

રિફ્રેક્ટીંગ (વક્રીકારક) ટેલિસ્કોપનો ઉપયોગ ટેરેસ્ટ્રીયલ 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

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

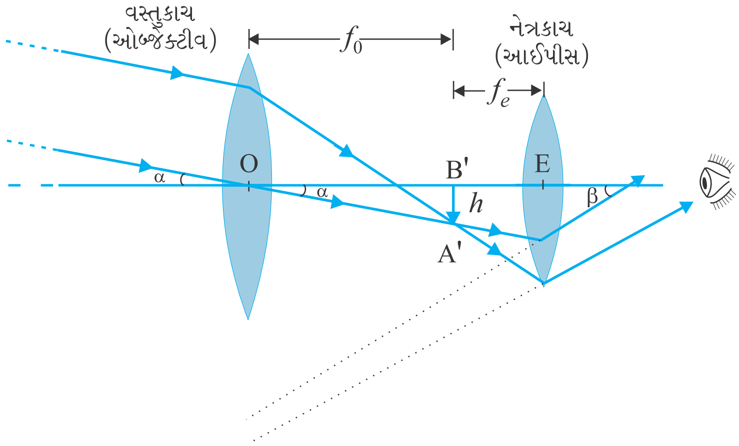
PHYSICS

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

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

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

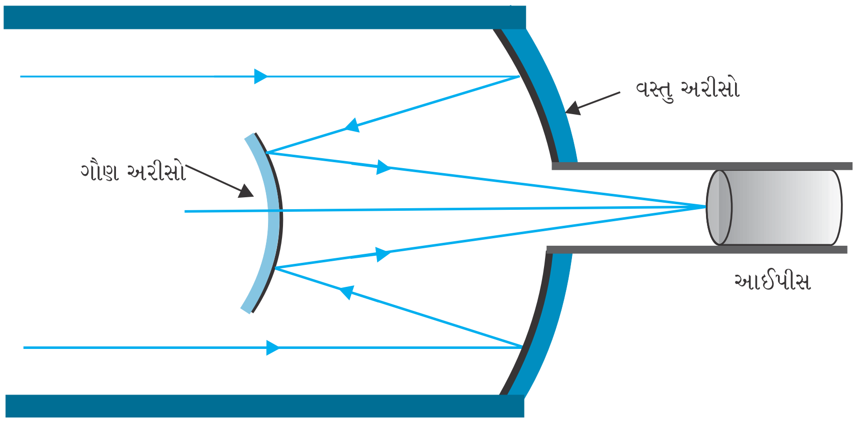
એસ્ટ્રોનોમીકલ ટેલિસ્કોપ માટે પ્રકાશ સમાવેશ ક્ષમતા (Light Gathering Power) અને તેનું વિભેદન અથવા વિભેદન શક્તિ (Resolving Power) મહત્વની બાબતો છે. આ પૈકી પ્રકાશ સમાવેશ ક્ષમતા સ્પષ્ટ રીતે ઓબ્જેક્ટીવના ક્ષેત્રફળ પર આધાર રાખે છે. મોટા વ્યાસવાળા લેન્સની મદદથી ઝાંખી વસ્તુઓ પણ જોઈ શકાય છે. વિભેદન શક્તિ અથવા 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

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com



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, પૉલીશ કરી ગોઠવીને તેનો ઉપયોગ ઈન્ડિયન ઈન્સ્ટિટ્યૂટ ઑફ 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 ઑપ્ટિકલ 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/ઑપ્ટિકલ 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.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

4. *અરીસાનું સૂત્ર :*

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

જ્યાં u વસ્તુઅંતર, υ 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.)

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

પાતળા લેન્સ માટે,

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

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 : $1\ D = 1\ m^{-1}$. $f_1, f_2, f_3, \ldots$ કેન્દ્રલંબાઈ ધરાવતાં લેન્સને સંપર્કમાં રાખવામાં આવે તો તેમની અસરકારક કેન્દ્રલંબાઈ f પરથી મળે છે.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_1} + \ldots$$

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

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

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

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

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.

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

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 αનો 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.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

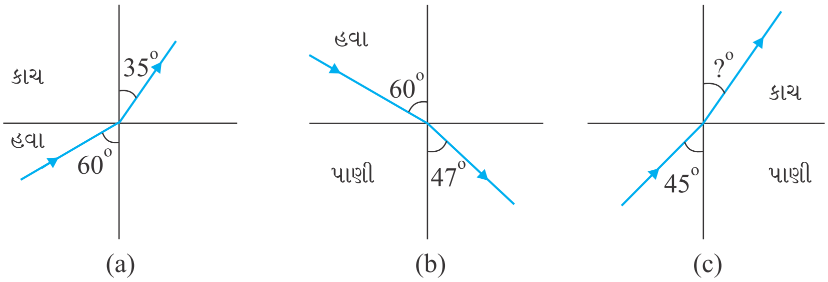
સ્વાધ્યાય

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 ઉંડાઈ 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 અંતર્ગોળલેન્સ 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 ?

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

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 મોટવણી 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 વક્રીકારક ટેલિસ્કોપમાં ઓબ્જેક્ટીવ લેન્સની કેન્દ્રલંબાઈ 15 m અને આઈપીસની કેન્દ્રલંબાઈ 1 cm છે. તો કોણીય મોટવણી 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.

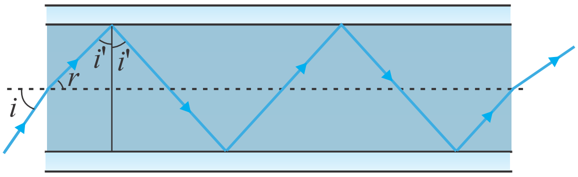
(c) બહિર્ગોળ અરીસા વડે મળતું આભાસી પ્રતિબિંબ હંમેશા કદમાં નાનું અને અરીસાના ધ્રુવ તેમજ મુખ્યકેન્દ્રની વચ્ચે જ હોય છે.

(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 વક્રીભવનાંક 1.5 છે. ઉપર મેળવેલ જવાબ સ્લેબના સ્થાન ઉપર આધાર રાખે ?

9.17 (a) આકૃતિ 9.32માં કાચના ફાઈબરમાંથી બનાવેલ 1.68 વક્રીભવનાંક ધરાવતી 'પ્રકાશનળી'નો આડછેદ દર્શાવ્યો છે. બહારની બાજુએ 1.44 વક્રીભવનાંક 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

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

9.18 નીચેના પ્રશ્નોનાં જવાબ આપો :

(a) 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.

(b) 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 ?

(c) 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 ?

(d) જો ત્રાંસી દિશામાં જોવામાં આવે તો, પાણીની ટાંકીની આભાસી ઊંડાઈ બદલાશે ? જો 'હા' તો તે આભાસી ઊંડાઈ વધારે હશે કે ઓછી ?

(e) 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 સ્હેજ 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 mm^2ના 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.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

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.

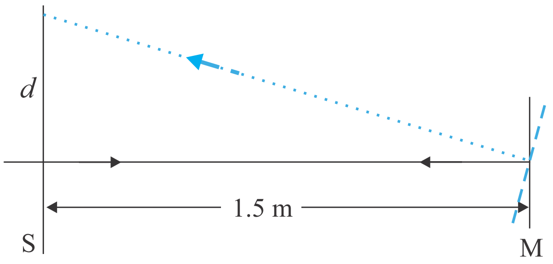
Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

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

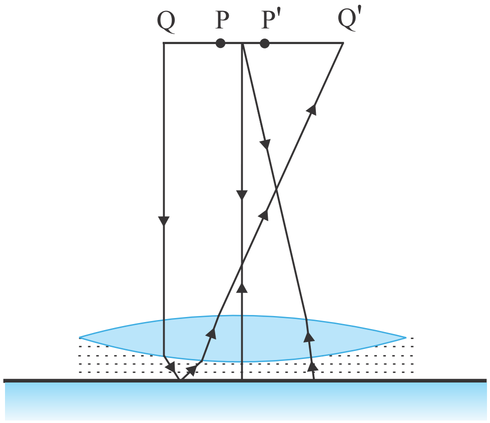
9.30 એક કેસેગ્રેઈન (Cassegrain) ટેલિસ્કોપમાં આકૃતિ 9.30માં બતાવ્યા મુજબ બે અરીસાઓ વાપરવામાં આવે છે. આ ટેલિસ્કોપમાં અરીસાઓ એકબીજાથી 20 mm અંતરે રાખેલ છે. મોટા અરીસાની વક્રતાત્રિજ્યા 220 mm અને નાના અરીસાની 140 mm હોય તો અનંત અંતરે રહેલી વસ્તુનું અંતિમ પ્રતિબિંબ ક્યાં મળશે ?

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

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

નોંધ

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

નોંધ

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

પ્રકરણ દસ

તરંગ પ્રકાશશાસ્ત્ર (WAVE OPTICS)

10.1 પ્રસ્તાવના (INTRODUCTION)

ઈ.સ. 1637માં ડેકાર્ટિસે પ્રકાશ માટેનો કણવાદ (Corpuscular–કોર્પસ્ક્યુલર Theory) આપ્યો અને સ્નેલનો નિયમ તારવ્યો. તેણે બે માધ્યમોના આંતરપૃષ્ઠ (Interface) આગળ પ્રકાશના પરાવર્તન અને વક્રીભવનના નિયમો સમજાવ્યા. આ કણવાદે એવી આગાહી કરી કે જો પ્રકાશ કિરણ વક્રીભવન થતાં લંબ તરફ વાંકુ વળે તો બીજા માધ્યમમાં પ્રકાશની ઝડપ વધારે હશે. આ કણવાદને આઈઝેક્ ન્યૂટન દ્વારા તેમના પ્રચલિત પુસ્તક, 'OPTICKS' દ્વારા આગળ વિકસાવવામાં આવ્યો અને આ પુસ્તકની પ્રચંડ લોકપ્રિયતાને કારણે કણવાદ (Corpuscular Model) ન્યૂટને આપ્યો હોવાનું માનવામાં આવે છે.

ઈ.સ. 1678માં, ડચ્ ભૌતિકવિજ્ઞાની, ક્રિશ્ચિયન હાઈગેન્સ દ્વારા પ્રકાશનો તરંગવાદ રજૂ થયો – પ્રકાશ માટેનો આ તરંગવાદ આપણે આ પ્રકરણમાં ચર્ચીશું. આપણે જોઈશું કે, આ તરંગવાદ સંતોષકારક રીતે પરાવર્તન અને વક્રીભવનની ઘટના સમજાવી શકે છે, પરંતુ તે એવી આગાહી કરે છે કે જો વક્રીભવન દરમિયાન તરંગ લંબ તરફ વાંકુ વળે તો બીજા માધ્યમમાં પ્રકાશની ઝડપ ઓછી હશે. આ પ્રકાશના કણવાદ દ્વારા થયેલ અનુમાનની સાથે વિરોધાભાસ ધરાવે છે. એ તો ઘણા સમય બાદ પ્રાયોગિક રીતે, અનુમોદિત થયું કે, પાણીમાં પ્રકાશની ઝડપ એ હવામાંની ઝડપ કરતાં ઓછી હોય છે, કે જે તરંગવાદના અનુમાનની પુષ્ટી કરે છે. આ પ્રયોગ 1850માં ફોકલ્ટ (Foucult) દ્વારા કરવામાં આવ્યો હતો.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

પ્રારંભમાં ન્યૂટનની સત્તા/પ્રભાવને કારણે તેમજ તે સમયે તેવું માનવામાં આવતું હતું કે તરંગોને પ્રસરણ માટે હંમેશા માધ્યમની જરૂર પડે છે, પરંતુ પ્રકાશ તો શૂન્યાવકાશમાંથી પણ પસાર થતો હતો તે કારણે પણ તરંગવાદ સહેલાઈથી સ્વીકારવામાં આવ્યો ન હતો. પરંતુ જ્યારે થોમસ યંગે ઈ.સ. 1801માં તેમનો વિખ્યાત વ્યતિકરણ માટેનો પ્રયોગ કર્યો, ત્યારે દૃઢતાથી એવું સ્થાપિત થયું કે ખરેખર પ્રકાશ એ તરંગ ઘટના છે. દૃશ્ય પ્રકાશની તરંગલંબાઈ મપાઈ હતી અને તે ખૂબ નાની હોવાની માલૂમ પડી હતી; ઉદાહરણ તરીકે પીળા પ્રકાશની તરંગલંબાઈ લગભગ 0.6 μm જેટલી છે. દૃશ્ય પ્રકાશની તરંગલંબાઈ (લાક્ષણિક અરીસા અને લેન્સના પરિમાણની સરખામણીમાં) પ્રમાણમાં ઘણી નાની હોવાથી એવું ધારી શકાય છે કે પ્રકાશ લગભગ સુરેખામાં ગતિ કરે છે. આ ભૌમિતિક પ્રકાશશાસ્ત્રનું ક્ષેત્ર છે, કે જેની આપણે ગત પ્રકરણમાં ચર્ચા કરી. હકીકતમાં, પ્રકાશશાસ્ત્રની એવી શાખા કે જેમાં તરંગલંબાઈના પરિમિતિપણાને સંપૂર્ણપણે અવગણવામાં આવે તેને ભૌમિતિક પ્રકાશશાસ્ત્ર કહે છે અને કિરણને તરંગલંબાઈના શૂન્ય લક્ષના કિસ્સા માટે ઊર્જા પ્રસરણના પથ તરીકે વ્યાખ્યાયિત કરાય છે.

1801ના યંગના વ્યતિકરણના પ્રયોગ પછીના લગભગ 40 વર્ષો સુધી, પ્રકાશ તરંગોના વ્યતિકરણ અને વિવર્તનને સાંકળતા ઘણા પ્રયોગો કરવામાં આવ્યા; આવા પ્રયોગો પ્રકાશના તરંગવાદને લઈને જ સંતોષકારક રીતે સમજાવી શકાયા હતા. આમ, ઓગણીસમી સદીના મધ્યભાગ સુધીમાં તરંગવાદ બહુ સારી રીતે સ્થાપિત થઈ ગયો હતો. એક માત્ર મુખ્ય મુશ્કેલી એ હતી કે જો તરંગને તેના પ્રસરણ માટે માધ્યમની જરૂર પડતી હોય તેમ માનીએ તો પ્રકાશ શૂન્યાવકાશમાં કેવી રીતે પ્રસરી શકે છે ? મેક્સવેલે પ્રકાશ માટે તેનો વિખ્યાત વિદ્યુતચુંબકીય વાદ રજૂ કર્યો ત્યારે આ બાબત સમજી શકાઈ હતી. મેક્સવેલે વિદ્યુતકીય અને ચુંબકના નિયમોને રજૂ કરતા સમીકરણોનું જૂથ (સમૂહ) આપ્યું અને આ સમીકરણોની મદદથી તેણે જે તરંગ સમીકરણ તરીકે ઓળખાય છે તે આપ્યું, કે જેની મદદથી વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોનું અસ્તિત્વનું પૂર્વાનુમાન કર્યું.* આ તરંગ સમીકરણ પરથી, મેક્સવેલે વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોની મુક્ત અવકાશમાં ઝડપ ગણી અને તેને જણાયું કે પ્રકાશની ઝડપનું સૈદ્ધાંતિક મૂલ્ય તેના પ્રાયોગિક મૂલ્યની ઘણી નજીક હતું. આ પરથી, તેણે એવી રજુઆત કરી કે પ્રકાશ વિદ્યુતચુંબકીય તરંગ જ છે. આમ, મેક્સવેલના મત મુજબ પ્રકાશતરંગો એ બદલાતા જતા વિદ્યુત અને ચુંબકીયક્ષેત્રો સાથે સંકળાયેલા છે; બદલાતું જતું વિદ્યુતક્ષેત્ર સમય અને અવકાશીય ચલ સાથે બદલાતું ચુંબકીયક્ષેત્ર ઉત્પન્ન કરે છે અને બદલાતું જતું ચુંબકીયક્ષેત્ર સમય અને અવકાશીય યામ સાથે બદલાતું વિદ્યુતક્ષેત્ર ઉત્પન્ન કરે છે. આ બદલાતા વિદ્યુત અને ચુંબકીયક્ષેત્રોને પરિણામે વિદ્યુતચુંબકીય તરંગો (અથવા પ્રકાશ તરંગો) શૂન્યાવકાશમાંથી પણ પ્રસરણ પામે છે.

આ પ્રકરણમાં આપણે પ્રથમ હાઈગેન્સના સિદ્ધાંતની મૂળ રચના (Formulation)ની ચર્ચા કરીશું અને પરાવર્તન અને વક્રીભવનાંકના નિયમો તારવીશું. પરિચ્છેદ 10.4 અને 10.5માં, આપણે વ્યતિકરણ કે જે સંપાતીકરણના સિદ્ધાંત પર આધારિત છે તેની ચર્ચા કરીશું. પરિચ્છેદ 10.6માં આપણે વિવર્તન ઘટનાની ચર્ચા કરીશું કે જે હાઈગેન્સ-ફ્રેનલ સિદ્ધાંત પર આધારિત છે. છેલ્લે પરિચ્છેદ 10.7માં આપણે ધ્રુવીભવનની ઘટનાની ચર્ચા કરીશું કે જે પ્રકાશ તરંગો લંબગત વિદ્યુતચુંબકીય તરંગો છે એ હકીકત ઉપર આધારિત છે.

* મેક્સવેલે લગભગ 1855માં વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોનાં અસ્તિત્વનું પૂર્વ અનુમાન કર્યું હતું; પરંતુ ખૂબ જ સમયબાદ (1890નીઆસપાસ) હેન્રીચ હર્ટ્ઝ લેબોરેટરીમાં રેડિયો તરંગો ઉત્પન્ન કર્યા. જી.સી.બોઝ અને જી.માર્કોનીએ હર્ટ્ઝીયન તરંગોનો વ્યવહારુ ઉપયોગ કર્યો.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

શું પ્રકાશ સુરેખામાં ગતિ કરે છે ?

ધોરણ VIમાં પ્રકાશ સુરેખામાં ગતિ કરે છે; પણ તે બારમા ધોરણમાં અને ત્યાર પછી તેમ કરતો નથી ! તમે શું અચંબિત થઈ ગયા ?

શાળામાં તમને એક પ્રયોગ બતાવવામાં આવે છે કે જેમાં સૂક્ષ્મ છિદ્રો (Pinholes) હોય તેવા ત્રણ કાર્ડબોર્ડ તમે લો છો, એક બાજુ મીણબત્તી રાખી તેને બીજી બાજુથી જુઓ છો. જો મીણબત્તીની જ્યોત અને ત્રણેય છિદ્રો એક જ રેખા પર હોય તો તમે મીણબત્તી જોઈ શકો છો. જો તેમાંના એકાદને પણ સહેજ ખસેડવામાં આવે તો તમે મીણબત્તી જોઈ શકતા નથી. તેથી તમારા શિક્ષક કહે છે કે આ સાબિત કરે છે કે પ્રકાશ સુરેખામાં ગતિ કરે છે.

આ પુસ્તકમાં, બે ક્રમિક પ્રકરણો છે, એક કિરણ પ્રકાશશાસ્ત્ર પર અને બીજું તરંગ પ્રકાશશાસ્ત્ર પર. કિરણ પ્રકાશશાસ્ત્ર પ્રકાશના સુરેખ પ્રસરણ પર આધારીત છે અને તે અરીસા, લેન્સ, પરાવર્તન, વક્રીભવન વગેરે જેવા મુદ્દાઓ સાથે સંકળાયેલ છે. ત્યાર પછીનું પ્રકરણ તરંગ પ્રકાશશાસ્ત્રનું છે, અને તમને ઉપર કહેવામાં આવ્યું છે કે પ્રકાશ તરંગની જેમ ગતિ કરે છે એટલેકે, તે પદાર્થ (અડચણ) આગળથી વાંકુ વળી શકે છે, તે વિવર્તન અને વ્યતિકરણ અનુભવે છે, વગેરે.

દૃશ્ય વિભાગમાં, પ્રકાશની તરંગલંબાઈ લગભગ અડધા માઈક્રોમીટરના જેટલી હોય છે. તે જો લગભગ આ જ પરિમાણ ધરાવતી અડચણ જોડે અથડાય તો તે તેની પાસેથી વાંકુ વળે છે અને તેને બીજી બાજુથી જોઈ શકાય છે. આમ, માઈક્રોમીટરના માપની અડચણ પ્રકાશ કિરણને રોકી શકતી નથી. જો અડચણ ખૂબ જ મોટા કદની હોય તો પ્રકાશ આટલા મોટા પ્રમાણમાં વળી શકતો નથી, અને તેને બીજી બાજુથી જોઈ શકાશે નહીં.

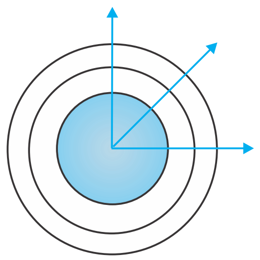
આ કોઈ પણ તરંગનો વ્યાપક ગુણધર્મ છે, અને તે ધ્વનિ તરંગો માટે પણ જોઈ શકાય છે. આપણી વાણીના તરંગની તરંગલંબાઈ લગભગ 50 cm થી 1 m સુધીની હોય છે, હવે તે જો અમુક મીટરના માપના અડચણ સાથે અથડાય તો તેને ફરતે વાંકુ વળે છે અને અડચણની પાછળના બિંદુઓએ આગળ પહોંચે છે. પરંતુ તે જો તેના પથમાં મોટા, લગભગ અમુક સો મીટરના, અડચણ, જેમકે ખડકો (Hilock) સાથે અથડાય તો ? તો તેમાંના મોટાભાગનું પરાવર્તન થાય છે અને તે પડઘા તરીકે સંભળાય છે.

તો પછી પ્રાથમિક શાળામાં ભણેલા પ્રયોગનું શું ? આપણે જ્યારે કાર્ડબોર્ડને ખસેડીએ છીએ ત્યારે સ્થાનાંતર અમુક મિલિમીટરના ક્રમનું હોય છે, જે પ્રકાશની તરંગલંબાઈ કરતાં ઘણું મોટું છે અને તેથી મીણબત્તી જોઈ શકાતી નથી. આપણે જો એકાદ કાર્ડબોર્ડને માઈક્રોમીટર કે તેનાથી ઓછું ખસેડી શકીએ તો પ્રકાશનું વિવર્તન થશે અને મીણબત્તી હજી પણ જોઈ શકાશે.

આપણે આ બૉક્સમાંના પ્રથમ વાક્યમાં ઉમેરી શકીએ કે “તે જેમ મોટું થતું જાય છે તેમ વળતાં શીખે છે !”

10.2 હાઈગેન્સનો સિદ્ધાંત (HUYGENS PRINCIPLE)

પહેલાં આપણે તરંગઅગ્ર વ્યાખ્યાયિત કરીએ : જ્યારે આપણે શાંત જલાગારમાં એક નાના પથ્થરને પડતો મૂકીએ છીએ ત્યારે પથ્થર પડવાના બિંદુ આગળથી તરંગો બહાર તરફ પ્રસરે છે. સપાટી પરનું દરેક બિંદુ સમય સાથે દોલનો કરવાનું શરૂ કરે છે. કોઈ પણ સમયે, સપાટીનો ફોટોગ્રાફ જેના પર વિક્ષોભ મહત્તમ હોય તેવા વર્તુળાકાર વલયો દર્શાવે છે. સ્પષ્ટ છે કે આવા વર્તુળાકાર પરના બધા જ બિંદુઓ ઉદ્‌ગમથી સરખા અંતરે હોવાને કારણે (સમાન) કળામાં દોલન કરતાં હશે. આવાં, કે જેઓ સમાન કળામાં દોલન કરતા બિંદુઓના સ્થાન (Locus)ને તરંગઅગ્ર કહે છે. આમ, તરંગઅગ્રને અચળ કળા ધરાવતા પૃષ્ઠ/સપાટી તરીકે વ્યાખ્યાયિત કરી શકાય. તરંગઅગ્ર જે ઝડપથી ઉદ્‌ગમથી બહાર તરફ ગતિ કરે છે તેને તરંગની ઝડપ કહે છે. તરંગની ઊર્જા તરંગઅગ્રને લંબદિશામાં ગતિ કરે છે.

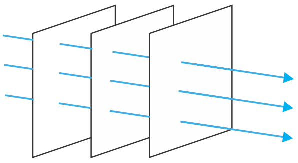


આકૃતિ 10.1 (a) કોઈ બિંદુવત્ ઉદ્‌ગમમાંથી બહાર ફેલાતા (diverging) તરંગઅગ્રો ગોળાકાર છે.

જો આપણી પાસે બધી જ દિશામાં સમાન રીતે તરંગો ઉત્સર્જિત કરતું બિંદુવત્ત ઉદ્‌ગમ હોય તો, સમાન કંપવિસ્તાર સાથે અને સમાન કળામાં દોલન કરતા બિંદુઓના સ્થાન ગોળાઓ પર હશે અને તેને આકૃતિ 10.1(a)માં દર્શાવ્યા મુજબ આપણને ગોળાકાર તરંગો મળે છે. ઉદ્‌ગમથી ઘણાં મોટા

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

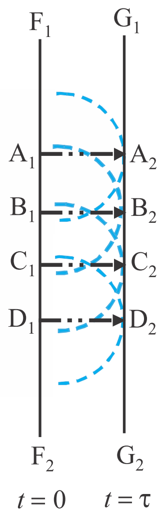
Downloaded from https:// www.studiestoday.com



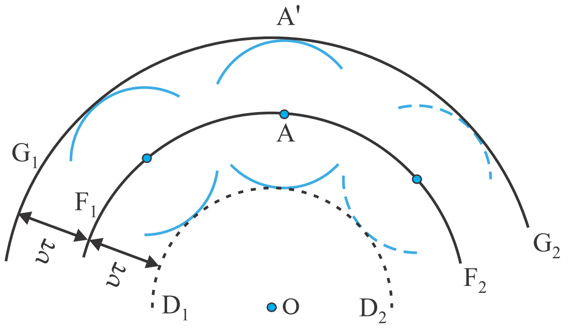
આકૃતિ 10.1 (b) ઉદ્‌ગમથી ખૂબ મોટા અંતરે, ગોળાકાર તરંગના નાના ભાગને સમતલ તરંગ તરીકે લઈ શકાય.

અંતરે આ ગોળાનાં નાના ભાગને સમતલ ગણી શકાય અને જેને આપણે સમતલ તરંગ [આકૃત્તિ 10.1(b)] કહીએ તે મળે છે.

હવે જો આપણે $t = 0$ સમયે તરંગઅગ્રનો આકાર જાણતા હોઈએ તો હાઈગેન્સનો સિદ્ધાંત આપણને પછીના τ સમયે તરંગઅગ્રનો આકાર આપે છે. આમ, મૂળભૂત રીતે હાઈગેન્સનો સિદ્ધાંત એક ભૌમિતિક રચના છે, કે જેની મદદથી આપેલ સમયે તરંગઅગ્રનો આકાર ખબર હોય તો પછીના કોઈ પણ સમયે તરંગઅગ્રનો આકાર જાણી શકાય છે. એક બહાર ફેલાતા (Diverging) તરંગને ધ્યાનમાં લો અને ધારો કે F_1F_2 એ $t = 0$ સમયે ગોળાકાર તરંગઅગ્રનો ભાગ દર્શાવે છે. (આકૃતિ 10.2). હવે, હાઈગૅન્સના સિદ્ધાંત મુજબ, તરંગઅગ્ર પરનું દરેક બિંદુ ગૌણ વિક્ષોભના ઉદ્‌ગમ તરીકે વર્તે છે અને આ બિંદુઓમાંથી ઉત્સર્જિત નાના નાના (લઘુ) તરંગો (Wavelets) બધી જ દિશામાં તરંગની ઝડપથી સમાન રીતે પ્રસરે છે. તરંગઅગ્રમાંથી ઉત્સર્જિત આવા લઘુ તરંગો (Wavelets)ને ગૌણ તરંગો (Secondary Wavelets) તરીકે ઓળખવામાં આવે છે અને જો આ બધા જ ગોળાઓને એક સામાન્ય સ્પર્શક દોરવામાં આવે તો આપણને પછીના સમયે તરંગઅગ્રનું નવું સ્થાન મળે છે.



આકૃતિ 10.3 જમણીબાજુ પ્રસરતા સમતલ તરંગઅગ્ર માટે હાઈગેન્સની ભૌમિતિક રચના F_1F_2 એ $t = 0$ સમયે સમતલ તરંગ અગ્ર અને G_1G_2 એ ત્યારબાદના $t = \tau$ સમયે તરંગઅગ્ર છે. રેખાઓ A_1A_2, B_1B_2, ..., વગેરે એ F_1F_2 અને G_1G_2 એમ બંનેને લંબ છે અને તે કિરણો રજૂ કરે છે.



આકૃતિ 10.2 F_1F_2 એ (O કેન્દ્ર હોય તેવું) $t = 0$ સમયે ગોળાકાર તરંગઅગ્ર દર્શાવે છે. F_1F_2માંથી ઉત્સર્જિત ગૌણ લઘુ તરંગો (Wavelets)ને સમાવતું પૃષ્ઠ આગળ વધતા G_1G_2 તરંગઅગ્રને ઉત્પન્ન કરે છે. પાછળની દિશામાં D_1D_2 તરંગ અસ્તિત્વ ધરાવતું નથી.

આમ, જો આપણે $t = \tau$ સમયે તરંગઅગ્રનો આકાર નક્કી કરવો હોય તો ગોળાકાર તરંગઅગ્રના દરેક બિંદુએથી $v\tau$ જેટલી ત્રિજ્યા ધરાવતા ગોળાઓ દોરીશું. અહીં, v એ માધ્યમમાં તરંગોની ઝડપ દર્શાવે છે. હવે જો આપણે આ બધા જ ગોળાઓને એક સમાન સ્પર્શક દોરીએ તો આપણને $t = \tau$ સમયે તરંગઅગ્રનું નવું સ્થાન મળે છે. આવું નવું તરંગઅગ્ર આકૃતિ 10.2માં G_1G_2 વડે દર્શાવેલ છે, તે પણ કેન્દ્ર O કેન્દ્રવાળો ગોળાકાર છે.

ઉપરોક્ત મૉડેલ (Model)ની એક મર્યાદા છે : આકૃતિ 10.2માં દર્શાવ્યા મુજબ આપણને પાછળની દિશામાં પણ એક તરંગ D_1D_2 મળે છે. હાઈગેન્સે એવો તર્ક આપ્યો કે આવા ગૌણ લઘુ તરંગો (Wavelets)નો આગળની દિશાનો કંપવિસ્તાર મહત્તમ જ્યારે પાછળની દિશામાં આ કંપવિસ્તાર શૂન્ય હોય છે; આવી અનૌપચારિક (Adhoc) પૂર્વધારણા પરથી, હાઈગેન્સ પાછળની દિશામાંના તરંગની ગેરહાજરી સમજાવી શકયો. અલબત્ત આવી અનૌપચારિક (Adhoc) પૂર્વધારણા એ સંતોષકારક નથી અને પાછળની દિશામાં તરંગની ગેરહાજરી એ વધુ વિસ્તૃત તરંગવાદથી જ વાજબી ઠેરવાય છે.

આ જ રીતે, આપણે હાઈગેન્સના સિદ્ધાંતની મદદથી માધ્યમમાં પ્રસરતા સમતલ તરંગ માટે પણ તરંગઅગ્રનો આકાર શોધી શકીએ છીએ (આકૃતિ 10.3).

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

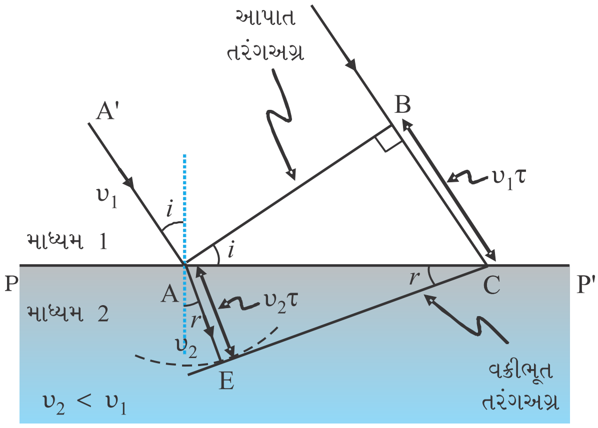
Downloaded from https:// www.studiestoday.com

10.3 હાઈગેન્સના સિદ્ધાંતની મદદથી સમતલ તરંગોનું વક્રીભવન અને પરાવર્તન (REFRACTION AND REFLECETION OF PLANE WAVES USING HUYGENS PRINCIPLE)

10.3.1 સમતલ તરંગનું વક્રીભવન (Refraction of a Plane Wave)

હવે આપણે હાઈગેન્સના સિદ્ધાંતનો ઉપયોગ કરીને વક્રીભવનના નિયમો તારવીશું. આકૃત્તિ 10.4માં દર્શાવ્યા અનુસાર, ધારો કે માધ્યમ-1 અને માધ્યમ-2ને છૂટી પાડતી સપાટી PP' વડે દર્શાવેલ છે. ધારોકે માધ્યમ-1 અને માધ્યમ-2માં પ્રકાશની ઝડપ અનુક્રમે υ_1 અને υ_2 છે. આકૃતિમાં દર્શાવ્યા અનુસાર, ધારોકે A'A દિશામાં પ્રસરતું એક સમતલ તરંગઅગ્ર AB એ બે માધ્યમોની આંતરસપાટી પર i જેટલા કોણે આપાત થાય છે. ધારોકે તરંગઅગ્રને BC જેટલું અંતર કાપતા લાગતો સમય τ છે. આમ,

$$BC = \upsilon_1 \tau$$



આકૃતિ 10.4 માધ્યમ-1 અને માધ્યમ-2ને છૂટી પાડતી સપાટી PP' ઉપર એક સમતલ તરંગઅગ્ર AB, i જેટલા કોણે આપાત થાય છે. આ સમતલ તરંગ વક્રીભવન અનુભવે છે અને CE વક્રીભૂત તરંગઅગ્ર દર્શાવે છે. આકૃતિ $\upsilon_2 < \upsilon_1$ ને અનુરૂપ છે કે જેથી વક્રીભૂત તરંગો લંબ તરફ વાંકા વળે છે.

ક્રિશ્ચિયન હાઈગેન્સ (Christiaan Huygens) (1629-1695) ડચ ભૌતિક-વિજ્ઞાની, ગણિતજ્ઞ અને પ્રકાશના તરંગવાદના પ્રણેતા/સ્થાપક તેમનું પુસ્તક 'Treatise on Light' આજે પણ ખૂબ જ વંચાય છે. તેણે ખૂબ જ હોશિયારીપૂર્વક પરાવર્તન અને વક્રીભવન ઉપરાંત કેલ્સાઈટ ખનીજમાં દ્વિ-વક્રીભવનની ઘટના સમજાવી હતી. તેઓ પ્રથમ (વિજ્ઞાની) હતા કે જેમણે વર્તુળાકાર અને સરળ આવર્તગતિનું વિશ્લેષણ કર્યું અને સુધારેલી ઘડીયાળો અને ટેલીસ્કોપની રચના કરી. તેઓએ શનિના વલયોની સાચી ભૂમિતિ શોધી હતી.

ક્રિશ્ચિયન હાઈગેન્સ (Christiaan Huygen) (1629-1695)

વક્રીભૂત તરંગઅગ્રનો આકાર નક્કી કરવા માટે, આપણે બીજા માધ્યમમાં બિંદુ A માંથી $\upsilon_2\tau$ જેટલી ત્રિજ્યા ધરાવતો ગોળો દોરીશું (બીજા માધ્યમમાં તરંગની ઝડપ υ_2 છે). ધારોકે CE એ ગોળાકાર બિંદુ C આગળ દોરેલું સ્પર્શીય સમતલ દર્શાવે છે. તો, $AE = \upsilon_2\tau$ અને CE એ વક્રીભૂત તરંગઅગ્ર થશે. હવે જો આપણે ત્રિકોણ ABC અને AEC વિચારીએ તો આપણને

$$\sin i = \frac{BC}{AC} = \frac{\upsilon_1\tau}{AC} \qquad (10.1)$$

અને

$$\sin r = \frac{AE}{AC} = \frac{\upsilon_2\tau}{AC} \qquad (10.2)$$

મળે.

જ્યાં, i અને r એ અનુક્રમે આપાત અને વક્રીભૂત કોણ છે.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

આમ, આપણને

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\upsilon_1}{\upsilon_2} \tag{10.3}$$

મળે.

ઉપરના સમીકરણ પરથી, આપણને એક અગત્યનું પરિણામ મળે છે કે જો $r < i$ (એટલે કે, જો પ્રકાશકિરણ લંબ તરફ વાંકુ વળે) તો પ્રકાશ તરંગની બીજા માધ્યમમાં ઝડપ (υ_2) એ પ્રથમ માધ્યમમાં ઝડપ (υ_1) કરતા ઓછી હશે. આ અનુમાન કણવાદના અનુમાન કરતાં વિરુદ્ધ છે અને (ખરેખર) ત્યાર પછીના પ્રયોગોએ દર્શાવ્યું કે, તરંગવાદ દ્વારા મળેલ પૂર્વાનુમાન સાચું છે. હવે જો શૂન્યાવકાશમાં પ્રકાશની ઝડપ c હોય તો

$$n_1 = \frac{c}{\upsilon_1} \tag{10.4}$$

અને

$$n_2 = \frac{c}{\upsilon_2} \tag{10.5}$$

ને અનુક્રમે માધ્યમ-1 અને માધ્યમ-2ના વક્રીભવનાંક કહે છે. વક્રીભવનાંકોનાં પદમાં, સમીકરણ (10.3)ને નીચે મુજબ લખી શકાય.

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r \tag{10.6}$$

આ વક્રીભવન માટેનો સ્નેલનો નિયમ છે. વધારામાં, જો λ_1 અને λ_2 એ અનુક્રમે માધ્યમ-1 અને માધ્યમ-2માં તરંગલંબાઈઓ હોય અને જો અંતર BC એ λ_1 જેટલું હોય તો અંતર AE એ λ_2 જેટલું થશે (કારણકે જો Bમાંથી ઉત્પન્ન શૃંગ τ જેટલા સમયમાં C આગળ પહોંચે તો A આગળથી ઉત્પન્ન શૃંગ પણ τ જેટલા સમયમાં E આગળ પહોંચવુ જોઈએ); આમ,

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{BC}{AE} = \frac{\upsilon_1}{\upsilon_2}$$

અથવા

$$\frac{\upsilon_1}{\lambda_1} = \frac{\upsilon_2}{\lambda_2} \tag{10.7}$$

ઉપરનું સમીકરણ સૂચવે છે કે જ્યારે તરંગ ઘટ્ટ માધ્યમ ($\upsilon_1 > \upsilon_2$)માં વક્રીભૂત થાય છે ત્યારે તરંગલંબાઈ અને પ્રસરણની ઝડપ ઘટે છે, પરંતુ આવૃત્તિ $\nu\ (= \upsilon/\lambda)$ અચળ રહે છે.

10.3.2 પાતળા માધ્યમ આગળ વક્રીભવન (Refraction at a Rarer Medium)

હવે આપણે એક સમતલ તરંગનું પાતળા માધ્યમમાં થતું વક્રીભવન વિચારીએ, એટલેકે $\upsilon_2 > \upsilon_1$ ઉપરની જેમજ, આકૃતિ 10.5માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે, આપણે આગળ વધતાં વક્રીભૂત તરંગઅગ્ર રચી શકીએ. હવે, વક્રીભૂતકોણ એ આપાતકોણ કરતા વધારે હશે; પરંતુ હજુ પણ $n_1 \sin i = n_2 \sin r$ નિયમ પળાશે. આપણે કોણ i_cને નીચેના સમીકરણથી વ્યાખ્યાયીત કરીએ.

$$\sin i_c = \frac{n_2}{n_1} \tag{10.8}$$

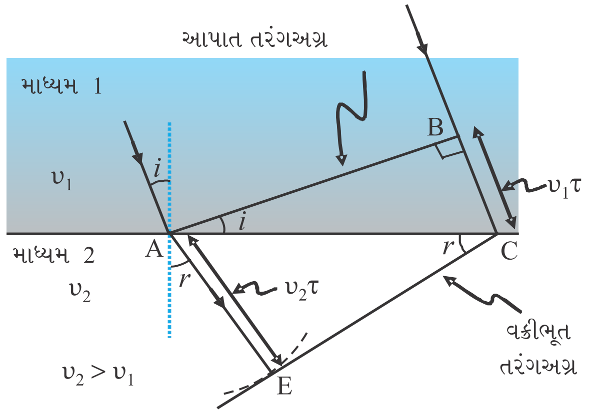
આમ, જો $i = i_c$ તો $\sin r = 1$ અને $r = 90^\circ$ થાય. સ્વાભાવિક છે કે $i > i_c$ માટે કોઈ પણ વક્રીભૂત તરંગ મળશે નહીં. કોણ i_cને ક્રાંતિકોણ (Critical Angle) કહે છે અને ક્રાંતિકોણથી મોટા બધા જ આપાતકોણો માટે આપણને કોઈ વક્રીભૂત કિરણ મળશે નહીં અને તરંગ પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તનથી ઓળખાતી ઘટના અનુભવશે. પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તનની ઘટના અને તેના ઉપયોગો પરિચ્છેદ 9.4માં ચર્ચા કરેલ છે.

Demonstration of interference, diffraction, refraction, resonance and Doppler effect
http://www.falstad.com/ripple

PHYSICS

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com



આકૃતિ 10.5 પાતળા માધ્યમ કે જેના માટે $\upsilon_2 > \upsilon_1$ છે તેના પર આપાત સમતલનું વક્રીભવન સમતલ તરંગ લંબથી દૂર વાંકુ વળે છે.

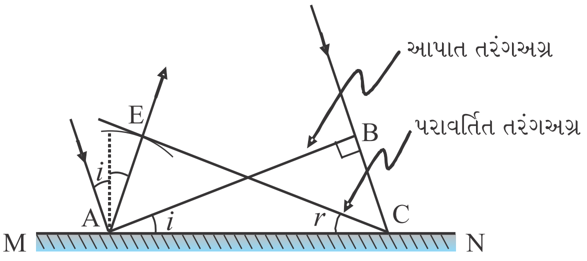
10.3.3 સમતલ સપાટી પરથી સમતલ તરંગનું પરાવર્તન (Reflection of a Plane Wave by a Plane Surface)

હવે પછી આપણે એક પરાવર્તક સપાટી MN પર i કોણે આપાત થતા સમતલ તરંગ ABને ધ્યાનમાં લઈએ. જો υ એ તરંગની માધ્યમમાં ઝડપ અને τ એ તરંગઅગ્રને બિંદુ Bથી C સુધી આગળ ખસવા માટે લાગતો સમય દર્શાવે તો અંતર

$BC = \upsilon\tau$ થશે.

પરાવર્તિત તરંગઅગ્ર રચવા માટે આપણે આકૃતિ 10.6માં દર્શાવ્યા અનુસાર બિંદુ A માંથી $\upsilon\tau$ ત્રિજ્યાનો ગોળો દોરીએ. ધારોકે બિંદુ C માંથી આ ગોળાને દોરેલ સ્પર્શીય સમતલ CE વડે દર્શાવેલ છે. સ્વાભાવિક રીતે જ

$AE = BC = \upsilon\tau$



આકૃતિ 10.6 પરાવર્તક સપાટી MN પરથી પરાવર્તન પામતું સમતલ તરંગ AB. AB અને CE એ આપાત અને પરાવર્તિત તરંગઅગ્રો દર્શાવે છે.

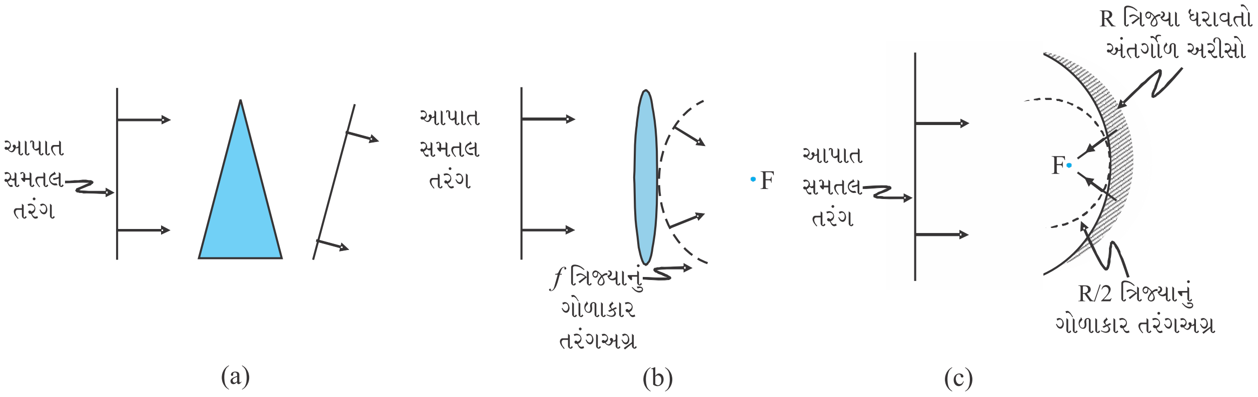
હવે, જો આપણે ત્રિકોણો EAC અને BAC વિચારીએ તો આપણે જોઈ શકીએ છીએ કે તે એકરૂપ છે અને તેથી ખૂણાઓ i અને r (આકૃતિ 10.6માં દર્શાવ્યા મુજબ) સમાન થશે. *આ પરાવર્તનનો નિયમ છે.*

એક વખત આપણી પાસે પરાવર્તન અને વક્રીભવનના નિયમો હોય તો પ્રિઝમ, લેન્સ અને અરીસાઓની વર્તણુક સમજી શકાય છે. આ ઘટનાઓ આપણે પ્રકરણ-9માં પ્રકાશના સુરેખ પ્રસરણને આધારે વિસ્તારપૂર્વક ચર્ચી હતી. અહીં, આપણે ફક્ત તરંગઅગ્રોની વર્તણૂંક જ્યારે તેઓ

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

પરાવર્તન કે વક્રીભવન અનુભવે તે દર્શાવીએ છીએ. આકૃતિ 10.7(a)માં આપણે એક પાતળા પ્રિઝમમાંથી પસાર થતા સમતલ તરંગને ધ્યાનમાં લઈએ છીએ. એ સ્પષ્ટ જ છે કે કાચમાં પ્રકાશતરંગોની ઝડપ ઓછી હોવાને કારણે આપાત તરંગઅગ્રનો નીચેનો ભાગ (કે જે પ્રિઝમના કાચના સૌથી જાડા ભાગમાંથી પસાર થાય છે) થોડોક મોડો પડશે અને પરિણામે આકૃતિમાં દર્શાવ્યા મુજબ પારગમન પામતું તરંગઅગ્ર થોડુંક નમેલું (Tilted) છે. આકૃતિ 10.7(b)માં, આપણે એક પાતળા બહિર્ગોળ લેન્સ ઉપર સમતલ તરંગ આપાત થતું વિચારેલ છે; આપાત સમતલ તરંગનો મધ્યભાગ લેન્સના સૌથી જાડા ભાગમાંથી પસાર થાય છે અને તે સૌથી મોડો પડે છે. નિર્ગમન પામતું તરંગઅગ્ર કેન્દ્ર આગળ નમેલું હોવાથી, તરંગઅગ્ર ગોળાકાર હશે અને તે બિંદુ F આગળ કેન્દ્રિત થશે. Fને *કેન્દ્ર* (*Focus*)કહે છે. આકૃતિ 10.7(c)માં એક સમતલ તરંગ અંતર્ગોળ અરીસા ઉપર આપાત થાય છે અને તે પરાવર્તન પામતાં આપણને ગોળાકાર તરંગ કેન્દ્રબિંદુ (Focal Point) F આગળ કેન્દ્રિત થતું જોવા મળે છે. આ જ રીતે, આપણે અંતર્ગોળ લેન્સ અને બહિર્ગોળ અરીસા માટે વક્રીભવન અને પરાવર્તન સમજી શકીએ.



આકૃતિ 10.7 (a) પાતળા પ્રિઝમથી (b) બહિર્ગોળ લેન્સથી એક સમતલ તરંગનું વક્રીભવન.
(c) અંતર્ગોળ અરીસાથી સમતલ તરંગનું પરાવર્તન.

ઉપરની ચર્ચા પરથી કહી શકાય કે વસ્તુ પરના કોઈ બિંદુ પરથી પ્રતિબિંબના આનુષંગિક બિંદુએ કિરણને પહોંચતાં લાગતો સમય કોઈ પણ કિરણ માટે માપતાં એકસમાન છે. ઉદાહરણ તરીકે, જ્યારે બહિર્ગોળ લેન્સ પ્રકાશને કેન્દ્રિત કરી વાસ્તવિક પ્રતિબિંબ રચે છે ત્યારે ભલેને મધ્યભાગમાંથી પસાર થતું કિરણ સૌથી નાના પથ પર ગતિ કરે છે, પરંતુ (કાચમાં) તેની ઝડપ ઓછી હોવાને કારણે લીધેલો સમય લેન્સના છેડા આગળ ગતિ કરતા કિરણો જેટલો જ છે.

10.3.4 ડૉપ્લર અસર (The Doppler Effect)

અત્રે એ નોંધવું જરૂરી છે કે જ્યારે ઉદ્‌ગમ (કે નિરીક્ષક) ગતિમાં હોય તે સ્થિતિમાં તરંગઅગ્રની રચના ધ્યાનપૂર્વક કરવી પડશે. ઉદાહરણ તરીકે, જ્યારે માધ્યમની ગેરહાજરી હોય અને ઉદ્‌ગમ અવલોકનકારથી દૂર જતો હોય ત્યારે ક્રમશઃ (મોડા) આવતા તરંગઅગ્રોને અવલોકનકાર સુધી પહોંચવા માટે વધારે અંતર કાપવું પડે છે અને તેથી તે સમય પણ વધારે લે છે. આમ, અવલોકનકાર સુધી પહોંચતા બે ક્રમિક તરંગઅગ્રો વચ્ચેનો સમયગાળો ઉદ્‌ગમની આગળ જ (તદ્દન નજીક) લાગતા સમયગાળા કરતા વધારે હશે. આમ, જ્યારે ઉદ્‌ગમ અવલોકનકારથી દૂર જતું હોય છે ત્યારે મપાયેલ આવૃત્તિ નાની હશે. આ ઘટનાને ડૉપ્લર અસર કહે છે. ખગોળવિજ્ઞાનીઓ *ડૉપ્લર અસર*ને કારણે તરંગલંબાઈના વધારાને, વર્ણપટના મધ્ય ભાગમાંની તરંગલંબાઈ, વર્ણપટના રાતા (Red) રંગ તરફ ખસતી હોવાને કારણે, રેડ શિફ્ટ (*Red Shift*) તરીકે ઓળખે છે. જ્યારે અવલોકનકાર તરફ ગતિ કરતા ઉદ્‌ગમમાંથી ઉત્સર્જિત તરંગો પ્રાપ્ત (Receive) કરવામાં આવે છે ત્યારે તરંગલંબાઈમાં દેખીતો ઘટાડો થાય છે, આને બ્લ્યુ શિફ્ટ (*Blue Shift*) કહે છે.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

તમે ધોરણ XIના પાઠ્યપુસ્તકના પ્રકરણ-15માં ધ્વનિ તરંગોમાં ડૉપ્લર અસરનો અભ્યાસ કરી જ ચૂક્યા છો. પ્રકાશની ઝડપની સરખામણીએ નાના વેગ માટે, આપણે જે સૂત્રો ધ્વનિ તરંગો માટે વાપરેલા હતા તે જ સૂત્રોનો ઉપયોગ કરી શકીએ. આવૃત્તિમાં આંશિક (Fractional) ફેરફાર $\Delta\nu/\nu$ ને $-\upsilon_{\text{ત્રિજ્યાવર્તી}}/c$ વડે આપવામાં આવે છે કે જ્યાં, $\upsilon_{\text{ત્રિજ્યાવર્તી}}$ એ ઉદ્‌ગમના વેગનો, અવલોકનકારની સાપેક્ષે, અવલોકનકાર અને ઉદ્‌ગમને જોડતી રેખાની દિશામાંનો ઘટક છે; જ્યારે ઉદ્‌ગમ અવલોકનકારથી દૂર ખસતો હોય ત્યારે $\upsilon_{\text{ત્રિજ્યાવર્તી}}$ ને ધન ગણવામાં આવે છે. આમ, ડૉપ્લર-શિફ્ટને નીચે મુજબ દર્શાવી શકાય :

$$\frac{\Delta\nu}{\nu} = \frac{-\upsilon_{\text{ત્રિજ્યાવર્તી}}}{c} \qquad (10.9)$$

ઉપર દર્શાવેલ સૂત્ર ફક્ત એવા જ કિસ્સામાં સત્ય છે કે જ્યારે ઉદ્‌ગમની ઝડપ પ્રકાશની સરખામણીએ ઓછી હોય. ડૉપ્લર અસર માટે પ્રકાશના ઝડપની નજીકનું મૂલ્ય ધરાવતી હોય તે ઝડપો માટે વધારે ચોક્કસાઈ ધરાવતું સૂત્ર મેળવવા માટે આઈન્સ્ટાઈનના વિશિષ્ટ સાપેક્ષતાવાદની જરૂર પડશે. ખગોળવિજ્ઞાનમાં પ્રકાશની ડૉપ્લર અસર ખૂબ અગત્યની છે. તે દૂરની આકાશગંગાઓ (Galaxies)ના ત્રિજ્યાવર્તી વેગ માપવા માટેનો પાયો છે.

ઉદાહરણ 10.1 આપણી સાપેક્ષે આકાશગંગાએ કેટલી ઝડપથી ગતિ કરવી જોઈએ કે જેથી 589.0 nmની સોડીયમ રેખા 589.6 nm આગળ દેખાય ?

ઉકેલ જેમ $\nu\lambda = c$, હોવાથી, $\frac{\Delta\nu}{\nu} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ = (ν અને λના નાના ફેરફાર માટે)

તેથી, $\Delta\lambda = 589.6 - 589.0 = +0.6$ nm

(સમીકરણ (10.9)નો ઉપયોગ કરતાં) આપણને

$$\frac{\Delta\nu}{\nu} = \frac{-\Delta\lambda}{\lambda} = -\frac{-\upsilon_{\text{ત્રિજ્યાવર્તી}}}{c}$$ મળે છે.

અથવા $\upsilon_{\text{ત્રિજ્યાવર્તી}} \cong c\left(\frac{0.6}{589.0}\right) = +3.06 \times 10^5\ \text{m s}^{-1}$

$= 306$ km/s

તેથી, આકાશગંગા આપણાથી દૂર જાય છે.

ઉદાહરણ 10.1

ઉદાહરણ 10.2

(a) જ્યારે એકરંગી પ્રકાશ એ બે માધ્યમોને છૂટી પાડતી સપાટી પર આપાત થાય છે, ત્યારે પરાવર્તિત અને વક્રીભૂત બંને પ્રકાશની આવૃત્તિ આપાત આવૃત્તિ જેટલી સમાન આવૃત્તિ હોય છે. સમજાવો શા માટે ?

(b) પ્રકાશ જ્યારે પાતળાથી ઘટ્ટ માધ્યમમાં ગતિ કરે છે, ત્યારે ઝડપ ઘટે છે. શું ઝડપનો ઘટાડો પ્રકાશ તરંગ દ્વારા લઈ જવાતી ઊર્જામાં ઘટાડો સૂચવે છે ?

(c) પ્રકાશનાં તરંગ સ્વરૂપમાં, પ્રકાશની તીવ્રતા તરંગના કંપવિસ્તારના વર્ગ પરથી નક્કી કરવામાં આવે છે. પ્રકાશના ફોટોન સ્વરૂપમાં તીવ્રતા શાનાથી નક્કી થાય છે ?

ઉકેલ

(a) પરાવર્તન અને વક્રીભવનની ઘટના આપાત પ્રકાશની પદાર્થના પરમાણ્વિક ઘટકો સાથેની આંતરક્રિયાને કારણે ઉદ્‌ભવે છે. પરમાણુઓને આપણે દોલકો તરીકે વિચારી

ઉદાહરણ 10.2

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

ઉદાહરણ 10.2

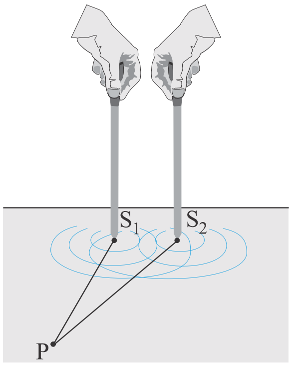
શકીએ કે જે બાહ્ય સ્રોત (પ્રકાશ)ની આવૃત્તિ મેળવે છે અને પ્રણોદીત દોલનો કરે છે. આવા વિદ્યુતભારિત દોલકો દ્વારા ઉત્સર્જાતી આવૃત્તિ અને તેમના દોલનોની આવૃત્તિ સમાન હોય છે. આમ, પ્રકેરિત પ્રકાશની આવૃત્તિ એ આપાત પ્રકાશની આવૃત્તિ જેટલી જ હોય છે.

(b) ના. તરંગ દ્વારા ઉત્સર્જિત ઊર્જા તરંગના કંપવિસ્તાર પર આધાર રાખે છે, નહીં કે તરંગ પ્રસરણની ઝડપ ઉપર.

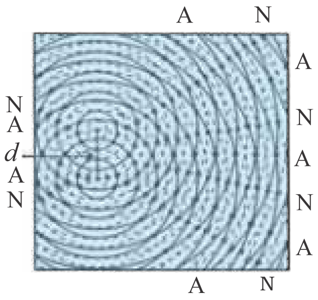
(*c*) આપેલ આવૃત્તિ માટે, ફોટોન પરિકલ્પનામાં પ્રકાશની તીવ્રતા એ એકમ સમયમાં એકમ આડછેદમાંથી પસાર થતા ફોટોનની સંખ્યા વડે નક્કી થાય છે.

10.4 તરંગોનો સુસમ્બધ્ધ અને અસુસમ્બધ્ધ સરવાળો (COHERENT AND INCOHERENT ADDITION OF WAVES)

આ પરિચ્છેદમાં આપણે બે તરંગોના સંપાતીકરણને કારણે ઉત્પન્ન થતી વ્યતિકરણ-ભાતની ચર્ચા કરીશું. તમને યાદ હશે કે ધોરણ XIના પાઠ્યપુસ્તકમાં પ્રકરણ-15માં આપણે *સંપાતીકરણના સિદ્ધાંત*ની ચર્ચા કરેલી હતી, ખરેખર તો વ્યતિકરણનું સમગ્ર ક્ષેત્ર સંપાતીકરણના સિદ્ધાંત મુજબ, *માધ્યમનાં કોઈ ચોક્કસ બિંદુ આગળ સંખ્યાબંધ તરંગોના સંપાતીકરણને કારણે પરિણામી સ્થાનાંતર એ દરેક તરંગ દ્વારા થતા સ્થાનાંતરનાં સદિશ સરવાળા બરાબર હોય છે, તે પર આધારિત છે.*



(a)



(b)

આકૃતિ 10.8 (a) પાણીમાં એકબીજા સાથે કળામાં દોલન કરતી બે સોયો બે સુસમબધ્ધ ઉદ્ગમોને રજૂ કરે છે. (b) આપેલ ક્ષણે, પાણીની સપાટી ઉપર પાણીના અણુઓ દ્વારા રચાતી ભાત, N (સ્થાનાંતર ના હોય-પ્રસપંદ) અને A (મહત્તમ સ્થાનાંતર હોય-નિષ્પંદ) રેખાઓ રજૂ કરે છે.

પાણી ભરેલાં (છીછરાં) પાત્ર [આકૃતિ 10.8(a)]માં બે સોય S_1 અને S_2 ઉપર-નીચેની દિશામાં સમાન રીતે પાણીની સપાટીને અડકે તેમ આવર્તગતિ કરે છે. તેઓ બે જલ તરંગો ઉત્પન્ન કરે છે, અને કોઈ ચોક્કસ બિંદુ આગળ, દરેક તરંગને કારણે ઉત્પન્ન થતા સ્થાનાંતરો વચ્ચેનો કળા તફાવત સમય સાથે બદલાતો નથી; જ્યારે આવું બને છે ત્યારે બંને ઉદ્ગમો સુસમ્બધ્ધ છે તેમ કહેવાય છે. [આકૃતિ 10.8(b)], આપેલ સમયે શૃંગનાં સ્થાનો (સળંગ વર્તુળો) અને ગર્તનાં સ્થાનો (ત્રૂટક વર્તુળો) દર્શાવેલ છે.

કોઈ બિંદુ P નો વિચાર કરો કે જેના માટે,

$S_1P = S_2P$ છે.

S_1P અને S_2P અંતરો સમાન હોવાથી, S_1 અને S_2થી બિંદુ P સુધી પહોંચતા તરંગોને લાગતો સમય સમાન હશે અને S_1 અને S_2માંથી સમાન કળામાં ઉત્પન્ન થતા તરંગો બિંદુ P આગળ પણ સમાન કળામાં જ પહોંચશે.

આમ, જો બિંદુ P આગળ S_1 ઉદ્ગમ દ્વારા ઉત્પન્ન સ્થાનાંતર.

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

વડે આપી શકાય તો (બિંદુ P આગળ) S_2 ઉદ્ગમ દ્વારા ઉત્પન્ન સ્થાનાંતર પણ નીચે મુજબ આપી શકાય.

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

આપી શકાય. આમ, P આગળ પરિણામી સ્થાનાંતર નીચે મુજબ અપાશે.

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

અપાય છે. હવે, તીવ્રતા કંપવિસ્તારના વર્ગના સમપ્રમાણમાં હોવાથી પરિણામી તીવ્રતા

$I = 4\,I_0$ થશે,

જ્યાં, I_0 એ દરેક સ્વતંત્ર ઉદ્ગમ દ્વારા ઉત્સર્જિત તીવ્રતા છે; I_0 એ a^2ના સમપ્રમાણમાં છે. હકીકતમાં, S_1S_2 પરનાં લંબદ્વિભાજક પરનાં કોઈ પણ બિંદુ આગળ, તીવ્રતા 4 I_0 જ થશે. આ સંજોગોમાં બંને ઉદ્ગમો એકબીજા સાથે સહાયક રીતે વ્યતિકરણ અનુભવે છે તેમ કહેવાય અને તેને આપણે *સહાયક વ્યતિકરણ*થી ઓળખીશું. હવે પછી આપણે બિંદુ Qને ધ્યાનમાં લઈએ [આકૃતિ 10.9(a)] કે જેના માટે,

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

$S_2Q - S_1Q = 2\lambda$

S_1માંથી ઉત્પન્ન તરંગો S_2માંથી ઉત્પન્ન તરંગો કરતા બરાબર બે આવર્ત (ચક્ર, Cycles) વહેલાં પહોંચશે અને તેથી ફરીવાર એકબીજા સાથે કળામાં હશે [આકૃતિ 10.9(a)]. આમ, જો S_1ને કારણે ઉત્પન્ન સ્થાનાંતર નીચે મુજબ આપી શકીએ.

$y_1 = a \cos \omega t$

વડે અપાય, તો S_2 દ્વારા ઉત્પન્ન સ્થાનાંતર

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

વડે અપાય છે જ્યાં, આપણે એ હકીકતનો ઉપયોગ કર્યો કે 2λ જેટલો પથ તફાવત એ 4π જેટલા કળા તફાવતને અનુરૂપ છે. આ બંને સ્થાનાંતરો ફરીવાર એકબીજાની સાથે કળામાં હશે અને તીવ્રતા ફરીવાર $4\ I_0$ થશે કે જે સહાયક વ્યતિકરણ આપે છે. ઉપરના વિશ્લેષણમાં આપણે એવું ધાર્યું કે S_1Q અને S_2Q અંતરો એ (S_1 અને S_2 વચ્ચેનાં અંતર) dની સરખામણીમાં ઘણાં મોટા છે કે જેથી, ભલે S_1Q અને S_2Q સમાન નથી પણ, દરેક ઉદ્ગમ દ્વારા ઉત્પન્ન સ્થાનાંતરનો કંપવિસ્તાર લગભગ સમાન છે.

હવે પછી બિંદુ Rને ધ્યાનમાં લો. [આકૃતિ 10.9(b)] કે જેના માટે

$S_2R - S_1R = -2.5\lambda$

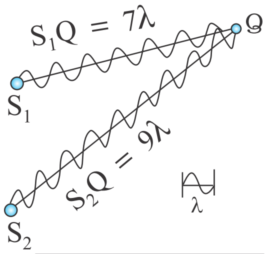
ઉદ્ગમ S_1માંથી ઉત્પન્ન તરંગો, S_2માંથી ઉત્પન્ન તરંગો કરતાં બરાબર અઢી (2.5) આવર્ત (ચક્ર, Cycle) મોડા પહોંચે છે [આકૃતિ 10.10(b)]. આમ, જો S_1 દ્વારા ઉત્પન્ન સ્થાનાંતર નીચે મુજબ આપી શકાય.

$y_1 = a \cos \omega t$

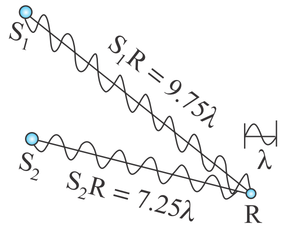
વડે અપાય, તો S_2 દ્વારા ઉત્પન્ન સ્થાનાંતર.

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

વડે અપાય છે. જ્યાં, આપણે એ હકીકતનો ઉપયોગ કર્યો કે 2.5λ જેટલો પથ તફાવત એ 5π જેટલા કળાતફાવતને આનુષંગિક છે, આ બંને સ્થાનાંતરો એકબીજાથી વિરુદ્ધ કળામાં છે અને બંને સ્થાનાંતર એકબીજાની અસર નાબૂદ કરશે અને શૂન્ય તીવ્રતા આપશે. આને *વિનાશક વ્યતિકરણ* કહે છે.



(a)



(b)

આકૃતિ 10.9 (a) બિંદુ Q કે જ્યાં પથ તફાવત 2λ છે ત્યાં રચાતું સહાયક વ્યતિકરણ છે. (b) બિંદુ R કે જ્યાં પથ તફાવત 2.5λ છે ત્યાં આગળ રચાતું વિનાશક વ્યતિકરણ છે.

ટૂંકમાં : જો આપણી પાસે બે સુસમ્બધ્ધ ઉદ્ગમો S_1 અને S_2 સમાન કળામાં દોલન કરતા હોય, તો કોઈ યાદચ્છિક બિંદુ P આગળ જ્યારે પણ પથ તફાવત

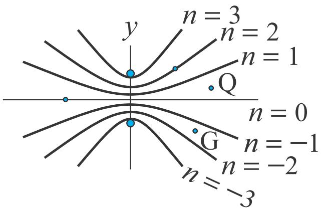
$$S_1P \sim S_2P = n\lambda \ (n = 0, 1, 2, 3, ...) \qquad (10.10)$$

હોય ત્યારે આપણને સહાયક વ્યતિકરણ મળશે અને પરિણામી તીવ્રતા $4\ I_0$ થશે. S_1P અને S_2P વચ્ચેની ~ સંજ્ઞા S_1P અને S_2P વચ્ચેનો તફાવત સૂચવે છે. આનાથી વિપરીત, બિંદુ P એવું હોય કે પથ તફાવત

$$S_1P \sim S_2P = (n + \frac{1}{2})\lambda \qquad (n = 0, 1, 2, ...) \qquad (10.11)$$

થાય તો આપણને *વિનાશક વ્યતિકરણ* મળશે અને પરિણામી તીવ્રતા શૂન્ય થશે. હવે કોઈ અન્ય યાદચ્છિક બિંદુ G (આકૃતિ 10.10) માટે ધારોકે બે સ્થાનાંતરો વચ્ચેનો પથ તફાવત ϕ છે. આમ, જો S_1 દ્વારા ઉત્પન્ન સ્થાનાંતર

$y_1 = a \cos \omega t$



આકૃતિ 10.10 જેના માટે $S_1P - S_2P$ એ શૂન્ય, $\pm\lambda$, $\pm 2\lambda$, $\pm 3\lambda$,ને બરાબર હોય તેવા બિંદુઓનું સ્થાન.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

વડે અપાય, તો S_2 દ્વારા ઉત્પન્ન સ્થાનાંતર.

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

વડે અપાય છે અને પરિણામી સ્થાનાંતર નીચે મુજબ લખી શકાય.

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

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

પરિણામી સ્થાનાંતરનો કંપવિસ્તાર $2a\cos(\phi/2)$ પદ મુજબ અપાશે અને તેથી તે બિંદુ આગળ તીવ્રતા નીચે મુજબ આપી શકાય.

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

જો $\phi = 0, \pm 2\pi, \pm 4\pi...$ કે જે સમીકરણ (10.10) વડે અપાતી શરતને અનુરૂપ હોય તો આપણને સહાયક વ્યતિકરણ મળશે કે જેથી તીવ્રતા મહત્તમ મળશે. આનાથી વિરુદ્ધ, જો $\phi = \pm\pi, \pm 3\pi, \pm 5\pi...$ (કે જે સમીકરણ (10.11)ની શરતને અનુરૂપ છે) તો આપણને વિનાશક વ્યતિકરણ મળશે અને તીવ્રતા શૂન્ય થશે.

હવે જો બે ઉદ્‌ગમો સુસમ્બદ્ધ હોય (એટલેકે બંને સોય ઉપર નીચે નિયમિત રીતે ગતિ કરતી હોય) તો કોઈ પણ બિંદુ આગળ કળા તફાવત સમય સાથે બદલાતો નહીં હોય અને આપણને સ્થિત વ્યતિકરણ ભાત મળશે; એટલે કે મહત્તમ અને ન્યૂનતમનાં સ્થાન સમય સાથે બદલાશે નહીં, પરંતુ બંને સોય અચળ કળાતફાવત જાળવી ના રાખે ત્યારે વ્યતિકરણ ભાત પણ સમય સાથે બદલાશે, અને જો કળાતફાવત સમય સાથે ખૂબ જ ઝડપથી બદલાતો જતો હોય તો મહત્તમ અને ન્યૂનતમનાં સ્થાનો પણ સમય સાથે ઝડપથી બદલાશે અને આપણને તીવ્રતાની સમય-સરેરાશ વહેંચણી જોવા મળશે. આવું જ્યારે પણ થાય, ત્યારે આપણને સરેરાશ તીવ્રતા દેખાશે કે જે

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

વડે અપાય છે. જ્યાં, કોણાકાર કૌંસ સમય પરનું સરેરાશ સૂચવે છે. પરિચ્છેદ 7.2માં દર્શાવ્યા મુજબ ખરેખર જો $\phi(t)$ એ સમય સાથે અસ્તવ્યસ્ત રીતે બદલાતું હોય તો સમય-સરેરાશ પદ $\langle\cos^2(\phi/2)\rangle$, 1/2 જેટલું થાય. આ પણ દેખીતી રીતે જ સહજ છે, કારણકે વિધેય $\cos^2(\phi/2)$ અસ્તવ્યસ્ત રીતે જે 0 થી 1ની વચ્ચે બદલાય છે, તેનું સરેરાશ મૂલ્ય 1/2 થાય. બધા જ બિંદુઓ આગળ પરિણામી તીવ્રતા

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

વડે અપાશે. જ્યારે બે દોલન કરતા ઉદ્‌ગમો વચ્ચેનો કળા તફાવત સમય સાથે બહુ ઝડપથી બદલાતો હોય, ત્યારે આપણે બે ઉદ્‌ગમો અસુસમ્બદ્ધ છે એમ કહીએ છીએ અને આવું જ્યારે થાય ત્યારે તીવ્રતાઓ એકબીજામાં ફક્ત ઉમેરાય છે. જ્યારે બે અલગ પ્રકાશ ઉદ્‌ગમો દિવાલને પ્રકાશિત કરતા હોય ત્યારે ખરેખર આવું બને છે.

Ripple Tank experiments on wave interference
http://www.colorado.edu/physics/2000/applets/fourier.html

PHYSICS

10.5 પ્રકાશ તરંગોનું વ્યતિકરણ અને યંગનો પ્રયોગ (INTERFERENCE OF LIGHT WAVES AND YOUNG'S EXPERIMENT)

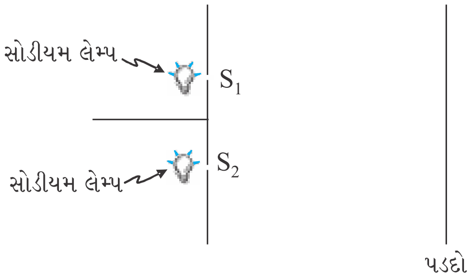
હવે આપણે પ્રકાશ તરંગોની મદદથી વ્યતિકરણની ચર્ચા કરીશું. આપણે જો બે સોડીયમ લૅમ્પનો ઉપયોગ કરી બે નાના છિદ્રોને પ્રકાશિત કરીએ (આકૃતિ 10.11) તો આપણને કોઈ પણ પ્રકારની વ્યતિકરણ શલાકાઓ જોવા મળશે નહીં. આવું થવાનું કારણ એ છે કે, સામાન્ય ઉદ્‌ગમ (સોડીયમ લૅમ્પ જેવાં) માંથી ઉત્સર્જિત પ્રકાશ તરંગ 10^{-9} સેકન્ડના સમયગાળામાં ત્વરીત (Abrupt) કળા તફાવત

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

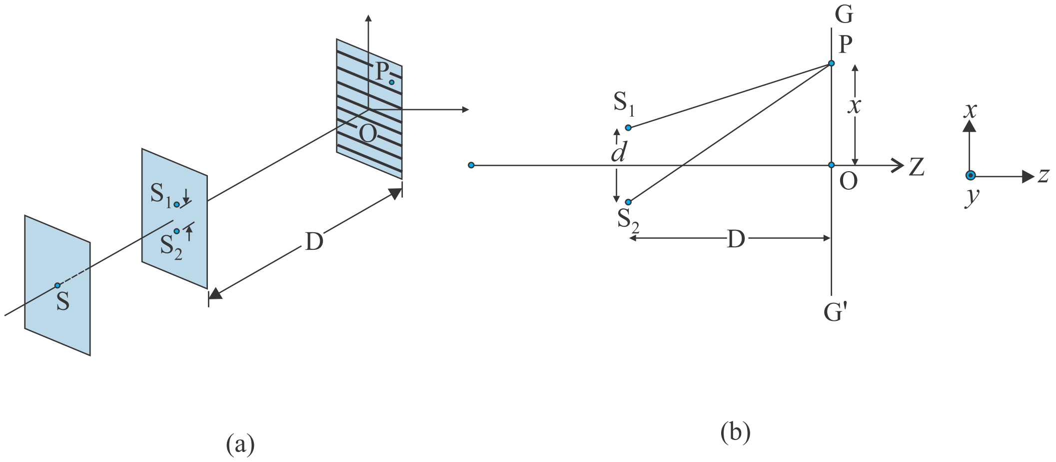
અનુભવતા હોય છે. આમ, બે સ્વતંત્ર ઉદ્ગમોમાંથી આવતા પ્રકાશ તરંગો માટે કોઈ ચોક્કસ કળા સંબંધ જળવાતો નથી અને તેથી તે અસુસમ્બધ્ધ હશે. જ્યારે આવું બને ત્યારે અગાઉના પરિચ્છેદમાં જોયું તેમ પડદા પરની તીવ્રતા એકબીજામાં (ફક્ત) ઉમેરાશે.

બ્રિટીશ ભૌતિકવિજ્ઞાની થોમસ યંગે યુક્તિપૂર્વક (Ingenious) S_1 અને S_2માંથી ઉત્સર્જિત તરંગોનો કળા તફાવત 'Lock' કરવાની તક્નિકનો ઉપયોગ કર્યો. તેણે એક અપારદર્શક પડદા [આકૃતિ 10.12(a)] ઉપર (ખૂબ પાસપાસે રહેલા) બે નાના S_1 અને S_2 સૂક્ષ્મ છિદ્રો કર્યા. આ બંનેને એક બીજા (અન્ય) સૂક્ષ્મ છિદ્ર S વડે પ્રકાશિત કર્યા કે જે પોતે પાછું એક તેજસ્વી ઉદ્ગમથી પ્રકાશિત કરેલું હતું.



આકૃતિ 10.11 જો બે સોડીયમ લૅમ્પ બે છિદ્રો S_1 અને S_2ને પ્રકાશિત કરે તો, તીવ્રતાનો સરવાળો થાય છે અને પડદા ઉપર વ્યતિકરણ શલાકાઓ જોવા મળશે નહીં.

પ્રકાશતરંગો S માંથી બહાર તરફ ફેલાય અને S_1 અને S_2 બંને ઉપર પડે છે. પછી S_1 અને S_2 સુસમ્બધ્ધ ઉદ્ગમોની જેમ વર્તે છે કારણ કે S_1 અને S_2માંથી બહાર આવતા પ્રકાશ તરંગો એક જ મૂળ ઉદ્ગમમાંથી જ મેળવેલા છે અને કોઈ પણ પ્રકારનો ત્વરીત કળા-ફેરફાર એ S_1 અને S_2માંથી બહાર નીકળતા પ્રકાશમાં બરાબર એક સરખો કળા-ફેરફાર કરશે. આમ, કળા સંદર્ભમાં જાણે કે, બે ઉદ્ગમો S_1 અને S_2 Lock થઈ ગયાં છે; એટલે કે, તેઓ આપણાં પાણીમાંના તરંગોના ઉદાહરણ [આકૃતિ 10.8(a)]માંની બે સોયની જેમ બે સુસમ્બદ્ધ ઉદ્ગમો બનશે.



(a) (b)

આકૃતિ 10.12 વ્યતિકરણ ભાત મેળવવા માટેની યંગની વ્યવસ્થા.

આમ, S_1 અને S_2માંથી ઉત્સર્જિત ગોળાકાર તરંગો, આકૃતિ 10.12(b)માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે, પડદા GG' પર વ્યતિકરણ શલાકાઓ રચે છે. પરિચ્છેદ 10.4માં દર્શાવ્યા મુજબ મહત્તમ અને ન્યૂનતમ તીવ્રતાઓના સ્થાન ગણી શકાય, કે જ્યાં આપણે દર્શાવ્યું હતું કે રેખા GG' [આકૃતિ 10.12(b)] પર આવેલ કોઈ યાદચ્છિક બિંદુ P આગળ તીવ્રતા જો મહત્તમ હોય તો,

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

થવું જ જોઈએ.

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

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

થોમસ યંગ (Thomas Young) (1773-1829)

થોમસ યંગ (Thomas Young) (1773-1829) અંગ્રેજ ભૌતિક-વિજ્ઞાની, ચિકિત્સક અને ઈજિપ્તના પુરાતન અવશેષોનું અધ્યયન કરનાર. યંગે આંખના બંધારણ અને દૃષ્ટિ માટેની કાર્ય પ્રદ્ધત્તિથી રૉસેટા પથ્થર પરના ગૂઢ ભાષાના અગમ્ય લખાણના ઉકેલ સુધીના જુદાજુદા વૈજ્ઞાનિક કોયડાઓ પર કાર્ય કર્યું. તેણે પ્રકાશના તરંગવાદની વ્યતિકરણની ઘટના કે જે પ્રકાશનો તરંગપણાનો ગુણધર્મ ધરાવે છે તેની સાબિતી આપી, જેની મદદથી તરંગવાદને જીવતદાન આપ્યું.

જ્યાં, $S_1S_2 = d$ અને OP $= x$. આમ,

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

જો $x, d << D$ હોય તો $S_2P + S_1P$ (છેદમાં)ને સ્થાને 2D મૂકતાં અવગણ્ય ત્રૂટિ દાખલ થશે.

ઉદાહરણ તરીકે, $d = 0.1$ cm માટે D = 100 cm, OP = 1 cm (કે જે પ્રકાશ તરંગોથી કરવામાં આવતા પ્રયોગોમાં લાક્ષણિક મૂલ્યોને અનુરૂપ છે), તો

$$S_2P + S_1P = [(100)^2 + (1.05)^2]^{1/2} + [(100)^2 + (1.95)^2]^{1/2}$$
$$\approx 200.01 \text{ cm}$$

આમ, આપણે જો $S_2P + S_1P$ ને સ્થાને 2 D મૂકીએ તો સંકળાયેલ ત્રૂટિ લગભગ 0.005 % થશે. આ સંનિકટતામાં, સમીકરણ (10.16) નીચે મુજબ થશે.

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

તેથી, જ્યારે

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

થાય ત્યારે આપણને સહાયક વ્યતિકરણ મળશે, પરિણામે તે વિભાગ પ્રકાશિત બનશે. તેનાથી ઊલટું, જ્યારે $\frac{xd}{D} = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda$; એટલે કે,

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

થશે. ત્યારે આપણને અપ્રકાશિત વિભાગ મળશે.

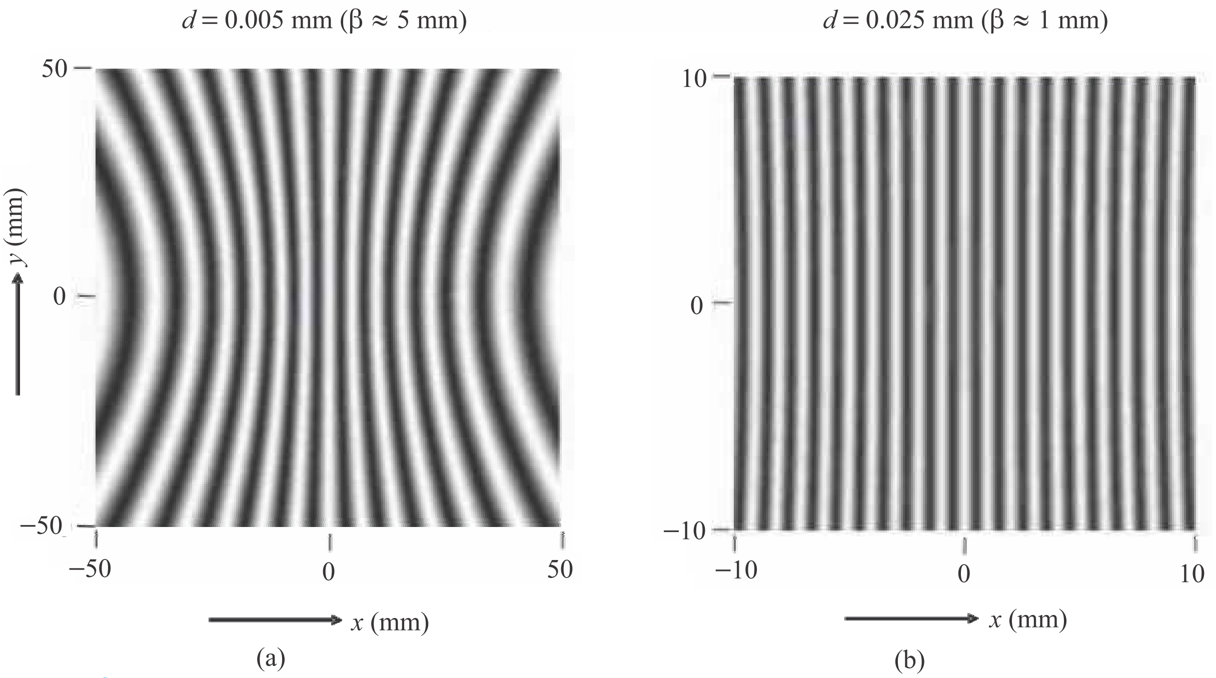
આમ, આકૃતિ 10.13માં દર્શાવ્યા અનુસાર પડદા પર પ્રકાશિત અને અપ્રકાશિત પટ્ટાઓ જોવા મળશે. આવા પટ્ટાઓને *શલાકાઓ* કહે છે. સમીકરણો (10.18) અને (10.19) દર્શાવે છે કે અપ્રકાશિત અને પ્રકાશિત શલાકાઓ વચ્ચેનું અંતર સમાન હોય છે અને બે ક્રમિક પ્રકાશિત કે બે ક્રમિક અપ્રકાશિત શલાકાઓ વચ્ચેનું અંતર

$$\beta = x_{n+1} - x_n \;;\; \text{અથવા } \beta = \frac{\lambda D}{d} \qquad (10.20)$$

વડે અપાય છે, કે જે *શલાકાઓની પહોળાઈ* માટેનું સમીકરણ છે. અત્રે, એ સ્વાભાવિક છે કે (આકૃતિ 10.12માં) કેન્દ્ર આગળનું બિંદુ O એ પ્રકાશિત હશે કારણકે $S_1O = S_2O$ અને તે $n = 0$ [સમીકરણ (10.18)] ને આનુષંગિક છે. હવે જો આપણે પુસ્તકના સમતલને લંબ અને જે Oમાંથી પસાર થતી હોય [એટલે કે, Y-અક્ષને સમાંતર] તેવી રેખા વિચારીએ તો તે રેખા પરના બધા બિંદુઓ S_1, S_2 થી સમાન અંતરે આવેલા હશે અને આપણને મધ્યસ્થ પ્રકાશિત શલાકા મળશે કે જે આકૃતિ 10.13માં દર્શાવ્યા અનુસાર સુરેખા હશે. પડદા ઉપર વ્યતિકરણ ભાતનો આકાર નક્કી કરવા માટે આપણે એ નોંધીએ કે કોઈ ચોક્કસ શલાકાએ એવા બિંદુઓના સ્થાનોને અનુરૂપ હોય છે કે જેના માટે $S_2P - S_1P$ અચળ હશે. જ્યારે જ્યારે આ અચળાંક λના પૂર્ણાંકગુણાંક બરાબર થશે ત્યારે શલાકા પ્રકાશિત હશે અને જ્યારે જ્યારે તે λ/2ના એકી પૂર્ણાંકગુણાંક બરાબર થશે ત્યારે તે અપ્રકાશિત હશે. જ્યારે *xy*-સમતલમાં રહેલ P બિંદુ કે જેથી $S_2P - S_1P$ (= Δ) અચળ હોય ત્યારે તે બિંદુનો ગતિપથ અતિવલય (Hyperbola) છે. આમ, વધુ ચોક્કસાઈથી તો, શલાકાઓની ભાત એકદમ અતિવલય જ હોય છે, પરંતુ જો શલાકાની પહોળાઈની સરખામણીમાં D ખૂબ જ વધારે હોય તો શલાકાઓ લગભગ સુરેખા હોય છે, જે આકૃતિ 10.13માં દર્શાવેલ છે.

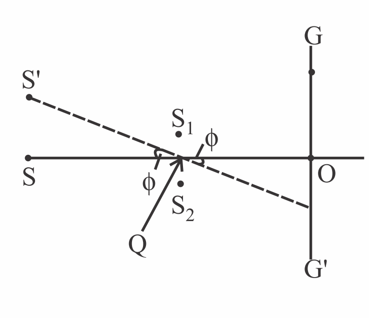
Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com



આકૃતિ 10.13 બે બિંદુવત્ ઉદ્ગમો S_1 અને S_2 માટે પડદા GG' (આકૃતિ 10.12) ઉપર કૉમ્પ્યુટર દ્વારા મેળવેલ શલાકાઓની ભાત; (a) અને (b) એ અનુક્રમે $d = 0.005$ mm અને $d = 0.025$ mmને અનુરૂપ છે (બંને આકૃતિઓમાં D = 5 cm અને $\lambda = 5 \times 10^{-5}$ cm છે.) (A. Ghatak, નાં પુસ્તક OPTICS ટાટા મેકગ્રોહીલ પબ્લીશીંગ કાં. લિમિટેડ, નવી દિલ્હી, 2000 માંથી લીધેલ છે.)

આકૃતિ 10.12 (b)માં દર્શાવેલ બે સ્લિટ પ્રયોગમાં, આપણે બે સ્લિટના લંબદ્વિભાજક રેખા SO ઉપર ઉદ્ગમ-છિદ્ર Sને લીધેલ છે ; જો ઉદ્ગમ S એ લંબદ્વિભાજકથી થોડે દૂર હોય તો શું થાય ? એવું વિચારો કે ઉદ્ગમ Sને કોઈક નવા સ્થાન S' આગળ ખસેડવામાં આવે છે અને ધારોકે Q એ S_1 અને S_2નું મધ્યબિંદુ છે. જો ખૂણો S'QS એ ϕ હોય તો મધ્યસ્થ પ્રકાશિત શલાકાએ, બીજી બાજુ, $-\phi$ જેટલા કોણે રચાશે. આમ જો ઉદ્ગમ S એ લંબદ્વિભાજક ઉપર આવેલો હોય તો મધ્યસ્થ શલાકા બિંદુ O આગળ અને લંબદ્વિભાજક ઉપર જ રચાશે. હવે, જો S એ ϕ જેટલા કોણે બિંદુ S' સુધી ખસે તો મધ્યસ્થ શલાકા $-\phi$ કોણે બિંદુ O' આગળ રચાશે. એનો અર્થ એ થયો કે તે લંબદ્વિભાજકની બીજીબાજુ એટલા જ કોણે ખસે છે. આનો અર્થ એ પણ થયો કે ઉદ્ગમ S', મધ્યબિંદુ Q અને મધ્યસ્થ શલાકાનું બિંદુ O' એક જ રેખામાં હશે.



ડૅનીસ્ ગાબર * (Dennis Gabor)ના નૉબેલ વ્યાખ્યાનની નોંધ સાથે આ વિભાગ પૂર્ણ કરીએ.

થોમસ યંગ દ્વારા 1801માં કરવામાં આવેલ અદ્ભુત સરળ પ્રયોગ દ્વારા પ્રકાશનો તરંગ સ્વભાવ પ્રથમ વખત ખાતરીપૂર્વક (Convincingly) દર્શાવવામાં આવ્યો. તેણે સૂર્યપ્રકાશના કિરણને રૂમમાં દાખલ થવા દીધો, તેની આગળ કાળો પડદો રાખ્યો, તેમાં બે નાના છિદ્રો કર્યાં, અને તેનાથી આગળ અમુક અંતરે એક સફેદ પડદો રાખ્યો. તેણે બે પ્રકાશિત રેખાઓનાં બંને છેડે પ્રમાણમાં બે અપ્રકાશિત રેખાઓ જોઈ. આ ઘટનાએ તેને આ પ્રયોગ ફરીવાર કરવા પૂરતું પ્રોત્સાહન આપ્યું, પણ આ વખતે પ્રકાશ ઉદ્ગમ તરીકે સ્પિરિટ જ્યોત લીધી કે જેમાં થોડુંક મીઠું ઉમેરતાં સોડિયમનો તેજસ્વી પીળો પ્રકાશ ઉત્પન્ન થયો.

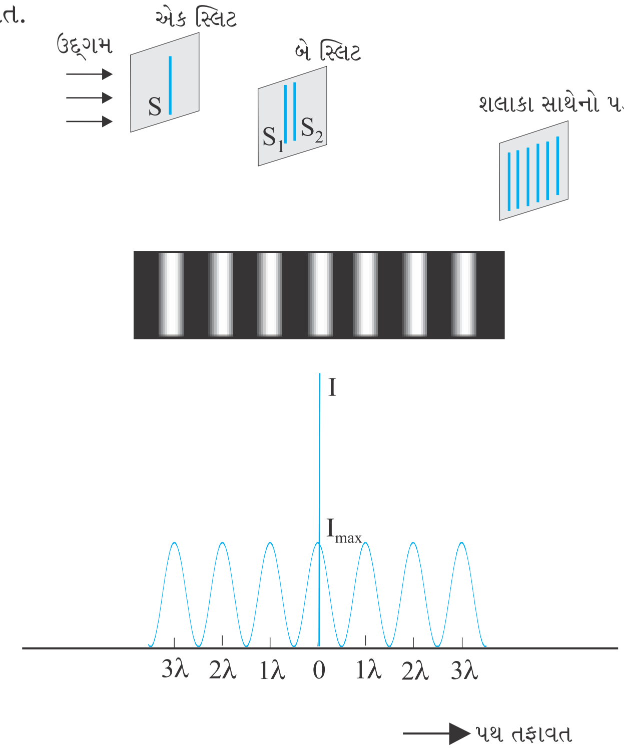
* ડૅનીસ ગાબર (Dennis Gabor)ને 1971માં ભૌતિકશાસ્ત્રમાં હોલોગ્રાફીનો સિદ્ધાંતો શોધવા માટે નૉબેલ પુરસ્કારથી નવાજવામાં આવ્યા હતા.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

આ વખતે તેણે સંખ્યાબંધ અપ્રકાશિત શલાકાઓ જોઈ, કે જે એકબીજાથી સરખા અંતરે હોય. આ પહેલી વખતની સ્પષ્ટ સાબિતી હતી કે પ્રકાશ એકબીજામાં ઉમેરાઈને અંધારું આપી શકે. આ ઘટનાને વ્યતિકરણ કહે છે. થોમસ યંગે આની અપેક્ષા રાખેલી હતી, કારણકે તે પ્રકાશના તરંગવાદમાં માનતો હતો.

આપણે અહીં એ જણાવવું જોઈએ કે S_1 અને S_2 બિંદુવત્ ઉદ્ગમો હોવા છતાં શલાકાઓ સીધી રેખા તરીકે મળે છે. જો આપણે બિંદુવત્ત ઉદ્ગમને બદલે સ્લિટ (આકૃતિ 10.14) લીધી હોત તો દરેક બિંદુઓની દરેક જોડ દ્વારા સુરેખ શલાકાઓ ઉત્પન્ન થઈ હોત અને પરિણામે વધેલી તીવ્રતા સાથેની સુરેખ શલાકાઓ મળત.



આકૃતિ 10.14 યંગના બે સ્લિટના પ્રયોગનો ફોટોગ્રાફ અને તીવ્રતા વિતરણનો આલેખ.

Interactive animation of Young's experiment
http://vsg.quashome.com/interfer.html

PHYSICS

ઉદાહરણ 10.3

ઉદાહરણ 10.3 બે સ્લિટો વચ્ચેનું અંતર 1 mm અને પડદો 1 m દૂર રાખવામાં આવેલ છે. જ્યારે 500 nm તરંગલંબાઈનો બ્લ્યુ-ગ્રીન પ્રકાશ વાપરવામાં આવે ત્યારે શલાકાઓ વચ્ચેનું અંતર કેટલું હશે ?

ઉકેલ શલાકાઓ વચ્ચેનું અંતર $= \dfrac{D\lambda}{d} = \dfrac{1 \times 5 \times 10^{-7}}{1 \times 10^{-3}}$ m

$= 5 \times 10^{-4}$ m $= 0.5$ mm

ઉદાહરણ 10.4

ઉદાહરણ 10.4 નીચે દર્શાવેલ દરેક ક્રિયાને કારણે યંગના બે સ્લિટના પ્રયોગમાં વ્યતિકરણ શલાકાઓ ઉપર શું અસર થશે ?

(a) સ્લિટ ધરાવતા સમતલથી પડદાને દૂર ખસેડવામાં આવે;
(b) આપેલ (એકરંગી) પ્રકાશ ઉદ્ગમને બદલીને બીજો નાની તરંગલંબાઈ ધરાવતો (એકરંગી) પ્રકાશ ઉદ્ગમ લેવામાં આવે;
(c) બે સ્લિટ વચ્ચેનું અંતર વધારવામાં આવે;
(d) બે સ્લિટ ધરાવતા સમતલની નજીક ઉદ્ગમ-સ્લિટને ખસેડવામાં આવે;
(e) ઉદ્ગમ-સ્લિટની પહોળાઈ વધારવામાં આવે;

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

(f) એકરંગી પ્રકાશ ઉદ્‌ગમને બદલે સફેદ પ્રકાશ લેવામાં આવે :
(ઉપરના દરેક કિસ્સામાં જે સ્પષ્ટ રૂપે આપેલ છે તે સિવાયના બધા પ્રાચલોને અચળ લો.)

ઉકેલ

(a) ક્રમિક શલાકાઓ વચ્ચેનું કોણીય અંતર ($=\lambda/d$) અચળ રહે છે. વાસ્તવમાં શલાકાઓ વચ્ચેનું અંતર પડદાથી બે સ્લિટો ધરાવતા સમતલના અંતરના સમપ્રમાણ વધે છે.

(b) શલાકાઓ વચ્ચેનું અંતર (અને કોણીય અંતર પણ) ઘટે છે, પરંતુ નીચે આપેલ મુદ્દા (d)માં દર્શાવેલ શરત ધ્યાનમાં લો.

(c) શલાકાઓ વચ્ચેનું અંતર (અને કોણીય અંતર પણ) ઘટે છે, પરંતુ નીચે આપેલ મુદ્દા (d)માં દર્શાવેલ શરત ધ્યાનમાં લો.

(d) ધારોકે ઉદ્‌ગમનું માપ s છે અને બે સ્લિટ ધરાવતા સમતલથી તેનું અંતર S છે. વ્યતિકરણ શલાકા દેખાય તે માટેની શરત $s/S < \lambda/d$ સંતોષાવી જોઈએ; અન્યથા ઉદ્‌ગમના જુદા-જુદા ભાગને કારણે ઉત્પન્ન થતી શલાકાઓ એકબીજા ઉપર સંપાત થાય છે અને કોઈ શલાકાઓ દેખાતી નથી. આમ, જેમ S ઘટશે (એટલે કે, ઉદ્‌ગમ-સ્લિટ નજીક લાવતાં) તેમ વ્યતિકરણ ભાતની તીક્ષ્ણતા (સ્પષ્ટતા) ઘટતી જાય છે, અને જ્યારે ઉદ્‌ગમને ખૂબ જ એટલું નજીક લાવવામાં આવે કે જેથી આ શરત ન પળાય, ત્યારે શલાકાઓ દેખાતી બંધ થાય છે. આ જ્યાં સુધી થાય (પળાય) ત્યાં સુધી બે શલાકાઓ વચ્ચેનું અંતર અચળ જળવાઈ રહે છે.

(e) મુદ્દા (d)માં દર્શાવ્યા મુજબ જ. જેમ ઉદ્‌ગમ-સ્લિટની પહોળાઈ વધારતા જઈએ તેમ વ્યતિકરણ ભાત ઓછી અને ઓછી સ્પષ્ટ થતી જાય છે, જ્યારે ઉદ્‌ગમ-સ્લિટ એટલી પહોળી થાય કે જેથી $s/S \le \lambda/d$ શરત ન પળાય, ત્યારે વ્યતિકરણ ભાત દેખાવવાની બંધ થઈ જાય છે.

(f) સફેદ પ્રકાશની જુદા-જુદા ઘટક રંગના ઘટકોને કારણે મળતી વ્યતિકરણ ભાતો એકબીજા ઉપર (અસુસમ્બધ્ધ રીતે) સંપાત થાય છે. જુદાજુદા રંગોને કારણે મળતી મધ્યસ્થ પ્રકાશિત શલાકાઓ એક જ સ્થાને મળે છે. તેથી, મધ્યસ્થ શલાકા સફેદ છે. બિંદુ P, કે જેના માટે $S_2P - S_1P = \lambda_b/2$, જ્યાં, $\lambda_b (\approx 4000\ \text{Å})$ એ વાદળી (બ્લ્યુ) રંગની તરંગલંબાઈ દર્શાવે છે, ત્યાં આગળ (વાદળી) બ્લ્યુ ઘટક ગેરહાજર હશે અને શલાકા રાતા રંગની દેખાશે. તેનાથી થોડેક દૂર જતાં $S_2Q - S_1Q = \lambda_b = \lambda_r/2$, જ્યાં, $\lambda_r (\approx 8000\ \text{Å})$ એ રાતા રંગની તરંગલંબાઈ છે, ત્યાં શલાકા મુખ્યત્વે વાદળી (બ્લ્યુ) રંગની દેખાશે.
આમ, મધ્યસ્થ સફેદ શલાકાની બંને બાજુ તદ્દન નજીક આવેલ શલાકાએ રાતા રંગની અને સૌથી દૂર આવેલી શલાકા વાદળી (બ્લ્યુ) રંગની દેખાશે. અમુક શલાકાઓ પછી શલાકાની ભાત સ્પષ્ટ દેખાતી નથી.

ઉદાહરણ 10.4

10.6 વિવર્તન (DIFFRACTION)

આપણે જો અપારદર્શક વસ્તુ દ્વારા રચાયેલ પડછાયાને ધ્યાનથી જોઈએ તો તેના ભૌમિતિક પડછાયાની નજીકના વિસ્તારમાં, આપણને વ્યતિકરણમાં જેવા મળે છે તેવા જ વારાફરતી અપ્રકાશિત અને પ્રકાશિત વિસ્તાર જોવા મળે છે. આવું વિવર્તનની ઘટનાને કારણે થાય છે. વિવર્તન એ બધા જ પ્રકારના તરંગો, તે ભલેને ધ્વનિતરંગો, પ્રકાશ તરંગો, પાણી પરના તરંગો કે દ્રવ્ય તરંગો હોય, દ્વારા દર્શાવવાતો એક વ્યાપક

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

ગુણધર્મ છે. પ્રકાશની તરંગલંબાઈ મોટાભાગના અડચણોના પરિમાણોની સરખામણીમાં નાની હોવાથી આપણને રોજબરોજની જીંદગીમાં પ્રકાશની વિવર્તન અસર જોવા મળતી નથી. પરંતુ, આપણી આંખની અથવા પ્રકાશીય ઉપકરણો જેવાકે ટેલીસ્કોપ અથવા માઈક્રોસ્કોપની પરિમિત વિભેદન શક્તિ એ વિવર્તન ઘટનાને કારણે સીમિત થાય છે. CD (Compac disk) ને જોતાં તેના પર દેખાતા રંગો ખરેખર વિવર્તન અસરોને કારણે છે, હવે આપણે વિવર્તન ઘટનાની ચર્ચા કરીશું.

10.6.1 એક સ્લિટ (The Single Slit)

યંગના પ્રયોગની ચર્ચામાં, આપણે નોંધ્યું કે એક પાતળી સ્લિટ એક નવા ઉદ્‌ગમ તરીકે વર્તે છે, જેમાંથી પ્રકાશ બહાર તરફ ફેલાય છે. યંગ કરતા પહેલાંના ન્યુટન સહિતના પ્રયોગકર્તાઓએ પણ એવું નોંધ્યું હતું કે નાના છિદ્રોમાંથી કે પાતળી સ્લિટમાંથી પ્રકાશ ફેલાય છે, તે ખૂણાઓ આગળથી વાંકુ વળે છે, અને એવો ભાગ કે જ્યાં આપણે પડછાયો અપેક્ષિત કર્યો હોય તે ભાગમાં પણ દાખલ થાય છે. *વિવર્તન* તરીકે ઓળખાતી આ અસરોની સાચી સમજ તરંગ વિચારથી જ આપી શકાય છે. ખૂણામાં ઉભેલી વ્યક્તિ દ્વારા થતી વાતોના ધ્વનિ તરંગો સાંભળીને તમે સહેજ પણ અચંબિત થતા નથી !

યંગના પ્રયોગમાં બે સ્લિટને સ્થાને એક પાતળી સ્લિટ મૂકવામાં આવે છે (જેને એકરંગી ઉદ્‌ગમથી પ્રકાશિત કરવામાં આવે છે), ત્યારે પડદા ઉપર મધ્યસ્થ પ્રકાશિત ભાગ ધરાવતી પહોળી ભાત જોવા મળે છે. બંને બાજુએ, વારાફરતી અપ્રકાશિત અને પ્રકાશિત વિભાગો જોવા મળે છે કે જેની તીવ્રતા કેન્દ્રથી દૂર જતા જઈએ તેમ નબળી પડતી જાય છે. (આકૃતિ 10.16). આ સમજવા માટે, આકૃતિ 10.15 જુઓ, જે દર્શાવે છે કે એક a પહોળાઈની સ્લિટ LN ઉપર એક સમાંતર પ્રકાશ કિરણ લંબરૂપે પડે છે. વિવર્તીત પ્રકાશ આગળ જઈ પડદા ઉપર મળે છે. સ્લિટનું મધ્યબિંદુ M છે.

Mમાંથી પસાર થતી અને સ્લિટના સમતલને લંબ સુરેખાએ પડદાના C બિંદુએ મળે છે. આપણને પડદા પરના કોઈ બિંદુ P આગળ તીવ્રતા જોઈએ છે. અગાઉની જેમ જ બિંદુઓ L, M, N વગેરેને બિંદુ P સાથે જોડતી સુરેખાઓને એકબીજા સાપેક્ષ સમાંતર ગણી શકાય કે જે લંબ MC સાથે θ કોણ બનાવે છે.

અત્રે, મૂળભૂત વિચાર એવો છે કે સ્લિટને આપણે ખૂબ નાના નાના વિભાગમાં વહેંચી દઈએ અને P આગળ તેમના દરેકના ફાળાને યોગ્ય કળા તફાવત સાથે ઉમેરીએ. આપણે સ્લિટ આગળ તરંગઅગ્રના જુદા જુદા વિભાગોને ગૌણ ઉદ્‌ગમો તરીકે લઈએ છીએ. કારણ કે આપાત તરંગઅગ્રએ સ્લિટના સમતલને સમાંતર છે, અને આ ઉદ્‌ગમો એકબીજા સાથે સમાન કળામાં છે.

સ્લિટના બે છેડાઓ વચ્ચેનો પથતફાવત NP – LPને યંગના પ્રયોગની જેમ જ ગણી શકાય. આકૃતિ 10.15 પરથી,

$$\begin{aligned} NP - LP &= NQ \\ &= a \sin\theta \\ &\approx a\theta \text{ (નાના ખૂણા માટે)} \end{aligned} \qquad (10.21)$$

તે જ રીતે, સ્લિટના સમતલમાં આવેલા બે બિંદુઓ M_1 અને M_2 વચ્ચેનું અંતર y હોય તો પથ તફાવત $M_2P - M_1P \approx y\theta$ છે. હવે, આપણે ઘણાં બધા ઉદ્‌ગમોનાં સમાન અને સુસમ્બધ્ધ ફાળાનો સરવાળો કરવાનો છે, જે દરેક જુદી જુદી કળા ધરાવે છે. આવી ગણતરી ફ્રેનલ (Fresnel) એ સંકલનના કલનશાસ્ત્રની મદદથી કરી હતી, તેથી તેને આપણે અત્રે ધ્યાનમાં નહીં લઈએ. વિવર્તન ભાતની મુખ્ય લાક્ષણિકતાઓ સરળ તર્કની મદદથી સમજી શકાય છે.

પડદાના મધ્યબિંદુ C આગળ કોણ θ શૂન્ય છે. બધા જ પથતફાવતો શૂન્ય છે અને તેથી સ્લિટના દરેક ભાગ સમાન કળામાં રહીને ફાળો આપે છે. આ C બિંદુ આગળ મહત્તમ તીવ્રતા મળે છે.

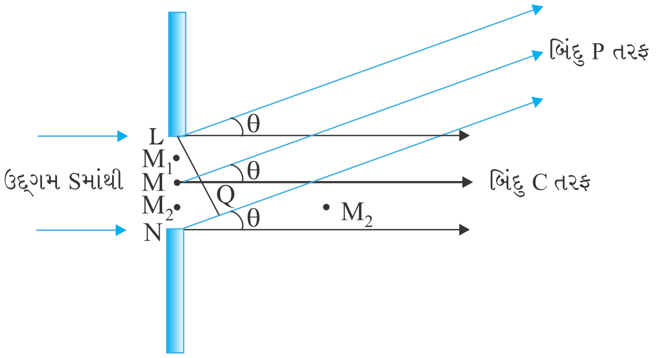
Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

આકૃતિ 10.15માં દર્શાવેલ પ્રાયોગિક અવલોકન સૂચવે છે કે તીવ્રતા $\theta = 0$ આગળ મધ્યસ્થ અધિક્તમ અને $\theta \approx (n + 1/2)\lambda/a$ આગળ બીજા ગૌણ મહત્તમો અને $\theta \approx n\lambda/a$ આગળ ન્યૂનતમો (શૂન્ય તીવ્રતા) આપે છે; જ્યાં $n = \pm1, \pm2, \pm3, \ldots$ છે. અત્રે, એ સહેલાઈથી જોઈ શકાય છે કે આ ખૂણાઓ આગળ ન્યૂનતમો કેમ આવેલા છે પહેલા એવો θ ધ્યાનમાં લો કે જેથી પથતફાવત $a\theta$ એ λ જેટલો હોય તો

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

હવે, સ્લિટને બે સરખાં ભાગ LM અને MNમાં વહેંચો, કે જેથી દરેકની લંબાઈ $a/2$ થાય. LMના દરેક બિંદુ M_1 માટે MNમાં કોઈક બિંદુ M_2 એવું મળશે કે જેથી $M_1M_2 = a/2$ થાય. બિંદુ P આગળ આપેલ કોણ માટે M_1 અને M_2 વચ્ચેનો પથ તફાવત $M_2P - M_1P = \theta a/2 = \lambda/2$ થશે.



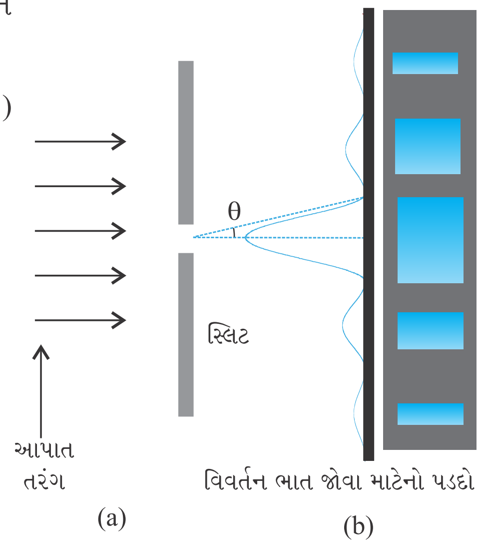
આકૃતિ 10.15 એક સ્લિટથી થતા વિવર્તન માટે પથ તફાવત દર્શાવતી ભૂમિતિ.

આનો અર્થ એ થયો કે M_1 અને M_2માંથી આવતો ફાળો (યોગદાન) એકબીજાની સાથે 180°નો કળા તફાવત ધરાવે છે અને $\theta = \lambda/a$ દિશામાં એકબીજાની અસર નાબૂદ કરે છે. સ્લિટના બે ભાગો LM અને MNનો ફાળો આ કારણથી એકબીજાને નાબૂદ કરશે. સમીકરણ (10.22) એ કયા કોણે તીવ્રતા ઘટીને શૂન્ય થશે તે દર્શાવે છે. આ જ રીતે આપણે દર્શાવી શકીએ કે $\theta = n\lambda/a$ માટે તીવ્રતા શૂન્ય થશે, જ્યાં n એ પૂર્ણાંક છે (શૂન્ય સિવાયનો !). અત્રે, એ નોંધો કે જ્યારે સ્લિટની પહોળાઈ a ઘટાડવામાં આવે છે ત્યારે મધ્યસ્થ અધિક્તમની કોણીય પહોળાઈ વધે છે.

$\theta = (n + 1/2)\lambda/a$ આગળ મહત્તમો કેમ મળે છે અને શા માટે તે nની કિંમત વધતા વધારેને વધારે નબળા પડતા જાય તે પણ સહેલાઈથી જોઈ શકાય છે. એક $\theta = 3\lambda/2a$ કોણ ધ્યાનમાં લો કે જે બે અપ્રકાશિત શલાકાઓની મધ્યમાં આવેલ છે. સ્લિટને ત્રણ સરખા ભાગમાં વહેંચો. જો આપણે સ્લિટના પહેલા બે તૃતીયાંશ ભાગને ધ્યાનમાં લઈએ, તો તેમના બે છેડા વચ્ચેનો પથતફાવત નીચે મુજબ મળશે.

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

સ્લિટનો પ્રથમ બે-ત્ર્યાંશ ભાગ તેથી જ જેને $\lambda/2$ જેટલો પથતફાવત છે તેવા બે અર્ધભાગમાં વહેંચાયેલા છે. અગાઉ વર્ણવ્યું તે મુજબ આ બંને અર્ધભાગોનો ફાળો એકબીજાની અસર નાબૂદ કરે છે. સ્લિટનો બાકી રહેલો એક તૃત્યાંશ ભાગ જ બે ન્યૂનતમો વચ્ચેના બિંદુ આગળ તીવ્રતા આપે છે. તે સ્પષ્ટ જ છે કે આની તીવ્રતા મધ્યસ્થ મહત્તમ, કે જ્યાં પૂરેપૂરી સ્લિટ એકસાથે કળામાં પોતાનું યોગદાન આપે છે તેના કરતાં ખૂબ જ નબળી હશે. આ જ રીતે આપણે બતાવી શકીએ કે $(n + 1/2)\lambda/a$ આગળ મહત્તમો મળશે કે જ્યાં, $n = 2, 3, \ldots$ વગેરે. વધતાં n સાથે તેમની તીવ્રતા નબળી પડતી જશે, કારણ કે આ કિસ્સામાં સ્લિટનો ફક્ત એક પંચમાંશ, એક સપ્તમાંશ, વગેરે ભાગ જ ફાળો આપશે. આને અનુરૂપ ફોટોગ્રાફ અને તીવ્રતા-ભાત (આકૃતિ 10.16)માં દર્શાવેલ છે.



આકૃતિ 10.16 એક સ્લિટથી મળતા વિવર્તન માટે તીવ્રતા વહેંચણી અને શલાકાઓનો ફોટોગ્રાફ.

આ ઘટનાની શોધ થઈ ત્યારથી જ વૈજ્ઞાનિકો વચ્ચે વ્યતિકરણ અને વિવર્તન વચ્ચેના તફાવત માટે ખૂબ જ લાંબી ચર્ચા થયેલી.

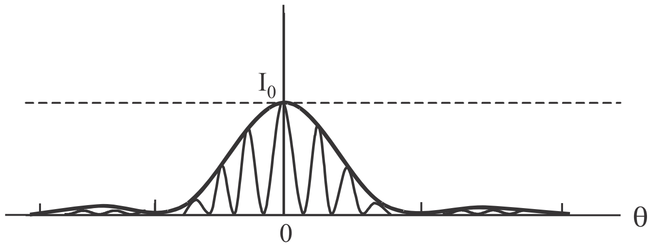
Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

આ સંદર્ભમાં એ નોંધવું રસપ્રદ બનશે કે રિચાર્ડ ફિનમન* તેમના વિખ્યાત Feynmann Lectures on Physicsમાં કહ્યું છે, તે નોંધવું રસપ્રદ છે :

વ્યતિકરણ અને વિવર્તન વચ્ચેના તફાવતની લગભગ કોઈ જ સંતોષકારક વ્યાખ્યા આપી શક્યું નથી. એ ફક્ત કેવી રીતે તેનો ઉપયોગ કરો છો તેના પર આધારિત છે, અને તેમની વચ્ચે કોઈ વિશિષ્ટ અને અગત્યનો ભૌતિકશાસ્ત્રીય તફાવત નથી. સારામાં સારુ આપણે આવું કરી શકીએ કે, જ્યારે બહુ થોડા ઉદ્‌ગમોની દખલની વાત હોય, દા. ત. બે ઉદ્‌ગમો, તો તેનાં પરિણામને સામાન્ય રીતે વ્યતિકરણ કહે છે, પણ જો સંખ્યાબંધ ઉદ્‌ગમો હોય તો વિવર્તન શબ્દનો વધુ ઉપયોગ થાય છે.

બે સ્લિટના પ્રયોગમાં, આપણે એ નોંધવુ જોઈએ કે પડદા પરની ભાત એ દરેક સ્લિટ અથવા છિદ્રને કારણે મળતા એક-સ્લિટ વિવર્તનનાં સંપાતીકરણને અને બે-સ્લિટથી મળતા વ્યતિકરણને કારણે છે. આ (આકૃતિ 10.17)માં દર્શાવેલ છે. તે એક પહોળી વિવર્તન ટોચ (Peak) દર્શાવે છે કે જેમાં બે-સ્લિટથી મળતા વ્યતિકરણને કારણે મળતી ઓછી પહોળાઈની ઘણી બધી શલાકાઓ આવેલી છે. આપેલ પહોળી વિવર્તન ટોચ (Peak)માં આવેલ વ્યતિકરણ શલાકાઓની સંખ્યાએ d/a ગુણોત્તર પર એટલે કે બે સ્લિટો વચ્ચેના અંતર અને સ્લિટની પહોળાઈના ગુણોત્તર પર આધારિત છે. aના ખૂબ જ નાના મૂલ્યના લક્ષ માટે વિવર્તન ભાત ખૂબ જ સપાટ (ચપ્પટ) બનશે અને આપણે બે-સ્લિટને કારણે મળતા વ્યતિકરણ માટેની ભાત [આકૃતિ 10.13(b) જુઓ] જોઈ શકીશું.



આકૃતિ 10.17 બે-સ્લિટથી મળતી વાસ્તવિક વ્યતિકરણ ભાત. આવરણ (Envelope) એ એક-સ્લિટથી થતું વિવર્તન દર્શાવે છે.

Interactive animation of single slit diffraction pattern
http://www.phys.hawaii.edu/~teb/optics/java/slitdiffr/

PHYSICS

ઉદાહરણ 10.5

ઉદાહરણ 10.5 ઉદાહરણ 10.3માં દરેક સ્લિટની પહોળાઈ કેટલી હોવી જોઈએ કે જેથી એક-સ્લિટની ભાતમાંની મધ્યસ્થ અધિકતમમાં બે-સ્લિટ ભાતનાં 10 મહત્તમો આવે ?

ઉકેલ આપણને $a\theta = \lambda, \theta = \frac{\lambda}{a}$ જોઈએ છે.

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

અત્રે, એ નોંધો કે પ્રકાશની તરંગલંબાઈ અને પડદા સુધીનું અંતર એ aની ગણતરીમાં દાખલ થતું નથી.

આકૃતિ 10.12ના બે સ્લિટ વ્યતિકરણ પ્રયોગમાં જો આપણે એક સ્લિટ બંધ કરીએ તો શું થાય ? તમે જોશો કે હવે તે એક સ્લિટ જેમ વર્તે, પરંતુ તમારે તે ભાતમાં કંઈક સ્થાનાંતર (Shift) થતું હોવાનું ધ્યાને રાખવું પડશે. હવે આપણી પાસે ઉદ્‌ગમ S આગળ એક છિદ્ર (અથવા સ્લિટ) S_1 અથવા S_2 છે. આનાથી પડદા પર એક સ્લિટ વિવર્તન ભાત રચાશે.

મધ્યસ્થ પ્રકાશિત શલાકાનું કેન્દ્ર એ બિંદુ આગળ મળશે કે જે સીધી રેખા SS_1 અથવા SS_2, જે કિસ્સો હોય તેને અનુરૂપ, ઉપર આવેલ હોય.

હવે, આપણે વ્યતિકરણ ભાત અને સુસમ્બધ્ધ રીતે એક સ્લિટથી પ્રકાશિત (જેને સામાન્ય રીતે એક-સ્લિટ વિવર્તન ભાત કહે છે) વચ્ચેની સરખામણી અને તફાવત નોંધીશું.

* રિચર્ડ ફિનમન તેમના ક્વૉન્ટમ ઈલેક્ટ્રોડાયનેમિક્સમાંના મૂળભૂત કાર્ય માટે 1965નું ભૌતિકવિજ્ઞાન માટેનું નૉબેલ પ્રાઈઝ પ્રાપ્ત કરનારામાંના એક હતા.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

(i) વ્યતિકરણ ભાતમાં એકબીજાથી સરખા અંતરે રહેલ ઘણા પ્રકાશિત અને અપ્રકાશિત પટ્ટાઓ રહેલ હોય છે. વિવર્તન ભાતમાં એક મધ્યસ્થ પ્રકાશિત (તેજસ્વી) અધિક્તમ હોય છે કે જે બીજા અધિક્તમો કરતા લગભગ બમણી પહોળાઈનું હોય છે. આપણે કેન્દ્રથી બંને બાજુ ક્રમશઃ આવતા મહત્તમો તરફ જઈએ તેમ તીવ્રતા ઘટતી જાય છે.

(ii) આપણે વ્યતિકરણ ભાતની ગણતરી બે સાંકડી સ્લિટમાંથી ઉદ્‌ભવેલા બે તરંગોના સંપાતીકરણની મદદથી કરીએ છીએ. એક સ્લિટના દરેક બિંદુ આગળથી ઉદ્‌ભવતા તરંગોની સતત હારમાળાનાં સંપાતીકરણને કારણે વિવર્તન ભાત મળે છે.

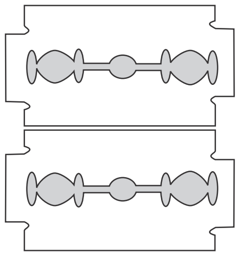
(iii) a પહોળાઈની એક સ્લિટ માટે વ્યતિકરણ ભાતમાં પ્રથમ શૂન્ય (તીવ્રતા) એ λ/a જેટલા કોણે મળે છે. આ જ λ/a કોણે a અંતરે છૂટી પાડેલ બે પાતળી સ્લિટ માટે આપણને મહત્તમ (અને શૂન્ય નહીં) મળે છે.

આપણે એ સમજવું જરૂરી છે કે d અને a બંને ખૂબ જ નાના હોવા જોઈએ કે જેથી સ્પષ્ટ વ્યતિકરણ અને વિવર્તન ભાત જોઈ શકાય. ઉદાહરણ તરીકે, બે સ્લિટ વચ્ચેનું અંતર d એ મિલિમીટરના ક્રમનું હોવું જોઈએ. દરેક સ્લિટની પહોળાઈ a નાની હોવી જોઈએ, લગભગ 0.1થી 0.2 mmના ક્રમની.

આપણી યંગના પ્રયોગની અને એક-સ્લિટ વિવર્તનની ચર્ચામાં આપણે એવું ધારી લીધું છે કે શલાકા જે પડદા પર રચાય છે તે ખૂબ મોટા અંતરે રાખેલ છે. સ્લિટથી પડદા સુધી પહોંચતા બે કે તેથી વધારે પથને આપણે સમાંતર લીધાં હતાં. આ સ્થિતિ, સ્લિટ પછી બહિર્ગોળ લેન્સ મૂકી અને પડદાને તેના કેન્દ્ર ઉપર મૂકીને પણ મળી શકે. સ્લિટમાંથી નીકળતા સમાંતર પથો પડદાના એક બિંદુએ ભેગાં કરી શકાય. *એ નોંધો કે લેન્સ એ આ સમાંતર કિરણપૂંજમાં કોઈ વધારાનો પથતફાવત ઉમેરતો નથી.* આ રચના ઘણી વખત ઉપયોગમાં લેવામાં આવે છે. કારણ કે પડદાને દૂર મૂકવા કરતા આ કિસ્સામાં તીવ્રતા વધારે મળે છે. જો લેન્સની કેન્દ્રલંબાઈ f હોય તો આપણે સહેલાઈથી મધ્યસ્થ પ્રકાશિત મહત્તમની પહોળાઈ ગણી શકીએ. ખૂણાના સંદર્ભમાં, વિવર્તન ભાતમાં મધ્યસ્થ અધિક્તમ અને પ્રથમ શૂન્ય વચ્ચેનું અંતર λ/a થશે. તેથી પડદા પરની પહોળાઈ $f\lambda/a$ થશે.

10.6.2 એક-સ્લિટ વિવર્તન ભાતને જોવી (Seeing the Single Slit Diffraction Pattern)

આપણી જાતે એક-સ્લિટ વિવર્તન ભાત જોવી ખૂબ જ સરળ છે. તેના માટે જરૂરી ઉપકરણ એ દરેક ઘરમાં મળી રહે છે- બે રેઝર બ્લેડ અને શક્ય હોય તો જેમાં સીધો ફિલામેન્ટ આવેલો હોય તેવો એક પારદર્શક કાચનો બલ્બ. બે બ્લેડને એવી રીતે જોડે પકડી રાખો કે તેમની ધાર એકબીજાને સમાંતર રહે અને તેમની વચ્ચે એક પાતળી સ્લિટ રચાય. આ અંગૂઠા અને આગળની આંગળીઓની મદદથી સહેલાઈથી કરી શકાય છે (આકૃતિ 10.18).



આકૃતિ 10.18 બે બ્લેડને પકડી એક સ્લિટ બનાવવી. બલ્બના ફિલામેન્ટ (તાર)ને આમાંથી જોતાં સ્પષ્ટ વિવર્તન પટ્ટાઓ દેખાય છે.

સ્લિટને ફિલામેન્ટને સમાંતર બરાબર આંખની સામે રાખો. જો તમે ચશ્મા પહેરતા હો તો પહેરી લો. સ્લિટની પહોળાઈમાં અને તેના સમાંતરપણામાં થોડોક ફેરફાર કરો, તો તમને પ્રકાશિત અને અપ્રકાશિત પટ્ટાના સ્વરૂપમાં ભાત દેખાશે. બધા જ પટ્ટાનું સ્થાન (મધ્યસ્થ સિવાય) તરંગલંબાઈ ઉપર આધારીત હોવાથી તેમાં અમુક રંગો દેખાશે. રાતા અથવા વાદળી (બ્લ્યુ) માટે ફિલ્ટર વાપરવાથી શલાકાઓને સ્પષ્ટ રીતે જોઈ શકાય છે. બંને ફિલ્ટરો સહેલાઈથી ઉપલબ્ધ હોવાથી, રાતા રંગની શલાકાની પહોળાઈ વાદળી (બ્લ્યુ) રંગ કરતાં વધારે હોય છે તે જોઈ શકાય છે.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

આ પ્રયોગમાં ફિલામેન્ટ એ આકૃતિ 10.16માં દર્શાવેલ પ્રથમ સ્લિટ Sનો ભાગ ભજવે છે. આંખનો લેન્સ ભાતને પડદા (આંખના રેટીના) ઉપર કેન્દ્રિત કરે છે.

થોડાક પ્રયત્નોથી, બ્લેડની મદદથી ઍલ્યુમીનીયમનાં વરખમાં બે સ્લિટ કાપી શકાય. અગાઉની જેમ જ બલ્બના ફિલામેન્ટને જોઈ યંગના પ્રયોગનું પુનરાવર્તન કરી શકાય. દિવસના પ્રકાશનાં રૂપમાં આંખ સાથે નાનો કોણ રચતો હોય તે રીતે આપણને બીજો એક યોગ્ય અને પ્રકાશિત ઉદ્‌ગમ ઉપલબ્ધ છે. આ કોઈ ચળકતી બહિર્ગોળ સપાટી (દા.ત. સાયકલની ઘંટડી) પરથી પરાવર્તન પામતો સૂર્યપ્રકાશ હોઈ શકે. સીધે સીધા સૂર્યપ્રકાશથી પ્રયત્ન ના કરો તે આંખને નુકશાન પહોંચાડી શકે છે અને તે પાછી શલાકાઓ તો આપશે જ નહીં કારણકે સૂર્ય લગભગ $(1/2)^{\circ}$નો કોણ રચે છે.

વ્યતિકરણ અને વિવર્તનમાં, પ્રકાશની ઊર્જાનું ફરીવાર વિતરણ થાય છે. જો તે એક ભાગમાં ઘટીને, અપ્રકાશિત શલાકા રચે, તો બીજા ભાગમાં વધીને, પ્રકાશિત શલાકા રચે છે. ઊર્જામાં કોઈ પણ પ્રકારનો વધારો કે ઘટાડો થતો નથી, કે જે ઊર્જા સંરક્ષણના નિયમ સાથે સુસંગત છે.

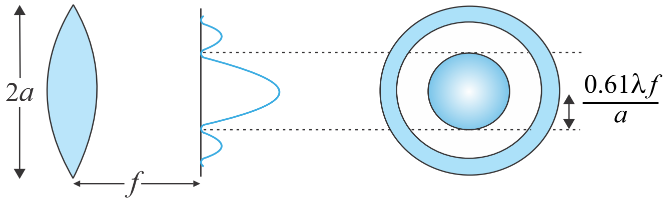
10.6.3 પ્રકાશીય ઉપકરણોની વિભેદન શક્તિ (Resolving Power of Optical Instruments)

આપણે ધોરણ IXમાં ટેલિસ્કોપ વિશે ચર્ચા કરી હતી. ટેલિસ્કોપનું કોણીય વિભેદન એ ટેલિસ્કોપના ઓબ્જેક્ટીવ (લેન્સ) દ્વારા નક્કી થાય છે. ઓબ્જેક્ટિવ વડે મેળવેલ પ્રતિબિંબમાં જે તારાઓનું વિભેદન મળતું ન હોય તેમનું વિભેદન આઈપીસ (નેત્રકાચ) દ્વારા ગમે તેટલી મોટવણી વધારવા છતાં પણ મળી શકે નહીં. આઈપીસનો પ્રાથમિક હેતુ ઓબ્જેક્ટિવ દ્વારા મળતા પ્રતિબિંબની મોટવણી વધારવાનો છે.

એક બહિર્ગોળ લેન્સ ઉપર સમાંતર પ્રકાશ કિરણપૂંજ પડે છે તેમ વિચારો. જો લેન્સને ક્ષતિઓ (Aberration) માટે બરાબર સુધારેલ હોય તો ભૌમિતિક પ્રકાશશાસ્ત્ર આપણને જણાવે છે કે કિરણપૂંજ એક બિંદુ આગળ કેન્દ્રિત થશે. પરંતુ, વિવર્તનને કારણે, કિરણપૂંજ એક જ બિંદુ આગળ કેન્દ્રિત થવાને બદલે પરિમિતિ ક્ષેત્રફળ ધરાવતા ટપકાં સ્વરૂપે કેન્દ્રિત થશે. આ કિસ્સામાં વિવર્તનની અસરો એક સમતલ તરંગને વર્તુળાકાર દર્પણમુખ (Aperture) અને ત્યારબાદ મૂકેલા બહિર્ગોળ લેન્સ (આકૃતિ 10.19) પર આપાત થતું ગણીને સમજાવી શકાય છે. આને અનુરૂપ વિવર્તન ભાતનું વિશ્લેષણ ખૂબ જ જટિલ છે; પરંતુ સૈદ્ધાંતિક રીતે, તે એક-સ્લિટથી મળતી વિવર્તન ભાતના કિસ્સા જેવું જ છે. વિવર્તનની અસરોને ધ્યાનમાં લઈએ તો મુખ્ય સમતલ (Focal Plane) ઉપર મળતી ભાત એ સમકેન્દ્રિય અપ્રકાશિત અને પ્રકાશિત વલયોથી ઘેરાયેલા એક મધ્યસ્થ પ્રકાશિત વિસ્તાર તરીકે જણાય છે (આકૃતિ 10.19). વિસ્તૃત વિશ્લેષણ દર્શાવે છે કે મધ્યસ્થ પ્રકાશિત વિભાગની ત્રિજ્યાનું સંન્નિકટ મૂલ્ય

$$r_0 \approx \frac{1.22\lambda f}{2a} = \frac{0.61\lambda f}{a} \tag{10.24}$$

વડે અપાય છે.



આકૃતિ 10.19 બહિર્ગોળ લેન્સ ઉપર પ્રકાશનું એક સમાંતર કિરણપૂંજ આપાત થાય છે. વિવર્તન અસરોને કારણે, કિરણપૂંજ લગભગ $\approx 0.61\ \lambda f/a$ જેટલી ત્રિજ્યા ધરાવતાં ટપકાં સ્વરૂપે કેન્દ્રિત થાય છે.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

જ્યાં, f એ લેન્સની કેન્દ્રલંબાઈ અને $2a$ એ વર્તુળાકાર દર્પણમુખનો વ્યાસ અથવા લેન્સનો વ્યાસ એ બેમાંથી જે નાનું હોય તે છે. લાક્ષણિક રીતે, જો

$\lambda \approx 0.5\,\mu m$, $f \approx 20\,cm$ અને $a \approx 5\,cm$ હોય તો, આપણને

$r_0 \approx 1.2\,\mu m$ મળે છે.

ભલે ટપકાંની પહોળાઈ ખૂબ નાની છે છતાં, તે પ્રકાશીય ઉપકરણો જેવાં કે ટેલિસ્કોપ અથવા માઈક્રોસ્કોપની વિભેદનશક્તિ નક્કી કરવામાં અગત્યનો ભાગ ભજવે છે. બે તારાઓ માટે વિભેદન થાય તે માટે,

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

આ પરથી, $\Delta\theta \approx \dfrac{0.61\,\lambda}{a}$ જોઈશે. (10.25)

આમ, જ્યારે ઓબ્જેક્ટિવનો વ્યાસ વધારે હશે ત્યારે $\Delta\theta$ એ નાનો. થશે આનો અર્થ એ થયો કે ટેલિસ્કોપ માટે જેમ a મોટો હોય તેમ તેની વિભેદનશક્તિ વધારે. આ કારણને લીધે વધારે વિભેદન માટે ટેલિસ્કોપના ઓબ્જેક્ટિવનો વ્યાસ મોટો હોવો જોઈએ.

ઉદાહરણ 10.6 એવું ધારોકે તારામાંથી 6000 Å તરંગલંબાઈનો પ્રકાશ આવે છે. જેનાં ઓબ્જેક્ટિવનો વ્યાસ 100 ઈંચ હોય તેવા ટેલિસ્કોપ માટે વિભેદનની સીમા શું હશે ?

ઉકેલ 100 ઈંચ ટેલિસ્કોપનો અર્થ એ કે $2a = 100$ ઈંચ $= 254\,cm$.

આમ, જો $\lambda \approx 6000\,Å = 6 \times 10^{-5}\,cm$ હોય

તો

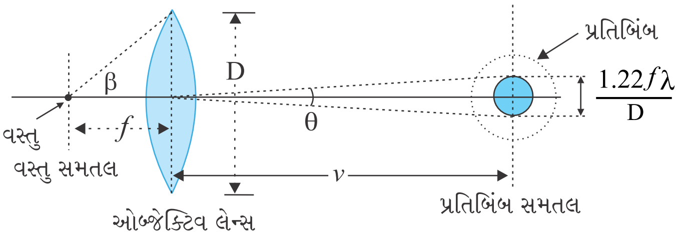
$$\Delta\theta \approx \frac{0.61 \times 6 \times 10^{-5}}{127} \approx 2.9 \times 10^{-7} \text{ રેડીયન}$$

ઉદાહરણ 10.6

આપણે આવો જ તર્ક માઈક્રોસ્કોપના ઓબ્જેક્ટિવને પણ લાગુ પાડી શકીએ. આ કિસ્સામાં, વસ્તુને f થી થોડેક દૂર મૂકવામાં આવે છે કે જેથી v જેટલા અંતરે વાસ્તવિક પ્રતિબિંબ રચાય (આકૃતિ 10.20). મોટવણી–પ્રતિબિંબના પરિમાણ અને વસ્તુના પરિમાણનો ગુણોત્તર એ $m \approx v/f$ વડે અપાય છે. આકૃતિ 10.20 પરથી જોઈ શકાય છે કે

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

જ્યાં, 2β એ ઓબ્જેક્ટીવના વ્યાસ વડે માઈક્રોસ્કોપના કેન્દ્ર પાસે બનેલો કોણ છે.



આકૃતિ 10.20 માઈક્રોસ્કોપના ઓબ્જેક્ટિવ વડે રચાતું વાસ્તવિક પ્રતિબિંબ.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

તમારી આંખની વિભેદન શક્તિ શોધો

તમે તમારી આંખની વિભેદન શક્તિ એક સરળ પ્રયોગ દ્વારા શોધી શકો છો. એક સરખી પહોળાઈ ધરાવતી અને સફેદ પટ્ટીઓથી છૂટી પાડતી કાળી પટ્ટીઓ બનાવો, નીચે આકૃતિ જુઓ. બધી જ કાળી પટ્ટીઓ સરખી પહોળાઈની હોવી જોઈએ, જ્યારે વચ્ચે વચ્ચેની સફેદ પટ્ટીઓની જાડાઈ તમે ડાબેથી જમણે જાઓ તેમ વધતી જતી હોવી જોઈએ. ઉદાહરણ તરીકે, ધારો કે બધી કાળી પટ્ટીઓની જાડાઈ 5 mm છે. ધારોકે પ્રથમ બે સફેદ પટ્ટીઓની જાડાઈ 0.5 mm છે, પછીની બે સફેદ પટ્ટીઓની જાડાઈ 1 mm, પછીની બે દરેક 1.5 mmની વગેરે. આ ભાતને ઓરડાની કે લેબોરેટરીની દિવાલ પર તમારી આંખની ઊંચાઈએ ચોંટાડો.

હવે આ ભાતને, બને તો એક આંખથી જુઓ. હવે દિવાલથી દૂર અથવા નજીક ખસીને એવું સ્થાન નક્કી કરો કે જેમાં કોઈક બે કાળી પટ્ટીઓ એકબીજાથી છૂટી પટ્ટીઓ તરીકે દેખાય. આ કાળી પટ્ટીઓની ડાબીબાજુ આવેલી બધી જ કાળીપટ્ટીઓ એકબીજામાં ભળી ગયેલી દેખાશે અને તેમને છૂટી જોઈ શકાશે નહીં. તેનાથી વિરુદ્ધ, જમણીબાજુ આવેલી પટ્ટીઓ વધારેને વધારે સ્પષ્ટતાથી જોઈ શકાશે. સફેદ પટ્ટી કે જે બે વિભાગને છૂટી પાડે છે તેની પહોળાઈ d નોંધો, અને તમારી આંખથી દીવાલ સુધીનું અંતર D માપો. તો d/D તમારી આંખની વિભેદન (શક્તિ) છે.

તમે બારીમાંથી દાખલ થતાં સૂર્યપ્રકાશની હાજરીમાં હવામાં તરતા ધુળના રજકણો જોયા હશે. જે રજકણને તમે સ્પષ્ટ જોઈ શકો અને બીજા રજકણથી અલગ જોઈ શકો તે રજકણનું તમારાથી અંતર શોધો. તમારી આંખની વિભેદનશક્તિ અને ધૂળના રજકણનું અંતર જાણતા હોવાથી, ધૂળના તે રજકણનું, માપ (Size) નક્કી કરો.

માઈક્રોસ્કોપ હેઠળ મૂકેલ નમૂનાના બે બિંદુઓ વચ્ચેનું અંતર જ્યારે પ્રકાશની તરંગલંબાઈ λ સાથે સરખાવી શકાય તેવું થાય ત્યારે વિવર્તન અસરો અગત્યની બની જાય છે. એક બિંદુવત્ વસ્તુનું પ્રતિબિંબ ફરીવાર, એક વિવર્તન ભાત હશે કે જેનું પ્રતિબિંબ સમતલ (Image Plane)માં માપ નીચે મુજબ આપી શકાય.

$$\upsilon\theta = \upsilon\left(\frac{1.22\ \lambda}{D}\right) \tag{10.27}$$

બે વસ્તુઓ કે જેમના પ્રતિબિંબો આ અંતર કરતા ઓછા અંતરે હોય તેમને છૂટા જોઈ શકાશે નહીં, તેઓ એક તરીકે દેખાશે. વસ્તુસમતલ (Object Plane)માં આને અનુરૂપ લઘુત્તમ અંતર નીચે મુજબ આપી શકાય.

$$d_{min} = \left[\upsilon\left(\frac{1.22\ \lambda}{D}\right)\right]/m$$

$$= \frac{1.22\lambda}{D}\ \frac{\upsilon}{m}$$

અથવા $m = \dfrac{\upsilon}{f}$ હોવાથી

$$d_{min} = \frac{1.22 f\lambda}{D} \tag{10.28}$$

હવે, સમીકરણો (10.26) અને (10.28) પરથી,

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

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

$$\simeq \frac{1.22\lambda}{2\sin\beta} \tag{10.29}$$

જો વસ્તુ અને ઓબ્જેક્ટિવ લેન્સ વચ્ચેનું માધ્યમ હવા ના હોય પરંતુ n વક્રીભવનાંક ધરાવતું માધ્યમ હોય તો, સમીકરણ (10.29) નીચે મુજબ બદલાશે.

$$d_{\min} = \frac{1.22\lambda}{2n\sin\beta} \tag{10.30}$$

$n \sin\beta$ એ ગુણાકારને *સંખ્યાત્મક દર્પણમુખ* (*Numerical Aperture*) કહે છે અને તે ઘણી વખત ઓબ્જેક્ટીવ પર લખેલ હોય છે.

માઈક્રોસ્કોપની વિભેદનશક્તિ એ બે બિંદુઓ જુદાજુદા દેખાય તે માટેના લઘુત્તમ અંતરના વ્યસ્ત તરીકે આપવામાં આવી છે. સમીકરણ (10.30) પરથી જોઈ શકાય છે કે વધારે વક્રીભવનાંક ધરાવતા માધ્યમની પસંદગીથી વિભેદનશક્તિ વધારી શકાય છે. સામાન્ય રીતે ઓબ્જેક્ટિવ કાચની નજીકનો વક્રીભવનાંક ધરાવતા તેલનો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે. આવી રચનાને ઑઈલ ઈમર્સન ઑબ્જેક્ટીવ (*Oil Immersion Objective*) કહેવામાં આવે છે. અત્રે એ નોંધો કે sin βનું મૂલ્ય એકથી વધારી શકાતું નથી. આમ, આપણે જોઈ શકીએ છીએ કે માઈક્રોસ્કોપની વિભેદનશક્તિ મૂળભૂત રીતે વપરાતા પ્રકાશની તરંગલંબાઈ દ્વારા નક્કી થાય છે.

એક શક્યતા એવી છે કે તમને કદાચ વિભેદન અને મોટવણી અને તે જ રીતે આ પ્રાચલો સાથે કામ લેવાની બાબતમાં ટેલિસ્કોપ અને માઈક્રોસ્કોપના કાર્ય અંગે ગૂંચવાડો થઈ શકે છે. ટેલિસ્કોપ દૂરની વસ્તુઓનાં આંખની નજીક પ્રતિબિંબ રચે છે. તેથી, જે વસ્તુઓ દૂર હોવાથી છૂટી જોઈ શકાતી નથી તેને ટેલિસ્કોપમાંથી જોવાથી છૂટી જોઈ શકાય છે. તેનાથી વિરુદ્ધ, માઈક્રોસ્કોપ વસ્તુઓને વિવર્ધિત (મોટી) કરી (કે જે આપણાથી નજીક છે) તેના મોટા પ્રતિબિંબ રચે છે. આપણે બે તારાઓ કે દૂરના ગ્રહના બે ઉપગ્રહો જોઈ રહ્યા છીએ અથવા આપણે જીવીત કોષના જુદા-જુદા ભાગ નિહાળી રહ્યા છીએ. આ સંદર્ભમાં, એ યાદ રાખવું સારું રહેશે કે ટેલિસ્કોપ વિભેદન કરે છે જ્યારે માઈક્રોસ્કોપ પ્રતિબિંબને મોટું કરે છે.

10.6.4 કિરણ પ્રકાશશાસ્ત્ર કેટલે સુધી લાગુ પાડી શકાય (The Validity of Ray Optics)

એક a માપના અડચણ (એટલે કે, સ્લિટ અથવા છિદ્ર)ને સમાંતર કિરણપૂંજ વડે પ્રકાશિત કરવામાં આવતાં તે લગભગ $\approx \lambda/a$ જેટલા કોણે વિવર્તિત પ્રકાશ મોકલે છે. આ તેજસ્વી મધ્યસ્થ અધિક્તમની કોણીય પહોળાઈ છે. આથી, વિવર્તનના કારણે z જેટલું અંતર કાપતાં વિવર્તિત કિરણપૂંજ $z\lambda/a$ જેટલી પહોળાઈ ધારણ કરશે. એવું પૂછવું રસપ્રદ બનશે કે zના કયા મૂલ્ય માટે વિવર્તનને કારણે કિરણપૂંજનો થતો ફેલાવો અડચણના માપ a સાથે સરખાવી શકાય તેટલો થશે. આમ, આપણે $z\lambda/a$ને aના લગભગ બરાબર તરીકે લઈ શકીએ. આ એવું અંતર આપશે કે જેનાથી આગળ a પહોળાઈ ધરાવતા કિરણપૂંજમાં થતો ફેલાવો અગત્યનો બની રહેશે. તેથી

$$z \approx \frac{a^2}{\lambda} \tag{10.31}$$

આપણે નીચેના સમીકરણથી વ્યાખ્યાયિત કરાતી રાશિને *ફ્રેનલ લંબાઈ* z_F કહીશું.

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

સમીકરણ (10.31) દર્શાવે છે કે z_Fથી ખૂબ જ ઓછા અંતર માટે વિવર્તનને કારણે થતો ફેલાવો એ કિરણપૂંજની જાડાઈ કરતા ઓછો હોય છે. જ્યારે અંતર લગભગ z_F જેટલું થશે ત્યારે તે સરખાવી શકાય તેવું થશે. z_Fથી ખૂબ મોટા અંતર માટે વિવર્તનને કારણે થતો ફેલાવો કિરણ પ્રકાશશાસ્ત્ર (એટલે કે

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

અડચણની પહોળાઈ a)થી થતા ફેલાવા પર પ્રભાવી છે. સમીકરણ (10.31) એ પણ દર્શાવે છે કે કિરણ પ્રકાશશાસ્ત્ર તરંગલંબાઈના શૂન્ય તરફના લક્ષ માટે સાચું છે.

ઉદાહરણ 10.7

ઉદાહરણ 10.7 જ્યારે અડચણની પહોળાઈ 3 mm હોય અને તરંગલંબાઈ 500 nm હોય તો કયા અંતર માટે કિરણ પ્રકાશશાસ્ત્ર એક સારી સંનિકટતા હશે ?

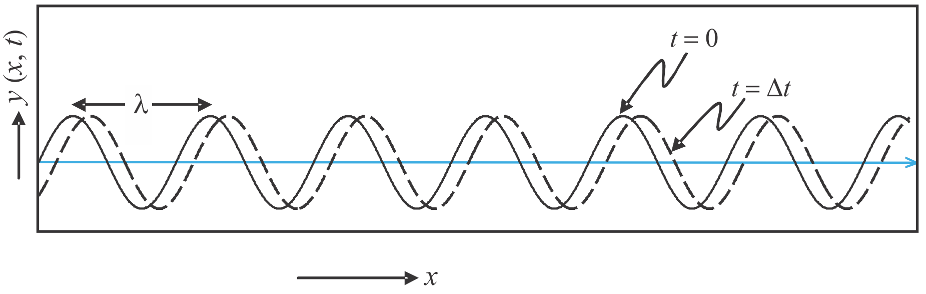
ઉકેલ

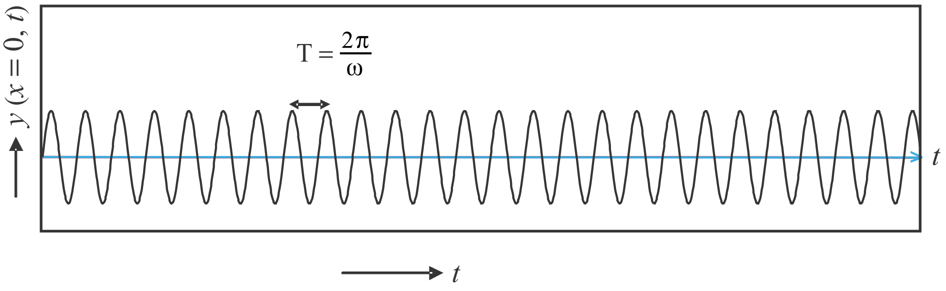
$$z_F = \frac{a^2}{\lambda} = \frac{(3 \times 10^{-3})^2}{(5 \times 10)^{-7}} = 18\,\text{m}$$

આ ઉદાહરણ દર્શાવે છે કે જ્યારે તરંગો ઘણા મીટર લાંબા હોય ત્યારે નાના અડચણ માટે પણ વિવર્તનને કારણે થતો ફેલાવો અવગણી શકાય. આમ, ઘણી સામાન્ય પરિસ્થિતિઓમાં કિરણ પ્રકાશશાસ્ત્ર લાગુ પાડી શકાય છે.

10.7 ધ્રુવીભવન (Polarisation)

જેનો બીજો છેડો જડિત હોય તેવી એક લાંબી દોરીને સમક્ષિતિજ રહે તેમ પકડેલી ધારો. જો આપણે દોરીનાં છેડાને ઉપર-નીચે આવર્ત રીતે ગતિ કરાવીએ, તો આપણે $+x$ દિશામાં ગતિ કરતું તરંગ ઉત્પન્ન કરીશું (આકૃતિ 10.21). આવા તરંગને નીચેના સમીકરણ વડે દર્શાવી શકાય.





આકૃતિ 10.21 (a) જ્યારે જ્યાવર્તી (Sinusoidal) તરંગ $+x$-દિશામાં પ્રસરતું હોય ત્યારે વક્રો અનુક્રમે, $t = 0$ અને $t = \Delta t$ સમયે, દોરીના સ્થાનાંતર રજૂ કરે છે. (b) વક્ર જ્યારે જ્યાવર્તી (Sinusoidal) તરંગ $+x$-દિશામાં ગતિ કરતું હોય ત્યારે $x = 0$ સ્થાને, સ્થાનાંતરનો સમય સાથેનો ફેરફાર દર્શાવે છે. $x = \Delta x$ આગળ સ્થાનાંતરનો સમય સાથેનો ફેરફાર થોડોક જમણીબાજુ ખસી ગયેલો હશે.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

$$y(x,t) = a\sin(kx - \omega t) \tag{10.32}$$

જ્યાં, a અને ω ($= 2\pi\nu$) એ અનુક્રમે તરંગનો કંપવિસ્તાર અને કોણીય આવૃત્તિ રજૂ કરે છે. વધારામાં,

$$\lambda = \frac{2\pi}{k} \tag{10.33}$$

એ તરંગ સાથે સંકળાયેલ તરંગલંબાઈ છે. આપણે આવા તરંગોનાં પ્રસરણની ધોરણ XIના પાઠ્યપુસ્તકના પ્રકરણ-15માં ચર્ચા કરેલી હતી. હવે સ્થાનાંતર (કે જે y-દિશામાં છે) એ તરંગ પ્રસરણ દિશાને લંબ હોવાને કારણે, આપણને *લંબગત તરંગ* મળે છે. વળી, સ્થાનાંતર y-દિશામાં હોવાથી તેને ઘણી વખત y-ધ્રુવીભૂત તરંગ કહે છે. દોરી પરનું દરેક બિંદુ સુરેખા પર ગતિ કરે છે. તેથી આ તરંગ પણ રેખીય ધ્રુવીભૂત (Linearly Polarized) તરંગ તરીકે ઓળખાય છે. વધારામાં, દોરી હંમેશા $x - y$ સમતલમાં જ રહેતી હોવાથી તેને *તલ ધ્રુવીભૂત (Plane Polarized) તરંગ* તરીકે પણ ઓળખવામાં આવે છે.

આ જ રીતે આપણે $x - z$ સમતલમાં પણ દોરીનાં દોલનો વિચારી શકીએ, જે z-ધ્રુવીભૂત તરંગ ઉત્પન્ન કરે, જેનું સ્થાનાંતર નીચેના સમીકરણ વડે આપી શકાય.

$$z(x,t) = a\sin(kx - \omega t) \tag{10.34}$$

અત્રે, એ નોંધવું રહ્યું કે [સમીકરણો (10.32) અને (10.34) દ્વારા રજુ થયેલ] રેખીય ધ્રુવીભૂત તરંગો એ બધા જ લંબગત તરંગો છે; એટલેકે દોરીના દરેક બિંદુનું સ્થાનાંતર એ હંમેશા તરંગ પ્રસરણ દિશાને લંબ હોય છે. અંતમાં, જો દોલનો કરતું સમતલ સમયના ટૂંકાગાળામાં અસ્તવ્યસ્ત રીતે બદલવામાં આવે તો આપણને *અધ્રુવીભૂત તરંગ* મળે છે. આમ, અધ્રુવીભૂત તરંગ માટે સમય સાથે સ્થાનાંતર અસ્તવ્યસ્ત રીતે બદલાયા કરે છે, અલબત્ત તે પ્રસરણ દિશાને તો હંમેશાં લંબ જ હશે.

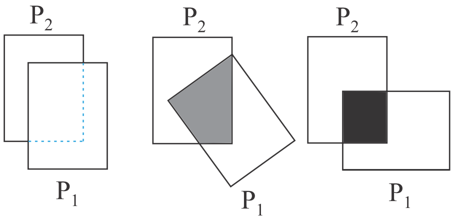
પ્રકાશ તરંગો સ્વભાવે લંબગત છે; એટલેકે પ્રકાશના પ્રસરણ સાથે સંકળાયેલ વિદ્યુતક્ષેત્ર એ હંમેશા તરંગની પ્રસરણ દિશાને લંબ હોય છે. આ (હકીકત) એક સાદા પોલેરૉઈડ (Polaroid)ની મદદથી સરળતાથી દર્શાવી શકાય. તમે પાતળી પ્લાસ્ટીક જેવી પરત (Sheet) જોઈ હશે, જેને *પોલેરૉઈડ* કહે છે. પોલેરૉઈડ એ લાંબી સાંકળ ધરાવતા અણુઓના બનેલા હોય છે, જેઓ કોઈ ચોક્કસ દિશામાં ગોઠવાયેલા હોય છે. આવા (ચોક્કસ રીતે) ગોઠવાયેલા અણુઓની દિશામાં રહેલા (પ્રસરતા પ્રકાશ તરંગ સાથે સંકળાયેલા) વિદ્યુત સદિશોનું શોષણ થાય છે. આમ, જો અધ્રુવીભૂત પ્રકાશ તરંગ આવા પોલેરૉઈડ ઉપર આપાત થાય તો પ્રકાશ તરંગ રેખીય ધ્રુવીભૂત બને છે. જેમાં વિદ્યુત સદિશો ગોઠવાયેલા અણુઓને લંબદિશામાં દોલનો કરે છે; આ દિશાને પોલેરૉઈડની *દગ્-અક્ષ (Pass-axis)* કહે છે.

આમ, જો કોઈ સામાન્ય ઉદ્‌ગમ (જેવાકે સોડીયમ લૅમ્પ)માંથી નીકળતો પ્રકાશ પોલેરૉઈડ તક્તિ P_1માંથી પસાર થતો હોય ત્યારે એવું જોવામાં આવ્યું છે કે તેની તીવ્રતા ઘટીને અડધી થઈ જાય છે. P_1ને ભ્રમણ આપતાં નિર્ગમન પામતા કિરણપૂંજ ઉપર કોઈ અસર થતી નથી અને નિર્ગમિત તીવ્રતા અચળ રહે છે. હવે, ધારોકે આના જેવો જ બીજો પોલેરૉઈડ P_2 ને P_1ની અગાઉ મૂકવામાં આવે છે. આમ, અપેક્ષા મુજબ બલ્બમાંથી આવતા પ્રકાશની તીવ્રતામાં એકલા P_2માંથી પસાર થવાને કારણે ઘટાડો થાય છે. પરંતુ, હવે P_1ને ભ્રમણ આપવાથી, P_1માંથી બહાર આવતા પ્રકાશમાં નાટ્યાત્મક ફેરફાર જોવા મળે

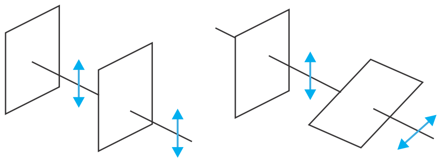
Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

છે. એક સ્થિતિમાં, P_2 માંથી નિર્ગમન પામતી તીવ્રતા તેના પછી રાખેલા P_1માંથી બહાર આવતાં લગભગ શૂન્ય થાય છે. જ્યારે તેને આ સ્થિતિમાંથી 90° એ ફેરવવામાં આવે છે ત્યારે P_2માંથી બહાર નીકળતી બધી જ તીવ્રતા P_1 દ્વારા નિર્ગમન પામે છે (આકૃતિ 10.22).



(a)



(b)

આકૃતિ 10.22 (a) P_2 અને P_1 બે પોલેરૉઈડમાંથી પ્રકાશ પસાર થાય છે. તેમની વચ્ચેના કોણને 0^oથી 90^oની વચ્ચે ફેરવતા, નિર્ગમન પામતી આંશિક (Fraction) તીવ્રતામાં 1થી 0 જેટલો ઘટાડો થાય છે. અત્રે, નોંધો કે એક જ પોલેરૉઈડ P_1માંથી જોયેલ પ્રકાશ ખૂણા સાથે બદલાતો નથી. (b) જ્યારે પ્રકાશ બે પોલેરૉઈડમાંથી પસાર થાય છે ત્યારે વિદ્યુત સદિશની વર્તણૂંક. નિર્ગમન પામતો ધ્રુવીભૂત (પ્રકાશ) એ પોલેરૉઈડ અક્ષને સમાંતર ઘટક છે. બે-દિશ તીર એ દોલન કરતો વિદ્યુત સદિશ દર્શાવે છે.

જો એવું ધારીએ કે પોલેરૉઈડ P_2માંથી પસાર થતો પ્રકાશ P_2ની દગ્-અક્ષને સમાંતર ધ્રુવીભૂત થાય છે તો ઉપરનો પ્રયોગ સહેલાઈથી સમજી શકાય. જો P_2ની દગ્-અક્ષ એ P_1ની દગ્-અક્ષ સાથે θ કોણ બનાવતી હોય તો જ્યારે ધ્રુવીભૂત કિરણપૂંજ પોલેરૉઈડ P_2માંથી પસાર થાય ત્યારે $E\cos\theta$ ઘટક (P_2ની દગ્-અક્ષને સમાંતર) P_2માંથી પસાર થશે. આમ, આપણે પોલેરૉઈડ P_1 (અથવા P_2)ને ભ્રમણ આપીએ તેમ તીવ્રતા નીચેના સૂત્ર પ્રમાણે બદલાશે.

$$I = I_0 \cos^2\theta \tag{10.35}$$

જ્યાં, I_0 એ P_1માંથી પસાર થયા બાદ ધ્રુવીભૂત પ્રકાશની તીવ્રતા છે. જેને *માલસનો નિયમ* કહે છે. ઉપરોક્ત ચર્ચા દર્શાવે છે કે એક પોલેરૉઈડમાંથી પારગમન પામતી તીવ્રતા એ આપાત તીવ્રતાની અડધી હોય છે. બીજો પોલેરૉઈડ મૂકવાથી અને બે પોલરૉઈડની દગ્-અક્ષો વચ્ચેના ખૂણાને ગોઠવીને તીવ્રતાને 50 %થી શૂન્યની વચ્ચે ફરીવાર નિયંત્રિત કરી શકાય છે.

પોલેરૉઈડનો ઉપયોગ ગોગલ્સ, બારીના કાચ વગેરેમાં તીવ્રતાના નિયંત્રણ માટે કરવામાં આવે છે. પોલેરૉઈડનો ઉપયોગ ફોટોગ્રાફિક કેમેરામાં અને 3 D મૂવી કેમેરામાં પણ થાય છે.

ઉદાહરણ 10.8

ઉદાહરણ 10.8 જ્યારે એક પોલેરૉઈડ તક્તિને એકબીજાને લંબ રાખેલ (Crossed) બીજી બે પોલેરૉઈડની વચ્ચે રાખી ભ્રમણ આપવામાં આવે છે ત્યારે નિર્ગમન પામતા પ્રકાશની તીવ્રતાની ચર્ચા કરો.

ઉકેલ ધારોકે પ્રથમ પોલેરાઈઝર P_1માંથી પસાર થયા બાદ નીકળતા ધ્રુવીભૂત પ્રકાશની તીવ્રતા I_0 છે. ત્યારબાદ બીજા પોલેરાઈઝર P_2માંથી પસાર થયા બાદ પ્રકાશની તીવ્રતા નીચે મુજબ થશે.

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

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

ઉદાહરણ 10.8

જ્યાં, θ એ P_1 અને P_2ની દગ્-અક્ષો વચ્ચેનો કોણ છે. અત્રે, P_1 અને P_3 એકબીજાને લંબ હોવાથી P_2 અને P_3ની દગ્-અક્ષો વચ્ચેનો ખૂણો (π/2 – θ) થશે. તેથી P_3માંથી નિર્ગમન પામતા પ્રકાશની તીવ્રતા

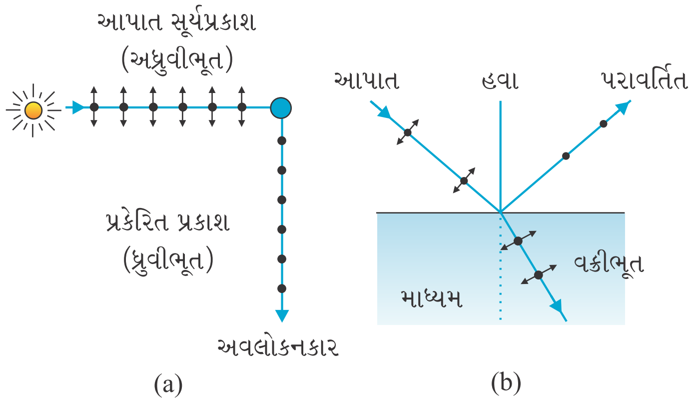
$$I = I_0 \cos^2\theta \cos^2\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right)$$

$$= I_0 \cos^2\theta \sin^2\theta = (I_0/4)\sin^2 2\theta \text{ થશે.}$$

તેથી, જ્યારે $\theta = \pi/4$ હશે ત્યારે નિર્ગમન પામતા (પ્રકાશની) તીવ્રતા મહત્તમ હશે.

10.7.1 પ્રકીર્ણન દ્વારા ધ્રુવીભવન (Polarisation by Scattering)

જ્યારે ભ્રમણ કરાવતા પોલેરૉઈડમાંથી આકાશના ચોખ્ખા બ્લ્યુ ભાગમાંથી આવતા પ્રકાશને જોવામાં આવે છે ત્યારે આપણને તીવ્રતામાં વધારો અને ઘટાડો જોવા મળે છે. આ બીજું કશું જ નથી પણ પૃથ્વીના વાતાવરણમાં રહેતા અણુઓ સાથેની અથડામણને કારણે દિશા બદલતો (પ્રકીર્ણન પામવાને કારણે) સૂર્યપ્રકાશ જ છે. આકૃતિ 10.23(a) દર્શાવે છે કે, આપાત સૂર્યપ્રકાશએ અધ્રુવીભૂત છે. ટપકાં એ આકૃતિના સમતલને લંબધ્રુવીભવન સૂચવે છે. બે-દિશ તીર એ આકૃતિના સમતલમાં ધ્રુવીભવન દર્શાવે છે. (વચ્ચે અધ્રુવીભૂત પ્રકાશમાં આ બે વચ્ચે કળા-સંબંધ હોતો નથી). આપાત તરંગના વિદ્યુતક્ષેત્રની અસર હેઠળ અણુઓમાં રહેલા ઈલેક્ટ્રૉન આ બંને દિશામાં ઘટકો ધરાવતી ગતિ ધારણ કરે છે. આપણે સૂર્યની દિશાને 90° એ જોતો અવલોકનકાર દોર્યો છે. હવે એ સ્પષ્ટ જ છે કે બે-દિશ તીરને સમાંતર પ્રવેગિત થતા વિદ્યુતભારો આ અવલોકનકાર તરફ ઊર્જાનું ઉત્સર્જન કરશે નહીં, કારણ કે તેમના પ્રવેગને લંબ ઘટક હોતો નથી. તેથી અણુઓ દ્વારા પ્રકેરિત થતા વિકિરણને ટપકાં વડે દર્શાવેલ છે. તે આકૃતિના સમતલને લંબ દિશામાં ધ્રુવીભૂત છે. આ આકાશમાં પ્રકાશના પ્રકીર્ણનથી થતા ધ્રુવીભવનને સમજાવે છે.



આકૃતિ 10.23 (a) અવકાશનાં વાદળી પ્રકેરિત પ્રકાશનું ધ્રુવીભવન. આપાત સૂર્યપ્રકાશ અધ્રુવીભૂત છે (ટપકાં અને તીર). એક નમૂનારૂપ અણુ દર્શાવેલ છે. પુસ્તકના પાનને લંબ દિશામાં ધ્રુવીભૂત થયેલા પ્રકાશને તો 90° એ પ્રકેરિત કરે છે. (ફક્ત ટપકાં). (b) બ્રુસ્ટર કોણે પારદર્શક માધ્યમથી પરાવર્તિત પ્રકાશનું ધ્રુવીભવન (પરાવર્તિત કિરણ એ વક્રીભૂત કિરણને લંબ છે).

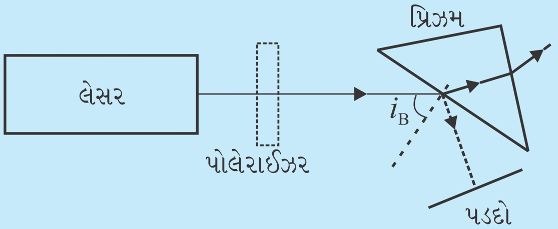
1920ના ગાળામાં કોલકાતામાં સી. વી. રામન (C. V. Raman) અને તેમના સહકાર્યકરો (Collaborators) એ અણુઓ દ્વારા પ્રકાશના પ્રકીર્ણનનો ખૂબ ઊંડાણપૂર્વક અભ્યાસ કર્યો હતો. તેમના આ કાર્ય માટે, 1930માં રામનને ભૌતિકવિજ્ઞાનના નૉબેલ પુરસ્કારથી નવાજવામાં આવ્યા હતાં.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

પૂર્ણ પારગમનનો એક ખાસ કિસ્સો

જ્યારે પ્રકાશ બે માધ્યમોની આંતર સપાટી પર આપાત થાય છે ત્યારે એવું જોવામાં આવ્યું છે કે તેનો કેટલોક ભાગ પરાવર્તન પામે છે અને અમુક ભાગનું પારગમન થાય છે. આને સંબંધિત સવાલ વિચારો : *શું એવું શક્ય છે કે અમુક શરતોને આધિન સપાટી (કે જે સામાન્ય રીતે પરાવર્તક છે) પર આપાત એકરંગી પ્રકાશ કિરણપૂંજનું પરાવર્તન કર્યા સિવાય સંપૂર્ણ પારગમન થાય ? તમારા આશ્ચર્ય વચ્ચે, આનો જવાબ છે, હા.*



એક સરળ પ્રયોગ ધ્યાનમાં લો અને શું થાય છે તે ચકાસો. લેસર, સારી ગુણવત્તા વાળો પોલેરાઈઝર, એક પ્રિઝમ અને પડદાને અહીં દર્શાવેલ આકૃતિ મુજબ ગોઠવો.

ધારોકે લેસર ઉદ્‌ગમમાંથી ઉત્સર્જિત પ્રકાશ પોલેરાઈઝરમાંથી પસાર થાય છે અને પ્રિઝમની સપાટી ઉપર બ્રુસ્ટર આપાત કોણ i_B એ આપાત થાય છે. હવે, પોલેરાઈઝરને કાળજીપૂર્વક ભ્રમણ કરાવો અને તમે જોશો કે પોલેરાઈઝરની કોઈ ચોક્કસ ગોઠવણ માટે પ્રિઝમ ઉપર આપાત પ્રકાશનું સંપૂર્ણ પણે પારગમન થાય છે અને પ્રિઝમની સપાટી પરથી કોઈ પ્રકાશનું પરાવર્તન થતું નથી. પરાવર્તિત ટપકું સંપૂર્ણપણે નાબુદ થાય છે.

10.7.2 પરાવર્તનથી ધ્રુવીભવન (Polarisation by Reflection)

આકૃતિ 10.23(b) દર્શાવે છે કે પારદર્શક માધ્યમ, ધારો કે પાણી, પરથી પ્રકાશનું પરાવર્તન થાય છે. અગાઉ જોયું તેમ, ટપકાં અને તીર સૂચવે છે કે આપાત અને વક્રીભૂત તરંગોમાં બંને પ્રકારના ધ્રુવીભવન હાજર છે. આપણે એક એવી સ્થિતિ દોરી છે કે જેમાં પરાવર્તિત તરંગ એ વક્રીભૂત તરંગને લંબરૂપે ગતિ કરતું હોય. પાણીમાં દોલન કરતા ઈલેક્ટ્રૉન પરાવર્તિત તરંગ ઉત્પન્ન કરે છે. આ (બંને) માધ્યમમાં તરંગ વિકિરણ; એટલે કે *વક્રીભૂત તરંગ*, ને લંબદિશામાં ગતિ કરે છે. આકૃતિમાં દર્શાવેલ તીરો *પરાવર્તિત તરંગ*ને સમાંતર છે. આ દિશાની ગતિ એ પરાવર્તિત તરંગમાં ફાળો આપતી નથી. તેથી આકૃતિ દર્શાવે છે તેમ, પરાવર્તિત પ્રકાશ એ આકૃતિના સમતલને લંબ દિશામાં રેખીય ધ્રુવીભૂત હશે (ટપકાં વડે દર્શાવેલ છે). આની ચકાસણી પરાવર્તિત પ્રકાશને એનેલાઈઝર (વિશ્લેષક)માંથી જોઈને કરી શકાય. જ્યારે એનેલાઈઝરની અક્ષ એ આકૃતિના સમતલમાં, એટલે કે આપાત સમતલમાં, હશે તે વખતે પારગમન પામતી તીવ્રતા શૂન્ય હશે.

જ્યારે અધ્રુવીભૂત પ્રકાશ બે પારદર્શક માધ્યમોને છૂટી પાડતી સીમા (સપાટી) ઉપર આપાત થાય છે, ત્યારે પરાવર્તિત પ્રકાશ ધ્રુવીભૂત બને છે, જેમાં વક્રીભૂત અને પરાવર્તિત કિરણ એકબીજાને લંબ હોય તેવી સ્થિતિમાં વિદ્યુત સદિશ એ આપાત સમતલને લંબ હશે. આમ, આપણે જોયું કે જ્યારે પરાવર્તિત કિરણ વક્રીભૂત કિરણને લંબ હોય છે ત્યારે પરાવર્તિત તરંગ એ સંપૂર્ણ ધ્રુવીભૂત તરંગ બને છે. આ કિસ્સામાં આપાતકોણને *બ્રુસ્ટર કોણ* કહે છે અને તેને i_B વડે દર્શાવવામાં આવે છે. આપણે જોઈ શકીએ છીએ કે i_B એ ઘટ્ટ માધ્યમના વક્રીભવનાંક સાથે સંકળાયેલ છે. હવે, $i_B + r = \pi/2$ હોવાથી, આપણને સ્નેલના નિયમ પરથી નીચે મુજબ મળશે.

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

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

$$= \frac{\sin i_B}{\cos i_B} = \tan i_B \qquad (10.36)$$

જેને *બ્રુસ્ટરનો નિયમ* કહે છે.

ઉદાહરણ 10.9 અધ્રુવીભૂત પ્રકાશ એક સમતલ કાચની સપાટી પર આપાત થાય છે. પરાવર્તિત અને વક્રીભૂત કિરણો એકબીજાને લંબ થાય તે માટે કેટલો આપાતકોણ હશે ?

ઉકેલ $i + r$ એ $\pi/2$ બરાબર થાય તે માટે, આપણે $\tan i_B = \mu = 1.5$ જોઈશે. જે $i_B = 57^o$ આપશે. આ હવા અને કાચ આંતરપૃષ્ઠ માટેનો બ્રુસ્ટર કોણ થશે.

ઉદાહરણ 10.9

સરળતા ખાતર, આપણે પ્રકાશના 90° એ થતા પ્રકીર્ણનની અને બ્રુસ્ટર કોણે થતા પરાવર્તનની ચર્ચા કરી. આ ખાસ પરિસ્થિતિમાં, વિદ્યુતક્ષેત્રના બેમાંથી એક લંબ ઘટક શૂન્ય હોય છે. બીજા કોઈ ખૂણે, બંને ઘટકો હાજર હોય છે પરંતુ તેમાંથી એક ઘટક બીજાની સરખામણીમાં પ્રબળ હોય છે. આ બે લંબ ઘટકો વચ્ચે કોઈ સ્થાયી કળા સંબંધ નથી હોતો, કારણકે આ બંને અધ્રુવીભૂત કિરણપૂંજના બે લંબ ઘટકોમાંથી મેળવેલા છે. જ્યારે આવા પ્રકાશને ભ્રમણ કરતા એનેલાઈઝર (પોલરોઈડ) માંથી જોવામાં આવે છે તો આપણને તીવ્રતામાં મહત્તમ અને ન્યૂનતમ દેખાય છે, પરંતુ તે સંપૂર્ણ અપ્રકાશિત દેખાતી નથી. આવા પ્રકારના પ્રકાશને *અંશતઃ ધ્રુવીભૂત* કહે છે.

ચાલો, આ પરિસ્થિતિને સમજવાનો પ્રયત્ન કરીએ. જ્યારે અધ્રુવીભૂત પ્રકાશ કિરણપૂંજ બે માધ્યમોને છૂટી પાડતી સપાટી પર બ્રુસ્ટર કોણે આપાત થાય ત્યારે ફક્ત જેના વિદ્યુતક્ષેત્ર સદિશ એ આપાત સમતલને લંબ હોય તેટલો જ પ્રકાશનો ભાગ પરાવર્તિત થાય છે. હવે, સારી ગુણવત્તાના પોલેરાઈઝરની મદદથી જો આપણે, જેનો વિદ્યુતક્ષેત્ર સદિશ આપાત સમતલને લંબ હોય તેવા બધા જ પ્રકાશને દૂર કરી દઈએ અને આવા પ્રકાશને પ્રિઝમની સપાટી પર બ્રુસ્ટર કોણે આપાત કરાવીએ તો તમે કોઈ પણ પ્રકારનું પરાવર્તન નહીં જુઓ અને પ્રકાશનું સંપૂર્ણ પારગમન થશે.

આપણે આ પ્રકરણની શરૂઆત એ વાત નોંધીને કરી કે કેટલીક ઘટનાઓ એવી છે જે ફક્ત તરંગવાદથી જ સમજાવી શકાય છે. યોગ્ય સમજણ મેળવવા માટે સૌપ્રથમ આપણે પરાવર્તન અને વક્રીભવન જેવી ઘટનાઓની ચર્ચા તરંગ પ્રકાશશાસ્ત્રના આધારે કરી કે જે પ્રકરણ-9માં કિરણ પ્રકાશશાસ્ત્રના આધારે ભણ્યા હતા. ત્યારબાદ, આપણે યંગના બે-સ્લિટનાં પ્રયોગની ચર્ચા કરી કે જે પ્રકાશશાસ્ત્રના અભ્યાસમાં નિર્ણયાત્મક (Turning Point) સાબિત થઈ. અંતમાં આની સાથે સંકળાયેલા મુદ્દાઓ જેવાકે વિવર્તન, વિભેદન, ધ્રુવીભવન અને કિરણ પ્રકાશશાસ્ત્રની માન્યતાની ચર્ચા કરી. હવે પછીના પ્રકરણમાં તમે નવા પ્રયોગો જોશો કે જે સદીના વળાંકે ઈ.સ. 1900ની આસપાસ નવા સિદ્ધાંતો તરફ દોરી ગયા.

સારાંશ

1. હાઈગેન્સનો સિદ્ધાંત આપણને કહે છે કે તરંગઅગ્ર પરનું દરેક બિંદુ ગૌણ તરંગોનું ઉદ્‌ગમ છે, જેઓ એકબીજામાં ઉમેરાઈને પછીના સમયે તરંગઅગ્ર આપે છે.
2. હાઈગેન્સની રચના આપણને કહે છે કે નવું તરંગઅગ્ર એ ગૌણ તરંગોના આગળની દિશામાંનું આવરણ (Envelope) છે. જ્યારે પ્રકાશની ઝડપ એ દિશાથી સ્વતંત્ર હોય ત્યારે ગૌણ તરંગો ગોળાકાર હશે. ત્યારે કિરણો બંને તરંગઅગ્રોને લંબ અને કોઈ પણ કિરણની દિશામાં માપેલો ગતિ માટેનો સમય સમાન હશે. આ સિદ્ધાંત એ બહુ જાણીતા પરાવર્તન અને વક્રીભવનના નિયમો આપે છે.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

3. જ્યારે પણ બે કે તેથી વધારે પ્રકાશ ઉદ્‌ગમો એક જ બિંદુને પ્રકાશિત કરતા હોય ત્યારે તરંગોના સંપાતીકરણનો નિયમ લાગુ પાડી શકાય છે. જ્યારે આપણે આ ઉદ્‌ગમોને કારણે આપેલ બિંદુ આગળ તીવ્રતાનો વિચાર કરીએ છીએ ત્યારે બે સ્વતંત્ર તીવ્રતાઓના સરવાળા ઉપરાંત એક વધારાનું વ્યતિકરણ-પદ આવે છે, પરંતુ આ પદ ફક્ત ત્યારે જ અગત્યનું બને છે જ્યારે તેની સરેરાશ અશૂન્ય હોય છે. પણ આવું ત્યારે જ બનશે જ્યારે ઉદ્‌ગમોને સમાન આવૃત્તિ હશે અને તેઓ વચ્ચે અચળ (સ્થાયી) કળા તફાવત હશે.
4. યંગના પ્રયોગમાં, d જેટલું અંતર ધરાવતી બે સ્લિટો, સમાન અંતરે રહેલી અને λ/d જેટલું કોણીય અંતર ધરાવતી શલાકાઓ આપે છે. ઉદ્‌ગમ, સ્લિટોનું મધ્યબિંદુ અને મધ્યસ્થ પ્રકાશિત શલાકા એક જ રેખા પર આવેલા હોય છે. જો સ્લિટ આગળ આંતરેલ ખૂણાનું મૂલ્ય λ/d કરતા વધારે હોય તો વિસ્તૃત (Extended) ઉદ્‌ગમ શલાકાઓનો નાશ કરશે.
5. a પહોળાઈ ધરાવતી એક સ્લિટ મધ્યસ્થ અધિકતમ સાથેની વિવર્તન ભાત આપે છે. $\pm\lambda/a$, $\pm 2\lambda/a$ ... વગેરે ખૂણાઓ આગળ તીવ્રતા ઘટીને શૂન્ય થાય છે, જેમાં વચ્ચે ક્રમિક નબળી તીવ્રતા ધરાવતા ગૌણ અધિકતમો આવેલા હોય છે. વિવર્તન ટેલિસ્કોપના કોણીય વિભેદનને λ/D સુધી સિમિત કરે છે, જ્યાં, D એ વ્યાસ છે. આના કરતા નજીક આવેલા બે તારાઓ પ્રબળ રીતે એકબીજા પર આચ્છાદિત પ્રતિબિંબો આપે છે. તે જ રીતે, n જેટલો વક્રીભવનાંક ધરાવતા માધ્યમમાં કેન્દ્ર આગળ $2\,\beta$ જેટલો કોણ બનાવતો, માઈક્રોસ્કોપનો ઓબ્જેક્ટિવ $\lambda/(2n \sin\beta)$ અંતરે છૂટી પડેલી વસ્તુઓને જ અલગ જોઈ શકે છે, કે જે માઈક્રોસ્કોપની વિભેદન મર્યાદા છે. વિવર્તન એ પ્રકાશ કિરણના ખ્યાલની મર્યાદાઓ નક્કી કરે છે. તે વિવર્તનને કારણે ફેલાવવાનું શરૂ કરે તે પહેલાં, a પહોળાઈ ધરાવતું કિરણપૂંજ a^2/λ જેટલું અંતર કાપે છે; જેને ફ્રેનલ લંબાઈ કહે છે.
6. કુદરતી પ્રકાશ, દા.ત., સૂર્યમાંથી આવતો પ્રકાશ, એ અધ્રુવીભૂત હોય છે. આનો અર્થ એ થયો કે માપન દરમિયાન વિદ્યુત સદિશો લંબ સમતલમાં શક્ય હોય તેવી બધી જ દિશાઓ ખૂબ ઝડપથી અને અસ્તવ્યસ્ત રીતે ધારણ કરે છે. પોલેરોઈડ ફક્ત એક (કે જેની વિશિષ્ટ અક્ષને સમાંતર) ઘટકનું પારગમન કરે છે. પરિણામી પ્રકાશને રેખીય ધ્રુવીભૂત અથવા તલ ધ્રુવીભૂત કહે છે. જ્યારે આવા પ્રકારના પ્રકાશને બીજા પોલેરોઈડમાંથી જોવામાં આવે છે કે જેની અક્ષને 2π કોણે પરિભ્રમણ કરાવવામાં આવે ત્યારે બે મહત્તમો અને ન્યૂનતમો જોવા મળે છે. ધ્રુવીભૂત પ્રકાશ કોઈ ચોક્કસ કોણે (જેને બ્રુસ્ટર કોણ કહે છે) પરાવર્તિત કરાવવાથી અને પૃથ્વીના વાતાવરણમાં $\pi/2$ જેટલા કોણે પ્રકીર્ણન કરાવવાથી પણ મેળવી શકાય છે.

ગહન વિચારણાના મુદ્દાઓ

1. બિંદુવત્ ઉદ્‌ગમમાંથી નીકળતા તરંગો બધી જ દિશામાં ફેલાય છે, જ્યારે પ્રકાશ એ સાંકડા કિરણને સમાંતર ગતિ કરતો માલૂમ પડે છે. પ્રકાશની વર્તણૂંકના બધા જ પાસાઓ સમજવા માટે હાઈગેન્સ, યંગ અને ફ્રેનલના આંતરદર્શન અને પ્રયોગ અંગેની સમજણની જરૂર પડી હતી.
2. યંગના પ્રયોગમાં દર્શાવ્યા મુજબ, તરંગો અંગેનું એક અગત્યનું નવું પાસું એ જુદા જુદા ઉદ્‌ગમોમાંથી નીકળતા કંપવિસ્તારોનું વ્યતિકરણ છે, જે સહાયક અને વિનાશક એમ બંને હોય છે.
3. વિવર્તનની ઘટના એ કિરણ પ્રકાશશાસ્ત્રની મર્યાદાઓ વ્યાખ્યાયિત કરે છે. માઈક્રોસ્કોપ અને ટેલિસ્કોપ માટે એકબીજાની ઘણી નજીક રહેલી વસ્તુઓને અલગ દર્શાવવાની ક્ષમતા એ પ્રકાશની તરંગલંબાઈ દ્વારા નક્કી થાય છે.
4. મોટા ભાગની વ્યતિકરણ અને વિવર્તન અસરો સંગત તરંગો, જેવાકે હવામાં ધ્વનિતરંગો, માટે પણ જોવા મળે છે, પરંતુ ધ્રુવીભવન ઘટના એ લંબગત તરંગો જેવાકે પ્રકાશ તરંગોના ખાસ કિસ્સામાં જ જોવા મળે છે.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

સ્વાધ્યાય

10.1 589 nm તરંગલંબાઈ ધરાવતો એકરંગી પ્રકાશ હવામાંથી પાણીની સપાટી ઉપર આપાત થાય છે. તો (a) પરાવર્તિત અને (b) વક્રીભૂત પ્રકાશની તરંગલંબાઈ, આવૃત્તિ અને ઝડપ કેટલી હશે ? પાણીનો વક્રીભવનાંક 1.33 છે.

10.2 નીચેના આપેલા દરેક કિસ્સા માટે તરંગઅગ્રનો આકાર શું હશે ?

(a) બિંદુવત્ત ઉદ્ગમમાંથી ફેલાતો પ્રકાશ.

(b) બહિર્ગોળ લેન્સમાંથી નિર્ગમન પામતો પ્રકાશ કે જ્યારે બિંદુવત્ત ઉદ્ગમ તેના કેન્દ્ર ઉપર મૂકેલ હોય.

(c) દૂર રહેલા તારાના પ્રકાશના તરંગઅગ્રનો પૃથ્વી દ્વારા આંતરાતો ભાગ.

10.3 (a) કાચનો વક્રીભવનાંક 1.5 છે. પ્રકાશની કાચમાં ઝડપ કેટલી હશે ?

(શૂન્યાવકાશમાં પ્રકાશની ઝડપ 3.0×10^{8} m s^{-1} છે.)

(b) શું પ્રકાશની કાચમાં ઝડપ પ્રકાશના રંગથી સ્વતંત્ર છે ? જો ના તો બે રાતા અને જાંબલી એ બે રંગોમાંથી કયો રંગ કાચના પ્રિઝમમાંથી ધીમે ગતિ કરશે ?

10.4 યંગના બે-સ્લિટના પ્રયોગમાં, બે સ્લિટો વચ્ચેનું અંતર 0.28 mm અને પડદો 1.4 m દૂર મૂકેલો છે. મધ્યસ્થ પ્રકાશિત શલાકા અને ચોથી પ્રકાશિત શલાકા વચ્ચેનું અંતર 1.2 cm જેટલું માપવામાં આવે છે. પ્રયોગમાં વપરાયેલ પ્રકાશની તરંગલંબાઈ શોધો.

10.5 λ જેટલી એકરંગી તરંગલંબાઈ ધરાવતા પ્રકાશ સાથે કરેલા યંગના બે-સ્લિટના પ્રયોગમાં, પડદા પરના જે બિંદુએ પથતફાવત λ જેટલો થાય ત્યાં તીવ્રતા K એકમ છે. જ્યાં પથ તફાવત $\lambda/3$ થાય તે બિંદુ આગળ પ્રકાશની તીવ્રતા કેટલી હશે ?

10.6 યંગના બે-સ્લિટ પ્રયોગમાં વ્યતિકરણ શલાકાઓ મેળવા માટે 650 nm અને 520 nm બે તરંગલંબાઈઓ ધરાવતા પ્રકાશ કિરણપૂંજનો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે.

(a) 650 nm તરંગલંબાઈ માટે પડદા પરની ત્રીજી પ્રકાશિત શલાકાનું મધ્યસ્થ અધિક્તમથી અંતર શોધો.

(b) બંને તરંગલંબાઈઓને કારણે મળતી પ્રકાશિત શલાકાઓ એકબીજા પર સંપાત થાય તે માટેનું મધ્યસ્થ અધિક્તમથી ઓછામાં ઓછું અંતર શોધો.

10.7 બે-સ્લિટના પ્રયોગમાં 1 મી દૂર મૂકેલા પડદા પર એક શલાકાની કોણીય પહોળાઈ 0.2° મળે છે. વપરાયેલ પ્રકાશની તરંગલંબાઈ 600 nm છે. જો આખાય પ્રાયોગિક સાધનને પાણીમાં ડૂબાડવામાં આવે તો તે શલાકાની કોણીય પહોળાઈ કેટલી થશે ? પાણીનો વક્રીભવનાંક 4/3 લો.

10.8 હવામાંથી કાચમાં જતા પ્રકાશ માટે બ્રુસ્ટર કોણ કેટલો હશે ? (કાચનો વક્રીભવનાંક $= 1.5$).

10.9 એક સમતલ પરાવર્તક સપાટી ઉપર 5000 Å તરંગલંબાઈનો પ્રકાશ આપાત થાય છે. પરાવર્તિત પ્રકાશની તરંગલંબાઈ અને આવૃત્તિ કેટલી હશે ? કયા આપાતકોણે, પરાવર્તિત કિરણ એ આપાતકિરણને લંબ હશે ?

10.10 4 mm જેટલું અડચણ અને 400 nm તરંગલંબાઈ માટે અંતરનો અંદાજ માંડો કે જેના માટે કિરણ પ્રકાશવિજ્ઞાન એ સારી સંનિકટતા હોય.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

વધારાના સ્વાધ્યાય

10.11 એક તારામાં હાઈડ્રોજન દ્વારા ઉત્સર્જિત 6563ની H_α રેખા 15 Å જેટલી Red-Shift થયેલી જણાય છે. તારાની પૃથ્વીથી દૂર જવાની ઝડપનો અંદાજ શોધો.

10.12 કણવાદ એ પ્રકાશની માધ્યમ, ધારોકે પાણીમાં ઝડપ, શૂન્યાવકાશમાં પ્રકાશની ઝડપ કરતા વધારે હોવાનું અનુમાન કેવી રીતે કરે છે ? તે સમજાવો. શું પ્રાયોગિક રીતે પાણીમાં મપાયેલ પ્રકાશની ઝડપ આ અનુમાનની પુષ્ટિ કરે છે ? જો ના, તો પ્રકાશ માટે બીજું કયું માનસચિત્ર એ પ્રયોગ સાથે સુસંગતતા ધરાવે છે ?

10.13 તમે પુસ્તકમાં ભણી ગયા કે કેવી રીતે હાઈગેન્સનો સિદ્ધાંત પરાવર્તન અને વક્રીભવનના નિયમો તરફ દોરી જાય છે. આ જ સિદ્ધાંતનો ઉપયોગ કરી એક સમતલ અરીસાની સામે રાખેલ બિંદુવત્ત પદાર્થના આભાસી પ્રતિબિંબનું અરીસાથી અંતર, અરીસાથી વસ્તુ અંતર જેટલું હોય છે તેમ સાબિત કરો.

10.14 આપણે પ્રકાશ તરંગના પ્રસરણની ઝડપને શક્યતઃ અસર કરતા હોય તેવા કેટલાક મુદ્દાઓની સૂચિ બનાવીએ.

(i) ઉદ્‌ગમનો પ્રકાર

(ii) પ્રસરણ દિશા

(iii) ઉદ્‌ગમની અને /અથવા અવલોકનકારની ગતિ

(iv) તરંગલંબાઈ

(v) તરંગની તીવ્રતા

ઉપરના કયા મુદ્દાઓ પર

(a) શૂન્યાવકાશમાં પ્રકાશની ઝડપ;

(b) માધ્યમ (ધારો કે કાચ અથવા પાણી)માં પ્રકાશની ઝડપ;

આધાર (જો રાખતા હોય તો) રાખે છે ?

10.15 ધ્વનિ તરંગો માટે, બે પરિસ્થિતિઓ : (i) સ્થિર ઉદ્‌ગમ; અવલોકનકાર ગતિમાં અને (ii) ઉદ્‌ગમ ગતિમાં, અવલોકનકાર સ્થિર, માટે આવૃત્તિના ફેરફાર (Shift)નું સૂત્ર થોડુંક જુદું પડે છે. પરંતુ શૂન્યાવકાશમાં પ્રકાશ તરંગો માટે આ બંને પરિસ્થિતિઓમાં ડૉપ્લર અસર માટેનાં સૂત્રો એક સમાન જ માલૂમ પડે છે. આવું શા માટે છે તે સમજાવો. પ્રકાશ જ્યારે માધ્યમમાં ગતિ કરતો હોય ત્યારે પણ તમે શું આ સૂત્રો સમાન હશે તેમ અપેક્ષા રાખો છો ?

10.16 600 nm તરંગલંબાઈ ધરાવતા પ્રકાશની મદદથી કરેલ બે-સ્લિટ પ્રયોગમાં, દૂર રાખેલા પડદા પર મળેલ શલાકાની કોણીય પહોળાઈ 0.1° મળે છે. બે સ્લિટો વચ્ચેનું અંતર કેટલું હશે ?

10.17 નીચેના પ્રશ્નોના ઉત્તર આપો.

(a) એક સ્લિટથી થતા વિવર્તન પ્રયોગમાં, સ્લિટની પહોળાઈ મૂળ પહોળાઈ કરતા બમણી કરવામાં આવે છે. આ કેવી રીતે મધ્યસ્થ વિવર્તન પટ્ટાની જાડાઈ અને તીવ્રતાને અસર કરશે ?

(b) બે-સ્લિટથી કરાતા પ્રયોગમાં કેવી રીતે દરેક સ્લિટથી મળતું વિવર્તન એ વ્યતિકરણ ભાત સાથે સંબંધ ધરાવે છે ?

(c) દૂરના ઉદ્‌ગમમાંથી આવતા પ્રકાશના પથમાં જ્યારે નાનું વર્તુળાકાર અડચણ મૂકવામાં આવે ત્યારે અડચણના પડછાયાના કેન્દ્ર ભાગ આગળ એક તેજસ્વી ટપકું જોવા મળે છે. સમજાવો શા માટે ?

(d) 10 m લાંબા રૂમમાં બે વિદ્યાર્થીઓ 7 mના વિભાગ પાડતી (Partition) દિવાલથી અલગ કરેલા છે. જો પ્રકાશ અને ધ્વનિ એ બન્ને તરંગો અડચણની ધારથી વાંકા વળી શકતા હોય તો શા માટે વિદ્યાર્થીઓ એક બીજા સાથે વાતચીત કરી શકે છે પરંતુ એકબીજાને જોઈ શકતા નથી ?

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

(e) કિરણ પ્રકાશવિજ્ઞાન એ પૂર્વધારણા પર આધારિત છે કે પ્રકાશ સુરેખામાં ગતિ કરે છે. વિવર્તન અસરો (જ્યારે પ્રકાશ નાના અડચણ / સ્લિટમાંથી પસાર થાય છે અથવા નાના અડચણથી વાંકુ વળે છે ત્યારે જોવા મળે છે) આ પૂર્વધારણાનું ખંડન કરે છે. તેમ છતાં કિરણ પ્રકાશશાસ્ત્ર પૂર્વધારણા સામાન્ય વપરાશના પ્રકાશીય ઉપકરણોમાં પ્રતિબિંબનું સ્થાન અને બીજા ગુણધર્મો સમજાવવા માટે વપરાય છે. આની પૃષ્ઠિ કેવી રીતે કરશો ?

10.18 બે ટેકરીઓ પર રહેલા બે ટાવરો એકબીજાથી 40 km દૂર છે. તેમને જોડતી રેખા બરાબર વચ્ચે આવેલી ટેકરીની 50 m ઉપરથી પસાર થાય છે. નોંધપાત્ર વિવર્તન અસરો સિવાય બે ટાવરો વચ્ચે મોકલી શકાય તેવા રેડિયો તરંગોની સૌથી વધુ તરંગલંબાઈ કેટલી હશે ?

10.19 500 nm તરંગલંબાઈ ધરાવતું સમાંતર પ્રકાશ કિરણપૂંજ એક સાંકડી સ્લિટ પર પડે છે અને પરિણામી વિવર્તનભાત 1 m દૂર રાખેલા પડદા ઉપર જોવામાં આવે છે. એવું જોવા મળે છે કે, પ્રથમ ન્યૂનત્તમ પડદાના કેન્દ્રથી 2.5 mm અંતરે આવેલ છે. સ્લિટની પહોળાઈ શોધો.

10.20 નીચેના પ્રશ્નોના જવાબ આપો.

(a) જ્યારે પ્રમાણમાં નીચી ઊંચાઈએ ઉડતું હવાઈ જહાજ માથા પરથી પસાર થાય છે ત્યારે આપણે ઘણી વખત ટીવી પડદા પરના ચિત્રમાં ધ્રુજારી થતી નોંધીએ છીએ. આની શક્ય સમજૂતી જણાવો.

(b) તમે પુસ્તકમાં શીખી ગયાં છો તેમ તરંગના સ્થાનાંતર માટેના રેખીય સંપાતપણાનો સિધ્ધાંત એ વિવર્તન અને વ્યતિકરણ ભાતોના તીવ્રતા વિતરણ માટેનો આધાર છે. આ સિધ્ધાંતનું વ્યાજબીપણું શું છે ?

10.21 એક સ્લિટ વિવર્તન ભાત મેળવતી વખતે આપણે નોંધ્યું કે $n\lambda/a$ ખૂણાઓ આગળ તીવ્રતા શૂન્ય થાય છે. સ્લિટને યોગ્ય ભાગમાં વહેંચીને તીવ્રતાની થતી નાબૂદી દ્વારા આનું વ્યાજબીપણું દર્શાવો.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

પ્રકરણ અગિયાર

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

11.1 પ્રસ્તાવના (INTRODUCTION)

વિદ્યુતચુંબકત્વ માટેના મેક્સવેલનાં સમીકરણો અને 1887માં વિદ્યુતચુંબકીય તરંગો ઉત્પન્ન કરવા અને તેમને પરખવા (Detection) માટેના હર્ટ્ઝના પ્રયોગોએ પ્રકાશના તરંગ સ્વરૂપને દૃઢપણે સ્થાપિત કર્યું હતું. તે જ સમયગાળા દરમિયાન 19મી સદીના અંત વખતે, ડિસ્ચાર્જ ટ્યૂબમાં નીચા દબાણે રહેલા વાયુઓમાંથી વિદ્યુત વિભાર (ઈલેક્ટ્રીક ડિસ્ચાર્જ)ના પ્રાયોગિક અવલોકનો ઘણી બધી ઐતિહાસિક શોધોખોળો તરફ દોરી ગયા. 1895માં રૉન્જન (Roentgen) દ્વારા X-Ray (ક્ષ-કિરણો), તથા 1897માં જે. જે. થોમસન દ્વારા ઈલેક્ટ્રૉનની શોધ, એ પરમાણુની રચના સમજવા માટેનાં અગત્યના માર્ગસ્તંભ હતા. એમ જાણવા મળ્યું હતું કે પારાના લગભગ 0.001 mm સ્તંભ જેટલા પુરતા ઓછા દબાણે, ડિસ્ચાર્જ ટ્યુબમાં રહેલા વાયુ પર બે ઈલેક્ટ્રૉડ્સ (વિદ્યુત અગ્રો) વચ્ચે વિદ્યુતક્ષેત્ર લાગુ પાડતાં ડિસ્ચાર્જ (વિદ્યુત વિભાર) ઉત્પન્ન થાય છે. કૅથોડની સામેની બાજુના કાચ પર પ્રસ્ફુરક (ફ્લોરેસન્ટ) ઝગારો (Glow) દેખાય છે. કાચ પરના પ્રસ્ફુરક (ફ્લોરેસન્ટ) પ્રકાશનો રંગ, કાચના પ્રકાર પર આધાર રાખતો હતો, જેમકે સોડા-કાચ પર પીળાશ પડતો લીલો રંગ હતો. આ પ્રસ્ફુરણ (ફ્લોરેસન્સ) માટે કૅથોડ પરથી આવતા વિકિરણને કારણભૂત માનવામાં આવ્યું હતું. કૅથોડ કિરણોની શોધ 1870માં વિલિયમ ક્રુક્સે (William Crookes) કરી હતી, જેમણે પછીથી 1879માં સૂચવ્યું હતું કે આ કિરણો ખૂબ ઝડપથી ગતિ કરતા ઋણ વિદ્યુતભારિત કણોના પ્રવાહના બનેલા છે. બ્રિટીશ ભૌતિકશાસ્ત્રી જે. જે. થોમસને (J. J. Thomson, 1856-1940) આ અધિતર્કની પુષ્ટિ આપી. ડિસ્ચાર્જ ટ્યૂબ પર પરસ્પર લંબ રૂપે વિદ્યુત અને ચુંબકીયક્ષેત્રો લગાડીને જે. જે. થોમસને સૌ પ્રથમ આ કૅથોડ કિરણોના કણોની ઝડપ અને વિશિષ્ટ વિદ્યુતભાર [વિદ્યુતભાર અને દ્રવ્યમાનનો ગુણોત્તર (e/m)]ના પ્રાયોગિક મૂલ્યો મેળવ્યા. તેઓ

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

(કૅથોડ કિરણોના કણો) પ્રકાશની ઝડપ (3×10^8 m/s)ના લગભગ 0.1 થી 0.2 ગણી ઝડપથી ગતિ કરતા માલુમ પડ્યા હતા. હાલમાં e/mનું સ્વીકારેલ મૂલ્ય 1.76×10^{11} C/kg છે. આ ઉપરાંત, e/mનું મૂલ્ય કૅથોડ (ઉત્સર્જક) માટે ઉપયોગમાં લેવાયેલા દ્રવ્ય/ધાતુના પ્રકાર પર, કે ડિસ્ચાર્જ ટ્યૂબમાં રાખેલા વાયુ પર, આધાર રાખતું ન હોવાનું માલુમ પડ્યું હતું. આ અવલોકન કૅથોડ રે કણોનું સાર્વત્રિકપણું (Universality) સૂચવે છે.

આ જ સમયગાળા દરમિયાન, 1887માં એવું જાણવામાં આવ્યું કે કેટલીક ધાતુઓ પર અલ્ટ્રાવાયોલેટ પ્રકાશ આપાત કરતાં, ઓછી ઝડપ ધરાવતા ઋણ વિદ્યુતભારિત કણો ઉત્સર્જિત થાય છે. આ ઉપરાંત, કેટલીક ધાતુઓને ઊંચા તાપમાને ગરમ કરતાં તે ઋણ વિદ્યુતભારિત કણો ઉત્સર્જિત કરતી હોવાનું માલુમ પડ્યું હતું. આ કણો માટે પણ e/mનું મૂલ્ય કૅથોડ રે કણો જેટલું જ જાણવા મળ્યું હતું. આ બધા અવલોકનોએ પ્રસ્થાપિત કર્યું કે આ બધા જ કણો, ભલે તે જુદી જુદી રીતે ઉત્પન્ન થયા હોય, એક સમાન પ્રકૃતિ ધરાવે છે, જેમને 1897માં જે. જે. થોમસને *ઈલેક્ટ્રૉન* (*Electrons*) એવું નામ આપ્યું, અને દર્શાવ્યું કે તેઓ દ્રવ્યનો મૂળભૂત, સાર્વત્રિક ઘટક છે. વાયુઓ વડે વિદ્યુત વહનના સૈદ્ધાંતિક અને પ્રાયોગિક નિરીક્ષણો દ્વારા ઈલેક્ટ્રૉનની યુગ પ્રવર્તક શોધ કરવા બદલ તેમને 1906માં ભૌતિકવિજ્ઞાન માટેનું નૉબેલ પારિતોષિક એનાયત થયું હતું. 1913માં, અમેરીકન ભૌતિકશાસ્ત્રી આર. એ. મિલિકને (R. A. Millikan, 1868-1953) ઈલેક્ટ્રૉનનો વિદ્યુતભાર ચોક્કસ રીતે માપવા માટે નવો જ, તેલના બુંદ (Oil-Drop)નો પ્રયોગ કર્યો. તેમને જાણવા મળ્યું કે તેલના ટીપા પરનો વિદ્યુતભાર હંમેશા પ્રાથમિક વિદ્યુતભાર, 1.602×10^{-19} Cના પૂર્ણાંક ગુણકમાં જ મળે છે. આમ, મિલિકનના પ્રયોગે સ્થાપિત કર્યું કે *વિદ્યુતભાર ક્વૉન્ટાઈઝ્ડ (ક્વૉન્ટમીકૃત)* હોય છે. વિદ્યુતભાર (e) અને વિશિષ્ટ વિદ્યુતભાર (e/m)ના મૂલ્ય પરથી, ઈલેક્ટ્રૉનનું દ્રવ્યમાન (m) શોધી શકાય.

11.2 ઈલેક્ટ્રૉનનું ઉત્સર્જન (ELECTRON EMISSION)

આપણે જાણીએ છીએ કે ધાતુઓ મુક્ત ઈલેક્ટ્રૉન (ઋણ વિદ્યુતભારિત કણો) ધરાવે છે જે તેમની વાહકતા માટે જવાબદાર છે. આમ છતાં, મુક્ત ઈલેક્ટ્રૉન સામાન્ય રીતે ધાતુની સપાટી પરથી છટકી શકતા નથી. જો કોઈ ઈલેક્ટ્રૉન ધાતુમાંથી બહાર નીકળવા પ્રયત્ન કરે, તો ધાતુની સપાટી ધન વિદ્યુતભાર પ્રાપ્ત કરે છે અને ઈલેક્ટ્રૉનને પાછો ધાતુમાં ખેંચી લે છે. આમ, આયનોના આકર્ષીબળોના કારણે મુક્ત ઈલેક્ટ્રૉન ધાતુની સપાટીમાં પકડાઈ રહે છે. પરિણામ સ્વરૂપે, જો ઈલેક્ટ્રૉન આ આકર્ષી બળને ઓળંગી શકે (પહોંચી વળે) તેટલી પુરતી ઊર્જા ધરાવતો હોય તો જ તે ધાતુની સપાટીમાંથી બહાર નીકળી શકે. ધાતુની સપાટીમાંથી ઈલેક્ટ્રૉનને બહાર કાઢવા માટે અમુક ચોક્કસ લઘુત્તમ ઊર્જા આપવી પડે છે. ધાતુની સપાટીમાંથી ઈલેક્ટ્રૉનને છટકી જવા માટે જરૂરી એવી આ લઘુત્તમ ઊર્જાને તે ધાતુનું *કાર્ય વિધેય* (*Work Function*) કહે છે. તેને સામાન્ય રીતે ϕ_0 વડે દર્શાવાય છે અને તેને eV (electron Volt)માં માપવામાં આવે છે. ઈલેક્ટ્રૉનને 1 વોલ્ટના વિદ્યુત સ્થિતિમાન તફાવત વડે પ્રવેગિત કરતાં તેણે મેળવેલી ઊર્જાને એક ઈલેક્ટ્રૉન વોલ્ટ કહે છે, એટલે કે 1 eV = 1.602×10^{-19} J.

ઊર્જાના આ એકમનો ઉપયોગ સામાન્ય રીતે પરમાણ્વિક અને ન્યુક્લિયર ભૌતિકવિજ્ઞાનમાં થાય છે. કાર્ય વિધેય (ϕ_0), ધાતુના ગુણધર્મો અને તેની સપાટીના પ્રકાર પર આધાર રાખે છે. કેટલીક ધાતુઓના કાર્ય વિધેયના મૂલ્યો કોષ્ટક 11.1માં આપેલા છે. આ મૂલ્યો લગભગ છે કારણકે તે ધાતુની સપાટી પરની અશુધ્ધિ પ્રત્યે ખૂબ સંવેદી છે.

કોષ્ટક 11.1 પરથી નોંધો કે કાર્ય વિધેયનું મૂલ્ય પ્લેટિનમ માટે મહત્તમ ($\phi_0 = 5.65$ eV) છે, જ્યારે સિઝિયમ માટે તે લઘુત્તમ ($\phi_0 = 2.14$ eV) છે.

ધાતુની સપાટીમાંથી ઈલેક્ટ્રૉનના ઉત્સર્જન માટે જરૂરી લઘુત્તમ ઊર્જા, મુક્ત ઈલેક્ટ્રૉનને નીચે આપેલી ભૌતિક પ્રક્રિયાઓમાંથી કોઈ પણ એક રીતે આપી શકાય :

(i) *તાપીય (થર્મીઓનિક) ઉત્સર્જન* : યોગ્ય રીતે ગરમ કરીને મુક્ત ઈલેક્ટ્રૉનને પુરતી તાપીય (થર્મલ) ઊર્જા આપી શકાય કે જેથી તેઓ ધાતુ (ની સપાટી)માંથી બહાર નીકળી શકે.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

કોષ્ટક 11.1 કેટલીક ધાતુઓનાં કાર્ય વિધેય

ધાતુ	કાર્ય વિધેય ϕ_0 (*e*V)	ધાતુ	કાર્ય વિધેય ϕ_0 (*e*V)
C*s*	2.14	A*l*	4.28
K	2.30	Hg	4.49
N*a*	2.75	C*u*	4.65
C*a*	3.20	A*g*	4.70
M*o*	4.17	N*i*	5.15
P*b*	4.25	P*t*	5.65

(ii) *ક્ષેત્રીય ઉત્સર્જન* : સ્પાર્ક પ્લગની જેમ, ધાતુ પર ખૂબ પ્રબળ વિદ્યુતક્ષેત્ર (10^8 Vm^{-1}ના ક્રમનું) લગાડીને, ઈલેક્ટ્રૉનને ધાતુની સપાટીમાંથી બહાર (ખેંચી) કાઢી શકાય.

(iii) *ફોટો-ઈલેક્ટ્રીક ઉત્સર્જન* : જ્યારે યોગ્ય આવૃત્તિનો પ્રકાશ ધાતુ પર આપાત કરવામાં આવે ત્યારે ધાતુની સપાટીમાંથી ઈલેક્ટ્રૉનનું ઉત્સર્જન થાય છે. આ ફોટો (પ્રકાશ)-ઉત્સર્જિત ઈલેક્ટ્રૉનને *ફોટો ઈલેક્ટ્રૉન* કહે છે.

11.3 ફોટો ઈલેક્ટ્રીક અસર (Photo Electric Effect)

11.3.1 હર્ટ્ઝના અવલોકનો (Hertz's Observations)

વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોના પ્રયોગો દરમ્યાન, 1887માં હેન્રી હર્ટ્ઝે (Heinrich Hertz, 1857-1894) ફોટો-ઈલેક્ટ્રીક ઉત્સર્જનની ઘટના શોધી હતી. સ્પાર્કના ડીસ્ચાર્જ દ્વારા વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોના ઉત્સર્જનના પ્રાયોગિક અવલોકન દરમિયાન હર્ટ્ઝે અવલોકન કર્યું કે જ્યારે ઉત્સર્જક પ્લેટને આર્ક લૅમ્પના અલ્ટ્રાવાયોલેટ પ્રકાશ વડે પ્રકાશિત કરવામાં આવે ત્યારે) ડીટેક્ટર લૂપની આસપાસ ઊંચા વોલ્ટેજના સ્પાર્ક વધુ તીવ્ર હતા.

ધાતુની સપાટી પર પ્રકાશ આપાત કરતાં મુક્ત, વિદ્યુતભારિત કણો તેમાંથી બહાર ભાગી છૂટતા હતા જેમને હવે આપણે ઈલેક્ટ્રૉન તરીકે ઓળખીએ છીએ. જ્યારે ધાતુની સપાટી પર પ્રકાશ આપાત થાય, ત્યારે (ધાતુની) સપાટી પાસેના કેટલાક ઈલેક્ટ્રૉન આપાત વિકિરણોમાંથી, પદાર્થની સપાટીમાં રહેલા ધન આયનોના આકર્ષણ બળને ઓળંગી શકાય એટલી, પુરતી ઊર્જા મેળવે છે. આપાત પ્રકાશમાંથી પુરતી ઊર્જા મેળવ્યા પછી ઈલેક્ટ્રૉન ધાતુની સપાટીમાંથી આસપાસના અવકાશમાં મુક્ત થાય છે.

11.3.2 હોલવાશ અને લેનાર્ડના અવલોકનો (Hallwachs' and Lenard's Observations)

વિલ્હેમ હોલવાશ અને ફીલીપ લેનાર્ડે 1886-1902ના ગાળામાં ફોટો ઈલેક્ટ્રીક ઉત્સર્જનની ઘટનાનો અભ્યાસ કર્યો હતો.

લેનાર્ડે (1862-1947) અવલોકન કર્યું કે, જ્યારે બે ઈલેક્ટ્રૉડ (ધાતુની પટ્ટીઓ)ને સમાવતી શૂન્યાવકાશિત કાચની નળીમાં રહેલી ઉત્સર્જક પ્લેટ (પટ્ટી) પર અલ્ટ્રાવાયોલેટ વિકિરણ આપાત કરવામાં આવે ત્યારે પરિપથમાં વિદ્યુતપ્રવાહ વહે છે (આકૃતિ 11.1). જ્યારે અલ્ટ્રાવાયોલેટ વિકિરણ આપાત કરવાનું બંધ કરવામાં આવે ત્યારે તરત જ વિદ્યુતપ્રવાહ પણ અટકી જાય છે. આ અવલોકનો દર્શાવે છે કે, જ્યારે ઉત્સર્જક પ્લેટ C પર અલ્ટ્રાવાયોલેટ વિકિરણ પડે છે ત્યારે તેમાંથી ઈલેક્ટ્રૉનનું ઉત્સર્જન

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

થાય છે, જે વિદ્યુતક્ષેત્ર દ્વારા ધન કલેક્ટર પ્લેટ A તરફ આકર્ષાય છે. ઈલેક્ટ્રૉન્સ શૂન્યાવકાશિત નળીમાંથી પસાર થાય છે અને પરિણામે વિદ્યુતપ્રવાહનું વહન થાય છે. આમ, ઉત્સર્જકની સપાટી પર આપાત થતા પ્રકાશના કારણે બાહ્ય પરિપથમાં વિદ્યુતપ્રવાહનું વહન થાય છે. હોલવાશ અને લેનાર્ડ કલેક્ટર પ્લેટના સ્થિતિમાન તથા આપાત પ્રકાશની આવૃત્તિ અને તીવ્રતા સાથે ફોટો ઈલેક્ટ્રીક પ્રવાહ કેવી રીતે બદલાય છે તેનો અભ્યાસ કર્યો હતો.

1888માં હોલવાશે વધુ અભ્યાસ કર્યો અને ઈલેક્ટ્રૉસ્કોપ સાથે ઋણ વિદ્યુતભારિત ઝિંક પ્લેટ જોડી. તેમને એવું જોવા મળ્યું કે જ્યારે ઝિંક પ્લેટ પર અલ્ટ્રાવાયોલેટ પ્રકાશ આપાત કરવામાં આવ્યો, ત્યારે પ્લેટે તેનો વિદ્યુતભાર ગુમાવ્યો. ઉપરાંત વિદ્યુતભાર રહિત ઝિંક પ્લેટ પર અલ્ટ્રાવાયોલેટ પ્રકાશ આપાત કરતાં, તે ધન વિદ્યુતભારિત બની. ધન વિદ્યુતભારિત ઝિંક પ્લેટ પર અલ્ટ્રાવાયોલેટ પ્રકાશ આપાત કરતા તેના પરનો ધનવિદ્યુતભાર વધ્યો આ અવલોકનો પરથી તેમણે તારવ્યું કે ઝિંક પ્લેટ પર અલ્ટ્રાવાયોલેટ પ્રકાશ આપાત કરતાં તેમાંથી ઋણ વિદ્યુતભારિત કણો ઉત્સર્જિત થાય છે.

1897માં ઈલેક્ટ્રૉનની શોધ બાદ એ સ્પષ્ટ થયું કે, ઉત્સર્જક પ્લેટ પર પ્રકાશ આપાત કરતાં તેમાંથી ઈલેક્ટ્રૉન્સ ઉત્સર્જિત થાય છે. ઋણ વિદ્યુતભારના કારણે ઉત્સર્જિત ઈલેક્ટ્રૉન વિદ્યુતક્ષેત્ર દ્વારા કલેક્ટર પ્લેટ તરફ ધકેલાય છે. હોલવાશ અને લેનાર્ડ એ પણ અવલોકન કર્યું કે જ્યારે ઉત્સર્જક પ્લેટ પર અલ્ટ્રાવાયોલેટ પ્રકાશ આપાત કરીએ ત્યારે, આપાત પ્રકાશની આવૃત્તિ, અમુક લઘુત્તમ મૂલ્ય - જેને *થ્રેશોલ્ડ (સીમાંત) આવૃત્તિ* કહે છે તે - કરતાં ઓછી હોય તો એક પણ ઈલેક્ટ્રૉન ઉત્સર્જિત થતો નથી. આ લઘુત્તમ આવૃત્તિ ઉત્સર્જક પ્લેટના દ્રવ્યના પ્રકાર (પ્રકૃતિ) પર આધાર રાખે છે.

એવું જાણવા મળ્યું હતું કે ઝિંક, કેડમિયમ, મેગ્નેશિયમ વગેરે જેવી કેટલીક ધાતુઓ સપાટીમાંથી ઈલેક્ટ્રૉનનું ઉત્સર્જન કરવા માટે ટૂંકી આવૃત્તિવાળા અલ્ટ્રાવાયોલેટ પ્રકાશને જ પ્રતિભાવ આપે છે. જો કે કેટલીક આલ્કલી ધાતુઓ જેમકે લિથિયમ, સોડિયમ, પોટેશિયમ, સિઝિયમ અને રૂબિડિયમ જેવી આલ્કલી ધાતુઓ દૃશ્ય પ્રકાશ માટે પણ સંવેદનશીલ છે. આ બધા જ *પ્રકાશ સંવેદી (ફોટો સેન્સિટીવ) દ્રવ્યો* પર પ્રકાશ આપાત કરતાં તે ઈલેક્ટ્રૉનનું ઉત્સર્જન કરે છે. ઈલેક્ટ્રૉનની શોધ થયા બાદ આ ઈલેક્ટ્રૉનને ફોટો ઈલેક્ટ્રૉન કહેવામાં આવ્યા. આ ઘટનાને *ફોટો ઈલેક્ટ્રીક અસર* કહે છે.

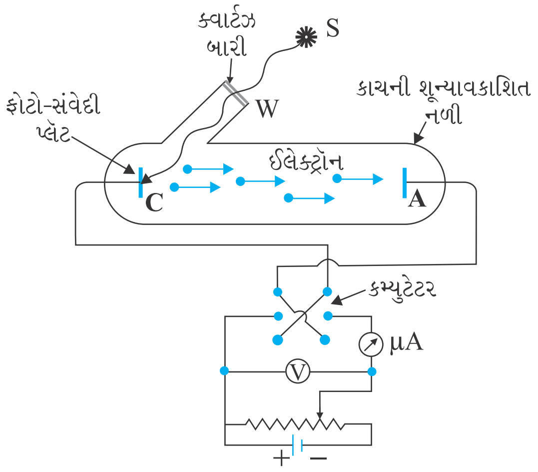
Simulate experiments on photoelectric effect
http://www.eo.ucar.edu/rainbows
http://www.atoptics.co.uk/bows.htm

11.4 ફોટો ઈલેક્ટ્રીક અસરનો પ્રાયોગિક અભ્યાસ (Exprimental Study of Photoelectric Efect)

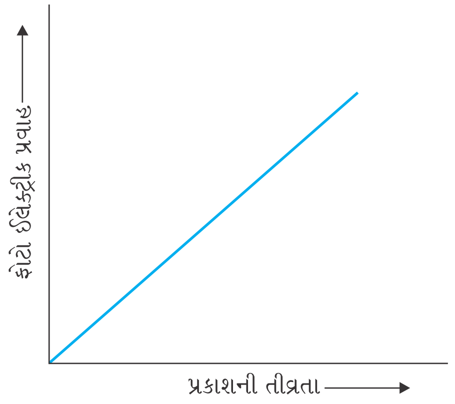
આકૃતિ 11.1માં ફોટો ઈલેક્ટ્રીક અસરનો અભ્યાસ કરવા માટેની પ્રાયોગિક ગોઠવણીની રૂપરેખા દર્શાવી છે. તેમાં શૂન્યાવકાશિત કાચ/ક્વાર્ટઝની નળી (ટ્યૂબ)ની અંદર પ્રકાશ સંવેદી પ્લેટ C અને બીજી ધાતુની પ્લેટ A દર્શાવેલ છે. પ્રકાશ ઉદ્‌ગમ Sમાંથી પુરતી ઓછી તરંગલંબાઈવાળો એકવર્ણી (Monochromatic - એક રંગી) પ્રકાશ બારી Wમાં થઈને પ્રકાશ સંવેદી પ્લેટ (ઉત્સર્જક) C પર આપાત થાય છે. પારદર્શક ક્વાર્ટઝની બારીને કાચની ટ્યૂબ પર લગાડવામાં આવી હોય છે, જે તેમાંથી અલ્ટ્રાવાયોલેટ કિરણને પસાર થવા દે છે, જે ફોટો સેન્સિટીવ પ્લેટ C પર આપાત થાય છે. પ્લેટ Cમાંથી ઈલેક્ટ્રૉન ઉત્સર્જિત થાય છે અને બૅટરી વડે ઉત્પન્ન થયેલા વિદ્યુતક્ષેત્રના કારણે (કલેક્ટર) પ્લેટ A દ્વારા એકત્રિત થાય છે. બૅટરી, C અને A વચ્ચે વિદ્યુત સ્થિતિમાનનો તફાવત જાળવી રાખે છે, જે બદલી પણ શકાય છે. પ્લેટ C અને પ્લેટ Aની ધ્રુવત્વ (Polarity - ધન કે ઋણ) ને કમ્યુટેટર દ્વારા ઊલટાવી શકાય છે. આમ, ઉત્સર્જક C ની સાપેક્ષે પ્લેટ A ને ઈચ્છિત ધન કે ઋણ સ્થિતિમાને રાખી શકાય છે. જ્યારે ઉત્સર્જક પ્લેટ Cની સાપેક્ષે કલેક્ટર પ્લેટ A ધન હોય, ત્યારે ઈલેક્ટ્રૉન તેના તરફ આકર્ષાય છે. ઈલેક્ટ્રૉનના ઉત્સર્જનના કારણે પરિપથમાં વિદ્યુતપ્રવાહનું વહન થાય છે. ઉત્સર્જક અને કલેક્ટર પ્લેટ વચ્ચે વિદ્યુત સ્થિતિમાનનો તફાવત વોલ્ટમીટર (V) વડે માપી શકાય છે. જ્યારે પરિપથમાં મળતો ફોટો

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com



આકૃતિ 11.1 ફોટો ઈલેક્ટ્રીક અસર સમજવા માટે પ્રાયોગિક ગોઠવણી



આકૃતિ 11.2 પ્રકાશની તીવ્રતા સાથે ફોટો ઈલેક્ટ્રીક પ્રવાહનો ફેરફાર

વિદ્યુતપ્રવાહ માઈક્રોએમીટર (μA) વડે માપી શકાય છે. ઉત્સર્જક પ્લેટ Cની સાપેક્ષે કલેક્ટર પ્લેટ A પરનું સ્થિતિમાન બદલીને ફોટો ઈલેક્ટ્રીક પ્રવાહ વધારી કે ઘટાડી શકાય છે. ઉત્સર્જક C અને કલેક્ટર A વચ્ચેના વિદ્યુત સ્થિતિમાનના તફાવત Vની જેમ આપાત પ્રકાશની તીવ્રતા અને આવૃત્તિ પણ બદલી શકાય છે.

આપણે આકૃતિ 11.1માં દર્શાવેલ પ્રાયોગિક ગોઠવણીનો ઉપયોગ કરીને (a) વિકિરણની તીવ્રતા, (b) આપાત વિકિરણની આવૃત્તિ, (c) પ્લેટ A અને C વચ્ચે વિદ્યુત સ્થિતિમાનનો તફાવત, અને (d) પ્લેટ C માટે વપરાયેલ દ્રવ્યના પ્રકારની સાથે ફોટો ઈલેક્ટ્રીક પ્રવાહના ફેરફારનો અભ્યાસ કરી શકીએ. ઉત્સર્જક C પર આપાત થતા પ્રકાશના માર્ગમાં યોગ્ય રંગના ફિલ્ટર કે રંગીન કાચ મૂકીને જુદી જુદી આવૃત્તિના પ્રકાશનો ઉપયોગ કરી શકીએ. પ્રકાશની તીવ્રતાને બદલવા માટે આપણે ઉત્સર્જક અને પ્રકાશ ઉદ્‌ગમ વચ્ચેનું અંતર બદલી શકીએ.

11.4.1 પ્રકાશની તીવ્રતાની ફોટો પ્રવાહ પર અસર (Effect of Intensity of Light on Photocurrent)

ઉત્સર્જક Cની સાપેક્ષે કલેક્ટર Aને ધન સ્થિતિમાને રાખવામાં આવે છે કે જેથી C પરથી ઉત્સર્જાયેલા ઈલેક્ટ્રૉન કલેક્ટર A તરફ આકર્ષાય. આપાત પ્રકાશની આવૃત્તિ અને સ્થિતિમાન અચળ રાખીને, વિકિરણની તીવ્રતા બદલવામાં આવે છે અને દરેક વખતે પરિણામી ફોટો ઈલેક્ટ્રીક પ્રવાહ માપવામાં આવે છે. આકૃતિ 11.2માં દર્શાવેલ આલેખ મુજબ પ્રકાશની તીવ્રતામાં થતા વધારા સાથે ફોટો પ્રવાહ રેખીય રીતે વધતો હોવાનું જણાય છે. ફોટો પ્રવાહ એક સેકન્ડમાં ઉત્સર્જાતા ફોટો ઈલેક્ટ્રૉનની સંખ્યાના સમપ્રમાણમાં હોય છે. આ દર્શાવે છે કે *એક સેકન્ડમાં ઉત્સર્જાયેલા ઈલેક્ટ્રૉનની સંખ્યા આપાત પ્રકાશની તીવ્રતાના સમપ્રમાણમાં હોય છે.*

11.4.2 ફોટો ઈલેક્ટ્રીક પ્રવાહ પર વિદ્યુતદબાણની અસર (Effect of Potential on Photoelectric Current)

પ્રારંભમાં આપણે પ્લેટ Cની સાપેક્ષે પ્લેટ Aને કોઈ ધન સ્થિતિમાને રાખીએ તથા પ્લેટ C પર અચળ (ચોક્કસ) આવૃત્તિ ν અને અચળ તીવ્રતા I_1 નો પ્રકાશ આપાત કરીએ. ત્યાર બાદ આપણે પ્લેટ Aના ધન સ્થિતિમાનને ધીમે ધીમે બદલીએ તથા દરેક વખતે મળતો ફોટો ઈલેક્ટ્રીક પ્રવાહ માપીએ. એમ જાણવા મળે છે કે પ્રવેગક (ધન) સ્થિતિમાનના વધારા સાથે ફોટો ઈલેક્ટ્રીક પ્રવાહ પણ વધે છે. કોઈ એક તબક્કે પ્લેટ A પરના ચોક્કસ ધન સ્થિતિમાન માટે, ઉત્સર્જાયેલા બધા જ ઈલેક્ટ્રૉન પ્લેટ A પર પહોંચી જાય છે અને ફોટો ઈલેક્ટ્રીક પ્રવાહ મહત્તમ બને છે અથવા સંતૃપ્ત (Saturate) થાય છે. જો આપણે પ્લેટ A પરનું પ્રવેગક સ્થિતિમાન હજી પણ વધારીએ તો ફોટો ઈલેક્ટ્રીક પ્રવાહ વધતો નથી. ફોટો ઈલેક્ટ્રીક પ્રવાહના આ મહત્તમ મૂલ્યને *સંતૃપ્ત પ્રવાહ* (*Saturation Current*) કહે છે. સંતૃપ્ત પ્રવાહ, ઉત્સર્જક પ્લેટ C પરથી ઉત્સર્જાયેલા બધા જ ફોટો ઈલેક્ટ્રૉન કલેક્ટર પ્લેટ A પર પહોંચે તે કિસ્સાને અનુરૂપ છે (તે કિસ્સામાં મળે છે).

હવે આપણે પ્લેટ Cની સાપેક્ષે પ્લેટ A પર ઋણ (પ્રતિપ્રવેગક) સ્થિતિમાન લગાડીએ અને તેને ધીમે ધીમે વધુ ઋણ બનાવીએ. જ્યારે ધ્રુવત્વ ઊલટાવવામાં આવે ત્યારે ઈલેક્ટ્રૉન અપાકર્ષાય છે અને ફક્ત

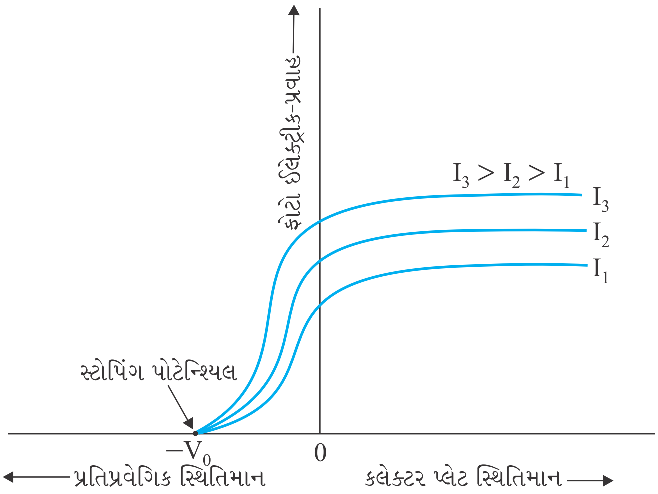
Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

પુરતી ઊર્જા ધરાવતા ઈલેક્ટ્રૉન જ કલેક્ટર પ્લેટ A સુધી પહોંચે છે. ફોટો ઈલેક્ટ્રીક પ્રવાહ ઝડપથી ઘટતો જાય છે અને પ્લેટ A પરના ઋણ સ્થિતિમાનના ચોક્કસ રીતે વ્યાખ્યાયિત ક્રાંતિમૂલ્ય, V_0 માટે તે શૂન્ય થાય છે. આપાત પ્રકાશની કોઈ ચોક્કસ આવૃત્તિ માટે, *પ્લેટ A પર લગાડેલ લઘુત્તમ ઋણ (પ્રતિપ્રવેગી) સ્થિતિમાન V_0, કે જેના માટે ફોટો પ્રવાહ બંધ થઈ જાય કે શૂન્ય થાય, તેને કટ ઓફ કે સ્ટોપિંગ પોટેન્શિયલ કહે છે.*

ફોટો ઈલેક્ટ્રૉનના સંદર્ભમાં આ અવલોકનનું અર્થઘટન સરળ છે. ધાતુમાંથી ઉત્સર્જાયેલા બધા જ ફોટો ઈલેક્ટ્રૉનની ઊર્જા એક સમાન નથી હોતી. જ્યારે સ્ટોપિંગ પોટેન્શિયલ એટલું પુરતું હોય કે જે સૌથી વધુ ઊર્જાવાન ફોટો ઈલેક્ટ્રૉન, કે જેમની મહત્તમ ગતિઊર્જા (K_{max}) હોય, તેમને પણ અપાકર્ષિત કરીને કલેક્ટર પર પહોંચવામાંથી રોકી શકે, ત્યારે ફોટો ઈલેક્ટ્રીક પ્રવાહ શૂન્ય થાય છે, તેથી

$$K_{max} = eV_0 \qquad (11.1)$$

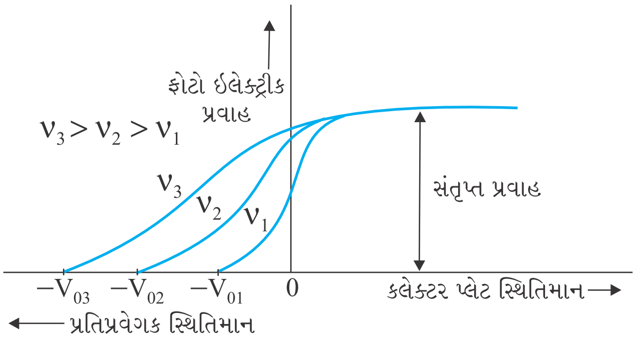


આકૃતિ 11.3 આપાત પ્રકાશની જુદી જુદી તીવ્રતાઓ માટે, કલેક્ટર પ્લેટ સ્થિતિમાન સાથે ફોટો ઈલેક્ટ્રીક પ્રવાહનો ફેરફાર

આપણે આ પ્રયોગને આપાત વિકિરણની તે જ આવૃત્તિ માટે, પણ વધુ તીવ્રતાઓ I_2 અને I_3 ($I_3 > I_2 > I_1$) માટે ફરીથી કરી શકીએ. આપણે એ નોંધીએ કે, સંતૃપ્ત પ્રવાહો (Saturation Currents) હવે વધારે ઊંચા મૂલ્યના મળે છે. આ દર્શાવે છે કે, આપાત વિકિરણની તીવ્રતાને સપ્રમાણ રીતે એક સેકન્ડ દીઠ વધુ ઈલેક્ટ્રૉન ઉત્સર્જિત થાય છે. પરંતુ આકૃતિ 11.3માં આલેખીય રીતે દર્શાવ્યા મુજબ સ્ટોપિંગ પોટેન્શિયલનું મૂલ્ય આપાત વિકિરણની તીવ્રતા I_1 માટે મળતું હતું તેટલું જ રહે છે. આમ, *આપાત વિકિરણની આપેલ આવૃત્તિ માટે, સ્ટોપિંગ પોટેન્શિયલ એ તીવ્રતા પર આધાર રાખતું નથી.* બીજા શબ્દોમાં, ફોટો ઈલેક્ટ્રૉનની મહત્તમ ગતિઊર્જા પ્રકાશની આવૃત્તિ અને ઉત્સર્જક પ્લેટના દ્રવ્ય પર આધાર રાખે છે, પરંતુ તે આપાત વિકિરણની તીવ્રતા પર આધાર રાખતી નથી.

11.4.3 આપાત વિકિરણની આવૃત્તિની સ્ટોપિંગ પોટેન્શિયલ પર અસર (Effect of Frequency of Incident Radiation on Stopping Potential)

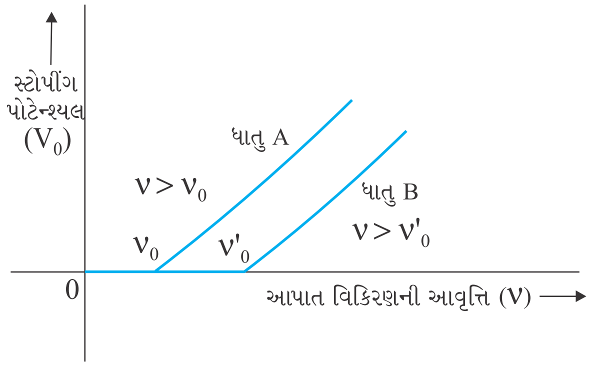
હવે આપણે આપાત વિકિરણની આવૃતિ ν અને સ્ટોપિંગ પોટેન્શિયલ V_0 વચ્ચેનો સંબંધ સમજીશું. આપણે જુદી જુદી આવૃત્તિઓ માટે પ્રકાશના કિરણોની તીવ્રતા એક સરખી જ રાખીશું અને કલેક્ટર પ્લેટના સ્થિતિમાન સાથે ફોટો ઈલેક્ટ્રિક પ્રવાહના ફેરફારનો અભ્યાસ કરીશું. પરિણામે મળતો ફેરફાર આકૃતિ 11.4માં દર્શાવ્યો છે. આપણને આપાત વિકિરણની જુદી જુદી આવૃત્તિઓ માટે સ્ટોપિંગ પોટેન્શિયલના જુદા જુદા મૂલ્યો મળે છે. પરંતુ સંતૃપ્ત પ્રવાહ (Saturation Current)નું એક સમાન મૂલ્ય જ મળે છે. ઉત્સર્જિત ઈલેક્ટ્રૉનની ઊર્જા, આપાત વિકિરણની આવૃત્તિ પર આધાર રાખે છે. આપાત વિકિરણની ઊંચી આવૃત્તિઓ માટે સ્ટોપિંગ પોટેન્શિયલ વધુ ઋણ હોય છે. આકૃતિ 11.4



આકૃતિ 11.4 આપાત પ્રકાશની જુદી જુદી આવૃત્તિઓ માટે કલેક્ટર પ્લેટ સ્થિતિમાન સાથે ફોટો ઈલેક્ટ્રીક પ્રવાહનો ફેરફાર

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com



આકૃતિ 11.5 આપેલ પ્રકાશ સંવેદી દ્રવ્ય માટે આપાત વિકિરણની આવૃત્તિ ν સાથે સ્ટોપિંગ પોટેન્શિયલ V_0નો ફેરફાર

પરથી નોંધો કે, જો આવૃત્તિઓ $\nu_3 > \nu_2 > \nu_1$ ક્રમમાં હોય તો સ્ટોપિંગ પોટેન્શિયલ $V_{03} > V_{02} > V_{01}$ ક્રમમાં છે. આ દર્શાવે છે કે, આપાત પ્રકાશની આવૃત્તિ જેમ વધુ, તેમ ફોટો ઈલેક્ટ્રૉનની ગતિઊર્જા પણ વધુ. પરિણામ સ્વરૂપે, તેમને પુરેપુરા અટકાવવા માટે વધુ પ્રતિપ્રવેગક સ્થિતિમાન (Retarding potential)ની જરૂર પડે. જો આપણે જુદી જુદી ધાતુઓ માટે આપાત વિકિરણની આવૃત્તિ અને તેને અનુરૂપ સ્ટોપિંગ પોટેન્શિયલનો આલેખ દોરીએ તો આપણને આકૃતિ 11.5માં દર્શાવ્યા મુજબ સીધી રેખા મળે. આલેખ દર્શાવે છે કે,

(i) આપેલ ફોટો સેન્સિટીવ (પ્રકાશ સંવેદી) દ્રવ્ય માટે આપાત વિકિરણની આવૃત્તિ સાથે સ્ટોપિંગ પોટેન્શિયલ રેખીય રીતે બદલાય છે.

(ii) કોઈ ચોક્કસ લઘુત્તમ કટ ઓફ આવૃત્તિ ν_0 માટે સ્ટોપિંગ પોટેન્શિયલ શૂન્ય હોય છે.

આ અવલોકનો બે બાબતો સૂચવે છે :

(i) *ફોટો ઈલેક્ટ્રૉનની મહત્તમ ગતિઊર્જા આપાત વિકિરણની આવૃત્તિ સાથે રેખીય રીતે બદલાય છે, પરંતુ તે તીવ્રતા પર આધાર રાખતી નથી.*

(ii) *જો આપાત વિકિરણની આવૃત્તિ ν કટ ઓફ આવૃત્તિ ν_0 કરતાં ઓછી હોય તો તીવ્રતા ગમે તેટલી વધુ હોય તો પણ કોઈ ફોટો ઈલેક્ટ્રીક ઉત્સર્જન થતું નથી.*

આ લઘુત્તમ કટ ઓફ આવૃત્તિ ν_0ને *થ્રેશોલ્ડ (સીમાંત) આવૃત્તિ* કહે છે. જુદી જુદી ધાતુઓ માટે તે જુદી જુદી હોય છે.

જુદા જુદા પ્રકાશ સંવેદી (ફોટો સેન્સિટીવ) દ્રવ્યો પ્રકાશને જુદો જુદો પ્રતિભાવ આપે છે. ઝિંક અને તાંબા કરતાં સેલિનિયમ વધુ સંવેદનશીલ છે. એક જ પ્રકાશ-સંવેદી પદાર્થ જુદી જુદી તરંગલંબાઈના પ્રકાશને પણ જુદો જુદો પ્રતિભાવ આપે છે. ઉદાહરણ તરીકે અલ્ટ્રાવાયોલેટ પ્રકાશ તાંબામાં ફોટો ઈલેક્ટ્રીક અસર ઉપજાવે છે જ્યારે લીલા કે લાલ રંગનો પ્રકાશ આ અસર ઉપજાવતો નથી.

નોંધો કે ઉપરના બધા પ્રયોગોમાં, એ જાણવા મળ્યું છે કે, જો આપાત વિકિરણની આવૃત્તિ થ્રેશોલ્ડ આવૃત્તિ કરતાં વધુ હોય તો જરા પણ દેખીતો સમય બગાડ્યા વગર (જવા દીધા વગર) ફોટો ઈલેક્ટ્રીક ઉત્સર્જન તત્કાળ શરૂ થઈ જાય છે, પછી ભલેને આપાત પ્રકાશની તીવ્રતા ઘણી ઓછી હોય. હવે એ જાણવા મળ્યું છે કે, 10^{-9} s કે તેથી ઓછા ક્રમના સમયમાં ઉત્સર્જન શરૂ થાય છે.

હવે આપણે આ વિભાગમાં દર્શાવેલી પ્રાયોગિક લાક્ષણિકતાઓ અને અવલોકનોનો સારાંશ જોઈએ.

(i) આપેલ પ્રકાશ સંવેદી દ્રવ્ય અને આપાત વિકિરણની આપેલ આવૃત્તિ (થ્રેશોલ્ડ આવૃત્તિ કરતાં વધુ) માટે, ફોટો ઈલેક્ટ્રીક પ્રવાહ આપાત પ્રકાશની તીવ્રતાના સમપ્રમાણમાં હોય છે (આકૃતિ 11.2).

(ii) આપેલ પ્રકાશ સંવેદી દ્રવ્ય અને આપેલ આપાત પ્રકાશની આવૃત્તિ માટે, સંતૃપ્ત પ્રવાહ આપાત વિકિરણની તીવ્રતાના સમપ્રમાણમાં હોય છે પરંતુ સ્ટોપિંગ પોટેન્શિયલ તીવ્રતાથી સ્વતંત્ર હોય છે (આકૃતિ 11.3).

(iii) આપેલ પ્રકાશ સંવેદી દ્રવ્ય માટે, આપાત પ્રકાશની એક ચોક્કસ લઘુત્તમ કટ ઓફ આવૃત્તિ હોય છે, જેને *થ્રેશોલ્ડ આવૃત્તિ* કહે છે, તેના કરતાં ઓછી આવૃત્તિ માટે ગમે તેટલી ઊંચી તીવ્રતાનો પ્રકાશ હોય તો પણ, ફોટો ઈલેક્ટ્રૉનનું ઉત્સર્જન થતું નથી. થ્રેશોલ્ડ આવૃત્તિથી વધુ આવૃત્તિ માટે, સ્ટોપિંગ પોટેન્શિયલ અથવા સમતુલ્ય રીતે ઉત્સર્જિત ફોટો ઈલેક્ટ્રૉનની મહત્તમ ગતિઊર્જા, આપાત વિકિરણની આવૃત્તિ સાથે રેખીય રીતે વધે છે, પરંતુ તે તીવ્રતા પર આધારિત નથી (આકૃતિ 11.5).

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

(iv) ફોટો ઈલેક્ટ્રીક ઉત્સર્જન એ કોઈ પણ દેખીતો સમય બગાડ્યા વગર (જવા દીધા વિના) ($\sim 10^{-9}$ s કે તેથી ઓછા સમયમાં) થતી તાત્ક્ષણિક ઘટના છે, પછી ભલેને આપાત પ્રકાશની તીવ્રતા અતિશય ક્ષીણ હોય.

11.5 ફોટો ઈલેક્ટ્રીક અસર અને પ્રકાશનો તરંગવાદ (Photoelectric Effectand Wave Theory of Light)

ઓગણીસમી સદીના અંત સુધીમાં પ્રકાશ તરંગ સ્વરૂપે છે એ બાબત સ્થાપિત થઈ ગઈ હતી. વ્યતિકરણ, વિવર્તન અને ધ્રુવીભવન (Polarisation)ની ઘટનાઓ પ્રકાશના તરંગ સ્વરૂપ દ્વારા કુદરતી અને સંતોષજનક રીતે સમજાવી શકાઈ હતી. આ ખ્યાલ મુજબ પ્રકાશ એ વિદ્યુત અને ચુંબકીય ક્ષેત્રોથી બનતું વિદ્યુતચુંબકીય તરંગ છે અને તે અવકાશના જે વિભાગમાં વિસ્તરેલું હોય તે વિસ્તાર પર ઊર્જાનું સતત વિતરણ હોય છે. હવે આપણે એ જોવા પ્રયત્ન કરીએ કે પ્રકાશનું આ તરંગ સ્વરૂપ અગાઉના પરિચ્છેદમાં દર્શાવેલ ફોટો ઈલેક્ટ્રીક ઉત્સર્જનના અવલોકનો સમજાવી શકે છે કે નહી.

પ્રકાશના તરંગ સ્વરૂપ મુજબ, ધાતુની (જેના પર વિકિરણની કિરણાવલિ પડે છે તેની) સપાટી પર રહેલા ઈલેક્ટ્રૉન્સ વિકિરણની ઊર્જા સતત શોષે છે. આપાત વિકિરણની તીવ્રતા જેમ વધુ તેમ વિદ્યુત ચુંબકીય ક્ષેત્રોના કંપવિસ્તાર (Amplitude) વધુ હોય છે. પરિણામે તીવ્રતા જેટલી વધુ, તેટલી જ વધુ ઊર્જા દરેક ઈલેક્ટ્રૉન દ્વારા શોષાય છે. આ ચિત્ર મુજબ, સપાટી પરના ફોટો ઈલેક્ટ્રૉનની મહત્તમ ગતિઊર્જા, પ્રકાશની તીવ્રતાના વધારા સાથે વધવી જોઈએ. વળી, (આપાત) પ્રકાશની આવૃત્તિ ગમે તે હોય તો પણ પુરતી તીવ્રતાવાળી વિકિરણની કિરણાવલિ (પુરતા સમયમાં) ઈલેક્ટ્રૉનને પુરતી ઊર્જા આપી શકવી જોઈએ કે જેથી તેઓ ધાતુની સપાટીમાંથી મુક્ત થવા માટે જરૂરી લઘુત્તમ ઊર્જા કરતાં વધુ ઊર્જા મેળવે. આથી થ્રેશોલ્ડ આવૃત્તિનું અસ્તિત્વ જરૂરી નથી. તરંગ સ્વરૂપની અપેક્ષાઓ પરિચ્છેદ 11.4.3ના અંતમાં મળેલ અવલોકનો (i), (ii) અને (iii)થી વિરુદ્ધ છે.

આ ઉપરાંત આપણે નોંધવું જોઈએ કે, તરંગવાદમાં ઈલેક્ટ્રૉન દ્વારા ઊર્જાનું શોષણ વિકિરણના સમગ્ર તરંગ અગ્ર પર સતત થવું જોઈએ. ખુબ મોટી સંખ્યાના ઈલેક્ટ્રૉન ઊર્જાનું શોષણ કરતાં હોવાથી એકમ સમયમાં ઈલેક્ટ્રૉન દીઠ શોષાયેલી ઊર્જા ઘણી ઓછી હોય છે. સ્પષ્ટ ગણતરીઓ પરથી અંદાજ મેળવી શકાય કે એક ઈલેક્ટ્રૉનને કાર્ય વિધેયથી વધુ પૂરતી ઊર્જા મેળવીને ધાતુની સપાટીમાંથી બહાર આવવા માટે ઘણા કલાકો કે તેથી વધુ સમયની જરૂર પડે. આ તારણ પણ તાત્ક્ષણિક ફોટો ઈલેક્ટ્રીક ઉત્સર્જન માટેના અવલોકન (iv)થી તદ્દન વિરુદ્ધ છે. ટુંકમાં તરંગ સ્વરૂપ ફોટો ઈલેક્ટ્રીક અસરના મૂળભૂત લક્ષણો સમજાવવા માટે અસમર્થ છે.

11.6 આઈન્સ્ટાઈનનું ફોટો ઈલેક્ટ્રીક સમીકરણ : વિકિરણ ઊર્જાનો ક્વૉન્ટમ (Einstein's Photoelectric Equation : Energy Quantum of Radiation)

1905માં આલ્બર્ટ આઈન્સ્ટાઈને (1879-1955) ફોટો ઈલેક્ટ્રીક અસર સમજાવવા માટે વિદ્યુતચુંબકીય વિકિરણનો નવો વાદ રજૂ કર્યો. આ વાદ મુજબ ફોટો ઈલેક્ટ્રીક ઉત્સર્જન વિકિરણમાંથી ઊર્જાના સતત શોષણને કારણે થતું નથી. વિકિરણ ઊર્જા છુટા છવાયા (અસતત) એકમોની બનેલી હોય છે જેને *વિકિરણની ઊર્જાનો ક્વૉન્ટમ* કહે છે. વિકિરણ ઊર્જાના દરેક ક્વૉન્ટમની ઊર્જા $h\nu$ જેટલી હોય છે. જ્યાં, h એ પ્લાન્કનો અચળાંક છે અને ν પ્રકાશની આવૃત્તિ છે. ફોટો ઈલેક્ટ્રીક અસરમાં ઈલેક્ટ્રૉન

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

આલ્બર્ટ આઈન્સ્ટાઈન (Albert Einstein-1879-1955)

આલ્બર્ટ આઈન્સ્ટાઈન (Albert Einstein-1879-1955) સર્વકાલિન મહાન ભૌતિકવિજ્ઞાનીઓમાંના એક એવા આઈન્સ્ટાઈન, ઉલ્મ (Ulm), જર્મનીમાં જન્મ્યા હતાં. 1905માં તેમણે નવો ચીલો ચાતરતા ત્રણ લેખ પ્રકાશિત કર્યા. પહેલા લેખમાં તેમણે પ્રકાશના કણ સ્વરૂપ (જેને હવે ફોટોન કહીએ છીએ)નો ખ્યાલ રજૂ કર્યો અને તેમની લાક્ષણિકતાનો ઉપયોગ ફોટો ઈલેક્ટ્રીક અસર સમજાવવા માટે કર્યો. બીજા લેખમાં તેમણે બ્રાઉનીયનગતિ (Brownian Motion)નો સિદ્ધાંત વિકસાવ્યો. જે થોડા વર્ષો બાદ પ્રાયોગિક રીતે સાચો ઠર્યો અને તેણે દ્રવ્યના પરમાણુ સ્વરૂપનો સચોટ પુરાવો પુરો પાડ્યો. ત્રીજા લેખ દ્વારા વિશિષ્ટ સાપેક્ષવાદના સિદ્ધાંતની શોધ થઈ. 1916માં તેમણે સાપેક્ષવાદનો વ્યાપક (General) સિદ્ધાંત પ્રકાશિત કર્યો. આઈન્સ્ટાઈનના ત્યાર પછીના ખૂબ અગત્યના પ્રદાનો આ મુજબ છે : પ્લાન્કના સંપૂર્ણ કાળા પદાર્થ દ્વારા ઉત્સર્જાતા વિકિરણને બીજી રીતે સમજાવવા ઉદ્દીપ્ત ઉત્સર્જન (Stimulated Emission)ની કલ્પના, બ્રહ્માંડની ઉત્પતિ અંગે આધુનિક કોસ્મોલોજીની શરૂઆત કરનાર સ્થિત મોડલ, દળદાર બોઝોન્સના વાયુ માટે ક્વૉન્ટમ આંકડાશાસ્ત્ર (Quantum Statistics) અને ક્વૉન્ટમ યંત્ર શાસ્ત્રના પાયાના સિદ્ધાંતો માટેનું વિવેચનપૂર્ણ વિશ્લેષણ. 1921માં તેમને સૈદ્ધાંતિક ભૌતિકવિજ્ઞાન અને ફોટોઈલેક્ટ્રીક અસર માટે નૉબેલ પારિતોષીક એનાયત કરવામાં આવ્યું હતું.

વિકિરણના ($h\nu$) ઊર્જાના ક્વૉન્ટમનું શોષણ કરે છે. જો શોષાયેલા ક્વૉન્ટમની ઊર્જા, ઈલેક્ટ્રૉનને ધાતુની સપાટીમાંથી મુક્ત કરવા માટે જરૂરી લઘુત્તમ ઊર્જા (કાર્ય વિધેય ϕ_0) કરતાં વધુ હોય તો ઈલેક્ટ્રૉન મહત્તમ ગતિ ઊર્જા

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

સાથે ઉત્સર્જન પામે છે.

વધુ પ્રબળ રીતે બંધીત ઈલેક્ટ્રૉન મહત્તમ ગતિઊર્જાથી ઓછી ઊર્જા સાથે બહાર નીકળશે. નોંધો કે આપેલ આવૃત્તિ માટે એક સેકન્ડમાં આપાત થતાં ફોટોનની સંખ્યા પ્રકાશની તીવ્રતાને નક્કી કરે છે. (પ્રકાશની) તીવ્રતા વધારતાં એક સેકન્ડ દીઠ ઉત્સર્જાયેલા ઈલેક્ટ્રૉનની સંખ્યા પણ વધે છે. આમ છતાં ઉત્સર્જાયેલા ફોટો ઈલેક્ટ્રૉનની મહત્તમ ગતિઊર્જા દરેક ફોટોનની ઊર્જા વડે નક્કી થાય છે.

સમીકરણ 11.2ને *આઈન્સ્ટાઈનનું ફોટો ઈલેક્ટ્રીક સમીકરણ* કહે છે. આપણે હવે જોઈશું કે આ સમીકરણ પેટા પરિચ્છેદ 11.4.3ના અંતભાગમાં દર્શાવેલ ફોટો ઈલેક્ટ્રીક અસર માટેના બધા અવલોકનોને સરળતા અને સચોટતાપૂર્વક કેવી રીતે સમજાવે છે.

- સમીકરણ (11.2) મુજબ K_{max} , ν પર રેખીય રીતે આધારિત છે અને વિકિરણની તીવ્રતા પર આધાર રાખતી નથી, જે અવલોકન સાથે સહમતી દર્શાવે છે. આમ થાય છે કારણકે આઈન્સ્ટાઈનના સિદ્ધાંત મુજબ વિકિરણના એક ફોટોનના, એક ઈલેક્ટ્રૉન દ્વારા શોષણ દરમિયાન ફોટો ઈલેક્ટ્રીક અસર ઉદ્ભવે છે. વિકિરણની તીવ્રતા (જે એકમ સમયમાં, એકમ ક્ષેત્રફળ પર આપાત થતા ઊર્જા ક્વૉન્ટમની સંખ્યાના સમપ્રમાણમાં હોય છે) આ મૂળ પ્રક્રિયામાં અસંગત (Irrelevant) (બિન અસરકારક) છે.
- K_{max} અ-ઋણ (non-negative)હોવું જોઈએ. આથી સમીકરણ (11.2) સૂચવે છે કે ફોટો ઈલેક્ટ્રીક ઉત્સર્જન ત્યારે જ શક્ય બને કે જ્યારે

$$h\nu > \phi_0$$

અથવા $\nu > \nu_0$, જ્યાં

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

સમીકરણ (11.3) દર્શાવે છે કે જેમ કાર્ય વિધેય ϕ_0 વધુ હોય તેમ ફોટો ઈલેક્ટ્રૉનને ઉત્સર્જિત કરવા માટે જરૂરી લઘુત્તમ કે થ્રેશોલ્ડ આવૃત્તિ ν_0 વધારે ઊંચી હોય છે. આમ ધાતુની સપાટી માટે એક થ્રેશોલ્ડ આવૃત્તિ $\nu_0 (= \phi_0/h)$ હોય છે કે જેનાથી નીચેની આવૃત્તિ માટે ફોટો ઈલેક્ટ્રીક ઉત્સર્જન શક્ય નથી, પછી ભલેને આપાત વિકિરણની તીવ્રતા ગમે તેટલી હોય કે ગમે તેટલા સમય સુધી તે સપાટી પર આપાત થાય.

- આ વાદમાં ઉપર નોંધ્યું તેમ વિકિરણની તીવ્રતા, એકમ સમયમાં એકમ ક્ષેત્રફળ પર આપાત થતા ઊર્જા ક્વૉન્ટમની સંખ્યાના સમપ્રમાણમાં હોય છે. જેટલી વધુ સંખ્યાનાં ઊર્જા ક્વૉન્ટમ મળતા હોય તેટલી વધુ સંખ્યાના ઈલેક્ટ્રૉન આ ઊર્જા ક્વૉન્ટમ શોષે અને પરિણામે ધાતુમાંથી ($\nu > \nu_0$માટે) વધુ સંખ્યાના ઈલેક્ટ્રૉન બહાર આવે (ઉત્સર્જિત થાય). આ બાબત $\nu > \nu_0$ માટે, ફોટો ઈલેક્ટ્રીક પ્રવાહ તીવ્રતાના સમપ્રમાણમાં કેમ હોય છે, તે સમજાવે છે.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

- આઈન્સ્ટાઈનના વાદ મુજબ ફોટો ઈલેક્ટ્રીક અસરમાં સંકળાયેલી પ્રાથમિક પ્રક્રિયા એ ઈલેક્ટ્રૉન દ્વારા પ્રકાશ ક્વૉન્ટમનું શોષણ છે. આ પ્રક્રિયા તાત્ક્ષણિક છે. આમ તીવ્રતા, એટલે કે એકમ સમયમાં એકમ ક્ષેત્રફળ દીઠ (આપાત) વિકિરણના ક્વૉન્ટમની સંખ્યા, કોઈ પણ હોય પણ ફોટો ઈલેક્ટ્રીક ઉત્સર્જન તાત્ક્ષણિક હોય છે. તીવ્રતા ઓછી હોય એનો અર્થ એ નહીં કે ઉત્સર્જન મોડું થાય. કારણ કે મૂળભૂત પ્રાથમિક પ્રક્રિયા તો એ જ છે. તીવ્રતા ફક્ત એટલું જ નક્કી કરે છે કે આ પ્રાથમિક પ્રક્રિયા (એકલ ઈલેક્ટ્રૉન દ્વારા પ્રકાશ ક્વૉન્ટમનું શોષણ) માં કેટલા ઈલેક્ટ્રૉન ભાગ લઈ શકશે અને તેથી, ફોટો ઈલેક્ટ્રીક પ્રવાહ રચશે.

સમીકરણ (11.1)નો ઉપયોગ કરતાં, ફોટો ઈલેક્ટ્રીક સમીકરણ (11.2), આ મુજબ લખી શકાય.

$$eV_0 = h\nu - \phi_0; \ \nu > \nu_0 \text{ માટે}$$

$$\text{અથવા } V_0 = \left(\frac{h}{e}\right)\nu - \frac{\phi_0}{e} \qquad (11.4)$$

આ એક અગત્યનું પરિણામ છે. તે દર્શાવે છે કે V_0 વિરુદ્ધ νનો વક્ર (આલેખ) સીધી રેખા છે. જેનો ઢાળ = (h/e) છે, જે દ્રવ્યના પ્રકાર પર આધાર રાખતો નથી. 1906-1916 દરમિયાન આઈન્સ્ટાઈનનું ફોટો ઈલેક્ટ્રીક સમીકરણ ખોટું છે તે નક્કી કરવા, મિલિકને ફોટો ઈલેક્ટ્રીક અસર માટે શ્રેણીબધ્ધ પ્રયોગો કર્યા. તેમણે આકૃતિ 11.5માં દર્શાવ્યા મુજબ સોડિયમ માટે મળતી સીધી રેખાનો ઢાળ શોધ્યો. eના જાણીતા મૂલ્ય પરથી તેમણે પ્લાન્કના અચળાંક hનું મૂલ્ય શોધ્યું. તદ્દન જુદી રીતે મેળવેલ આ મૂલ્ય પ્લાન્કના અચળાંક ($h = 6.626 \times 10^{-34}$ J s)ના મૂલ્યની ખૂબ જ નજીકનું હતું. આ રીતે 1916માં આઈન્સ્ટાઈનના સમીકરણને ખોટું સાબિત કરવા જતા મિલિકને આ સમીકરણની સત્યતા સાબિત કરી.

પ્રકાશ ક્વૉન્ટમના અધિતર્કનો ઉપયોગ કરીને ફોટો ઈલેક્ટ્રીક અસરની સફળતાપૂર્વકની સમજૂતી તથા h અને ϕ_0ના પ્રાયોગિક રીતે માપેલ મૂલ્યોની બીજા પ્રયોગો સાથે સામ્યતા દ્વારા આઈન્સ્ટાઈનની ફોટો ઈલેક્ટ્રીક અસરની સમજૂતીને માન્યતા મળી. મિલિકને ઘણી બધી આલ્કલી ધાતુઓ માટે વિકિરણની ઘણી મોટી આવૃત્તિના અંતરાલ માટે ફોટો ઈલેક્ટ્રીક સમીકરણની સત્યતા ઘણી ચોક્સાઈપૂર્વક ચકાસી.

11.7 પ્રકાશનું કણ સ્વરૂપ : ફોટોન (Particle Nature of Light : The Photon)

ફોટો ઈલેક્ટ્રીક અસરે એવી વિચિત્ર હકીકતનો પૂરાવો આપ્યો કે, જ્યારે પ્રકાશ દ્રવ્ય સાથે આંતરક્રિયા કરે ત્યારે તે જાણે કે ઊર્જાના અમુક જથ્થાઓ કે ક્વૉન્ટમનો બનેલો હોય, જે દરેકની ઊર્જા $h\nu$ જેટલી હોય.

શું પ્રકાશના ક્વૉન્ટમની ઊર્જાને કણ સાથે સાંકળી શકાય ? આઈન્સ્ટાઈને એક અગત્યનું પરિણામ એ તારવ્યું કે પ્રકાશ ક્વૉન્ટમને વેગમાન ($h\nu/c$) સાથે સાંકળી શકાય. ઊર્જા અને વેગમાનનું ચોક્કસ મૂલ્ય સ્પષ્ટ રીતે દર્શાવે છે કે, પ્રકાશના ક્વૉન્ટમને કણ સાથે સાંકળી શકાય. આ કણને પછીથી *ફોટોન* નામ આપવામાં આવ્યું. પ્રકાશના કણ સ્વરૂપનો હજુ બીજો પુરાવો 1924માં, એ. એચ. કોમ્પ્ટન (A. H. Compton, 1892-1962)ના ઈલેક્ટ્રૉન્સ દ્વારા ક્ષ-કિરણોના પ્રકીર્ણનના પ્રયોગો દ્વારા મળ્યો. 1921માં આઈન્સ્ટાઈનને તેમના સૈદ્ધાંતિક ભૌતિકવિજ્ઞાન અને ફોટો ઈલેક્ટ્રીક અસર માટેના યોગદાન બદલ નૉબેલ પારિતોષિક એનાયત કરવામાં આવ્યું. 1923માં મિલિકનને પ્રાથમિક વિદ્યુતભાર (નું મૂલ્ય શોધવા બદલ) અને ફોટો ઈલેક્ટ્રીક અસર પરના કાર્ય બદલ નૉબેલ પારિતોષિક એનાયત થયું.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

આપણે વિદ્યુત ચુંબકીય વિકિરણનાં ફોટોન સ્વરૂપને સંક્ષેપમાં આ રીતે દર્શાવી શકીએ.

(i) વિકિરણની દ્રવ્ય સાથેની આંતરક્રિયા દરમિયાન, વિકિરણ જાણે કે કણ હોય તેમ વર્તે છે જેને ફોટોન કહે છે.

(ii) દરેક ફોટોનની ઊર્જા E $(=h\nu)$ અને વેગમાન p $(=h\nu/c)$ છે, જ્યારે ઝડપ, પ્રકાશની ઝડપ c જેટલી છે.

(iii) ν જેટલી આવૃત્તિ, અને λ તરંગલંબાઈ ધરાવતા પ્રકાશના બધા જ ફોટોનની ઊર્જા $E\,(=h\nu = hc/\lambda)$ તથા વેગમાન $p\,(=h\nu/c = h/\lambda)$ છે, પછી ભલેને તીવ્રતા ગમે તેટલી હોય. આપેલ તરંગ લંબાઈના પ્રકાશની તીવ્રતા વધારતાં, એકમ સમયમાં આપેલ ક્ષેત્રફળમાંથી પસાર થતા ફોટોનની સંખ્યા વધે છે, આ દરેક ફોટોનની ઊર્જા સમાન હોય છે. આમ ફોટોનની ઊર્જા વિકિરણની તીવ્રતા પર આધાર રાખતી નથી.

(iv) ફોટોન વિદ્યુતની દૃષ્ટિએ તટસ્થ છે અને તેઓ વિદ્યુત કે ચુંબકીય ક્ષેત્રો વડે વિચલન અનુભવતા નથી.

(v) ફોટોન-કણ સંઘાત (અથડામણ) (જેમકે ફોટોન-ઈલેક્ટ્રૉન અથડામણ)માં કુલ ઊર્જા અને કુલ વેગમાનનું સંરક્ષણ થાય છે. આમ છતાં અથડામણ દરમિયાન ફોટોનની સંખ્યાનું સંરક્ષણ ન પણ થાય. ફોટોન કદાચ શોષાઈ જાય અથવા નવા ફોટોનનું ઉત્સર્જન પણ થાય.

ઉદાહરણ 11.1

ઉદાહરણ 11.1 લેસર વડે 6.0×10^{14} Hz આવૃત્તિનો એકરંગી પ્રકાશ ઉત્પન્ન થાય છે. ઉત્સર્જાયેલ પાવર 2.0×10^{-3} W છે. (a) પ્રકાશની કિરણાવલિ (beam) માં રહેલા ફોટોનની ઊર્જા કેટલી હશે ? (b) ઊર્જા સ્રોત દ્વારા સરેરાશ રીતે એક સેકન્ડ દીઠ કેટલા ફોટોન ઉત્સર્જાતા હશે ?

ઉકેલ

(a) દરેક ફોટોનની ઊર્જા

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

(b) જો ઉદ્‌ગમમાંથી એક સેકન્ડ દીઠ N સંખ્યાના ફોટોન ઉત્સર્જિત થતા હોય, તો કિરણાવલિમાંથી પસાર થતો પાવર; ફોટોન દીઠ ઊર્જા E ના N ગણો, જેથી P = N E. આથી,

$$N = \frac{P}{E} = \frac{2.0 \times 10^{-3}\,\text{W}}{3.98 \times 10^{-19}\,\text{J}}$$
$$= 5.0 \times 10^{15}\ \text{ફોટોન/સેકન્ડ}$$

ઉદાહરણ 11.2

ઉદાહરણ 11.2 સિઝિયમનું કાર્ય વિધેય 2.14 eV છે.

(a) સિઝિયમની થ્રેશોલ્ડ આવૃત્તિ શોધો, અને (b) જો 0.60 Vના સ્ટોપિંગ પોટેન્શિયલ દ્વારા ફોટો પ્રવાહ શૂન્ય થતો હોય તો આપાત પ્રકાશની તરંગલંબાઈ શોધો.

ઉકેલ

(a) કટ ઓફ કે થ્રેશોલ્ડ આવૃત્તિ માટે, આપાત વિકિરણની ઊર્જા $h\nu_0$, કાર્ય વિધેય ϕ_0 જેટલી હોવી જોઈએ, જેથી

$$\nu_0 = \frac{\phi_0}{h} = \frac{2.14\,eV}{6.63 \times 10^{-34}\,\text{J s}}$$
$$= \frac{2.14 \times 1.6 \times 10^{-19}\,\text{J}}{6.63 \times 10^{-34}\,\text{J s}} = 5.16 \times 10^{14}\,\text{Hz}$$

આમ, આ થ્રેશોલ્ડ આવૃત્તિ કરતાં ઓછી આવૃત્તિઓ માટે, ફોટો ઈલેક્ટ્રૉન ઉત્સર્જિત થતા નથી.

(b) પ્રતિ પ્રવેગી સ્થિતિમાન V_0 દ્વારા eV_0 જેટલી સ્થિતિઊર્જા, ઉત્સર્જિત ફોટો ઈલેક્ટ્રૉનની મહત્તમ ગતિઊર્જા જેટલી થાય ત્યારે ફોટો પ્રવાહ શૂન્ય થાય છે. આઈન્સ્ટાઈનનું ફોટો ઈલેક્ટ્રીક સમીકરણ

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

$$eV_0 = h\nu - \phi_0 = \frac{hc}{\lambda} - \phi_0$$

અથવા $\lambda = hc/(eV_0 + \phi_0)$

$$= \frac{(6.63 \times 10^{34} \text{J s}) \times (3 \times 10^8 \text{m/s})}{(0.60 \text{ eV} + 2.14 \text{ eV})} = \frac{19.89 \times 10^{-26} \text{J m}}{(2.74 \text{ eV})}$$

$$\lambda = \frac{19.89 \times 10^{-26} \text{ J m}}{2.74 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{J}} = 454 \text{ nm}$$

ઉદાહરણ 11.2

ઉદાહરણ 11.3 દૃશ્ય પ્રકાશ વિસ્તારમાં જાંબલી રંગની તરંગલંબાઈ 390 nm છે, પીળા-લીલા પ્રકાશ માટે લગભગ 550 nm (સરેરાશ તરંગલંબાઈ) અને લાલ રંગ માટે લગભગ 760 nm છે.

(a) દૃશ્ય પ્રકાશ વિસ્તારમાં (i) જાંબલી છેડે, (ii) પીળા-લીલા રંગની સરેરાશ તરંગલંબાઈ આગળ અને (iii) લાલ છેડે, ફોટોનની ઊર્જા (eV)માં કેટલી હશે ? ($h = 6.63 \times 10^{-34}$ J s અને 1 eV $= 1.6 \times 10^{-19}$ J લો.)

(b) કોષ્ટક 11.1માં દર્શાવેલ પ્રકાશ સંવેદી દ્રવ્યોના કાર્ય વિધેયો અને (a)માં મેળવેલ (i), (ii) અને (iii)ના પરિણામો પરથી તમે એવી પ્રકાશ સંવેદી રચના બનાવી શકો કે જે દ્રશ્ય પ્રકાશ સાથે કાર્ય કરે ?

ઉકેલ

(a) આપાત ફોટોનની ઊર્જા, $E = h\nu = hc/\lambda$

$E = (6.63 \times 10^{-34} \text{J s})(3 \times 10^8 \text{ m/s})/\lambda$

$$= \frac{1.989 \times 10^{-25} \text{J m}}{\lambda}$$

(i) જાંબલી રંગ માટે $\lambda_1 = 390$ nm (ટૂંકી તરંગલંબાઈનો છેડો)

આપાત ફોટોનની ઊર્જા, $E_1 = \frac{1.989 \times 10^{-25} \text{J m}}{390 \times 10^{-9} \text{m}} = 5.10 \times 10^{-19}$ J

$$= \frac{5.10 \times 10^{-19} \text{J}}{1.6 \times 10^{-19} \text{J/eV}} = 3.19 \, e\text{V}$$

(ii) પીળા-લીલા પ્રકાશ માટે, $\lambda_2 = 550$ nm (સરેરાશ તરંગલંબાઈ)

આપાત ફોટોનની ઊર્જા $E_2 = \frac{1.989 \times 10^{-25} \text{J m}}{550 \times 10^{-9} \text{m}}$

$$= 3.62 \times 10^{-19} \text{J} = 2.26 \, e\text{V}$$

(iii) લાલ પ્રકાશ માટે, $\lambda_3 = 760$ nm (મોટી તરંગલંબાઈનો છેડો)

આપાત ફોટોનની ઊર્જા, $E = \frac{1.989 \times 10^{-25} \text{J m}}{760 \times 10^{-9} \text{m}}$

$$= 2.62 \times 10^{-19} \text{J} = 1.64 \, e\text{V}$$

(b) ફોટો ઇલેક્ટ્રીક સાધનના કાર્ય માટે, આપાત પ્રકાશની ઊર્જા E, દ્રવ્યના કાર્યવિધેય ϕ_0 જેટલી કે તેથી વધુ હોવી જોઈએ. આમ, ફોટો ઈલેક્ટ્રીક સાધન જાંબલી પ્રકાશ (ઊર્જા $E = 3.19 \, e$V) સાથે પ્રકાશ સંવેદી દ્રવ્યો Na (જેનું $\phi_0 = 2.75 \, e$V), K (જેનું $\phi_0 =$ 2.30 eV) અને Cs (જેનું $\phi_0 = 2.14 \, e$V) માટે જ કાર્ય કરશે. તે પીળા-લીલા પ્રકાશ ($E = 2.26 \, e$V) સાથે ફક્ત Cs (જેનું $\phi_0 = 2.14 \, e$V) માટે જ કાર્ય કરશે. પરંતુ, લાલ પ્રકાશ (જેની $E = 1.64 \, e$V) માટે તે આમાંથી એક પણ પ્રકાશ સંવેદી દ્રવ્યો માટે કાર્ય કરશે નહીં.

ઉદાહરણ 11.3

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

11.8 દ્રવ્યનું તરંગ સ્વરૂપ (WAVE NATURE OF MATTER)

આ પ્રકરણ અને આગળના પ્રકરણોમાં આપણે શીખ્યા તે મુજબ, પ્રકાશ (વ્યાપક રૂપે, વિદ્યુત ચુંબકીય વિકિરણ) દ્વૈત (તરંગ-કણ) સ્વરૂપ ધરાવે છે. વ્યતિકરણ, વિવર્તન અને ધ્રુવીભવનની ઘટનાઓમાં પ્રકાશનું તરંગ સ્વરૂપ જણાય છે. બીજી બાજુ, ફોટો ઈલેક્ટ્રીક અસર અને કોમ્પ્ટન અસર, જેમાં ઊર્જા અને વેગમાનના ફેરફાર સંકળાયેલા હોય, તેમાં વિકિરણ, ફોટોન્સ-કે જે કણોના જથ્થામાં હોય તે રીતે વર્તે છે. કોઈ પ્રયોગને સમજવા માટે કણ-કે તરંગ સ્વરૂપનો ઉપયોગ કરવો તે પ્રયોગના પ્રકાર પર આધાર રાખે છે. ઉદાહરણ તરીકે, કોઈ પણ પદાર્થને આપણી આંખ દ્વારા જોતી વખતે, બંને પ્રકારનાં વર્ણનો અગત્યનાં છે. આંખની કીકી દ્વારા પ્રકાશનું એકત્રિત થઈને કેન્દ્રીત થવાની પ્રક્રિયા એ તરંગ સ્વરૂપ દ્વારા સારી રીતે સમજી શકાયેલ છે. પરંતુ (આંખના રેટીના-પડદા)માં રહેલી સળીઓ (Rods) (રેશાઓ) તથા શંકુ આકારની ગ્રંથિઓ (Cones) દ્વારા તેનું શોષણ સમજવા માટે પ્રકાશના ફોટોન (કણ) સ્વરૂપની જરૂર પડે છે.

કુદરતી રીતે એક પ્રશ્ન થાય : જો વિકિરણને દ્વૈત (તરંગ-કણ) સ્વરૂપ હોય તો કુદરતમાં રહેલા કણો (જેમકે ઈલેક્ટ્રૉન, પ્રોટોન વગેરે) પણ તરંગ સ્વરૂપ કેમ ન દર્શાવે ? 1924માં ફ્રેન્ચ ભૌતિકવિજ્ઞાની લ્યુઈસ વિકટર ડિ બ્રોગ્લી (Louis Victor de Broglie) (de Broy એમ ઉચ્ચાર થાય છે) (1892-1987) એ સાહસિક (હિંમત ભર્યો) અધિતર્ક રજૂ કર્યો કે દ્રવ્યના ગતિ કરતા કણો યોગ્ય પરિસ્થિતિઓમાં તરંગ જેવી પ્રકૃતિ ધરાવતા હોવા જોઈએ. તેમણે કારણ એ આપ્યું કે પ્રકૃતિ સંમિતિ ધરાવે છે અને બે પ્રાકૃતિક ભૌતિક સ્વરૂપો-દ્રવ્ય અને ઊર્જા, પણ સંમિતિ ધરાવતા હોવા જોઈએ. જો વિકિરણ દ્વૈત રૂપ ધરાવતું હોય તો દ્રવ્ય માટે પણ તેમ થવું જોઈએ. ડિ બ્રોગ્લીએ દર્શાવ્યું કે p વેગમાન ધરાવતા કણ સાથે સંકળાયેલ તરંગલંબાઈ λ, આ મુજબ હોય છે.

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m\upsilon} \qquad (11.5)$$

જ્યાં m એ કણનું દ્રવ્યમાન અને υ તેની ઝડપ છે. સમીકરણ (11.5)ને *ડિ બ્રોગ્લીનું સમીકરણ* કહે છે. અને *દ્રવ્ય તરંગ*ની તરંગ લંબાઈ λને *ડિ બ્રોગ્લી તરંગલંબાઈ* કહે છે. દ્રવ્યની દ્વૈત પ્રકૃતિ ડિ બ્રોગ્લીના સમીકરણમાં દેખાઈ આવે છે. સમીકરણ (11.5)ની ડાબી બાજુ, λ એ તરંગ સાથે સંકળાયેલી છે જ્યારે જમણી બાજુ વેગમાન p, કણ સાથે સંકળાયેલું છે. પ્લાન્કનો અચળાંક h આ બંનેને સાંકળે છે.

દ્રવ્ય કણ માટે સમીકરણ (11.5) ફક્ત અધિતર્ક (અનુમાન) છે. જેની સત્યતા પ્રયોગ દ્વારા જ ચકાસી શકાય. છતાં અગત્યની વાત એ છે કે તે ફોટોન માટે પણ સાચું છે. ફોટોન માટે આપણે જોયું હતું કે,

$$p = h\nu / c \qquad (11.6)$$

આથી,

$$\frac{h}{p} = \frac{c}{\nu} = \lambda \qquad (11.7)$$

એટલે કે સમીકરણ (11.5) વડે દર્શાવવામાં આવેલી ફોટોનની ડિ બ્રોગ્લી તરંગલંબાઈ વિદ્યુતચુંબકીય વિકિરણની એ તરંગ લંબાઈ સાથે સંકળાયેલી છે. જેનો ફોટોન એ ઊર્જા અને વેગમાનનો ક્વૉન્ટમ છે.

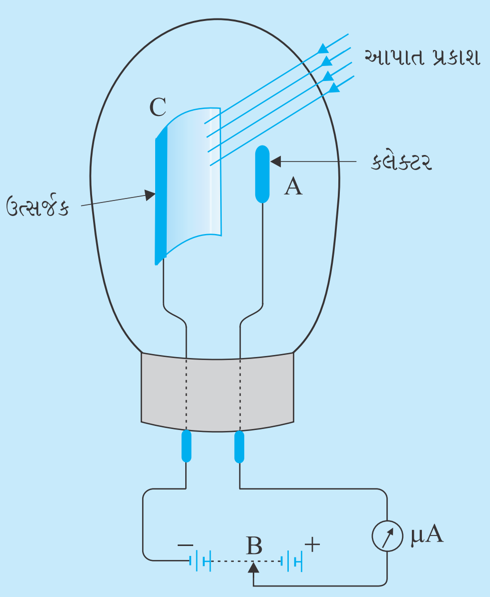
સ્પષ્ટ રૂપે સમીકરણ (11.5) પરથી ભારે કણ (મોટું m) માટે કે વધુ ઊર્જાવાન કણ (મોટો ν) માટે, λ નાની હોય છે. ઉદાહરણ તરીકે 0.12 kg દ્રવ્યમાન અને 20 m s^{-1} ઝડપ ધરાવતા બૉલ માટે ડિ બ્રોગ્લી તરંગ લંબાઈ સહેલાઈથી ગણી શકાય :

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

ફોટો સેલ (PHOTO CELL)

ફોટોસેલ એ ફોટો ઈલેક્ટ્રીક અસરનો ટેક્નોલૉજીકલ ઉપયોગ છે. આ એવું સાધન છે કે જેના વિદ્યુત ગુણધર્મો પ્રકાશ દ્વારા અસર પામે છે. તેને ક્યારેક વિદ્યુતિય આંખ (Electric Eye) પણ કહે છે. ફોટો સેલ એક શૂન્યાવકાશિત કરેલા કાચ કે ક્વાર્ટઝના ગોળા (Bulb)માં ટેકા પર રાખેલ અર્ધનળાકાર પ્રકાશ સંવેદી ધાતુની તક્તી C (ઉત્સર્જક) અને તારના ગૂંચળા (Loop) A (કલેક્ટર)નો બનેલો હોય છે. તેને આકૃતિમાં દર્શાવ્યા મુજબ બાહ્ય પરિપથમાં ઊંચુ વીજદબાણ ધરાવતી (High-tension) બૅટરી B સાથે અને માઈક્રોએમીટર (μA) સાથે જોડેલ હોય છે. કેટલીક વખત, પ્લેટ Cની જગ્યાએ, પ્રકાશ સંવેદી દ્રવ્યનું પાતળું સ્તર બલ્બની અંદર લગાડેલું હોય છે. ગોળાનો કેટલોક ભાગ ચોખ્ખો (પારદર્શક) રહેવા દેવામાં આવે છે કે જેમાંથી પ્રકાશ અંદર દાખલ થઈ શકે.



ફોટો સેલ

જ્યારે યોગ્ય તરંગલંબાઈનો પ્રકાશ ઉત્સર્જક C પર આપાત થાય ત્યારે ફોટો ઈલેક્ટ્રૉન ઉત્સર્જિત થાય છે. આ ફોટો ઈલેક્ટ્રૉન ક્લેકટર પ્લેટ A પર આકર્ષાય છે. ફોટો સેલ દ્વારા થોડાક માઈક્રોએમ્પિયરના ક્રમનો વિદ્યુતપ્રવાહ સામાન્ય રીતે મળે છે.

ફોટોસેલ પ્રકાશની દીપ્તિતીવ્રતાના ફેરફારને ફોટો પ્રવાહના ફેરફારમાં રૂપાંતરિત કરે છે. આ પ્રવાહનો ઉપયોગ કેટલીક નિયંત્રણ પ્રણાલીઓ અને પ્રકાશ માપતા સાધનોના પ્રચાલનમાં (Operate) થઈ શકે છે. લેડ સલ્ફાઈડનો ફોટો સેલ ઈન્ફ્રારેડ પ્રકાશ માટે સંવેદનશીલ હોય છે જેનો ઉપયોગ ઈલેક્ટ્રૉનીક ઈગ્નીશન પરિપથમાં થાય છે.

વૈજ્ઞાનિક કાર્યમાં, જ્યાં પણ પ્રકાશની તીવ્રતા માપવી જરૂરી હોય ત્યાં ફોટોસેલનો ઉપયોગ થાય છે. ફોટોગ્રાફીના કેમેરાઓમાં વપરાતા લાઈટ મીટર્સ આપાત પ્રકાશની તીવ્રતા માપવા માટે ફોટોસેલનો ઉપયોગ કરે છે. દરવાજામાં પ્રકાશ વિદ્યુત પરિપથમાં ફોટોસેલનો ઉપયોગ સ્વચાલિત દરવાજા ખોલવા માટે થાય છે. દરવાજા તરફ જતો વ્યક્તિ ફોટોસેલ પર પડતા પ્રકાશની કિરણાવલિની વચ્ચે આવે છે. ફોટો પ્રવાહમાં અચાનક થતા ફેરફારનો ઉપયોગ દરવાજો ખોલવા માટેની મોટર ચાલુ કરવા માટે કે એલાર્મ વગાડવા માટે થઈ શકે. તેમનો ઉપયોગ (સંખ્યાની) ગણતરી કરતા ગણક સાધનોમાં થાય છે જે પ્રકાશના બીમના માર્ગમાં આવતા (ખલેલ કરતા) માણસ કે કોઈ વસ્તુની નોંધ (રેકોર્ડ) કરતું હોય. આમ, ફોટોસેલનો ઉપયોગ ઑડિટોરિયમમાં દાખલ થતા માણસોની ગણતરી કરવા માટે થાય છે, જો તેઓ હોલમાં એક પછી એક દાખલ થતા હોય તો. તેમનો ઉપયોગ વાહન વ્યવહારના નિયમોનો ભંગ કરતા લોકોને પકડવા માટે થાય છે : જ્યારે પણ (*અદૃશ્ય*) પ્રકાશની કિરણાવલિમાં અડચણ આવે ત્યારે એલાર્મ વાગે. (અદૃશ્ય) એલાર્મમાં દરવાજા પર સ્થાપિત કરેલા ફોટોસેલ પર પારજાંબલી (Ultraviolet) પ્રકાશ સતત આપાત થાય તેવી ગોઠવણ કરેલી હોય છે. ફોટો પ્રવાહમાં થતા અચાનક ફેરફારનો ઉપયોગ વિદ્યુત-ઘંટડી (Bell) વગાડવામાં થાય છે. આગ ફાટી નીકળવાની ઘટનામાં પ્રકાશ કિરણો ફોટોસેલ પર આપાત થાય છે. આ વિદ્યુત-ઘંટડી અથવા સાઈરન સાથેના પરિપથને પૂર્ણ કરે છે જે ચેતવણી સૂચક (Warning Signal) તરીકે કાર્ય કરવાનું શરૂ કરે છે.

ચલચિત્રમાં ધ્વનિના પુનઃ ઉત્પાદનમાં અને ટેલિવિઝન કેમેરામાં દ્રશ્યોના સ્કેનીંગ અને ટેલિકાસ્ટીંગમાં ફોટોસેલ વપરાય છે. ઉદ્યોગોમાં ધાતુના પતરામાં નાની તિરાડ કે છિદ્રોની પરખ કરવામાં ફોટોસેલ વપરાય છે.

$$p = mv = 0.12\,\text{kg} \times 20\,\text{m}\,\text{s}^{-1} = 2.40\,\text{kg}\,\text{m}\,\text{s}^{-1}$$

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{6.63 \times 10^{-34}\,\text{Js}}{2.40\,\text{kg ms}^{-1}} = 2.76 \times 10^{-34}\,\text{m}$$

તરંગ લંબાઈ એટલી નાની છે કે તે માપી શકાય નહીં. આ કારણથી જ રોજબરોજના જીવનમાં ઉપયોગી એવા સ્થૂળ પદાર્થો તરંગ જેવા ગુણધર્મો દર્શાવતા નથી. બીજી બાજુ, પરમાણુથી નાના વિસ્તારમાં કણોનું તરંગ સ્વરૂપ માપી શકાય તેવું અને મહત્વનું છે.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

લુઈસ વિક્ટર ડી બ્રોગ્લી (Louis Victor de Broglie 1892-1987)

લુઈસ વિક્ટર ડિ બ્રોગ્લી (Louis Victor de Broglie 1892-1987) ફ્રેન્ચ ભૌતિકવિજ્ઞાની જેમણે દ્રવ્યના તરંગ સ્વરૂપનો ક્રાન્તિકારી ખ્યાલ આપ્યો. આ ખ્યાલ ઈરવીન શ્રોડિન્જરે પૂર્ણ કક્ષાના ક્વૉન્ટમ યંત્રશાસ્ત્ર, જેને તરંગ યંત્રશાસ્ત્ર પણ કહે છે, તેમાં આગળ ધપાવ્યો. 1929માં તેમને ઈલેક્ટ્રૉનના તરંગ સ્વરૂપની શોધ માટે નૉબેલ પારિતોષિક એનાયત થયું હતું.

ધારો કે સ્થિર રહેલો એક ઈલેક્ટ્રૉન (દ્રવ્યમાન m, વિદ્યુતભાર e) વીજદબાણ V વડે પ્રવેગિત થાય છે. ઈલેક્ટ્રૉનની ગતિઊર્જા K, વિદ્યુતક્ષેત્ર વડે તેના પર થયેલા કાર્ય (eV) જેટલી હોય છે.

$$K = eV \tag{11.8}$$

હવે $K = \frac{1}{2} m \upsilon^2 = \frac{p^2}{2m}$. આથી

$$p = \sqrt{2\,m\,K} = \sqrt{2\,m\,eV} \tag{11.9}$$

આથી ડિ બ્રોગ્લી તરંગ લંબાઈ

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2\,m\,K}} = \frac{h}{\sqrt{2\,m\,eV}} \tag{11.10}$$

છે. h, m, eના સંખ્યાત્મક મૂલ્યો મુકતાં,

$$\lambda = \frac{1.227}{\sqrt{V}}\ \text{nm} \tag{11.11}$$

મળે, જ્યાં V એ વોલ્ટમાં પ્રવેગક સ્થિતિમાનનું મૂલ્ય છે. 120 V જેટલા પ્રવેગક સ્થિતિમાન માટે, સમીકરણ (11.11) પરથી $\lambda = 0.112$ nm મળે છે. આ તરંગ લંબાઈ સ્ફટિકોમાં પરમાણુઓના સ્તરો વચ્ચેના અંતરના ક્રમની છે. આ સૂચવે છે કે ઈલેક્ટ્રૉન સાથે સંકળાયેલા દ્રવ્ય તરંગોની સત્યતા ક્ષ-કિરણોના વિવર્તનની જેમ સ્ફટિક દ્વારા થતા વિવર્તનના પ્રયોગોથી ચકાસી શકાય. ડિ-બ્રોગ્લીના અધિતર્કની સત્યાર્થતા ચકાસવા માટેના પ્રયોગનું વર્ણન આપણે હવે પછીના પરિચ્છેદમાં કરીશું. 1929માં ડિ બ્રોગ્લીને ઈલેક્ટ્રૉનના તરંગ સ્વરૂપની શોધ કરવા બદલ ભૌતિકવિજ્ઞાનનું નૉબેલ પારિતોષિક એનાયત કરવામાં આવ્યું હતું.

તરંગ-કણ સ્વરૂપ બહુ જ અદ્ભૂત રીતે *હાઈઝનબર્ગના અનિશ્ચિતતાના સિદ્ધાંત*ને સમાવે છે. આ સિદ્ધાંત મુજબ, કોઈ ઈલેક્ટ્રૉન (કે બીજા કણ)નું સ્થાન અને વેગમાન *બંને એક જ સમયે (એક સાથે)* ચોક્કસાઈથી માપી શકાય નહીં. હંમેશાં, સ્થાનના વર્ણનમાં અમુક અનિશ્ચિતતા (Δx) અને વેગમાનના વર્ણનમાં અમુક અનિશ્ચિતતા (Δp) રહેલી હોય જ છે. Δx અને Δpનો ગુણાકાર $\hbar$ * ના ક્રમનો હોય છે (જ્યાં $\hbar = h/2\pi$), એટલે કે,

$$\Delta x\, \Delta p \approx \hbar \tag{11.12}$$

સમીકરણ (11.12)માં Δx શૂન્ય હોઈ શકે, પરંતુ તે પરિસ્થિતિમાં Δp અનંત (મૂલ્યનું) હોવું જોઈએ કે જેથી ગુણાકાર શૂન્ય ન થાય. તે જ રીતે જો Δp શૂન્ય હોય, તો Δx અનંત થવું જોઈએ. સામાન્ય રીતે Δx અને Δp શૂન્ય હોતા નથી, જેથી તેમનો ગુણાકાર $\hbar$ ના ક્રમનો હોય.

હવે, જો ઈલેક્ટ્રૉન ચોક્કસ વેગમાન p ધરાવતો હોય (એટલે કે $\Delta p = 0$), ડિ બ્રોગ્લીના સમીકરણ મુજબ, તો તેને ચોક્કસ તરંગલંબાઈ λ હોય, કોઈ ચોક્કસ (એક જ) તરંગલંબાઈ ધરાવતું તરંગ અનંત અવકાશમાં પથરાયેલું હોય છે. બોર્ન (Born's)ના સંભાવનાત્મક અર્થઘટન મુજબ આનો મતલબ એ કે

* વધુ ઊંડાણ પૂર્વકની ગણતરી $\Delta x\, \Delta p \geq \hbar/2$ આપે છે.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

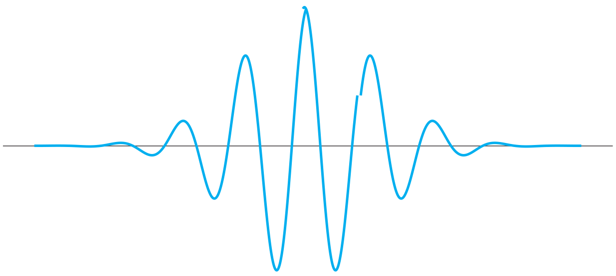
ઈલેક્ટ્રૉન અવકાશમાં કોઈ ચોક્કસ વિસ્તાર પૂરતો સિમિત નથી. એટલે કે તેના સ્થાનની અનિશ્ચિતતા અનંત ($\Delta x \to \infty$) છે, જે અનિશ્ચિતતાના સિદ્ધાંત સાથે મળતું આવે છે.

સામાન્ય રીતે, ઈલેક્ટ્રૉન સાથે સંકળાયેલ દ્રવ્ય તરંગ અનંત અવકાશમાં પથરાયેલું હોતું નથી. તે અવકાશના કોઈ પરિમિત વિસ્તારમાં પથરાયેલું એક તરંગ પડીકું (પેકેટ) હોય છે. આ પરિસ્થિતિમાં Δx અનંત નથી હોતું પરંતુ તેને કોઈ ચોક્કસ મૂલ્ય હોય છે જે તરંગ પેકેટના વિસ્તાર પર આધાર રાખે છે. આ ઉપરાંત, તમારે જાણવું જોઈએ કે પરિમિત અવકાશમાં પથરાયેલા (વિસ્તરેલા) તરંગ પેકેટને કોઈ એક ચોક્કસ તરંગલંબાઈ હોતી નથી. તે કોઈ મધ્યમાન તરંગલંબાઈની આસપાસના વિસ્તારની તરંગલંબાઈઓનું બનેલું હોય છે.

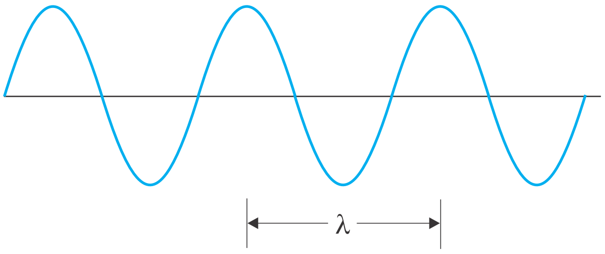
આમ, ડિ બ્રોગ્લીના સમીકરણ મુજબ ઈલેક્ટ્રૉનના વેગમાનનો પણ કોઈ ગાળો (વિસ્તાર) હશે-જેની અનિશ્ચિતતા Δp હોય. અનિશ્ચિતતાના સિદ્ધાંત પરથી આ અપેક્ષિત છે. એવું દર્શાવી શકાય કે તરંગ પેકેટ વર્ણન સાથે ડિ બ્રોગ્લીના સમીકરણ અને બોર્નના સંભાવનાત્મક અર્થઘટન પરથી હાઈઝનબર્ગનો અનિશ્ચિતતાનો સિદ્ધાંત પુનઃસ્થાપિત થાય છે.

પ્રકરણ-12માં, આપણે જોઈશું કે ડિ બ્રોગ્લીનું સમીકરણ કેવી રીતે પરમાણુના, ઈલેક્ટ્રૉનના કોણીય વેગમાનના ક્વૉન્ટાઈઝેશન (ક્વૉન્ટમીકરણ) માટેના બ્હોરના સિદ્ધાંતને અનુમોદન આપે છે.

આકૃતિ (11.6)માં (a) પરિમિત અવકાશમાં પથરાયેલું તરંગ પેકેટ, અને (b) એક ચોક્કસ તરંગલંબાઈ ધરાવતા વિસ્તરેલ તરંગ,ની રૂપરેખા દર્શાવી છે.



(a)



(b)

આકૃતિ 11.6 (a) ઈલેક્ટ્રૉનનું તરંગ પેકેટ વર્ણન. તરંગ પેકેટ મધ્યમાન તરંગલંબાઈની આસપાસના વિસ્તારની તરંગલંબાઈઓનું બનેલું હોય છે (અને તેથી ડિ બ્રોગ્લીના સમીકરણ મુજબ, વેગમાનનો કોઈ ગાળો પણ ધરાવતું હોય છે.) પરિણામ સ્વરૂપે તે, સ્થાનમાં અનિશ્ચિતતા (Δx) અને વેગમાનમાં અનિશ્ચિતતા (Δp) ધરાવે છે. (b) ઈલેક્ટ્રૉનના કોઈ એક ચોક્કસ વેગમાન માટે દ્રવ્ય તરંગ અનંત (સમગ્ર) અવકાશમાં પથરાયેલું હોય છે. આ સ્થિતિમાં $\Delta p = 0$ અને $\Delta x \to \infty$.

ઉદાહરણ 11.4 (a) 5.4×10^6 m/sની ઝડપથી ગતિ કરતા ઈલેક્ટ્રૉન અને (b) 30.0 m/sની ઝડપથી ગતિ કરતા 150 g ના બૉલ, સાથે સંકળાયેલ ડિ બ્રોગ્લી તરંગલંબાઈ કેટલી હશે ?

ઉકેલ

(a) ઈલેક્ટ્રૉન માટે :

દ્રવ્યમાન $m = 9.11 \times 10^{-31}$ kg, $\upsilon = 5.4 \times 10^6$ m/s.

આથી વેગમાન $p = m\upsilon = 9.11 \times 10^{-31}$ (kg) $\times 5.4 \times 10^6$ (m/s)

$p = 4.92 \times 10^{-24}$ kg m/s

ડિ બ્રોગ્લી તરંગલંબાઈ $\lambda = h/p$

$$= \frac{6.63 \times 10^{-34}\ \text{Js}}{4.92 \times 10^{-24}\ \text{kg m/s}}$$

$\lambda = 0.135$ nm

(b) બૉલ માટે :

દ્રવ્યમાન $m' = 0.150$ kg, ઝડપ $\upsilon' = 30.0$ m/s

આથી વેગમાન $p' = m'\upsilon' = 0.150$ (kg) $\times$ 30.0 (m/s)

$p' = 4.50$ kg m/s

ડિ બ્રોગ્લી તરંગ લંબાઈ $\lambda' = h/p'$

ઉદાહરણ 11.4

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

ઉદાહરણ 11.4

$$= \frac{6.63 \times 10^{-34}\ \text{Js}}{4.50\ \text{kg m/s}}$$

$$\lambda' = 1.47 \times 10^{-34}\ \text{m}$$

ઈલેક્ટ્રૉન માટેની ડિ બ્રોગ્લી તરંગલંબાઈ ક્ષ-કિરણોની તરંગલંબાઈ સાથે સરખાવી શકાય તેવી છે. પરંતુ, બૉલ માટે તે પ્રોટોનના પરિમાણ કરતાં 10^{-19} ગણી નાની છે, જે પ્રાયોગિક રીતે માપવી શક્ય નથી.

ઉદાહરણ 11.5

ઉદાહરણ 11.5 એક ઈલેક્ટ્રૉન, એક α કણ અને એક પ્રોટોનની ગતિઊર્જાઓ સમાન છે. આમાંથી કયા કણની ડિ બ્રોગ્લી તરંગ લંબાઈ સૌથી ટૂંકી હશે ?

ઉકેલ

કણ માટે ડિ બ્રોગ્લી તરંગ લંબાઈ, $\lambda = h/p$

ગતિઊર્જા, $K = p^2/2m$

આથી, $\lambda = h/\sqrt{2mK}$

સમાન ગતિઊર્જા K માટે, આપેલ કણ સાથે સંકળાયેલી ડિ બ્રોગ્લી તરંગ લંબાઈ તેમના દ્રવ્યમાનના વર્ગમૂળના વ્યસ્તપ્રમાણમાં છે. ઈલેક્ટ્રૉન કરતાં પ્રોટોન $\left({}^1_1\text{H}\right)$ લગભગ 1836 ગણો ભારે હોય છે, અને α-કણ $\left({}^4_4\text{He}\right)$ પ્રોટોન કરતાં 4 ગણો ભારે હોય છે. આથી, α-કણની ડિ બ્રોગ્લી તરંગ લંબાઈ સૌથી ટૂંકી હશે.

દ્રવ્ય તરંગોનું સંભાવનાત્મક અર્થઘટન (PROBABILITY INTERPRETATION OF MATTER WAVES)

કણ (દા. ત. ઈલેક્ટ્રૉન) સાથે સંકળાયેલ દ્રવ્ય તરંગનો અર્થ શું છે તે જાણવા થોડુંક રોકાઈએ. ખરેખર તો દ્રવ્ય અને વિકિરણના દ્વૈત સ્વરૂપની સંતોષ જનક સમજૂતી હજી સુધી મળી નથી. ક્વૉન્ટમ યંત્રશાસ્ત્રની શરૂઆત કરનાર મહાન વૈજ્ઞાનિકો (નિલ્સ બોહ્‌ર, આલ્બર્ટ આઈન્સ્ટાઈન અને બીજા ઘણા) એ આ અને તેની સાથે સંકળાયેલ ઘણા પાસાઓ સમજવા અથાગ પ્રયત્નો કર્યા. આમ છતાં ક્વૉન્ટમ યંત્રશાસ્ત્રનું ગહન ભૌતિક અર્થઘટન હજી પણ સક્રિય સંશોધનનો વિષય છે. આમ છતાં, આધુનિક ક્વૉન્ટમ યંત્રશાસ્ત્રમાં દ્રવ્ય તરંગનો વિચાર ગાણિતિક રીતે ખૂબ સફળતાપૂર્વક દાખલ થયો છે. આ બાબતમાં મૅક્સ બોર્ન (1882-1970) એ આપેલું દ્રવ્ય તરંગના કંપવિસ્તારનું સંભાવનાત્મક અર્થઘટન એ અગત્યનો માર્ગસ્તંભ હતો. આ મુજબ, કોઈ બિંદુએ દ્રવ્ય તરંગની તીવ્રતા (કંપવિસ્તારનો વર્ગ), તે બિંદુએ કણ હોવાની સંભાવના ઘનતા નક્કી કરે છે. સંભાવના ઘનતાનો અર્થ, એકમ કદ દીઠ સંભાવના. આમ, જો કોઈ બિંદુએ તરંગનો કંપવિસ્તાર A હોય, તો $|A|^2\Delta V$ એ આ બિંદુની આસપાસના સૂક્ષ્મ કદ ΔVમાં કણની હોવાની સંભાવના દર્શાવે છે. આમ, જો કોઈ વિસ્તારમાં દ્રવ્ય તરંગની તીવ્રતા વધુ હોય તો, ત્યાં કણને શોધવાની સંભાવના, જ્યાં ઓછી તીવ્રતા હોય ત્યાંની સરખામણીમાં, વધુ હોય છે.

ઉદાહરણ 11.6

ઉદાહરણ 11.6 એક કણ ઈલેક્ટ્રૉનની ઝડપ કરતા 3 ગણી ઝડપે ગતિ કરે છે. કણ અને ઈલેક્ટ્રૉનની ડિ બ્રોગ્લી તરંગ લંબાઈનો ગુણોત્તર 1.813×10^{-4} છે. કણનું દ્રવ્યમાન શોધો અને તે કયો કણ હશે તે ઓળખો.

ઉકેલ

m દ્રવ્યમાન અને υ વેગ ધરાવતા કણની ડિ બ્રોગ્લી તરંગલંબાઈ

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$$

દ્રવ્યમાન $m = h/\lambda v$

ઈલેક્ટ્રૉન માટે, દ્રવ્યમાન $m_e = h/\lambda_e v_e$

પરંતુ, $v/v_e = 3$ આપેલ છે અને

$\lambda/\lambda_e = 1.813 \times 10^{-4}$

આથી, કણનું દ્રવ્યમાન $m = m_e \left(\frac{\lambda_e}{\lambda}\right)\left(\frac{v_e}{v}\right)$

$m = (9.11 \times 10^{-31}\ \text{kg}) \times (1/1.813 \times 10^{-4}) \times (1/3)$

$m = 1.675 \times 10^{-27}\ \text{kg}$

આમ, આ દ્રવ્યમાન વાળો કણ પ્રોટોન કે ન્યૂટ્રોન હોઈ શકે.

ઉદાહરણ 11.6

ઉદાહરણ 11.7 100 વોલ્ટના વિદ્યુત સ્થિતિમાનના તફાવત વડે પ્રવેગિત થયેલા ઈલેક્ટ્રૉન સાથે સંકળાયેલી ડિ બ્રોગ્લી તરંગલંબાઈ કેટલી હશે ?

ઉકેલ

પ્રવેગક સ્થિતિમાન V = 100 V. ડિ બ્રોગ્લી તરંગલંબાઈ

$$\lambda = h/p = \frac{1.227}{\sqrt{V}}\ \text{nm}$$

$$\lambda = \frac{1.227}{\sqrt{100}}\ \text{nm} = 0.123\ \text{nm}$$

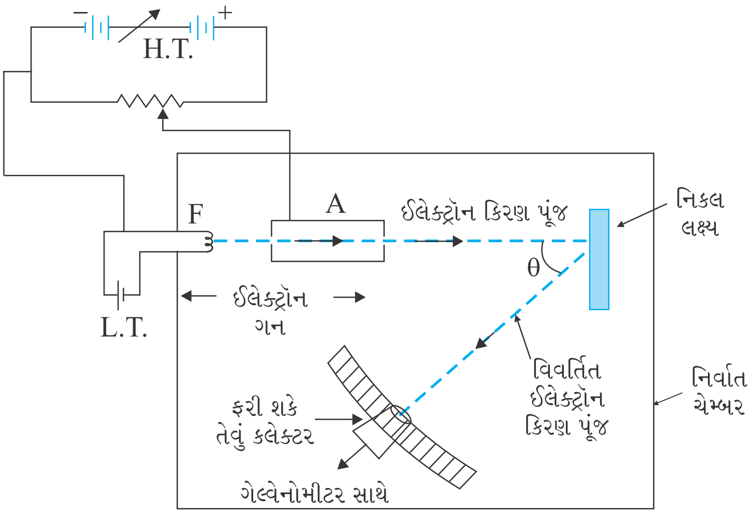
આ કિસ્સામાં ઈલેક્ટ્રૉન સાથે સંકળાયેલી ડિ બ્રોગ્લી તરંગલંબાઈ ક્ષ-કિરણોની તરંગલંબાઈના ક્રમની છે.

ઉદાહરણ 11.7

11.9 ડેવિસન અને ગર્મરનો પ્રયોગ (DAVISSON AND GERMER EXPERIMENT)

ઈલેક્ટ્રૉનના તરંગ સ્વરૂપની પ્રાયોગિક ચકાસણી પ્રથમ સી. જે. ડેવિસન અને એલ. એચ. ગર્મરે 1927માં, અને સ્વતંત્ર રીતે જી.પી. થોમસને 1928માં કરી હતી, જેમણે સ્ફટિકો વડે ઈલેક્ટ્રૉન કિરણાવલિના પ્રકીર્ણન દ્વારા વિવર્તનની ઘટનાઓનું અવલોકન કર્યું. ડેવિસન અને થોમસનને સ્ફટિકો દ્વારા ઈલેક્ટ્રૉનના વિવર્તનની પ્રાયોગિક શોધ બદલ 1937માં સંયુક્ત રીતે (સરખા ભાગે) નૉબેલ પારિતોષિક મળ્યું હતું.

ડેવિસન અને ગર્મરની પ્રાયોગિક ગોઠવણીની રૂપરેખા આકૃતિ 11.7માં દર્શાવી છે. તેમાં એક ઈલેક્ટ્રૉન ગન હોય છે, જેના ટંગસ્ટનના ફિલામેન્ટ F પર બેરીયમ ઑક્સાઈડનું પડ ચઢાવેલું હોય છે અને તેને નીચા વીજદબાણના પાવર સપ્લાય (L. T. અથવા Battery) દ્વારા ગરમ કરવામાં આવે છે. ફિલામેન્ટમાંથી ઉત્સર્જાયેલા ઈલેક્ટ્રૉનને ઈચ્છિત વેગ સુધી પ્રવેગિત કરવા ઊંચા વીજ-દબાણવાળા પાવર સપ્લાય (H. T. કે



આકૃતિ 11.7 ડેવિસન-ગર્મરની ઈલેક્ટ્રૉન વિવર્તન ગોઠવણી

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Battery)માંથી, યોગ્ય વીજદબાણ/વોલ્ટેજ લગાડવામાં આવે છે. તેમને સૂક્ષ્મ છિદ્રોવાળા નળાકારમાંથી તેની અક્ષની દિશામાં પસાર કરી, સાંકડી સંગઠિત કિરણાવલિ (Beam) મેળવી શકાય છે. આ બીમને નિકલના સ્ફટિકની સપાટી પર આપાત કરવામાં આવે છે. સ્ફટિકના પરમાણુઓ દ્વારા ઈલેક્ટ્રૉન બધી દિશાઓમાં પ્રકેરિત થાય છે. આપેલ દિશામાં પ્રકીર્ણન પામેલા ઈલેક્ટ્રૉન બીમની તીવ્રતા, ઈલેક્ટ્રૉન ડીટેક્ટર (કલેક્ટર) વડે માપવામાં આવે છે. આ ડીટેક્ટરને વર્તુળાકાર માપપટ્ટી (સ્કેલ) પર ફેરવી શકાય છે અને તેની સાથે સંવેદનશીલ ગેલ્વેનોમીટર જોડેલું હોય છે; જે વિદ્યુતપ્રવાહ નોંધે છે. ગેલ્વેનોમીટરનું કોણાવર્તન કલેક્ટરમાં દાખલ થતા ઈલેક્ટ્રૉન બીમની તીવ્રતાના સમપ્રમાણમાં હોય છે. આ સાધનને શૂન્યાવકાશિત ચેમ્બરમાં રાખવામાં આવે છે. વર્તુળાકાર સ્કેલ પર ડીટેક્ટરને જુદા જુદા સ્થાને ફેરવીને જુદા જુદા પ્રકીર્ણન કોણ θ કે, જે આપાત અને પ્રકીર્ણન પામતા ઈલેક્ટ્રૉન બીમ વચ્ચેનો કોણ છે, તેને માટે પ્રકીર્ણન પામેલ ઈલેક્ટ્રૉન બીમની તીવ્રતા માપવામાં આવે છે. જુદા જુદા પ્રકીર્ણન કોણ θ માટે પ્રકીર્ણન પામેલા ઈલેક્ટ્રૉનની તીવ્રતા (I)નો ફેરફાર જુદા જુદા પ્રવેગક વોલ્ટેજ (વીજદબાણ) માટે માપવામાં આવે છે.

આ પ્રવેગક વોલ્ટેજને 44 V થી 68 V સુધી બદલીને પ્રયોગ કરવામાં આવ્યો હતો. એવું નોંધવામાં આવ્યું હતું કે, 54 V જેટલા પ્રવેગક વીજદબાણ અને પ્રકીર્ણન કોણ $\theta = 50^\circ$ માટે, પ્રકીર્ણન પામેલ ઈલેક્ટ્રૉન બીમની તીવ્રતા (I)માં મહત્તમ ઊછાળો (વધારો) જોવા મળ્યો હતો.

સ્ફટિકના જુદા જુદા સ્તરો પરથી પ્રકીર્ણન પામેલા ઈલેક્ટ્રૉનના સહાયક વ્યતિકરણના કારણે ચોક્કસ દિશામાં મહત્તમ (ઊંચુ) મૂલ્ય મળે છે. ઈલેક્ટ્રૉનના વિવર્તન અંગેના માપન પરથી, દ્રવ્ય તરંગોની તરંગલંબાઈ 0.165 nm જેટલી મળી હતી.

$$\lambda = h/p = \frac{1.227}{\sqrt{V}}\ \text{nm}$$

$$\lambda = \frac{1.227}{\sqrt{54}}\ \text{nm} = 0.167\ \text{nm}$$

આમ, ડિ બ્રોગ્લી તરંગલંબાઈના પ્રાયોગિક મૂલ્ય અને સૈદ્ધાંતિક રીતે મેળવેલ મૂલ્ય વચ્ચે ખૂબ જ સંમતિ જોવા મળે છે. આ રીતે ડેવિસન-ગર્મરનો પ્રયોગ ઈલેક્ટ્રૉનના તરંગ સ્વરૂપ અને ડિ બ્રોગ્લી સમીકરણને સ્પષ્ટ રીતે અનુમોદન આપે છે. તાજેતરમાં, 1989માં, ઈલેક્ટ્રૉન બીમના તરંગ સ્વરૂપનું પ્રાયોગિક નિદર્શન, પ્રકાશના તરંગ સ્વરૂપ માટે વપરાય છે તેવા બે સ્લિટના પ્રયોગ દ્વારા, કરવામાં આવ્યું હતું. આ ઉપરાંત, 1994માં એક પ્રયોગ દરમિયાન, ઈલેક્ટ્રૉન કરતાં લાખો ગણા ભારે એવા આયોડિનના અણુઓના બીમ દ્વારા વ્યતિકરણની શલાકાઓ મેળવવામાં આવી હતી.

આધુનિક ક્વૉન્ટમ યંત્રશાસ્ત્રના વિકાસમાં ડિ બ્રોગ્લીનો સિદ્ધાંત પાયારૂપ છે. તે ઈલેક્ટ્રૉન ઓપ્ટીક્સ (Optics) ના ક્ષેત્ર તરફ પણ દોરી ગયેલ છે. ઈલેક્ટ્રૉન માઈક્રોસ્કોપની રચનામાં ઈલેક્ટ્રૉનના તરંગ સ્વરૂપનો ઉપયોગ કરવામાં આવ્યો છે. જે દૃશ્ય (પ્રકાશ) માઈક્રોસ્કોપ કરતાં વધુ વિભેદન શક્તિ ધરાવે છે.

Development of electron microscope
http://www.nobelprize.org

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

સારાંશ

1. ધાતુની સપાટીમાંથી ઈલેક્ટ્રૉનને બહાર નીકળવા માટે જરૂરી લઘુત્તમ ઊર્જાને તે ધાતુનું કાર્ય વિધેય કહે છે. ઈલેક્ટ્રૉનને ધાતુની સપાટીમાંથી બહાર કાઢવા માટે જરૂરી ઊર્જા (કાર્ય વિધેય ϕ_0 કરતાં વધુ), યોગ્ય રીતે ગરમ કરીને કે પ્રબળ વિદ્યુતક્ષેત્ર લાગુ પાડીને અથવા યોગ્ય આવૃત્તિનો પ્રકાશ આપાત કરીને આપી શકાય.
2. જ્યારે ધાતુ પર યોગ્ય આવૃત્તિનો પ્રકાશ આપાત કરવામાં આવે ત્યારે તેમાંથી ઈલેક્ટ્રૉનના ઉત્સર્જનની ઘટનાને ફોટો ઈલેક્ટ્રીક અસર કહે છે. કેટલીક ધાતુઓ અલ્ટ્રાવાયોલેટ પ્રકાશ માટે, જ્યારે કેટલીક દ્રશ્ય પ્રકાશ માટે પણ સંવેદી (સંવેદનશીલ) હોય છે. ફોટો ઈલેક્ટ્રીક અસરમાં પ્રકાશ ઊર્જાનું વિદ્યુતઊર્જામાં રૂપાંતર થાય છે. તે ઊર્જા સંરક્ષણના નિયમનું પાલન કરે છે. ફોટો ઈલેક્ટ્રીક અસર તાત્ક્ષણિક અસર છે અને તે કેટલીક વિશિષ્ટતાઓ ધરાવે છે.
3. ફોટો ઈલેક્ટ્રીક પ્રવાહ, (i) આપાત પ્રકાશની તીવ્રતા, (ii) બે ઈલેક્ટ્રૉન વચ્ચે લગાડેલ સ્થિતિમાનના તફાવત, અને (iii) ઉત્સર્જન પદાર્થના પ્રકાર (પ્રકૃતિ), પર આધાર રાખે છે.
4. સ્ટોપિંગ પોટેન્શિયલ (V_0), (i) આપાત પ્રકાશની આવૃત્તિ, અને (ii) ઉત્સર્જક દ્રવ્યના પ્રકાર, પર આધાર રાખે છે. આપાત પ્રકાશની આપેલ આવૃત્તિ માટે, તે તીવ્રતા પર આધાર રાખતું નથી. સ્ટોપિંગ પોટેન્શિયલ ઉત્સર્જાયેલા (ફોટો) ઈલેક્ટ્રૉનની મહત્તમ ગતિઊર્જા સાથે પ્રત્યક્ષ સંકળાયેલું હોય છે : $eV_0 = (1/2)\, m\upsilon^2_{max} = K_{max}$.
5. દ્રવ્ય માટે લાક્ષણિક એવી, એક ચોક્કસ આવૃત્તિ (થ્રેશોલ્ડ આવૃત્તિ) ν_0 થી ઓછી આવૃત્તિ માટે, તીવ્રતા ગમે તેટલી વધુ હોય તો પણ ફોટો ઈલેક્ટ્રીક ઉત્સર્જન થતું નથી.
6. પ્રચલિત તરંગવાદ ફોટો ઈલેક્ટ્રીક અસરની લાક્ષણિકતાઓ સમજાવી શકતો નથી. વિકિરણમાંથી ઊર્જાનું સતત શોષણ દર્શાવતો તેનો સિદ્ધાંત, K_{max}નું તીવ્રતા પર આધારિત ન હોવું, ν_0 (થ્રેશોલ્ડ આવૃત્તિ)નું અસ્તિત્વ અને (ફોટોઈલેક્ટ્રીક) ઘટનાનું તાત્ક્ષણિકપણું સમજાવી શકતો નથી. આઈન્સ્ટાઈને આ લાક્ષણિકતાઓને પ્રકાશની ફોટોન પ્રકૃતિના આધારે સમજાવી હતી. આ મુજબ, પ્રકાશ, ઊર્જાના અમુક જથ્થાઓ (પેકેટ)નો બનેલો છે, જેમને ક્વૉન્ટમ કે ફોટોન કહે છે. દરેક ફોટોનને ઊર્જા E $(= h\nu)$ અને વેગમાન $p\ (= h\ \lambda)$ હોય છે જે આપાત પ્રકાશની આવૃત્તિ (ν) પર આધાર રાખે છે, પણ તીવ્રતા પર નહીં. ઈલેક્ટ્રૉન દ્વારા ફોટોનના શોષણના કારણે ધાતુની સપાટીમાંથી ફોટો ઈલેક્ટ્રીક ઉત્સર્જન થાય છે.
7. આઈન્સ્ટાઈનનું ફોટો ઈલેક્ટ્રીક સમીકરણ, ઊર્જા સંરક્ષણના નિયમને સુસંગત છે જે ધાતુમાં રહેલા ઈલેક્ટ્રૉન દ્વારા ફોટોનના શોષણ પર લાગુ પડે છે. ફોટોનની ઊર્જા ($h\nu$)માંથી લક્ષ્ય ધાતુનું કાર્ય વિધેય $\phi_0\ (= h\ \nu_0)$ બાદ કરતાં (ફોટો ઈલેક્ટ્રૉનની) મહત્તમ ગતિઊર્જા $(1/2)m\upsilon^2_{max}$ મળે છે.
$$\frac{1}{2}m\upsilon^2_{max} = V_0 e = h\nu - \phi_0 = h(\nu - \nu_0)$$
આ ફોટો ઈલેક્ટ્રીક સમીકરણ, ફોટોઈલેક્ટ્રીક અસરની બધી જ લાક્ષણિકતાઓ સમજાવે છે. મિલિકનના પ્રથમ ચોક્કસ માપનોએ આઈન્સ્ટાઈનના ફોટોઈલેક્ટ્રીક સમીકરણની સત્યતાને સમર્થન પુરું પાડ્યું અને પ્લાન્કના અચળાંક hનું ચોક્કસ મૂલ્ય મેળવ્યું, જે આઈન્સ્ટાઈને રજૂ કરેલા વિદ્યુતચુંબકીય વિકિરણના કણ કે ફોટોન વર્ણનની સ્વીકૃતિ તરફ દોરી ગયું.
8. વિકિરણ દ્વૈત પ્રકૃતિ ધરાવે છે : તરંગ અને કણ. કોઈ પ્રયોગના પરિણામને સમજવા પ્રકાશનું તરંગ કે કણ, કયું સ્વરૂપ ધ્યાનમાં લેવું શ્રેષ્ઠ છે તે પ્રયોગના પ્રકાર પરથી નક્કી થાય છે. પ્રકૃતિમાં વિકિરણ અને દ્રવ્ય સંમિતિ ધરાવે છે. એવા તર્ક પરથી લ્યુઈસ વિક્ટર ડિ બ્રોગ્લીએ દ્રવ્ય (દ્રવ્ય કણો)ને તરંગ-પ્રકૃતિ સાથે સાંકળ્યા. ગતિ કરતા દ્રવ્ય કણો સાથે સંકળાયેલા તરંગોને દ્રવ્ય તરંગો કે ડિ બ્રોગ્લી તરંગો કહે છે.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

9. ગતિમાન કણ સાથે સંકળાયેલી ડિ બ્રોગ્લી તરંગલંબાઈ (λ) તેના વેગમાન p સાથે આ મુજબ સંબંધિત છે : $\lambda = h/p$. દ્રવ્યનું દ્વૈતપણું ડિ બ્રોગ્લી સમીકરણમાં રહેલું છે. જે તરંગવિભાવના (λ) અને કણ વિભાવના (p) ને સમાવે છે. ડિ બ્રોગ્લી તરંગલંબાઈ દ્રવ્ય કણના વિદ્યુતભાર અને તેની પ્રકૃતિ પર આધાર રાખતી નથી. તે ફક્ત પરમાણુથી નાના કણો જેમકે ઈલેક્ટ્રૉન, પ્રોટોન વગેરે માટે જ (તેમના સૂક્ષ્મ દળ અને તેથી સૂક્ષ્મ વેગમાનના કારણે) ચોક્કસ રીતે માપી શકાય તેવા અંતરના (સ્ફટિકોમાંના પરમાણ્વિક સ્તરો વચ્ચેના અંતરના) ક્રમના હોય છે. આમ છતાં તે રોજીંદા જીવનમાં જોવામાં આવતા, સ્થૂળ પદાર્થો માટે માપી ન શકાય તેટલી નાની હોય છે.
10. ડેવિસન અને ગર્મર, અને જી. પી. થોમસન, તથા ત્યારબાદના બીજા ઘણા ઈલેક્ટ્રૉન વિવર્તનના પ્રયોગો દ્વારા ઈલેક્ટ્રૉનના તરંગ સ્વરૂપની ચકાસણી તથા સત્યતા સાબિત થઈ છે. દ્રવ્ય તરંગો માટેનો ડિ બ્રોગ્લીનો સિદ્ધાંત, બ્હોરના સ્થિર કક્ષાઓના ખ્યાલને સમર્થન આપે છે.

ભૌતિક રાશિ	સંજ્ઞા	પરિમાણ	એકમ	વિશેષ નોંધ
પ્લાન્કનો અચળાંક	h	$[ML^2T^{-1}]$	J s	$E = h\nu$
સ્ટોપિંગ પોટેન્શિયલ	V_0	$[ML^2T^{-3}A^{-1}]$	V	$eV_0 = K_{max}$
કાર્ય વિધેય	ϕ_0	$[ML^2T^{-2}]$	J; eV	$K_{max} = E - \phi_0$
થ્રેશોલ્ડ (સીમાંત) આવૃત્તિ	ν_0	$[T^{-1}]$	Hz	$\nu_0 = \phi_0/h$
ડિ બ્રોગ્લી તરંગલંબાઈ	λ	[L]	m	$\lambda = h/p$

ગહન વિચારણાના મુદ્દાઓ

1. ધાતુમાં રહેલા ઈલેક્ટ્રૉન ધાતુની અંદર અચળ વિદ્યુત સ્થિતિમાનમાં ગતિ કરી શકે છે તે અર્થમાં મુક્ત છે (આ એક સંનિકટતા છે). તેઓ ધાતુની સપાટીમાંથી બહાર નીકળવા માટે મુક્ત નથી. તેમને ધાતુમાંથી બહાર કાઢવા માટે વધારાની ઊર્જાની જરૂર પડે છે.
2. ધાતુમાં રહેલા બધા જ મુક્ત ઈલેક્ટ્રૉનની ઊર્જા સમાન હોતી નથી. વાયુ પાત્રમાં રહેલા વાયુના અણુઓની જેમ, આપેલ તાપમાને આ ઈલેક્ટ્રૉનને પણ એક ચોક્કસ ઊર્જા વિતરણ (Distribution) હોય છે. આ વિતરણ એ તમે વાયુના ગતિવાદમાં ભણ્યા એ મેક્સવેલના વિતરણથી અલગ છે. તમે આગળના અભ્યાસક્રમમાં તેના વિશે ભણશો, પરંતુ આ તફાવત, ઈલેક્ટ્રૉન પાઉલીના અપવર્જન (Exclusion) ના સિદ્ધાંતનું પાલન કરે છે તે હકીકત સાથે સંબંધિત છે.
3. ધાતુમાં ઈલેક્ટ્રૉનના ઊર્જા વિતરણના કારણે, જુદા જુદા ઈલેક્ટ્રૉન માટે ઈલેક્ટ્રૉનને ધાતુમાંથી બહાર નીકળવા માટે જરૂરી ઊર્જા જુદા જુદા ઈલેક્ટ્રૉન માટે જુદી જુદી હોય છે. વધુ ઊર્જા ધરાવતા ઈલેક્ટ્રૉનને ઓછી ઊર્જા ધરાવતા ઈલેક્ટ્રૉન કરતાં બહાર નીકળવા માટે ઓછી ઊર્જાની જરૂર પડે છે. કાર્યવિધેય એ ધાતુમાંથી ઈલેક્ટ્રૉનને બહાર નીકળવા માટે જરૂરી લઘુત્તમ ઊર્જા છે.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

4. ફોટોઈલેક્ટ્રીક અસરના અવલોકનો દર્શાવે છે કે, દ્રવ્ય અને પ્રકાશની આંતરક્રિયા દરમિયાન, *ઊર્જાનું શોષણ વિભક્ત (છુટાછુટા) જથ્થાઓ $h\nu$ ના એકમોમાં થાય છે.* આનો અર્થ એ નથી કે પ્રકાશ $h\nu$ ઊર્જાવાળા કણોનો બનેલો છે.
5. સ્ટોપિંગ પોટેન્શિયલ (જે તીવ્રતા પર આધાર રાખતું નથી પરંતુ આવૃત્તિ પર આધાર રાખે છે) ના અવલોકનો ફોટોઈલેક્ટ્રીક અસરના તરંગ-સ્વરૂપ અને ફોટોન સ્વરૂપ વચ્ચેનો નિર્ણાયક ભેદ દર્શાવે છે.
6. $\lambda = h/p$ વડે અપાતી દ્રવ્ય તરંગની તરંગ લંબાઈનું ભૌતિક મહત્વ છે, પરંતુ તેના કળા વેગ υ_p (Phase Velocity)નું કોઈ ભૌતિક મહત્વ નથી. આમ છતાં, દ્રવ્ય તરંગનો સમૂહ વેગ (Group Velocity) કે જે કણના વેગ જેટલો હોય છે તે ભૌતિક રીતે અર્થપૂર્ણ છે.

સ્વાધ્યાય

11.1 30 kVના ઈલેક્ટ્રૉન દ્વારા ઉત્પન્ન થતા ક્ષ-કિરણોની
(a) મહત્તમ આવૃત્તિ, અને
(b) લઘુત્તમ તરંગલંબાઈ શોધો.

11.2 સિઝિયમ ધાતુનું કાર્ય વિધેય 2.14 eV છે. જ્યારે 6×10^{14} Hzનો પ્રકાશ આ ધાતુની સપાટી પર આપાત થાય, ત્યારે ઈલેક્ટ્રૉનનું ફોટો ઉત્સર્જન થાય છે.
(a) ઉત્સર્જિત ઈલેક્ટ્રૉનની મહત્તમ ગતિઊર્જા,
(b) સ્ટોપિંગ પોટેન્શિયલ, અને
(c) ઉત્સર્જિત ફોટો ઈલેક્ટ્રૉનની મહત્તમ ઝડપ, કેટલી હશે ?

11.3 એક પ્રયોગમાં ફોટોઈલેક્ટ્રીક કટ-ઓફ વોલ્ટેજ 1.5 V છે. ઉત્સર્જાયેલા ફોટો ઈલેક્ટ્રૉનની મહત્તમ ગતિઊર્જા કેટલી હશે ?

11.4 હિલિયમ-નિયોન લેસર વડે 632.8 nm તરંગલંબાઈનો એકરંગી (Monochromatic) પ્રકાશ ઉત્પન્ન થાય છે. ઉત્સર્જિત પાવર 9.42 mW જેટલો છે.
(a) પ્રકાશ પૂંજમાં રહેલા દરેક ફોટોનની ઊર્જા અને વેગમાન શોધો.
(b) આ પૂંજ વડે પ્રકાશિત લક્ષ્ય (ટાર્ગેટ) પર સરેરાશ રીતે એક સેકન્ડ દીઠ કેટલા ફોટોન આપાત થતા હશે ? (પૂંજનો આડછેદ સમાન અને લક્ષ્યના ક્ષેત્રફળ કરતાં નાનો છે તેમ ધારો), અને
(c) ફોટોનના વેગમાન જેટલું વેગમાન ધરાવવા માટે હાઈડ્રોજન પરમાણુએ કેટલી ઝડપથી ગતિ કરવી જોઈએ ?

11.5 પૃથ્વીની સપાટી પર આવતા સૂર્યપ્રકાશની ઊર્જાનું ફ્લક્સ 1.388×10^3 W/m^2 છે. પૃથ્વીની સપાટી પર એક ચોરસ મીટરમાં દર સેકન્ડ દીઠ (લગભગ) કેટલા ફોટોન્સ આપાત થતા હશે ? સૂર્યપ્રકાશના ફોટોનની સરેરાશ તરંગ લંબાઈ 550 nm છે એમ ધારો.

11.6 ફોટો ઈલેક્ટ્રીક અસરના એક પ્રયોગમાં, કટ ઓફ વૉલ્ટેજ વિરુદ્ધ આપાત પ્રકાશની આવૃત્તિનો ઢાળ 4.12×10^{-15} V s જેટલો મળે છે. પ્લાન્કના અચળાંકનું મૂલ્ય શોધો.

11.7 100 Wનો એક સોડિયમ લૅમ્પ બધી દિશાઓમાં સમાન રીતે ઊર્જાનું ઉત્સર્જન કરે છે. આ લૅમ્પને એક મોટા ગોળાના કેન્દ્ર પર રાખેલો છે. ગોળો તેના પર આપાત થયેલ બધા જ સોડિયમ પ્રકાશનું શોષણ કરે છે. સોડિયમ પ્રકાશની તરંગ લંબાઈ 589 nm છે.
(a) સોડિયમ પ્રકાશ માટે એક ફોટોન દીઠ કેટલી ઊર્જા સંકળાયેલી હશે ?
(b) ગોળા પર કેટલા દરથી ફોટોન આપાત થતા હશે ?

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

11.8 એક ચોક્કસ ધાતુ માટે થ્રેશોલ્ડ આવૃત્તિ 3.3×10^{14} Hz છે. જો આ ધાતુ પર 8.2×10^{14} Hz આવૃત્તિનો પ્રકાશ આપાત થતો હોય તો ફોટો ઈલેક્ટ્રીક ઉત્સર્જન માટે કટ ઓફ વોલ્ટેજનું મૂલ્ય શોધો.

11.9 એક ધાતુનું કાર્ય વિધેય 4.2 eV છે. શું આ ધાતુ 330 nm તરંગલંબાઈના આપાત વિકિરણ માટે ફોટો ઈલેક્ટ્રીક ઉત્સર્જન કરશે ?

11.10 એક ધાતુની સપાટી પર 7.21×10^{14} Hz તરંગલંબાઈનો પ્રકાશ આપાત થાય છે. તેની સપાટીમાંથી 6.0×10^{5} m/sની મહત્તમ ઝડપ ધરાવતા ઈલેક્ટ્રૉન ઉત્સર્જિત થાય છે. ઈલેક્ટ્રૉનના ફોટો ઉત્સર્જન માટે થ્રેશોલ્ડ આવૃત્તિ કેટલી હશે ?

11.11 આર્ગન લેસર વડે ઉત્પન્ન થયેલ 488 nmના પ્રકાશનો ઉપયોગ ફોટો ઈલેક્ટ્રીક અસરમાં થયો છે. જ્યારે આ વર્ણપટ રેખાનો પ્રકાશ ઉત્સર્જક પર આપાત થાય ત્યારે ફોટો ઈલેક્ટ્રૉનનું સ્ટોપિંગ (કટ ઑફ) પોટેન્શિયલ 0.38 V છે. ઉત્સર્જક જે દ્રવ્યમાંથી બનેલ છે તેનું કાર્ય વિધેય શોધો.

11.12 56 V વિદ્યુત સ્થિતિમાનના તફાવત વડે પ્રવેગિત ઈલેક્ટ્રૉન માટે
(a) વેગમાન, અને
(b) ડિ બ્રોગ્લી તરંગલંબાઈ શોધો.

11.13 120 eV જેટલી ગતિઊર્જા ધરાવતા ઈલેક્ટ્રૉનનું
(a) વેગમાન,
(b) ઝડપ અને
(c) ડિ બ્રોગ્લી તરંગલંબાઈ કેટલા હશે ?

11.14 સોડિયમના ઉત્સર્જન વર્ણપટ રેખાના પ્રકાશની તરંગલંબાઈ 589 nm છે.
(a) ઈલેક્ટ્રૉન અને
(b) ન્યૂટ્રૉનની કઈ ગતિઊર્જા માટે આટલી તરંગલંબાઈ મળશે ?

11.15 આપેલ કિસ્સાઓ માટે ડિ બ્રોગ્લી તરંગલંબાઈ શોધો.
(a) 1.0 km/sની ઝડપથી ગતિ કરતી 0.040 kg દળની બુલેટ,
(b) 1.0 m/sની ઝડપથી ગતિ કરતો 0.060 kg દળ ધરાવતો બૉલ,
(c) 2.2 m/sની ઝડપથી ગતિ કરતો 1.0×10^{-9} kg દળ ધરાવતો ધુળનો રજકણ.

11.16 એક ઈલેક્ટ્રૉન અને ફોટોન બંનેની તરંગલંબાઈ 1.00 nm છે. તેમના માટે
(a) તેમના વેગમાન,
(b) ફોટોનની ઊર્જા અને
(c) ઈલેક્ટ્રૉનની ગતિઊર્જા શોધો.

11.17 (a) ન્યૂટ્રૉનની કેટલી ગતિઊર્જા માટે તેની સાથે સંકળાયેલ ડિ બ્રોગ્લી તરંગલંબાઈ 1.40×10^{-10} m હશે ?
(b) આ ઉપરાંત 300 K તાપમાને દ્રવ્ય સાથે તાપીય સંતુલનમાં રહેલા (3/2) kT જેટલી સરેરાશ ગતિઊર્જા ધરાવતા ન્યુટ્રૉન માટે ડિ બ્રોગ્લી તરંગલંબાઈ શોધો.

11.18 દર્શાવો કે વિદ્યુતચુંબકીય વિકિરણની તરંગલંબાઈ તેના ક્વૉન્ટમ (ફોટોન)ની ડિ બ્રોગ્લી તરંગલંબાઈ જેટલી હોય છે.

11.19 હવામાં 300 K તાપમાને રહેલા નાઈટ્રોજન અણુની ડિ બ્રોગ્લી તરંગલંબાઈ કેટલી હશે ? અણુ આ તાપમાને અણુઓની સરેરાશ વર્ગિત ઝડપના વર્ગમૂળ જેટલી ઝડપથી ગતિ કરે છે તેમ ધારો (નાઈટ્રોજનનું પરમાણુદળ $= 14.0076\, u$).

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

13.28 D–T પ્રક્રિયા (ડ્યુટેરિયમ-ટ્રિટિયમ સંલયન) વિચારો.

$${}_1^2H + {}_1^3H \rightarrow {}_2^4He + n$$

(a) નીચે આપેલ વિગતો પરથી વિમુક્ત થતી ઊર્જા MeVમાં ગણો.

$m({}_1^2H) = 2.014102\,u$

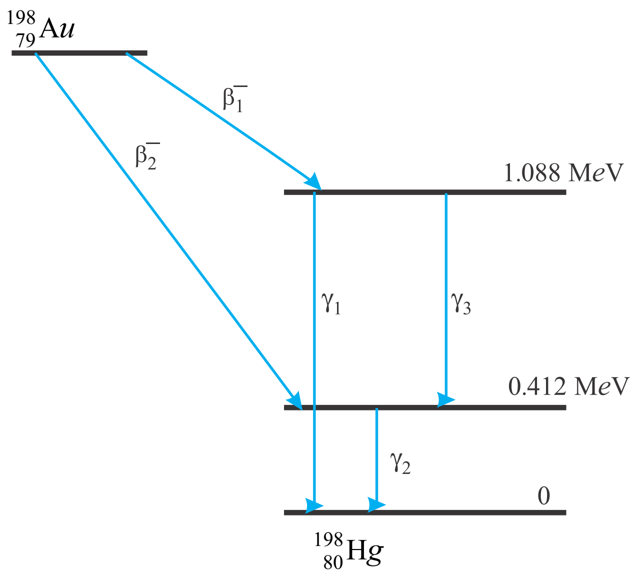
$m({}_1^3H) = 3.016049\,u$

(b) ડ્યુટેરિયમ અને ટ્રિટિયમ બંનેની ત્રિજ્યા લગભગ 2.0 *fm* ધારો. આ બે ન્યુક્લિયસ વચ્ચેના કુલંબ અપાકર્ષણને ઓળંગી જવા (પાર કરવા) માટે કેટલી ગતિઊર્જા જરૂરી છે ? આ ક્રિયા પ્રારંભ કરાવવા માટે વાયુને કેટલા તાપમાન સુધી ગરમ કરવો પડે ? (સૂચના : એક વિખંડન ઘટના માટે જરૂરી ગતિઊર્જા = આંતરક્રિયા કરતા કણો પાસે હોય તેવી સરેરાશ ઉષ્મીય ગતિઊર્જા = $2(3\,kT/2)$, k = બોલ્ટ્ઝમેનનો અચળાંક, T = નિરપેક્ષ તાપમાન)

13.29 આકૃતિ 13.6માં દર્શાવેલ ક્ષય પ્રક્રિયામાં β-કણોની મહત્તમ ગતિઊર્જા અને γ-ક્ષયની વિકિરણ આવૃત્તિઓ શોધો. તમને નીચેની વિગતો આપેલ છે.

$m({}^{198}Au) = 197.968233\,u$

$m({}^{198}Hg) = 197.966760\,u$



આકૃતિ 13.6

13.30 (a) સૂર્યમાં ઊંડે 1 kg હાઈડ્રોજનના સંલયનમાં અને

(b) વિખંડન રીએક્ટરમાં 1 kg ${}_{92}^{235}U$ ના વિખંડનમાં - વિમુક્ત થતી (બહાર પડતી) ઊર્જા ગણો અને સરખાવો.

13.31 ધારોકે ઈ.સ. 2020 સુધીમાં ભારતનું લક્ષ્ય 2,00,000 MW વિદ્યુતપાવર ઉત્પન્ન કરવાનું છે અને તેમાંથી દસ ટકા ન્યુક્લિયર પાવર પ્લાન્ટમાંથી મેળવવાનું છે. ધારોકે આપણને આપેલ છે કે સરેરાશપણે રીએક્ટરમાં ઉત્પન્ન થયેલી ઉષ્માઊર્જાના વપરાશની કાર્યક્ષમતા (એટલે કે વિદ્યુતઊર્જામાં રૂપાંતર) 25 % છે. તો 2020 સુધીમાં દેશને વિખંડનિય યુરેનિયમના કેટલા જથ્થાની જરૂર પડે ? ${}_{92}^{235}U$ ના દર વિખંડન દીઠ ઉષ્મા ઊર્જા લગભગ 200 MeV લો.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

વધારાના સ્વાધ્યાય

11.20 (a) શૂન્યાવકાશિત નળીમાં તપાવેલા ઉત્સર્જક પરથી ઉત્સર્જાયેલા અને ઉત્સર્જકની સાપેક્ષે 500 V સ્થિતિમાનના તફાવતે રહેલા કલેક્ટર પર આપાત થતા ઈલેક્ટ્રૉનની ઝડપ શોધો. ઈલેક્ટ્રૉનની પ્રારંભિક અલ્પ ઝડપ અવગણો. ઈલેક્ટ્રૉનનો *વિશિષ્ટ વિદ્યુતભાર* એટલે કે તેના e/mનું મૂલ્ય 1.76×10^{11} C kg^{-1} આપેલ છે.

(b) (a)માં તમે ઉપયોગ કરેલા સમીકરણ પરથી 10 MV જેટલા કલેક્ટર સ્થિતિમાન માટે ઈલેક્ટ્રૉનની ઝડપ શોધો. તમને શું ખોટું જણાય છે ? આ સૂત્રમાં કયો સુધારો કરવો જોઈએ ?

11.21 (a) એક સરખી ઊર્જા ધરાવતા 5.20×10^6 m s^{-1} જેટલી ઈલેક્ટ્રૉનની ઝડપ ધરાવતા ઈલેક્ટ્રૉન બીમ (કિરણાવલી) પર વેગને લંબરૂપે 1.30×10^{-4} T જેટલું ચુંબકીયક્ષેત્ર લગાડેલ છે. આ બીમ વડે આંતરેલા વર્તુળાકાર માર્ગની ત્રિજ્યા કેટલી હશે ? ઈલેક્ટ્રૉન માટે e/mનું મૂલ્ય 1.76×10^{11} C kg^{-1} આપેલ છે.

(b) શું (a)માં તમે ઉપયોગમાં લીધેલ સૂત્ર, 20 MeV ઈલેક્ટ્રૉન બીમના માર્ગની ત્રિજ્યાની ગણતરીમાં ઉપયોગ કરી શકો ? જો ના તો, તેમાં શું સુધારો કરવો જોઈએ ?

[*નોંધ* : સ્વાધ્યાય 11.20(b) અને 11.21(b) તમને સાપેક્ષવાદીય યંત્રશાસ્ત્ર તરફ દોરી જાય છે. જે આ પુસ્તકની મર્યાદા બહાર છે. અહીંયા તેમનો ઉપયોગ કરવાનો આશય એ બાબત તરફ ધ્યાન દોરવાનો છે કે સ્વાધ્યાયના ભાગ (a)માં તમે જે સમીકરણોનો ઉપયોગ કરો છો તે ખૂબ ઊંચી ઝડપ અને ઊર્જાઓ માટે લાગુ પડતા નથી. ખૂબ ઊંચી ઝડપ અને ઊર્જા એટલે શું તે સમજવા માટે અંતમાં આપેલા ઉકેલ જુઓ.]

11.22 100 V જેટલો કલેક્ટર વોલ્ટેજ ધરાવતી એક ઈલેક્ટ્રૉન ગન, નીચા દબાણે [$\sim 10^{-2}$ mm Hg] રહેલા હાઈડ્રોજન વાયુ ભરેલા ગોળાકાર બલ્બમાં ઈલેક્ટ્રૉન છોડે છે. 2.83×10^{-4} T જેટલું ચુંબકીયક્ષેત્ર ઈલેક્ટ્રૉનના માર્ગને 12.0 cm ત્રિજ્યાની વર્તુળાકાર કક્ષામાં વાળે છે. (આ માર્ગ એટલા માટે જોઈ શકાય છે કે માર્ગમાં આવતા વાયુના આયનો ઈલેક્ટ્રૉનને આકર્ષીને બીમને કેન્દ્રિત કરે છે, તથા ઈલેક્ટ્રૉન પ્રાપ્ત (Capture) કરીને પ્રકાશનું ઉત્સર્જન કરે છે, આ રીતને 'ફાઈન બીમ ટ્યૂબ' પદ્ધતિ કહે છે) આપેલ માહિતી પરથી e/m શોધો.

11.23 (a) એક ક્ષ-કિરણની ટ્યૂબ સતત વર્ણપટના વિકિરણો ઉત્સર્જિત કરે છે જેમની સૌથી ટૂંકી તરંગલંબાઈ 0.45 Å છે. આ વિકિરણમાં ફોટોનની મહત્તમ ઊર્જા કેટલી હશે ?

(b) તમારા (a)ના જવાબ માટે (ઈલેક્ટ્રૉન) ટ્યૂબમાં પ્રવેગક વોલ્ટેજ કેટલા ક્રમનો હોવો જોઈએ ?

11.24 ઈલેક્ટ્રૉનની પોઝિટ્રૉન સાથેની ઉચ્ચ ઊર્જા અથડામણો માટેના એક્સિલેટર (પ્રવેગક) પ્રયોગમાં કોઈ ઘટનાનું અર્થઘટન 10.2 BeVની કુલ ઊર્જાના ઈલેક્ટ્રૉન-પોઝિટ્રૉન જોડકાંના પૂર્ણ નાશ દ્વારા સમાન ઊર્જાના બે γ-કિરણોના ઉત્સર્જન તરીકે થાય છે. દરેક γ-કિરણ સાથે સંકળાયેલી તરંગ લંબાઈ કેટલી હશે ? (1 BeV $= 10^9$ *e*V)

11.25 નીચેની બે સંખ્યાઓનો અંદાજ મેળવવો રસપ્રદ રહેશે. પહેલી સંખ્યા તમને એ કહેશે કે શા માટે રેડિયો એન્જિનિયરોએ ફોટોન વિશે બહુ ચિંતા કરવી જરૂરી નથી ! બીજી સંખ્યા એ કહેશે કે ભલેને માંડ પારખી શકાય તેવો પ્રકાશ હોય તો પણ શા માટે આપણી આંખ ક્યારેય ફોટોનની ગણતરી કરી શકતી નથી.

(a) 500 m તરંગલંબાઈના રેડિયો તરંગો ઉત્સર્જિત કરતા 10 kW પાવરના મિડિયમ વેવ ટ્રાન્સમીટરમાંથી એક સેકન્ડ દીઠ ઉત્સર્જાતા ફોટોનની સંખ્યા,

(b) સફેદ પ્રકાશની ન્યૂનતમ તીવ્રતા જેનો મનુષ્યો અહેસાસ કરી શકે ($\sim 10^{-10}$ W m^{-2}) તેને અનુરૂપ આપણી આંખની કીકીમાં દર સેકંડે દાખલ થતા ફોટોનની સંખ્યા, આંખની કીકીનું ક્ષેત્રફળ આશરે 0.4 cm^2 લો અને સફેદ પ્રકાશની સરેરાશ આવૃત્તિ આશરે 6×10^{14} Hz લો.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

11.26 100 Wના મર્ક્યુરી બલ્બમાંથી નીકળતો 2271 Å તરંગલંબાઈનો અલ્ટ્રાવાયોલેટ પ્રકાશ મોલિબ્ડેનમ ધાતુમાંથી બનેલા ફોટોસેલને પ્રકાશિત કરે છે. જો સ્ટોપિંગ પોટેન્શિયલ −1.3 V હોય, તો ધાતુનું કાર્યવિધેય શોધો. આ ફોટોસેલ He-Ne લેસરમાંથી ઉત્સર્જાયેલ 6328 Å ના ઊંચી તીવ્રતા ($\sim 10^5$ W m^{-2}) ધરાવતા લાલ પ્રકાશ પ્રત્યે કેવો પ્રતિભાવ આપશે ?

11.27 સિઝિયમનું પ્રકાશ-સંવેદી દ્રવ્ય લગાડેલા ટંગસ્ટન, નિયોન બલ્બમાંથી આવતા 640.2 nm (1 nm = 10^{-9} m) તરંગલંબાઈના એકરંગી પ્રકાશ વડે પ્રકાશિત થાય છે. સ્ટોપિંગ પોટેન્શિયલ 0.54 V માપેલ છે. પ્રકાશના આ ઉદ્‌ગમની જગ્યાએ આયર્ન ઉદ્‌ગમ મુકવામાં આવે છે જેની 427.2 nm (તરંગલંબાઈની) વર્ણપટ રેખા આ ફોટોસેલને પ્રકાશિત કરે છે. નવું સ્ટોપિંગ પોટેન્શિયલ શોધો.

11.28 ફોટા ઈલેક્ટ્રીક ઉત્સર્જનના આવૃત્તિ પરના અવલંબન (આધાર, Dependence) ના અભ્યાસ માટે મર્ક્યુરી લૅમ્પ યોગ્ય ઉદ્‌ગમ છે, કારણ કે તે UVથી લઈને દૃશ્ય પ્રકાશના વર્ણપટના લાલ છેડા સુધીની ઘણી બધી વર્ણપટરેખાઓ આપે છે. રૂબિડિયમ ફોટોસેલ સાથેના આપણા પ્રયોગ દરમિયાન, મર્ક્યુરી ઉદ્‌ગમની નીચે આપેલ વર્ણપટરેખાઓનો ઉપયોગ થયો હતો :

$\lambda_1 = 3650$ Å, $\lambda_2 = 4047$ Å, $\lambda_3 = 4358$ Å, $\lambda_4 = 5461$ Å, $\lambda_5 = 6907$ Å

તેમને અનુલક્ષીને માપેલા સ્ટોપિંગ પોટેન્શિયલ અનુક્રમે આ મુજબ છે :

$V_{01} = 1.28$ V, $V_{02} = 0.95$ V, $V_{03} = 0.74$ V, $V_{04} = 0.16$ V, $V_{05} = 0$ V

પ્લાન્કના અચળાંક h નું મૂલ્ય, આપેલ દ્રવ્ય માટે થ્રેશોલ્ડ આવૃત્તિ અને કાર્યવિધેય શોધો.

(*નોંધ :* તમે જોશો કે આપેલ માહિતી પરથી hની ગણતરી કરવા માટે eની જરૂર પડશે (જે તમે 1.6×10^{-19} C લઈ શકો). Na, Li, K વગેરે પર મિલિકને આવા પ્રયોગો કર્યા હતા જેમાં તેમણે (ઓઈલ ડ્રોપ પ્રયોગ-Oil Drop Experiment પરથી) મેળવેલ eના મૂલ્યનો ઉપયોગ કરીને આઈન્સ્ટાઈનના ફોટોઈલેક્ટ્રીક સમીકરણની સત્યતા ચકાસી હતી અને તે સાથે જ hના મૂલ્યનો સ્વતંત્ર અંદાજ આપ્યો હતો.)

11.29 નીચેની ધાતુઓનું કાર્યવિધેય આ મુજબ આપેલ છે :

Na : 2.75 eV, K : 2.30 eV, Mo : 4.17 eV, Ni : 5.15 eV.

આમાંથી કઈ ધાતુ ફોટોસેલથી 1 m અંતરે મૂકેલા He-Cd લેસરમાંથી આવતા 3300 Å તરંગલંબાઈના વિકિરણ માટે ફોટો ઈલેક્ટ્રીક ઉત્સર્જન નહીં આપે ? જો લેસરને પાસે લાવીને 50 cm અંતરે મુકવામાં આવે તો શું થશે ?

11.30 10^{-5} W m^{-2} તીવ્રતાનો પ્રકાશ, 2 cm^2 જેટલું સપાટીનું ક્ષેત્રફળ ધરાવતા સોડિયમ ફોટોસેલ પર પડે છે. સોડિયમના ઉપરના 5 સ્તરો આપાત પ્રકાશનું શોષણ કરે છે તેમ ધારીને વિકિરણની તરંગ પ્રકૃતિ મુજબ ફોટો ઈલેક્ટ્રીક ઉત્સર્જન માટે કેટલો સમય લાગશે તે નક્કી કરો. ધાતુનું કાર્યવિધેય લગભગ 2 eV જેટલું આપેલું છે. તમારો જવાબ શું સૂચવે છે ?

11.31 સ્ફટિક દ્વારા વિવર્તનના પ્રયોગો, ક્ષ-કિરણો કે યોગ્ય વોલ્ટેજ દ્વારા પ્રવેગિત કરેલા ઈલેક્ટ્રોન વડે કરી શકાય છે. કયા શોધક (Probe) (કિરણ)ની ઊર્જા વધુ હશે ? (માત્રાત્મક સરખામણી માટે, શોધક/કિરણની તરંગલંબાઈ 1 Å લો, જે લેટિસના આંતર પરમાણ્વિક અંતરોના ક્રમની છે.) ($m_e = 9.11 \times 10^{-31}$ kg)

11.32 (a) 150 eV ગતિઊર્જા ધરાવતા ન્યુટ્રૉનની ડિ બ્રોગ્લી તરંગલંબાઈ શોધો. સ્વાધ્યાય 11.31માં તમે જોયું તે મુજબ આ ઊર્જા ધરાવતું ઈલેક્ટ્રૉન બીમ સ્ફટિક દ્વારા વિવર્તનના પ્રયોગો માટે યોગ્ય છે. શું આટલી જ ઊર્જા ધરાવતું ન્યુટ્રૉનનું બીમ એટલું જ યોગ્ય છે ? સમજાવો. ($m_n = 1.675 \times 10^{-27}$ kg)

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

(b) ઓરડાના તાપમાને (27 °C) રહેલા થર્મલ ન્યુટ્રૉન સાથે સંકળાયેલી ડિ બ્રોગ્લી તરંગલંબાઈ શોધો. તે પરથી સમજાવો કે શા માટે ન્યુટ્રૉન વિવર્તનના પ્રયોગો કરતાં પહેલાં ઝડપી ન્યુટ્રૉન બીમને પર્યાવરણ જેવી જ ઉષ્મીય સ્થિતિમાં લાવવું (Thermalise કરવું) જરૂરી છે.

11.33 એક ઈલેક્ટ્રૉન માઈક્રોસ્કોપ 50 *k*V વોલ્ટેજ વડે પ્રવેગિત થયેલ ઈલેક્ટ્રૉનનો ઉપયોગ કરે છે. આ ઈલેક્ટ્રૉન સાથે સંકળાયેલ ડિ બ્રોગ્લી તરંગલંબાઈ શોધો. જો બીજાં પરિબળો (જેવા કે, ન્યુમેરીકલ એપર્ચર, વગેરે) લગભગ એના એ જ લેવામાં આવે તો ઈલેક્ટ્રૉન માઈક્રોસ્કોપની વિભેદન શક્તિ અને પીળા પ્રકાશનો ઉપયોગ કરતા ઓપ્ટીકલ માઈક્રોસ્કોપની વિભેદનશક્તિ વચ્ચે સરખામણી કરો.

11.34 કોઈપણ બંધારણની ઉંડાણપૂર્વક માહિતી મેળવવા માટે ઉપયોગી તરંગલંબાઇ તેના બંધારણના આશરે પરિમાણનું માપ દર્શાવે છે. પ્રોટોન અને ન્યુટ્રૉનના ક્વાર્ક બંધારણમાં 10^{-15} m કે તેથી ઓછી લંબાઈના અતિસૂક્ષ્મ માપક્રમના અંતરે જણાય છે. આ બંધારણ વિશે પ્રથમ તપાસ 1970ના સમયગાળામાં, સ્ટેનફોર્ડ, USAમાં રેખીય પ્રવેગક (Linear Accelerator) વડે ઉત્પન્ન કરેલા ઉચ્ચ ઊર્જાના ઈલેક્ટ્રૉન બીમ વડે કરાઈ હતી. કલ્પના કરો કે આ માટે ઈલેક્ટ્રૉન બીમની ઊર્જા કયા ક્રમની હશે ? (ઈલેક્ટ્રૉનની સ્થિર દળ ઊર્જા = 0.511 M*e*V)

11.35 ઓરડાના તાપમાને (27 °C) અને 1 atm દબાણે રહેલા હિલીયમ વાયુમાં હિલિયમ પરમાણુ સાથે સંકળાયેલી ડિ બ્રોગ્લી તરંગલંબાઈ શોધો, તથા તેને આ પરિસ્થિતિમાં બે પરમાણુઓ વચ્ચેના સરેરાશ અંતર સાથે સરખાવો.

11.36 કોઈ ધાતુમાં 27 °C તાપમાને રહેલા ઈલેક્ટ્રૉનની ડિ બ્રોગ્લી તરંગલંબાઈની ગણતરી કરો અને તેને ધાતુમાં રહેલા બે ઈલેક્ટ્રૉન વચ્ચેના સરેરાશ અંતર સાથે સરખાવો જે લગભગ 2×10^{-10} m જેટલું આપેલ છે.

(***નોંધ :*** સ્વાધ્યાયો 11.35 અને 11.36 દર્શાવે છે કે સામાન્ય પરિસ્થિતિઓમાં વાયુના અણુઓ સાથે સંકળાયેલા તરંગ પેકેટ સંપાત થતા નથી, જ્યારે ધાતુમાં ઈલેક્ટ્રૉનના તરંગ પેકેટ એકબીજા પર પ્રબળ રીતે સંપાત થયેલા હોય છે. આ દર્શાવે છે કે, સામાન્ય વાયુમાં વાયુના અણુઓને એકબીજાથી અલગ પાડી શકાય છે, જ્યારે ધાતુમાં રહેલા ઈલેક્ટ્રૉનને એકબીજાથી અલગ પાડી શકાતા નથી. આ અભેદપણું ઘણા પાયાના અનુમાનો તરફ દોરી જાય છે જે તમે આગળ ઉપર ભૌતિકશાસ્ત્રના ઉચ્ચ અભ્યાસમાં જાણશો.

11.37 નીચે આપેલા પ્રશ્નોના જવાબ આપો :

(a) પ્રોટોન અને ન્યુટ્રૉનમાં રહેલા ક્વાર્કસ અપૂર્ણાંક વિદ્યુતભારો [(+2/3)*e*; (−1/3)*e*] ધરાવતા હોવાનું માનવામાં આવે છે. આવું મિલિકનના પ્રયોગો દરમિયાન કેમ જોવામાં ન આવ્યું ?

(b) *e*/*m* એ જોડાણમાં ખાસ નવું શું છે ? શા માટે આપણે એકલા *e* કે *m* વિશે વાત કરતા નથી ?

(c) શા માટે સામાન્ય દબાણે વાયુઓ અવાહક અને ખૂબ ઓછા દબાણે વાહક બનવા લાગે છે ?

(d) દરેક ધાતુને એક ચોક્કસ કાર્યવિધેય હોય છે. જો આપાત પ્રકાશ એકરંગી હોય તો શા માટે બધા ફોટો ઈલેક્ટ્રૉન સમાન ઊર્જા સાથે બહાર નીકળતા નથી ? શા માટે ફોટો ઈલેક્ટ્રૉન ઊર્જા વિતરણ ધરાવે છે ?

(e) ઈલેક્ટ્રૉનની ઊર્જા અને વેગમાન, તેમની સાથે સંકળાયેલ દ્રવ્ય તરંગની આવૃત્તિ અને તરંગલંબાઈ સાથે આ સમીકરણો વડે સંકળાયેલા છે :

$$E = h\nu, \; p = \frac{h}{\lambda}$$

અહીં λનું ભૌતિક મહત્વ હોવા છતાં, νનાં મૂલ્ય (અને તેથી ફેઝ (કલા) ઝડપ, $\lambda\nu$)નું કોઈ ભૌતિક મહત્વ નથી. શા માટે ?

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

પરિશિષ્ટ (APPENDIX)

11.1 તરંગ-કણ દ્વિધા (ફ્લીપ-ફ્લોપ)નો ઈતિહાસ (The History of Wave-Particle Flip-Flop)

પ્રકાશ શું છે ? આ સવાલ માનવજાત માટે લાંબા સમયથી અનુત્તર હતો. પરંતુ આશરે ચાર સદી પહેલાં વિજ્ઞાન અને ઓદ્યૌગિક યુગના પ્રારંભ સાથે વિજ્ઞાનીઓએ આયોજનબદ્ધ પ્રયોગો કર્યા. આ જ અરસામાં, પ્રકાશ શેનો બનેલો છે તેના સૈદ્ધાંતિક ખ્યાલો (મૉડેલો)નો વિકાસ થતો ગયો. વિજ્ઞાનની કોઈ પણ શાખામાં મૉડેલ બનાવવા માટે એ જરૂરી છે કે તે સમયગાળા દરમિયાન ઉપલબ્ધ બધાં પ્રાયોગિક અવલોકનોને તે સમજાવતું હોવું જોઈએ. આથી, સત્તરમી સદીમાં મળેલા કેટલાક અવલોકનોનો સારાંશ જાણવો યોગ્ય રહેશે.

એ સમયે પ્રકાશના જે ગુણધર્મો જાણીતા હતા તેમાં (a) પ્રકાશનું સીધી રેખામાં પ્રસરણ, (b) સમતલ અને વક્ર સપાટીઓ પરથી પરાવર્તન, (c) બે માધ્યમોની સીમા પાસે વક્રીભવન, (d) જુદા જુદા રંગમાં વિભાજન, (e) વધુ ઝડપનો સમાવેશ થાય છે. પ્રથમ ચાર ઘટનાઓ માટે યોગ્ય નિયમો ઘડવામાં આવ્યા હતા. ઉદાહરણ તરીકે, સ્નેલ દ્વારા 1621માં વક્રીભવન માટેનો નિયમ તારવવામાં આવ્યો હતો. ગૅલિલિયોના સમયથી શરૂ કરીને કેટલાય વિજ્ઞાનીઓએ પ્રકાશની ઝડપ માપવા માટે પ્રયત્ન કર્યો હતો. પરંતુ તેઓ તેમ કરી શક્યા ન હતા. એમણે ફક્ત એટલો જ નિષ્કર્ષ કાઢ્યો કે તે (પ્રકાશનો વેગ) તેમની માપનની સીમાથી વધુ હતો.

સત્તરમી સદીમાં પ્રકાશના બે મૉડેલ પણ આપવામાં આવ્યા હતા. સત્તરમી સદીના શરૂઆતના દશકાઓમાં ડેસ્કાર્ટસે (Descartes) સૂચવ્યું હતું કે પ્રકાશ કણોનો બનેલો છે, જ્યારે હાઈગેન્સે (Huygens) આશરે 1650-60ની આસપાસ સૂચવ્યું કે પ્રકાશ તરંગોનો બનેલો છે. ડેસ્કાર્ટસનું સૂચન એ ફક્ત તત્વજ્ઞાનનું મૉડેલ હતું જે કોઈ પ્રયોગ કે વૈજ્ઞાનિક તર્ક ધરાવતું ન હતું. ત્યારબાદ તરત 1660-70 ના ગાળામાં ન્યૂટને ડેસ્કાર્ટસના કણ સ્વરૂપ મૉડેલને આગળ ધપાવ્યું, જે *કોર્પસ્ક્યુલર* (*Corpuscular Theory*) *સિદ્ધાંત* તરીકે જાણીતું છે; તેને વૈજ્ઞાનિક સિદ્ધાંતોના આધારે વિકસાવ્યું અને તેના આધારે કેટલાક જાણીતા ગુણધર્મો સમજાવ્યા. પ્રકાશના તરંગ કે કણ સ્વરૂપના આ મૉડેલ્સ, એક અર્થમાં તો એકબીજાથી તદ્દન વિરુદ્ધ પ્રકારના છે. પરંતુ બંને મૉડેલ પ્રકાશના જાણીતા ગુણધર્મો સમજાવી શકતા હતા. બંનેમાંથી કયું માનવું તે વિચારવું જરૂરી ન હતું.

ત્યાર પછીની સદીઓમાં આ મૉડેલોના વિકાસનો ઈતિહાસ રસપ્રદ છે. 1669માં બાર્થોલીનસે (Bartholinus) કેટલાક સ્ફટિકો દ્વારા પ્રકાશના દ્વિ-વક્રીભવન (Double refraction) ની શોધ કરી, અને 1678માં હાઈગેન્સ (Huygens) એ ઝડપથી તેમના પ્રકાશનું તરંગ સ્વરૂપ દર્શાવતા સિધ્ધાંતના આધારે તેની સમજૂતી આપી. આમ છતાં, લગભગ સો વર્ષ સુધી, ન્યૂટનનું કણ સ્વરૂપ મૉડેલ દૃઢતા પૂર્વક માનવામાં આવતું હતું અને તરંગ મૉડેલની સરખામણીમાં વધુ સ્વીકારાયું હતું. તેનું અંશતઃ કારણ આ મૉડેલની સરળતા અને અંશતઃ કારણ ન્યૂટનનું તે સમયના ભૌતિકવિજ્ઞાન પર પ્રભૂત્વ પણ હતું.

ત્યારબાદ 1801માં, યંગે બે-સ્લીટનો પ્રયોગ કર્યો અને વ્યતિકરણ શલાકાઓ મેળવી. આ ઘટના ફક્ત તરંગ સ્વરૂપ વડે સમજાવી શકાઈ હતી. તે પણ ખ્યાલમાં આવ્યું કે વિવર્તન પણ એવી ઘટના છે કે જે ફક્ત તરંગ સ્વરૂપ વડે જ સમજાવી શકાય છે. હકીકતમાં, તે પ્રકાશના માર્ગમાં દરેક બિંદુ પોતે પણ ગૌણ તરંગો ઉત્પન્ન કરે છે તેવા હાઈગેન્સના સિધ્ધાંતની કુદરતી ફલશ્રુતિ રૂપે મળે છે. પ્રકાશને કણોનો બનેલો ધારીને આ પ્રયોગો સમજાવી શકાતા નથી. 1810ની આસપાસ બીજી એક ઘટના ધ્રુવીભવનની શોધાઈ અને તે પણ ફક્ત તરંગ સ્વરૂપ દ્વારા સમજાવી શકાઈ. આમ, હાઈગેન્સનો તરંગ સ્વરૂપનો સિદ્ધાંત આગળ વધ્યો જ્યારે ન્યૂટનનો કણ સ્વરૂપનો સિદ્ધાંત પાછળ ધકેલાઈ ગયો. આ પરિસ્થિતિ લગભગ એક સદી સુધી રહી.

ઓગણીસમી સદીમાં પ્રકાશની ઝડપ શોધવા માટે વધુ સારા પ્રયોગો થયા. વધુ ચોક્કસાઈભર્યા પ્રયોગો દ્વારા શૂન્યાવકાશમાં પ્રકાશની ઝડપ માટે 3×10^8 m/s મૂલ્ય મળ્યું. 1860ની આસપાસ મેક્સવેલે વિદ્યુત ચુંબકત્વ માટેના સમીકરણો આપ્યા અને એમ જાણવા મળ્યું કે તે વખતે જાણીતી દરેક વિદ્યુતચુંબકીય ઘટનાને મેક્સવેલના ચાર સમીકરણો વડે સમજાવી શકાય છે. ત્યારે જ મેક્સવેલે દર્શાવ્યું કે વિદ્યુત અને ચુંબકીયક્ષેત્રો ખાલી અવકાશ (શૂન્યાવકાશ)માં વિદ્યુત ચુંબકીય તરંગોના રૂપમાં પ્રસરણ પામે છે. તેમણે આ તરંગોની ઝડપની ગણતરી કરી અને 2.998×10^8 m/s જેટલું સૈદ્ધાંતિક મૂલ્ય મેળવ્યું. આ મૂલ્યની પ્રાયોગિક મૂલ્ય સાથેની ગાઢ સંમતિએ દર્શાવ્યું કે પ્રકાશ વિદ્યુત ચુંબકીય તરંગોનો બનેલો છે. 1887માં હર્ટ્ઝે આ તરંગોની ઉત્પત્તિ અને તેમને પરખવા (તેમનું અસ્તિત્વ જાણવા)નું નિદર્શન કર્યું. આનાથી પ્રકાશના તરંગ સ્વરૂપના સિદ્ધાંતનો પાયો મજબૂત બન્યો. આપણે કહી શકીએ કે જો અઢારમી સદી પ્રકાશના કણ સ્વરૂપના મૉડેલની હતી, તો ઓગણીસમી સદી પ્રકાશના તરંગ સ્વરૂપના મૉડેલની હતી.

1850-1900ના ગાળા દરમિયાન ઉષ્મા અને તેને લગતી ઘટના કે જે ભૌતિકવિજ્ઞાનના તદ્દન અલગ ક્ષેત્રો છે તેને સંબંધિત ઘણા પ્રયોગો થયા. (વાયુનો) ગતિવાદ અને થર્મોડાયનેમિક્સ જેવા સિદ્ધાંતો અને મૉડેલો રજૂ થયા જેમણે, એક સિવાયની બીજી બધી ઘટનાઓ ખૂબ સફળતાપૂર્વક સમજાવી.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

પરિશિષ્ટ

કોઈ પણ તાપમાને ($T \neq 0$ K) રહેલો દરેક પદાર્થ વિવિધ તરંગલંબાઈના વિકિરણોનું ઉત્સર્જન કરે છે. તે તેના પર આપાત થતા વિકિરણનું શોષણ પણ કરે છે. જે પદાર્થ તેના પર આપાત થતા બધા જ વિકિરણોનું શોષણ કરે તેને *કાળો પદાર્થ* કહેવાય. બિંદુવત દ્રવ્યમાન કે નિયમિત ગતિની જેમ આ પણ ભૌતિકવિજ્ઞાનનો એક આદર્શ ખ્યાલ છે. કાળા પદાર્થ વડે ઉત્સર્જાયેલા વિકિરણની તીવ્રતા વિરુદ્ધ તરંગ લંબાઈનો આલેખ *કાળા પદાર્થનો વર્ણપટ* (*Black Body Spectrum*) કહેવાય છે. એ દિવસો દરમિયાન કોઈ પણ સિદ્ધાંત કાળા પદાર્થના સંપૂર્ણ વર્ણપટને સમજાવી શક્યો ન હતો.

1900માં પ્લાન્ક ને એક નવો જ વિચાર સૂઝ્યો. તેમણે સૂચવ્યું કે જો આપણે વિકિરણનું ઉત્સર્જન, તરંગમાં જેમ સતત થાય છે, તેને બદલે શક્તિના અમુક જથ્થાઓના રૂપમાં થાય છે તેમ ધારી લઈએ તો કાળા પદાર્થના વર્ણપટને સમજાવી શકીએ. પ્લાન્કે પોતે પણ આ ક્વૉન્ટમને પ્રકાશના ગુણધર્મ તરીકે નહિ પણ ઉત્સર્જન કે શોષણના ગુણધર્મ તરીકે ગણ્યા હતા. તેમણે એક સૂત્ર તારવ્યું જે સમગ્ર વર્ણપટ સાથે સહમત હતું. આ એક ગૂંચવી નાખે તેવું તરંગ અને કણ સ્વરૂપનું મિશ્રણ હતું. જેમાં વિકિરણનું ઉત્સર્જન કણ સ્વરૂપે થાય છે, તે તરંગ તરીકે પ્રસરણ પામે છે અને પાછું કણ સ્વરૂપે શોષાય છે ! આ ઉપરાંત, આ સ્વરૂપે ભૌતિક વિજ્ઞાનીઓને પણ ગૂંચવણ ભરી પરિસ્થિતિમાં મૂક્યા. શું આપણે એક જ ઘટનાને સમજાવવા ફરીથી પ્રકાશના કણ સ્વરૂપને સ્વીકારવું જોઈએ ? તો પછી વ્યતિકરણ અને વિવર્તનની ઘટનાઓનું શું, જે પ્રકાશના કણ સ્વરૂપ વડે સમજાવી શકાતી નથી ?

પરંતુ ત્યાર બાદ તરત જ 1905માં, આઈન્સ્ટાઈને ફોટો ઈલેક્ટ્રીક અસરને પ્રકાશનું કણ સ્વરૂપ ધારીને સમજાવી. 1907માં ડીબાય (Debye) એ નીચા તાપમાને રહેલા ઘન પદાર્થોની વિશિષ્ટ ઉષ્માને ઘન સ્ફટીકમાં લેટાઈસ દોલનો (Lattice Vibrations)ના કણ સ્વરૂપ વડે સમજાવી. ભૌતિકવિજ્ઞાનના તદ્દન ભિન્ન ક્ષેત્રોમાં આવતી આ બંને ઘટનાઓ ફક્ત કણ સ્વરૂપ વડે સમજાવી શકાય છે, તથા તરંગ સ્વરૂપ વડે સમજાવી શકાતી નથી. 1923માં, કોમ્પ્ટનના ક્ષ-કિરણોનું વિવર્તન દર્શાવતા પ્રયોગોની સમજૂતી પણ કણ સ્વરૂપ તરફ દોરી ગઈ. આમ ગૂંચવાડો વધતો ગયો.

આ રીતે 1923 સુધી ભૌતિક વિજ્ઞાનીઓએ નીચે મુજબની પરિસ્થિતિઓનો સામનો કરવો પડ્યો. (a) એવી કેટલીક ઘટનાઓ હતી, જેમકે રેખીય પ્રસરણ, પરાવર્તન, વક્રીભવન, જે કણ સ્વરૂપ કે તરંગ સ્વરૂપ વડે સમજાવી શકાય છે. (b) એવી કેટલીક ઘટનાઓ જેમકે વિવર્તન અને વ્યતિકરણ, જે ફક્ત તરંગ સ્વરૂપ વડે જ સમજાવી શકાય છે પરંતુ કણ સ્વરૂપ વડે *નહીં.* (c) એવી કેટલીક ઘટનાઓ પણ છે, જેમકે કાળા પદાર્થનું વિકિરણ, ફોટો ઈલેક્ટ્રીક અસર અને કોમ્પ્ટન પ્રકીર્ણન જે ફક્ત કણ સ્વરૂપ વડે સમજાવી શકાય છે, જ્યારે તરંગ સ્વરૂપ વડે *નહીં.* તે સમય ગાળામાં કોઈ કે એવી યોગ્ય ટીપ્પણી પણ કરી હતી કે સોમવાર, બુધવાર અને શુક્રવારે પ્રકાશ કણ સ્વરૂપે વર્તે છે અને મંગળવાર, ગુરુવાર અને શનિવારે તે તરંગ સ્વરૂપે વર્તે છે, જ્યારે રવીવારે આપણે પ્રકાશ વિશે કોઈ વાત જ કરી શકતા નથી !

1924માં ડિ બ્રોગ્લીએ તરંગ-કણ દ્વૈત વિષેનો નવો સિદ્ધાંત આપ્યો, જેમાં તેમણે દર્શાવ્યું કે ફક્ત પ્રકાશના ફોટોન જ નહીં, પરંતુ દ્રવ્યના 'કણો' જેમ કે ઈલેક્ટ્રૉન અને પરમાણુઓ પણ દ્વૈત પ્રકૃતિ ધરાવે છે, જે ક્યારેક કણ સ્વરૂપે અને ક્યારેક તરંગ સ્વરૂપે વર્તે છે. તેમણે તેમના દ્રવ્યમાન, વેગ, વેગમાન (કણ ગુણધર્મો)ને તેમની તરંગ લંબાઈ અને આવૃત્તિ (તરંગના ગુણધર્મો) સાથે સાંકળતું સમીકરણ પણ આપ્યું ! 1927માં થોમસન, અને ડેવિસન અને ગર્મરે, અલગ અલગ પ્રયોગો દરમ્યાન, દર્શાવ્યું કે ઈલેક્ટ્રૉન તરંગ સ્વરૂપે વર્તતા હતા, જે ડિ બ્રોગ્લી દ્વારા દર્શાવવામાં આવેલી તરંગ લંબાઈનું સમર્થન કરતા હતા. તેમનો પ્રયોગ ઘન સ્ફટીકો વડે ઈલેક્ટ્રૉનના વિવર્તનનો હતો, જેમાં પરમાણુઓની સુવ્યવસ્થિત ગોઠવણી ગ્રેટીંગ તરીકે કામ કરે છે. ત્યાર બાદ તરત જ, બીજા 'કણો', જેમકે ન્યુટ્રૉન અને પ્રોટોનના વિવર્તનના પ્રયોગો પણ થયા અને તે પણ ડિ બ્રોગ્લીના સમીકરણને સમર્થન આપતા હતા. આમ, તરંગ કણ દ્વૈત સ્વરૂપને ભૌતિકવિજ્ઞાનના સ્થાપિત સ્વરૂપ તરીકે માન્યતા મળી. આ એવો સિદ્ધાંત હતો, કે જે ભૌતિક વિજ્ઞાનીઓએ વિચાર્યું હતું તે મુજબ ફક્ત પ્રકાશ જ નહીં પરંતુ કણો માટે પણ દરેક ઘટનાઓને સમજાવી શકતો હતો.

પરંતુ હજી સુધી તરંગ કણ દ્વૈત સ્વરૂપ માટે કોઈ સૈધ્ધાંતિક આધાર નહોતો. ડિ બ્રોગ્લીએ આપેલ સિદ્ધાંત ફક્ત કુદરતમાં મળી આવતી સંમિતિ (Symmetry)ના આધારે કરેલો ગુણાત્મક તર્ક હતો. તરંગ-કણ દ્વૈત સ્વરૂપ વધુમાં વધુ એક સિદ્ધાંત હતો, પરંતુ તે કોઈ મજબૂત મૂળભૂત વાદની ફલશ્રુતિ ન હતો. એ સત્ય છે કે બધા જ પ્રયોગો ડિ બ્રોગ્લીના સમીકરણનું સમાધાન કરે છે. પરંતુ ભૌતિકવિજ્ઞાન તે રીતે ચાલતું નથી. એક તરફ પ્રાયોગિક અનુમોદન જોઈએ અને બીજી તરફ રજુ કરેલ મૉડેલને સમજાવવા મજબુત વાદ પણ જોઈએ. ત્યારબાદના બે દશકાઓમાં આ બાબતમાં પ્રગતિ થઈ. 1928માં ડિરાકે વિકિરણ વિશે એક સિદ્ધાંત આપ્યો અને 1930માં હાઈઝનબર્ગ અને પાઉલીએ તેને મજબૂત ટેકો પૂરો પાડ્યો. તોમોનાગા (Tomonaga), સ્વિંગર (Schwinger) અને ફિનમેને (Feynman) 1940ના અંત ભાગમાં બીજા સુધારા કર્યા અને સિદ્ધાંતમાં રહેલી કેટલીક અસંગતતાઓ દૂર કરી. આ બધા જ સિદ્ધાંતોએ તરંગ-કણ દ્વૈત સ્વરૂપને સૈદ્ધાંતિક પાયો પુરો પાડ્યો.

જોકે આ વાત હજી આગળ જાય છે, જે હજી વધુ અઘરી (સંકિર્ણ) બનતી જાય છે અને તે આ નોંધની મર્યાદા બહાર છે. પણ જે કંઈ બન્યું તેની જરૂરી નોંધ આપણે કરી અને હાલ આપણે તેનાથી સંતોષ માનીએ. હવે ભૌતિકવિજ્ઞાનનાં હાલના સિદ્ધાંતોના આધારે નૈસર્ગિક રીતે એ સ્વીકારવામાં આવ્યું છે કે જુદા જુદા પ્રયોગોમાં વિદ્યુતચુંબકીય વિકિરણ તથા દ્રવ્યના કણો તરંગ અને કણ દ્વૈત સ્વરૂપના ગુણધર્મો દર્શાવે છે, અને ક્યારેક એક જ પ્રયોગ દરમિયાન જુદા જુદા વિભાગમાં તે દ્વૈત સ્વરૂપ દર્શાવે છે.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

પ્રકરણ બાર

પરમાણુઓ (ATOMS)

12.1 પ્રસ્તાવના (INTRODUCTION)

ઓગણીસમી સદી સુધીમાં દ્રવ્યના પરમાણુ અધિતર્ક (Hypothesis)ના પક્ષમાં ઘણા પુરાવા એકત્રિત કરાયેલા હતા. 1897માં વાયુમાંથી વિદ્યુતવિભાર (Electric Discharge) અંગે ઇંગ્લીશ ભૌતિકવિજ્ઞાની જે. જે. થોમસન (1856-1940) દ્વારા કરાયેલા પ્રયોગો એ દર્શાવ્યું કે વિવિધ તત્વોના પરમાણુઓ ઋણ વિદ્યુતભારિત ઘટકો (ઈલેક્ટ્રૉન) ધરાવે છે, જેઓ બધા પરમાણુઓ માટે એકસમાન (Identical) હોય છે. આમ છતાં સમગ્રપણે પરમાણુ વિદ્યુતીય રીતે તટસ્થ છે. આથી, ઈલેક્ટ્રૉનના ઋણ વિદ્યુતભારને તટસ્થ કરવા માટે પરમાણુ અમુક ધન વિદ્યુતભાર પણ ધરાવતો હોવો જોઈએ. પરંતુ પરમાણુની અંદર ધન વિદ્યુતભાર અને ઈલેક્ટ્રૉનની ગોઠવણ કેવી હશે ? બીજા શબ્દોમાં પરમાણુનું બંધારણ કેવું હશે ?

પરમાણુ અંગેનું સૌ પ્રથમ મૉડેલ 1898માં જે. જે. થોમસન દ્વારા પ્રસ્તાવિત (Proposed) થયું હતું. આ મૉડેલ અનુસાર, પરમાણુનો ધન વિદ્યુતભાર પરમાણુના સમગ્ર કદમાં નિયમિત રીતે (Uniformly) વિતરિત થયેલો છે અને ઋણ વિદ્યુતભારવાળાં ઈલેક્ટ્રૉન, તડબૂચમાંના બીજની જેમ, તેમાં જડાયેલાં (જકડાયેલાં) (Embedded) હોય છે. આ મૉડેલને પરમાણુનું *પ્લમ પુડીંગ (Plum Pudding) મૉડેલ* કહેવાયું હતું. આમ છતાં, આ પ્રકરણમાં હવે આગળ દર્શાવાશે તે મુજબ, ત્યારબાદના પરમાણુના અભ્યાસોએ દર્શાવ્યું કે આ મૉડેલમાં સૂચવેલ છે તે કરતાં ઈલેક્ટ્રૉન અને ધન વિદ્યુતભારોનું વિતરણ ઘણું અલગ છે.

આપણે જાણીએ છીએ કે ઘટ્ટ દ્રવ્ય (ઘન અને પ્રવાહી) અને ઘટ્ટ વાયુઓ, બધા તાપમાને વિદ્યુતચુંબકીય વિકિરણ ઉત્સર્જિત કરે છે, જેમાં ઘણી તરંગલંબાઈઓનું સતત વિતરણ હાજર હોય છે, જો કે તેમની તીવ્રતાઓ અલગ હોય છે. આ વિકિરણ પરમાણુઓના અને અણુઓના દોલનોને લીધે હોય છે અને તે દરેક પરમાણુ કે અણુની તેના પડોશીઓ સાથેની આંતરક્રિયા દ્વારા સંચાલિત થાય છે આના

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

કરતાં *તદ્દન વિરુદ્ધ*, ઓછી ઘનતાના વાયુને જ્યોતમાં ગરમ કરતાં અથવા જાણીતી નિયોન સાઈન અથવા મરક્યુરિ વેપર લાઈટની જેમ વિદ્યુતીય રીતે ઉત્તેજિત કરતાં તેમાંથી ઉત્સર્જિત પ્રકાશમાં ફક્ત કેટલીક ચોક્કસ (Descrete) તરંગલંબાઈઓ જ હાજર હોય છે. આ વર્ણપટ (Spectrum) પ્રકાશિત રેખાઓની શ્રેણી રૂપે દેખાય છે. આવા વાયુઓમાં પરમાણુ વચ્ચેની જગ્યા (અવકાશ) વધારે હોય છે. આથી, ઉત્સર્જિત વિકિરણ, પરમાણુઓ કે અણુઓ વચ્ચેની આંતરક્રિયાને બદલે, વ્યક્તિગત પરમાણુઓને લીધે હોવાનું માનીશકાય છે.

ઓગણીસમી સદીના પ્રારંભમાં એમ પણ પ્રસ્થાપિત થયું હતું કે દરેક તત્વ સાથે વિકિરણનો લાક્ષણિક વર્ણપટ સંકળાયેલ છે, દાખલા તરીકે, હાઈડ્રોજન હંમેશા એવી રેખાઓનો સમૂહ આપે છે કે જેમનાં સ્થાનો વચ્ચે વિવિધ નિશ્ચિત અંતર છે એટલે કે તેઓ અમુક નિશ્ચિત સ્થાનો પર છે. આ હકીકતે એમ સૂચવ્યું કે પરમાણુના આંતરિક બંધારણ અને તેના દ્વારા ઉત્સર્જિત વર્ણપટ વચ્ચે ગાઢ સંબંધ છે. 1885માં જોહન જેકબ બામર (1825-1898) દ્વારા એક સરળ આનુભવિક/પ્રાયોગિક સૂત્ર મેળવવામાં આવ્યું જેણે પરમાણ્વિક હાઈડ્રોજન વડે ઉત્સર્જિત રેખાઓના એક સમૂહની તરંગલંબાઈઓ આપી હતી. જાણીતાં તત્વોમાં હાઈડ્રોજન સૌથી સરળ હોવાથી આપણે આ પ્રકરણમાં તેના વર્ણપટનો વિગતે વિચાર કરીશું.

અર્નસ્ટ રધરફર્ડ (1871-1937), જે અગાઉ જે. જે. થોમસનનો સંશોધન વિદ્યાર્થી હતો તે કેટલાક રેડિયો એક્ટિવ તત્વોમાંથી ઉત્સર્જિત થયેલા α-કણો પરના પ્રયોગોમાં વ્યસ્ત હતો. 1906માં તેણે પરમાણુના બંધારણની જાણકારી મેળવવા માટે પરમાણુઓ વડે આ α-કણોના પ્રકીર્ણનના ઉત્કૃષ્ટ પ્રયોગનું સૂચન કર્યું. ત્યારબાદ 1911ની આસપાસ, હેન્સ ગેઈગર (1882-1945) અને અર્નસ્ટ માર્સ્ડન (1889-1970) જે માત્ર 20 વર્ષની ઉંમરનો વિદ્યાર્થી હતો અને હજી તેણે સ્નાતક (Bachelor)ની પદવી પ્રાપ્ત કરી ન હતી, તેમણે આ પ્રયોગ કર્યો. આ પ્રયોગની વિગતવાર ચર્ચા પરિચ્છેદ 12.2માં કરેલ છે. પરિણામોની સમજૂતીએ રધરફર્ડના પરમાણુ માટે ગ્રહો જેવા મૉડેલ (જેને *પરમાણુનું ન્યુક્લિયર મૉડેલ* પણ કહે છે)ને જન્મ આપ્યો. આ મૉડેલ મુજબ પરમાણુનો સમગ્ર ધન વિદ્યુતભાર અને લગભગ બધું દળ ન્યુક્લિયસ તરીકે ઓળખાતા નાના કદ (વિસ્તાર)માં સંકેન્દ્રિત થયેલું છે અને સૂર્યની આસપાસ ગ્રહોના પરિભ્રમણની જેમ ઈલેક્ટ્રૉન આ ન્યુક્લિયસની આસપાસ ભ્રમણ કરે છે.

અર્નસ્ટ રધરફર્ડ (1871-1937) બ્રિટીશ ભૌતિકવિજ્ઞાની જેણે રેડિયો એક્ટિવ વિકિરણ અંગે પાયારૂપ કાર્ય કર્યું. તેણે આલ્ફા-કિરણો અને બીટા-કિરણોની શોધ કરી. ફ્રેડરીક સૉડીની સાથે તેણે રેડિયોએક્ટિવીટીનો અર્વાચીન વાદ રચ્યો. તેણે થોરિયમની ઉત્પત્તિનો અભ્યાસ કર્યો અને નવો નિષ્ક્રિય વાયુ, રેડોનનો સમસ્થાનિક શોધ્યો જે અત્યારે થોરોન તરીકે ઓળખાય છે. ધાતુના દ્વારા આલ્ફા કિરણોના પ્રકીર્ણન પરથી તેણે પરમાણુ ન્યુક્લિયસની શોધ કરી અને પરમાણુનું ગ્રહો જેવું મૉડેલ રજૂ કર્યું. તેણે પરમાણુના પરિમાણનો લગભગ અંદાજ પણ મેળવ્યો.

રધરફર્ડનું ન્યુક્લિયર મૉડેલ, આપણે આજે પરમાણુને જે રીતે જોઈએ છીએ તે તરફનું એક મોટું કદમ હતું. આમ છતાં તે, પરમાણુઓ અમુક નિશ્ચિત તરંગલંબાઈનો જ પ્રકાશ કેમ ઉત્સર્જિત કરે છે તે સમજાવી શક્યું નહિ. હાઈડ્રોજન જેવો એકદમ સરળ પરમાણુ જે એક જ ઈલેક્ટ્રૉન અને એક જ પ્રોટોનનો બનેલો છે તે, નિશ્ચિત તરંગલંબાઈઓનો જટિલ વર્ણપટ કેવી રીતે આપે છે ? પરમાણુના પ્રચલિત (Classical) ચિત્રમાં, સૂર્યની આસપાસ ગ્રહો ભ્રમણ કરે છે તેની જેમ જ, ઈલેક્ટ્રૉન ન્યુક્લિયસની આસપાસ ભ્રમણ કરે છે.

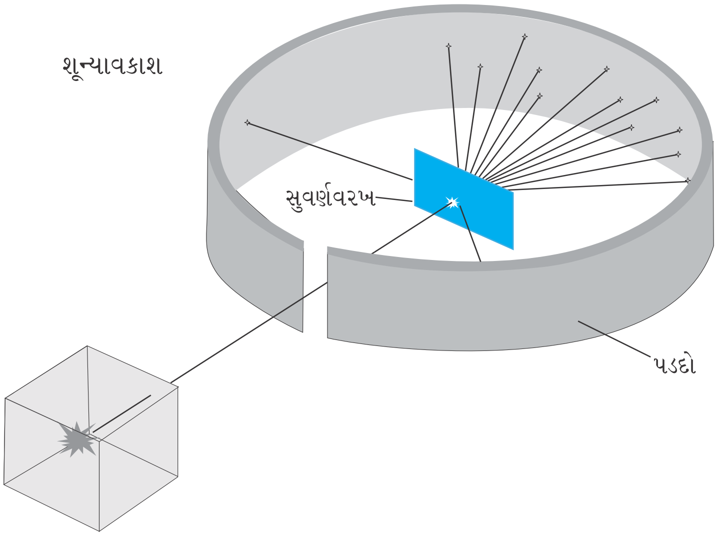
આમ છતાં, આપણે જોઈશું કે આવા મૉડેલને સ્વીકારવામાં કેટલીક ગંભીર મુશ્કેલીઓ છે.

12.2 આલ્ફા-કણ પ્રકીર્ણન અને પરમાણુ અંગેનું રધરફર્ડનું ન્યુક્લિયર મૉડેલ (ALPHA-PARTICL SCATTERING AND RUTHERFORD'S NUCLEAR MODEL OF ATOM)

અર્નસ્ટ રધરફર્ડના સૂચનથી, 1911માં, એચ. ગેઈગર અને ઈ. માર્સ્ડન-એ કેટલાક પ્રયોગો કર્યા.

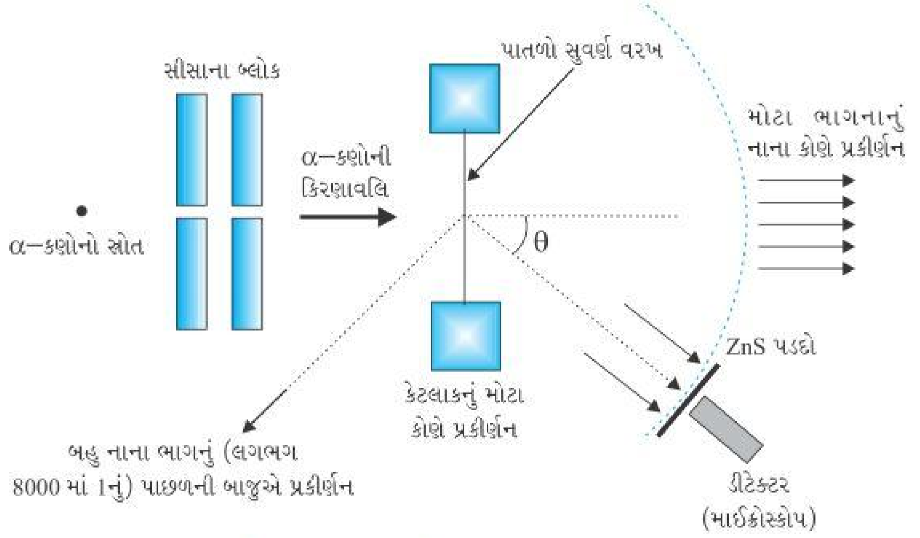
Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com



આકૃતિ 12.1 ગેઈગર-માર્સ્ડનનો પ્રકીર્ણનનો પ્રયોગ. સમગ્ર ઉપકરણને શૂન્યાવકાશ ધરાવતી ચેમ્બરમાં મૂકવામાં આવે છે. (તેને આ આકૃતિમાં બતાવેલ નથી.)

તેમના એક પ્રયોગમાં આકૃતિ 12.1માં દર્શાવ્યા મુજબ રેડિયોએક્ટિવ સ્રોત $^{214}_{83}Bi$ માંથી ઉત્સર્જિત થતા 5.5 MeV α-કણોની કિરણાવલિને સુવર્ણ (Gold)ના પાતળા વરખ (Foil) પર આપાત કરી. આકૃતિ 12.2 આ પ્રયોગની રેખાકૃતિ દર્શાવે છે. રેડિયોએક્ટિવ સ્રોત $^{214}_{83}Bi$ માંથી ઉત્સર્જિત થયેલાં α-કણોને સીસાના બ્લૉક વચ્ચેથી પસાર કરીને પાતળી કિરણાવલિ મેળવવામાં આવે છે. આ કિરણાવલિને 2.1×10^{-7} m જાડાઈના પાતળા સુવર્ણના વરખ પર આપાત કરવામાં આવે છે. પ્રકેરિત થયેલાં આલ્ફા કણોનું ઘુમાવી શકાય તેવા ઝીંક સલ્ફાઈડ પડદા અને માઈક્રોસ્કોપના બનેલા ડીટેક્ટરમાંથી અવલોકન કરવામાં આવે છે. પ્રકેરિત આલ્ફા કણો પડદા પર અથડાય ત્યારે ક્ષણિક પ્રકાશનો ઝબકારો એટલે કે Scintillation ઉત્પન્ન કરે છે. આ ઝબકારાને માઈક્રોસ્કોપમાંથી જોઈ શકાય છે અને પ્રકેરિત કણોની સંખ્યાના વિતરણનો પ્રકિર્ણન કોણના વિધેય તરીકે અભ્યાસ કરી શકાય છે.



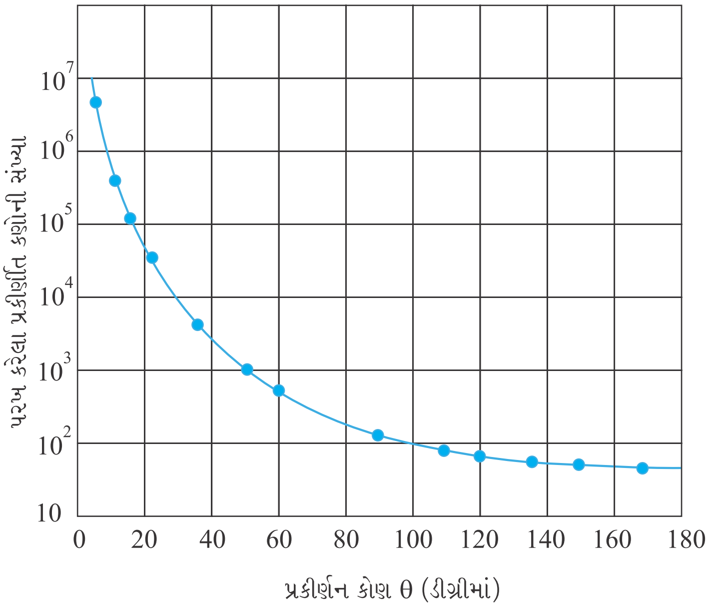
આકૃતિ 12.2 ગેઈગર માર્સ્ડનના પ્રયોગની ગોઠવણની રેખાકૃતિ

જુદા જુદા કોણે આપેલા સમયગાળામાં પ્રકેરિત થયેલાં α-કણોની કુલ સંખ્યાનો એક લાક્ષણિક આલેખ આકૃતિ 12.3માં દર્શાવેલ છે. આકૃતિમાં ટપકાંઓ પ્રયોગથી મળેલ મૂલ્યો દર્શાવે છે અને સળંગ વક્ર એ લક્ષ્ય પરમાણુને સૂક્ષ્મ, ઘટ્ટ, ધન વિદ્યુતભારિત ન્યુક્લિયસ છે તેવી પૂર્વધારણા પર આધારિત સૈદ્ધાંતિક પૂર્વાનુમાન દર્શાવે છે. ઘણાં α-કણો વરખમાં થઈને પસાર થઈ જાય છે. તેનો અર્થ એ કે તેઓ કોઈ સંઘાત અનુભવતા નથી. ફક્ત લગભગ 0.14 % α-કણોનું 1° કરતાં વધારે પ્રકિર્ણન થાય છે અને લગભગ 8000માં 1નું વિચલન 90° કરતાં વધુ થાય છે. રધરફર્ડે એવી દલીલ કરી કે આમ α-કણનું પાછળની તરફ વિચલન થવા માટે તે મોટું અપાકર્ષણ બળ અનુભવતો હોવો જોઈએ. જો પરમાણુના

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

દળનો મોટો ભાગ અને તેનો ધન વિદ્યુતભાર તેના કેન્દ્ર પર ખીચોખીચ (Tightly - ચુસ્તપણે) કેન્દ્રિત થયેલો હોય તો આવું બળ લાગી શકે. આમ હોય તો આપાત થતો α-કણ ધન વિદ્યુતભારને ભેદ્યા વિના ખૂબ નજીક પહોંચી શકે અને આવો નજીકનો ગાઢ સંઘાત મોટા વિચલનમાં પરિણમી શકે. આ દલીલ ન્યુક્લિયર પરમાણુના અધિતર્કનું સમર્થન કરે છે. આ કારણથી ન્યુક્લિયસની *શોધ*નું બહુમાન રધરફર્ડને આપવામાં આવે છે.



આકૃતિ 12.3 આકૃતિ 12.1 અને 12.2માં દર્શાવેલ ગોઠવણનો ઉપયોગ કરીને ગેઈગર અને માર્સ્ડને મેળવેલ પાતળા વરખ દ્વારા વિવિધ કોણે થતા α-કણોના પ્રકીર્ણનના પ્રાયોગિક મૂલ્યો (ટપકાં વડે દર્શાવેલ છે). રધરફર્ડનું ન્યુક્લિયર મૉડેલ સળંગ વક્રનું અનુમાન કરે છે જે પ્રયોગ સાથે સારી રીતે મળતું આવે છે.

રધરફર્ડના પરમાણુ અંગેના ન્યુક્લિયર મૉડેલમાં પરમાણુનો સમગ્ર ધન વિદ્યુતભાર અને લગભગ બધું દળ ન્યુક્લિયસમાં કેન્દ્રિત થયેલું છે અને ઈલેક્ટ્રૉન ન્યુક્લિયસથી થોડા અંતરે દૂર છે. જેમ ગ્રહો સૂર્યની આસપાસ ભ્રમણ કરે છે તેમ ઈલેક્ટ્રૉન ન્યુક્લિયસની આસપાસ કક્ષામાં ભ્રમણ કરતા હશે. રધરફર્ડના પ્રયોગે ન્યુક્લિયસનું પરિમાણ 10^{-15} m થી 10^{-14}mનું હોવાનું સૂચવ્યું હતું. ગતિવાદ પરથી પરમાણુનું પરિમાણ 10^{-10}m હોવાનું જાણીતું હતું જે ન્યુક્લિયસના પરિમાણથી 10,000 થી 1,00,000 ગણું મોટું છે (જુઓ ધોરણ XI, ભૌતિકવિજ્ઞાનનું પાઠ્યપુસ્તક પ્રકરણ-11, પરિચ્છેદ 11.6). આમ પરમાણુનો મોટો ભાગ ખાલી અવકાશ (જગ્યા) છે. પરમાણુ મહદ્ અંશે ખાલી જગ્યા ધરાવતો હોવાથી મોટા ભાગના α-કણો પાતળી ધાતુની વરખમાંથી કેમ આરપાર જતા રહે છે તે સહેલાઈથી સમજી શકાય છે. આમ છતાં જ્યારે α-કણ ન્યુક્લિયસની નજીક આવે છે ત્યારે ત્યાંનું તીવ્ર વિદ્યુતક્ષેત્ર તેનું મોટા કોણે પ્રકિર્ણન કરે છે. પરમાણુના ઈલેક્ટ્રૉન ઘણા હલકા હોવાથી α-કણો પર ખાસ અસર કરતા નથી.

આકૃતિ 12.3માં દર્શાવેલ પ્રકિર્ણન પ્રયોગની વિગતોનું વિશ્લેષણ રધરફર્ડના પરમાણુ અંગેના ન્યુક્લિયર મૉડેલની મદદથી કરી શકાય છે. સુવર્ણ વરખ અત્યંત પાતળો હોવાથી આપણે એવું ધારી શકીએ કે તેમાંથી પસાર થવા દરમિયાન α-કણો એક કરતાં વધુ પ્રકિર્ણન અનુભવતા નહિ હોય. આથી, એક જ ન્યુક્લિયસ વડે થતા α-કણના પ્રકિર્ણનના ગતિપથ (Trajectory)ની ગણતરી પુરતી છે. આલ્ફા-કણો હિલિયમ પરમાણુઓનાં ન્યુક્લિયસ છે તેથી તેમને બે એકમ ધન વિદ્યુતભાર, $2e$ છે અને દળ હિલિયમ પરમાણુ જેટલું છે. સુવર્ણના ન્યુક્લિયસનો વિદ્યુતભાર Ze છે જ્યાં Z પરમાણુનો પરમાણુ ક્રમાંક છે, સુવર્ણ (ગોલ્ડ) માટે $Z = 79$ છે. સુવર્ણનું ન્યુક્લિયસ α-કણ કરતાં લગભગ 50 ગણું ભારે હોવાથી, સમગ્ર પ્રકિર્ણન પ્રક્રિયામાં તે સ્થિર રહે છે તેમ માનવું વ્યાજબી છે. આ સંજોગોમાં ન્યૂટનના બીજા નિયમના ઉપયોગ તથા α-કણ અને ધન વિદ્યુતભારિત ન્યુક્લિયસ વચ્ચેના અપાકર્ષણના સ્થિતવિદ્યુત બળ માટેના કુલંબના નિયમના ઉપયોગથી α-કણના ગતિપથની ગણતરી કરી શકાય છે. આ બળનું માન

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

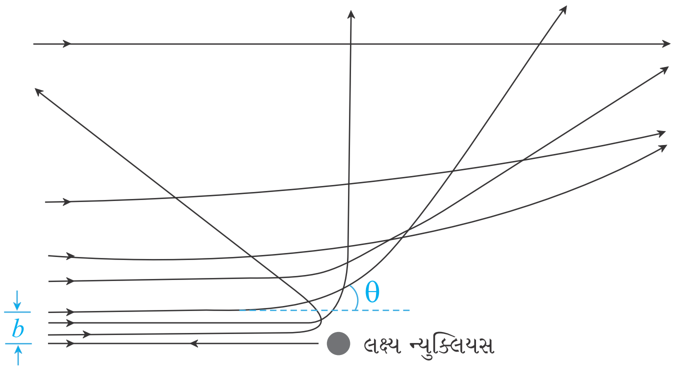
Downloaded from https:// www.studiestoday.com

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{(2e)(Ze)}{r^2} \qquad (12.1)$$

છે, જ્યાં, r એ α-કણ અને ન્યુક્લિયસ વચ્ચેનું અંતર છે. આ બળની દિશા α-કણ અને ન્યુક્લિયસને જોડતી રેખા પર છે. α-કણ ન્યુક્લિયસ તરફ જાય અને પછી તેનાથી દૂર જાય તે દરમિયાન તેના પર લાગતા બળનું માન અને દિશા સતત બદલાતી રહે છે.

12.2.1 આલ્ફા-કણનો ગતિપથ (Alpha-Particle Trajectory)

α-કણનો ગતિપથ ન્યુક્લિયસ સાથેની અથડામણના સંઘાત પ્રાચલ (Impact Parameter) b પર આધાર રાખે છે. *સંઘાત પ્રાચલ* એ α-કણના પ્રારંભિક વેગ સદિશ અને ન્યુક્લિયસના કેન્દ્ર વચ્ચેનું અંતર છે (આકૃતિ 12.4). α-કણોની આપેલ કિરણાવલિમાં સંઘાત પ્રાચલ b જુદા જુદા (એટલે કે સંઘાત પ્રાચલનું વિતરણ) હોય છે. આથી, કિરણાવલિ જુદી જુદી સંભાવનાઓથી જુદી જુદી દિશાઓમાં પ્રકીર્ણન પામે છે (આકૃતિ 12.4). (કિરણાવલિમાં બધાં કણોની ગતિઊર્જા લગભગ સમાન હોય છે.) એમ જણાયું છે કે જે α-કણ ન્યુક્લિયસની નજીક (નાનો સંઘાત પ્રાચલ) હોય તે મોટું પ્રકીર્ણન અનુભવે છે. સન્મુખ (Head-on) સંઘાતના કિસ્સામાં સંઘાત પ્રાચલ લઘુત્તમ હોય છે અને α-કણ પાછો ફેંકાય છે (Rebounds Back) ($\theta \cong \pi$). મોટા સંઘાત પ્રાચલ માટે α-કણ લગભગ વિચલન પામ્યા વિના જતો રહે છે અને આવર્તન ઘણું નાનું ($\theta \cong 0$) હોય છે.



આકૃતિ 12.4 લક્ષ્ય ન્યુક્લિયસના કુલંબ ક્ષેત્રમાં α-કણનો ગતિપથ. સંઘાત પ્રાચલ b અને પ્રકીર્ણન કોણ θ પણ દર્શાવ્યાં છે.

આપાત કણોની સંખ્યાનો ખૂબ નાનો અંશ જ પાછો ફેંકાય (Rebound) છે, એ હકીકત એમ દર્શાવે છે કે સન્મુખ (Head-on) સંઘાત અનુભવતા α-કણોની સંખ્યા નાની છે. આનો અર્થ એ છે કે પરમાણુનું દળ નાના કદમાં કેન્દ્રિત થયેલું છે. આથી રધરફર્ડના પ્રકીર્ણન પ્રયોગ, એ ન્યુક્લિયસના પરિમાણની ઉચ્ચ સીમા નક્કી કરવા માટે એક શક્તિશાળી રીત છે.

ઉદાહરણ 12.1 જેમ પૃથ્વી સૂર્યની આસપાસ કક્ષામાં ભ્રમણ કરે છે તેમ પરમાણુ અંગેના રધરફર્ડના ન્યુક્લિયર મૉડેલમાં ન્યુક્લિયસ (ત્રિજ્યા લગભગ 10^{-15} m) સૂર્યના જેવો છે જેની આસપાસ ઈલેક્ટ્રૉન કક્ષામાં (ત્રિજ્યા 10^{-10} m) ભ્રમણ કરે છે. જો સૂર્યમંડળના પરિમાણના પ્રમાણ પરમાણુના જેવા હોય તો પૃથ્વી સૂર્યથી અત્યારે છે તે કરતાં વધારે નજીક કે દૂર હોત ? પૃથ્વીની કક્ષાની ત્રિજ્યા 1.5×10^{11} m છે. સૂર્યની ત્રિજ્યા 7×10^{8} m લેવાય છે.

ઉકેલ

ઈલેક્ટ્રૉનની કક્ષાની ત્રિજ્યા અને ન્યુક્લિયસની ત્રિજ્યાનો ગુણોત્તર (10^{-10} m) / (10^{-15} m) = 10^{5} છે, એટલે કે ઈલેક્ટ્રૉનની કક્ષાની ત્રિજ્યા ન્યુક્લિયસની ત્રિજ્યા કરતાં 10^{5} ગણી મોટી છે. જો પૃથ્વીની કક્ષાની ત્રિજ્યા સૂર્યની ત્રિજ્યા કરતાં 10^{5} ગણી મોટી હોત તો પૃથ્વીની કક્ષાની ત્રિજ્યા $10^{5} \times 7 \times 10^{8}$ m = 7×10^{13} m હોત. આ મૂલ્ય પૃથ્વીની વાસ્તવિક કક્ષીય ત્રિજ્યા કરતાં 100 ગણાથી પણ વધારે છે. આમ, પૃથ્વી સૂર્યથી ઘણી વધારે દૂર હોત. આનો અર્થ એ છે કે આપણા સૂર્યમંડળમાં છે તે કરતાં પરમાણુ ખાલી અવકાશનો ઘણો વધુ અંશ ધરાવે છે.

ઉદાહરણ 12.1

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

ઉદાહરણ 12.2 ગેઈગર-માર્સ્ડનના પ્રયોગમાં 7.7 MeV α-કણ ક્ષણિક સ્થિર બનીને તેની દિશા ઉલટાવે તે અગાઉ ન્યુક્લિયસથી તેનું નજીકતમ અંતર (Distance of Closest Approach) કેટલું હશે ?

ઉકેલ અત્રે ચાવીરૂપ ખ્યાલ એ છે કે, પ્રકીર્ણનની સમગ્ર પ્રક્રિયા દરમિયાન α-કણ અને સુવર્ણના ન્યુક્લિયસથી બનેલા તંત્રની કુલ યાંત્રિક ઊર્જા સંરક્ષિત (અચળ) રહે છે. કણ અને ન્યુક્લિયસ આંતરક્રિયા કરે તે અગાઉ તંત્રની પ્રારંભિક યાંત્રિક ઊર્જા E_i છે અને જ્યારે α-કણ ક્ષણિક સ્થિર થાય ત્યારે તંત્રની યાંત્રિક ઊર્જા E_f છે. પ્રારંભિક ઊર્જા E_i તો આપાત કણની માત્ર ગતિઊર્જા K છે. અંતિમ ઊર્જા તંત્રની ફક્ત વિદ્યુત સ્થિતિઊર્જા U છે. સ્થિતિઊર્જા U સમીકરણ (12.1) પરથી ગણી શકાય છે.

જ્યારે α-કણ તેના થોભક (અટકવાના) બિંદુએ પહોંચે ત્યારે α-કણના અને સુવર્ણના ન્યુક્લિયસના કેન્દ્રો વચ્ચેનું અંતર, ધારોકે d છે.

આપણે ઊર્જાનું સંરક્ષણ $E_i = E_f$ ને

$$K = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{(2e)(Ze)}{d} = \frac{2Ze^2}{4\pi\varepsilon_0 d}$$

તરીકે લખી શકીએ છીએ. આમ α-કણનું સુવર્ણના ન્યુક્લિયસથી નજીકતમ અંતર

$$d = \frac{2Ze^2}{4\pi\varepsilon_0 K}$$

જેટલું છે. નૈસર્ગિક ઉદ્‌ગમ ધરાવતાં α-કણોની મહત્તમ ગતિઊર્જા 7.7 MeV અથવા 1.2×10^{-12} J છે. આથી $1/4\pi\varepsilon_0 = 9 \times 10^9$ N m^2/C^2 અને $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C મૂલ્યોનો ઉપયોગ કરતાં,

$$d = \frac{(2)(9.0\times10^9\,\text{Nm}^2/\text{C}^2)(1.6\times10^{-19}\,\text{C})^2(\text{Z})}{1.2\times10^{-12}\,\text{J}}$$

$$= 3.84\times10^{-16}\,(\text{Z})\,\text{m}$$

વરખના દ્રવ્ય (સુવર્ણ)નો પરમાણુ ક્રમાંક Z = 79 છે, તેથી d(Au) = 3.0×10^{-14} m = 30 *fm* [1 *fm* (એટલે કે ફર્મિ) = 10^{-15} m]

આથી સુવર્ણ (ગોલ્ડ)ના ન્યુક્લિયસની ત્રિજ્યા 3.0×10^{-14} m કરતાં ઓછી છે. આ મૂલ્ય અવલોકિત પરિણામ સાથે સારી સંમતિ દર્શાવતું નથી, કારણ કે સુવર્ણના ન્યુક્લિયસની વાસ્તવિક ત્રિજ્યા 6 *fm* છે. આ ત્રુટિનું કારણ એ છે કે ન્યુક્લિયસથી નજીકતમ અંતર d, સુવર્ણના ન્યુક્લિયસ અને α-કણની ત્રિજ્યાઓના સરવાળા કરતાં ખાસ્સું મોટું છે. આમ, α-કણ સુવર્ણ (ગોલ્ડ) ન્યુક્લિયસનો સ્પર્શ પણ કર્યા વિના પોતાની દિશા ઉલટાવે છે.

ઉદાહરણ 12.2

PHYSICS

Simulate Rutherford scattering experiment
http://www-outreach.phy.cam.ac.uk/camphy/nucleus/nucleus6_1.htm

12.2.2 ઈલેક્ટ્રૉન કક્ષાઓ (Electron Orbits)

પ્રચલિત ખ્યાલોનો ઉપયોગ કરનારું રધરફર્ડનું પરમાણુ અંગેનું ન્યુક્લિયર મૉડેલ પરમાણુનું એવું ચિત્ર રજૂ કરે છે કે પરમાણુ, તેના કેન્દ્રમાં ખૂબ નાના, દળદાર અને ધન વિદ્યુતભારિત ન્યુક્લિયસ અને તેની આસપાસ ગતિક રીતે સ્થાયી એવી અનુરૂપ કક્ષાઓમાં ભ્રમણ કરતા ઈલેક્ટ્રૉનનો બનેલો, વિદ્યુતીય રીતે તટસ્થ ગોળો છે. ભ્રમણ કરતા ઈલેક્ટ્રૉન અને ન્યુક્લિયસ વચ્ચેનું સ્થિત વિદ્યુત આકર્ષણ બળ F_e, તેમને કક્ષામાં ગતિશીલ રાખવા માટેનું જરૂરી કેન્દ્રગામી બળ (F_c) પુરું પાડે છે. આમ, હાઈડ્રોજન પરમાણુમાં ગતિકીય રીતે સ્થાયી કક્ષા માટે

$$F_e = F_c$$

$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{r^2} = \frac{mv^2}{r} \qquad (12.2)$$

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

આમ, કક્ષીય ત્રિજ્યા અને ઈલેક્ટ્રોનના વેગ વચ્ચેનો સંબંધ

$$r = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 m v^2} \tag{12.3}$$

છે. હાઈડ્રોજન પરમાણુમાં ઈલેક્ટ્રોનની ગતિઊર્જા (K) અને સ્થિતવિદ્યુત સ્થિતિઊર્જા (U)

$$K = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r} \quad \text{અને} \quad U = -\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r} \quad \text{છે.}$$

(Uમાંનું ઋણ ચિહ્ન સૂચવે કે સ્થિત વિદ્યુતબળ $-r$ દિશામાં છે.) આમ, હાઈડ્રોજન પરમાણુમાં ઈલેક્ટ્રોનની કુલ ઊર્જા E

$$E = K + U = \frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r} - \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r}$$

$$= -\frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r} \tag{12.4}$$

છે. ઈલેક્ટ્રોનની કુલ ઊર્જા ઋણ છે. આ એ હકીકતનું સૂચન કરે છે કે ઈલેક્ટ્રોન ન્યુક્લિયસ સાથે બંધિત છે. જો E ધન હોત તો ઈલેક્ટ્રોન ન્યુક્લિયસની આસપાસ બંધ કક્ષામાં ન ફરતો હોત.

ઉદાહરણ 12.3 પ્રાયોગિક રીતે એમ જણાયું છે કે હાઈડ્રોજન પરમાણુને પ્રોટોન અને ઈલેક્ટ્રોનમાં છૂટા પાડવા માટે 13. 6 eV ઊર્જાની જરૂર છે. હાઈડ્રોજન પરમાણુમાં ઈલેક્ટ્રોનની કક્ષીય ત્રિજ્યા અને વેગની ગણતરી કરો.

ઉકેલ હાઈડ્રોજન પરમાણુમાં ઈલેક્ટ્રોનની કુલ ઊર્જા $-13.6\ e$V.

$-13.6\ eV = -13.6 \times 1.6 \times 10^{-19}\ J = -2.2 \times 10^{-18}$ J છે. આમ, સમીકરણ (12.4) પરથી આપણને,

$$E = -\frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r} = -2.2 \times 10^{-18}\ \text{J મળે.}$$

આ પરથી કક્ષીય ત્રિજ્યા,

$$r = -\frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 E} = -\frac{(9\times10^9\ N\,m^2/C^2)(1.6\times10^{-19}\ C)^2}{(2)(-2.2\times10^{-18}\ J)}$$

$$= 5.3 \times 10^{-11}\ m$$

ભ્રમણ કરતા ઈલેક્ટ્રોનનો વેગ, $m = 9.1 \times 10^{-31}$ kg લઈને સમીકરણ (12.3) પરથી ગણી શકાય.

$$\upsilon = \frac{e}{\sqrt{4\pi\varepsilon_0 m r}} = 2.2 \times 10^6\ m/s$$

ઉદાહરણ 12.3

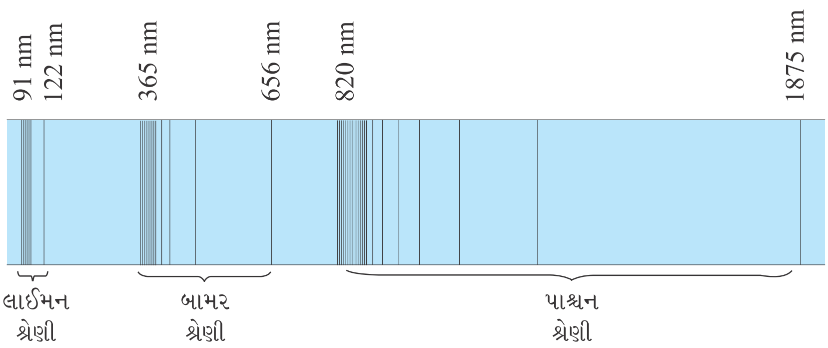
12.3 પરમાણુ વર્ણપટ (Atomic Spectra)

પરિચ્છેદ 12.1માં જણાવ્યા મુજબ, દરેક તત્વને તેના દ્વારા ઉત્સર્જિત વિકિરણનો લાક્ષણિક વર્ણપટ હોય છે. નીચા દબાણે પરમાણુક વાયુ કે બાષ્પમાંથી સામાન્ય રીતે વિદ્યુતપ્રવાહ પસાર કરીને તેને ઉત્તેજિત કરવામાં આવે છે ત્યારે ઉત્સર્જિત વિકિરણના વર્ણપટમાં અમુક નિશ્ચિત તરંગલંબાઈઓ જ હોય છે. આ પ્રકારના વર્ણપટને ઉત્સર્જન રેખીય વર્ણપટ કહે છે અને તે અંધકારમય (અંધારી)

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

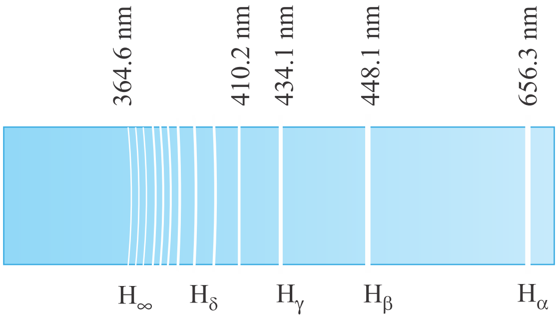
પાર્શ્વભૂમિમાં પ્રકાશિત રંગીન રેખાઓનો બનેલો છે. પરમાણુક હાઈડ્રોજન વડે ઉત્સર્જિત વર્ણપટ આકૃતિ 12.5માં દર્શાવેલ છે. આથી, કોઈ વાયુના ઉત્સર્જિત રેખીય વર્ણપટનો અભ્યાસ તે વાયુની ઓળખ માટે 'અંગુલિછાપ' (Fingerprint) જેવું કામ કરે છે. જ્યારે શ્વેત પ્રકાશ આ વાયુમાંથી પસાર થાય અને આપણે તેમાંથી નિર્ગમિત પ્રકાશનું સ્પેક્ટ્રોમીટરની મદદથી વિશ્લેષણ કરીએ ત્યારે આપણને વર્ણપટમાં કેટલીક કાળી (અપ્રકાશિત) રેખાઓ દેખાય છે. આ અપ્રકાશિત રેખાઓ બરાબર તે જ તરંગલંબાઈઓને અનુરૂપ છે કે જે આ વાયુના ઉત્સર્જન વર્ણપટમાં જોવા મળતી હતી. આ અપ્રકાશિત રેખાઓથી બનતા વર્ણપટને વાયુના દ્રવ્યનો શોષણ વર્ણપટ કહે છે.



આકૃતિ 12.5 હાઈડ્રોજનના વર્ણપટમાં ઉત્સર્જન રેખાઓ

12.3.1 વર્ણપટ શ્રેણીઓ (Spectral Series)

આપણે કદાચ એવી અપેક્ષા રાખીએ કે કોઈ ચોક્કસ તત્વ વડે ઉત્સર્જિત પ્રકાશની આવૃત્તિઓ કોઈ ચોક્કસ નિયમિતતા ધરાવતી હશે. હાઈડ્રોજન સૌથી સાદો પરમાણુ છે અને તેથી તેનો વર્ણપટ સૌથી સાદો છે. આમ છતાં, અવલોકિત વર્ણપટમાં, પ્રથમ નજરે, વર્ણપટ રેખાઓમાં કોઈ વ્યવસ્થા કે નિયમિતતા જેવું દેખાતું નથી. પરંતુ હાઈડ્રોજન વર્ણપટના કેટલાંક સમૂહો (Sets)માંની રેખાઓ વચ્ચેનું અંતર નિયમિત રીતે ઘટતું જાય છે (આકૃતિ 12.5). આ દરેક સમૂહને *વર્ણપટ શ્રેણી* કહે છે. 1885માં આવી પ્રથમ શ્રેણી સ્વીડનના શાળાના શિક્ષક જોહ્‌ન જેકબ બામર (1825-1898) દ્વારા હાઈડ્રોજન વર્ણપટના દૃશ્ય વિભાગમાં જોવામાં આવી હતી. આ શ્રેણીને *બામર શ્રેણી* (આકૃતિ 12.6) કહે છે. લાલ રંગના વિભાગમાં દેખાતી મહત્તમ તરંગલંબાઈ 656.3 nmની રેખાને H_α રેખા, તેની પછીની બ્લુ-ગ્રીન વિભાગમાં દેખાતી 486.1 nm તરંગલંબાઈની રેખાને H_β રેખા, ત્રીજી જાંબલી વિભાગમાં દેખાતી 434.1 nm તરંગલંબાઈની રેખાને H_γ રેખા વગેરે કહે છે. જેમ તરંગલંબાઈ ઘટતી જાય તેમ રેખાઓ એકબીજીની વધુ નજીક આવેલી અને ઓછી તીવ્રતા ધરાવતી જણાય છે. અવલોકિત તરંગલંબાઈઓ માટે બામરે એક સરળ આનુભવિક (Empirical) સૂત્ર



આકૃતિ 12.6

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{n^2}\right) \qquad (12.5)$$

મેળવ્યું. જ્યાં, λ તરંગલંબાઈ છે, R અચળાંક છે, જેને *રીડબર્ગનો અચળાંક* કહે છે અને *n*ને પૂર્ણાંક મૂલ્યો 3, 4, 5 વગેરે હોય છે. Rનું મૂલ્ય $1.097 \times 10^7\ m^{-1}$ છે. આ સમીકરણને બામરનું સૂત્ર કહે છે.

સમીકરણ (12.5)માં $n = 3$ લેતાં, H_α રેખાની તરંગલંબાઈ મળે છે.

$$\frac{1}{\lambda} = 1.097 \times 10^7\left(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{3^2}\right) m^{-1}$$

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

$= 1.522 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$

એટલે કે $\lambda = 656.3$ nm

n = 4 માટે H_β રેખાની તરંગલંબાઈ મળે, વગેરે. $n = \infty$ માટે શ્રેણીની સીમા (Limit) λ = 364.6 nm મળે છે. બામર શ્રેણીની આ સૌથી ટૂંકી (લઘુત્તમ) તરંગલંબાઈ છે. આ સીમાથી આગળ કોઈ સ્પષ્ટ રેખા દેખાતી નથી, પણ તેના બદલે ઝાંખો સતત વર્ણપટ દેખાય છે. ત્યારપછી હાઈડ્રોજન માટે બીજી વર્ણપટ શ્રેણીઓ શોધાઈ હતી. તેમને શોધનારના નામ પરથી આ શ્રેણીઓને લાઈમન, પાશ્ચન, બ્રેકેટ અને ફંડ શ્રેણીઓ કહે છે. તેમને નીચેના સૂત્રો દ્વારા રજૂ કરાય છે :

લાઈમન શ્રેણી :

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2}\right) \qquad n = 2, 3, 4... \qquad (12.6)$$

પાશ્ચન શ્રેણી :

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2}\right) \qquad n = 4, 5, 6... \qquad (12.7)$$

બ્રેકેટ શ્રેણી :

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2}\right) \qquad n = 5, 6, 7... \qquad (12.8)$$

ફંડ શ્રેણી :

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2}\right) \qquad n = 6, 7, 8... \qquad (12.9)$$

લાઈમન શ્રેણી પારજાંબલી (Ultraviolet) વિભાગમાં છે તથા પાશ્ચન, બ્રેકેટ અને ફંડ શ્રેણીઓ પારરક્ત (Infrared) વિભાગમાં છે.

આપણે બામરનું સૂત્ર સમીકરણ (12.5), પ્રકાશની આવૃત્તિના પદમાં લખવા માટે

$c = \nu\lambda$

અથવા $\frac{1}{\lambda} = \frac{\nu}{c}$ યાદ કરીએ.

આમ, સમીકરણ (12.5)

$$\nu = Rc\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right) \qquad (12.10)$$

બને છે. બહુ ઓછાં તત્વો (હાઈડ્રોજન, સીંગલી આયોનાઈઝ્ડ (Singly Ionised) હિલિયમ અને ડબલી આયોનાઈઝ્ડ (Doubly Ionised) લિથિયમ) એવાં છે કે જેમના વર્ણપટ સમીકરણ (12.5), સમીકરણ (12.6) જેવાં સરળ સૂત્ર દ્વારા રજૂ કરી શકાય.

સમીકરણ (12.5) - (12.9) ઉપયોગી છે કારણ કે તેઓ હાઈડ્રોજન પરમાણુ દ્વારા ઉત્સર્જન કે શોષણ પામતી તરંગલંબાઈઓ દર્શાવે છે. આમ છતાં, આ પરિણામો આનુભવિક (પ્રયોગથી મળેલ) છે અને હાઈડ્રોજન વર્ણપટમાં માત્ર અમુક જ તરંગલંબાઈઓ શા માટે દેખાય છે તેનું કોઈ કારણ આપતા નથી.

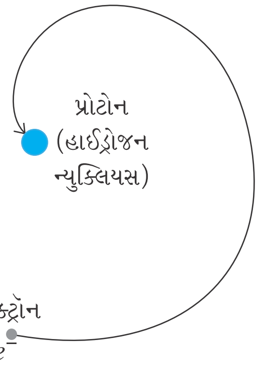
12.4 હાઈડ્રોજન પરમાણુનું બોહ્ર મૉડેલ (Bohr Model of the Hydrogen Atom)

રધરફર્ડે સૂચવેલું પરમાણુનું મૉડેલ એવું ધારી લે છે કે તે જેનું અનુકરણ કરે છે તે, સૂર્ય-ગ્રહ તંત્રની જેમ કેન્દ્રમાં ન્યુક્લિયસ અને ભ્રમણ કરતા ઈલેક્ટ્રૉનનું બનેલું પરમાણુ સ્થાયી (Stable) છે. આમ છતાં, આ બે પરિસ્થિતિઓ વચ્ચે કેટલાક મૂળભૂત તફાવત છે. ગ્રહોનું તંત્ર ગુરુત્વાકર્ષણ બળથી

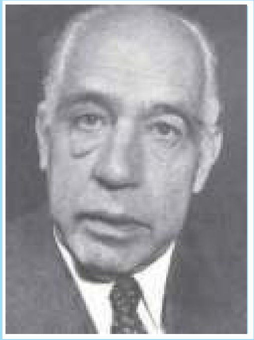
Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

પકડાયેલું રહે છે, જ્યારે ન્યુક્લિયસ-ઈલેક્ટ્રૉનનું તંત્ર, તેઓ વિદ્યુતભારિત હોવાથી, બળ અંગેના કુલંબના નિયમથી આંતરક્રિયા કરે છે. આપણે જાણીએ છીએ કે વર્તુળાકારે ગતિ કરતો પદાર્થ સતત પ્રવેગ ધરાવે છે. આ પ્રવેગ કેન્દ્રગામી પ્રકારનો છે. પ્રચલિત વિદ્યુતચુંબકીય વાદ (સિદ્ધાંત) અનુસાર પ્રવેગિત થતો વિદ્યુતભાર વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોના રૂપમાં વિકિરણનું ઉત્સર્જન કરે છે. આથી, પ્રવેગિત ઈલેક્ટ્રૉનની ઊર્જા સતત ઘટવી જોઈએ. આવો ઈલેક્ટ્રૉન અંદર તરફ સર્પિલ ગતિ કરીને અંતે ન્યુક્લિયસમાં પડી જાય (આકૃતિ 12.7). આમ, આવો પરમાણુ સ્થાયી (Stable) ન જ હોઈ શકે. આ ઉપરાંત, પ્રચલિત વિદ્યુતચુંબકીય વાદ અનુસાર ભ્રમણ કરતા ઈલેક્ટ્રૉન વડે ઉત્સર્જિત વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોની આવૃત્તિ, પરિભ્રમણની આવૃત્તિ જેટલી હોય છે. ઈલેક્ટ્રૉન જેમ-જેમ અંદર તરફ સર્પિલ ગતિ કરે, તેમ તેમ તેનો કોણીય વેગ અને તેથી આવૃત્તિ સતત બદલાયા કરે અને તેથી ઉત્સર્જિત પ્રકાશની આવૃત્તિ પણ સતત બદલાય. આમ, તે સતત વર્ણપટ ઉત્સર્જિત કરે, જે હકીકતમાં જોવા મળતા રેખીય વર્ણપટથી વિરુદ્ધ છે. સ્પષ્ટ રીતે, રધરફર્ડ મૉડેલ તો વાર્તાનો એક જ ભાગ આપણને જણાવે છે. એનો અર્થ એ છે કે પરમાણુનું બંધારણ સમજાવવા માટે પ્રચલિત ખ્યાલો પુરતા નથી.



આકૃતિ 12.7 પરમાણુનો પ્રવેગિત ઈલેક્ટ્રૉન જેમ ઊર્જા ગુમાવે તેમ સર્પિલ ગતિથી ન્યુક્લિયસમાં જવો જોઈએ.



નીલ્સ હેનરીક ડેવીડ બોહ્ર (Niels Henrik David Bohr) (1885-1962) : ડેન્માર્કનો ભૌતિકવિજ્ઞાની જેણે ક્વૉન્ટમ વિચારોની મદદથી હાઈડ્રોજનનો વર્ણપટ સમજાવ્યો. તેણે ન્યુક્લિયસના પ્રવાહી બુંદ મૉડેલ પર આધારિત ન્યુક્લિયર વિખંડનનો વાદ આપ્યો. બોહ્રે ક્વૉન્ટમ યંત્રશાસ્ત્રમાં સૈદ્ધાંતિક કોયડાઓની સ્પષ્ટતામાં ખાસ કરીને પૂરક સિદ્ધાંત (Complementary Principle)નું સૂચન કરીને ફાળો આપ્યો.

નીલ્સ હેનરીક ડેવીડ બોહ્ર (Niels Henrik David Bohr) (1885-1962)

ઉદાહરણ 12.4 હાઈડ્રોજન પરમાણુમાં પ્રોટોનની આસપાસ ભ્રમણ કરતા ઈલેક્ટ્રૉન વડે ઉત્સર્જિત પ્રકાશની પ્રારંભિક આવૃત્તિ, પ્રચલિત વિદ્યુતચુંબકીય વાદ અનુસાર ગણો.

ઉકેલ ઉદાહરણ 12.3 પરથી આપણે જાણીએ છીએ કે હાઈડ્રોજન પરમાણુમાં પ્રોટોનની આસપાસ 5.3×10^{-11} m ત્રિજ્યાની કક્ષામાં ભ્રમણ કરતા ઈલેક્ટ્રૉનનો વેગ 2.2×10^{6} m/s છે. આથી, પ્રોટોનની આસપાસ ઈલેક્ટ્રૉનના ભ્રમણની આવૃત્તિ

$$\nu = \frac{\upsilon}{2\pi r} = \frac{2.2\times10^{6}\,\mathrm{m\,s^{-1}}}{2\pi(5.3\times10^{-11}\,\mathrm{m})}$$

$$\approx 6.6\times10^{15}\ \mathrm{Hz}$$

પ્રચલિત વિદ્યુતચુંબકીય વાદ અનુસાર, આપણે જાણીએ છીએ કે ભ્રમણ કરતા ઈલેક્ટ્રૉન વડે ઉત્સર્જિત વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોની આવૃત્તિ, ન્યુક્લિયસની આસપાસના તેના ભ્રમણની આવૃત્તિ જેટલી હોય છે. આમ, ઉત્સર્જિત પ્રકાશની પ્રારંભિક આવૃત્તિ 6.6×10^{15} Hz છે.

ઉદાહરણ 12.4

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

નવા જ વિકાસ પામતા ક્વૉન્ટમ અધિતર્કનો ઉમેરો કરીને નીલ્સ બોહ્‌ર (1885-1962) દ્વારા આ મૉડેલમાં કેટલાક ફેરફારો કરવામાં આવ્યા. 1912માં નીલ્સ બોહ્‌રે રધરફર્ડની પ્રયોગશાળામાં કેટલાક મહિનાઓ માટે અભ્યાસ કર્યો હતો અને રધરફર્ડના ન્યુક્લિયર મૉડેલના વાજબીપણા અંગે તેમને ખાતરી હતી. ઉપર ચર્ચેલ દ્વિધાનો સામનો કરતાં, 1913માં બોહ્‌ર એવા નિર્ણય પર પહોંચ્યા કે સ્થૂળ માપક્રમ (મોટા માપક્રમ) પરની ઘટનાઓને સમજાવવામાં વિદ્યુતચુંબકીય વાદ સફળ હોવા છતાં તે પરમાણુ માપક્રમ પરની પ્રક્રિયાઓને લાગુ પાડી શકાતો નથી. એ સ્પષ્ટ થયું કે સ્થાપિત થયેલા પ્રચલિત યંત્રશાસ્ત્રના અને વિદ્યુતચુંબકત્વના સિદ્ધાંતોથી મૂળભૂત રીતે સારા એવા જુદા પડતા ખ્યાલોની, પરમાણુનું બંધારણ અને તેનો પરમાણુ વર્ણપટ સાથેનો સંબંધ સમજવા માટે જરૂર છે. બોહ્‌રે પ્રચલિત અને પ્રારંભના ક્વૉન્ટમ ખ્યાલોને સંયોજિત કરીને તેનો વાદ ત્રણ સ્વીકૃતિઓના સ્વરૂપમાં આપ્યો. આ સ્વીકૃતિઓ આ પ્રમાણે છે :

(i) બોહ્‌રની પ્રથમ સ્વીકૃતિ એ હતી કે *પરમાણુમાં ઈલેક્ટ્રૉન કેટલીક સ્થાયી કક્ષાઓમાં વિકિરણ ઊર્જાનું ઉત્સર્જન કર્યા વિના ભ્રમણ કરી શકે છે.* આ બાબત વિદ્યુતચુંબકીય વાદના અનુમાનો કરતાં વિરૂદ્ધ છે. આ સ્વીકૃતિ અનુસાર દરેક પરમાણુ કેટલીક ચોક્કસ સ્થાયી અવસ્થાઓમાં હોઈ શકે છે અને દરેક શક્ય અવસ્થા ચોક્કસ મૂલ્યની ઊર્જા ધરાવે છે. આ અવસ્થાઓને પરમાણુની સ્થાયી અવસ્થાઓ કહે છે.

(ii) બોહ્‌રની બીજી સ્વીકૃતિ આ સ્થાયી અવસ્થાઓને વ્યાખ્યાયિત કરે છે. આ સ્વીકૃતિ જણાવે છે કે ન્યુક્લિયસની આસપાસ *ઈલેક્ટ્રૉન માત્ર એવી જ કક્ષાઓમાં ભ્રમણ કરે છે કે જેમાં તેનું કોણીય વેગમાન $h/2\pi$ના કોઈક પૂર્ણાંક ગુણાંક જેટલું હોય,* જ્યાં h એ પ્લેન્કનો અચળાંક ($= 6.6 \times 10^{-34}$ J s) છે. આમ, કક્ષીય ઈલેક્ટ્રૉનના કોણીય વેગમાન (L)નું ક્વૉન્ટમીકરણ થયેલ (Quantised) છે. એટલે કે

$$L = nh/2\pi \tag{12.11}$$

(iii) બોહ્‌રની ત્રીજી સ્વીકૃતિ દ્વારા પ્લૅન્ક અને આઈન્સ્ટાઈન દ્વારા વિકસિત કરેલા પ્રારંભિક ક્વૉન્ટમ ખ્યાલોનો પરમાણુવાદમાં સમાવેશ કરેલ હતો. તે જણાવે છે કે *ઈલેક્ટ્રૉન તેની એક વિકિરણ ઉત્સર્જિત ન કરતી કક્ષામાંથી નિમ્ન ઊર્જાની બીજી કક્ષામાં સંક્રાંતિ કરી શકે છે. જ્યારે તે આવું કરે છે ત્યારે એક ફોટોનનું ઉત્સર્જન થાય છે જેની ઊર્જા પ્રારંભિક અને અંતિમ અવસ્થાઓની ઊર્જાઓ વચ્ચેના તફાવત* જેટલી હોય છે. આ પરથી ઉત્સર્જિત ફોટોનની આવૃત્તિ (ν, ન્યુ એમ વંચાય)

$$h\nu = E_i - E_f \tag{12.12}$$

સૂત્ર દ્વારા મળે છે, જ્યાં E_i અને E_f એ પ્રારંભિક અને અંતિમ અવસ્થાઓની ઊર્જાઓ છે અને $E_i > E_f$.

હાઈડ્રોજન પરમાણુ માટે સમીકરણ (12.4) વિવિધ ઊર્જા સ્તરોની ઊર્જાઓ નક્કી કરવાનું સૂત્ર આપે છે. પરંતુ આ સમીકરણમાં ઈલેક્ટ્રૉનની કક્ષાની ત્રિજ્યા rની જરૂર છે. rની ગણતરી કરવા માટે બોહ્‌રની બીજી સ્વીકૃતિ, જે ઈલેક્ટ્રૉનના કોણીય વેગમાનની ક્વૉન્ટમીકરણની શરત છે, તેનો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે. કોણીય વેગમાન L,

$$L = m\upsilon r$$

પરથી મળે છે.

બોહ્‌રની ક્વૉન્ટમીકરણની બીજી સ્વીકૃતિ [સમીકરણ (12.11)] જણાવે છે કે કોણીય વેગમાનના માન્ય મૂલ્યો $h/2\pi$ના પૂર્ણાંક ગુણાંકો છે.

$$L_n = m\upsilon_n r_n = \frac{nh}{2\pi} \tag{12.13}$$

જ્યાં, n એ પૂર્ણાંક છે, r_n એ n-મી શક્ય કક્ષાની ત્રિજ્યા છે અને υ_n એ n-મી કક્ષામાં ભ્રમણ કરતા ઈલેક્ટ્રૉનની ઝડપ છે. માન્ય કક્ષાઓને nના મૂલ્ય અનુસાર 1, 2, 3, ... એવો ક્રમ અપાયેલ છે, જેને તે કક્ષાનો *મુખ્ય ક્વૉન્ટમ અંક (Principal Quantum Number)* કહે છે.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

સમીકરણ (12.3) પરથી, υ_n અને r_n વચ્ચેનો સંબંધ

$$\upsilon_n = \frac{e}{\sqrt{4\pi\varepsilon_0 m r_n}}$$

છે. તેનું સમીકરણ (12.13) સાથે સંયોજન કરતાં, આપણને υ_n અને r_nનાં સૂત્રો મળે છે.

$$\upsilon_n = \frac{1}{n}\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0}\frac{1}{(h/2\pi)} \qquad (12.14)$$

અને

$$r_n = \left(\frac{n^2}{m}\right)\left(\frac{h}{2\pi}\right)^2 \frac{4\pi\varepsilon_0}{e^2} \qquad (12.15)$$

સમીકરણ (12.14) દર્શાવે છે કે n-મી કક્ષામાં કક્ષીય વેગ ઘટીને n-મા ભાગનો થાય છે. સમીકરણ (12.15)નો ઉપયોગ કરીને સૌથી અંદરની કક્ષા ($n = 1$)નું પરિમાણ

$$r_1 = \frac{h^2\varepsilon_0}{\pi m e^2}$$

મળે છે. આ *ત્રિજ્યાને બોહ્ર ત્રિજ્યા* (*Bohr Radius*) કહે છે અને તેને પ્રતિક a_0 તરીકે રજૂ કરાય છે.

$$a_0 = \frac{h^2\varepsilon_0}{\pi m e^2} \qquad (12.16)$$

h, m, ε_0 અને eનાં મૂલ્યો અવેજ કરતાં $a_0 = 5.29 \times 10^{-11}$m મળે છે. સમીકરણ (12.15) પરથી એ પણ જોઈ શકાય છે કે કક્ષાઓની ત્રિજ્યાઓ n^2 મુજબ વધે છે.

હાઈડ્રોજન પરમાણુની સ્થાયી અવસ્થાઓમાં ઈલેક્ટ્રૉનની કુલ ઊર્જા, સમીકરણ (12.4)માં કક્ષીય ત્રિજ્યાનું મૂલ્ય અવેજ કરીને નીચે મુજબ મેળવી શકાય છે.

$$E_n = -\left(\frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0}\right)\left(\frac{m}{n^2}\right)\left(\frac{2\pi}{h}\right)^2\left(\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0}\right)$$

અથવા $E_n = -\dfrac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^2 n^2}$ (12.17)

સમીકરણ (12.17)માં યોગ્ય મૂલ્યો મૂકતાં,

$$E_n = -\frac{2.18\times10^{-18}}{n^2}\text{ J} \qquad (12.18)$$

મળે છે.

પરમાણુ ઊર્જાઓ Joule માં દર્શાવવાને બદલે ઘણીવાર ઈલેક્ટ્રૉન વોલ્ટ (eV)માં દર્શાવવામાં આવે છે.

1 eV = 1.6×10^{-19} J હોવાથી, સમીકરણ (12.18)ને નીચે મુજબ લખી શકાય છે.

$$E_n = -\frac{13.6}{n^2}\ e\text{V} \qquad (12.19)$$

કક્ષામાં ભ્રમણ કરતા ઈલેક્ટ્રૉનની કુલ ઊર્જાનું ઋણ મૂલ્ય એમ સૂચવે છે કે ઈલેક્ટ્રૉન ન્યુક્લિયસ સાથે બંધિત (Bound) છે. આમ, હાઈડ્રોજન પરમાણુમાંથી ઈલેક્ટ્રૉનને તેના ન્યુક્લિયસથી (અથવા હાઈડ્રોજન પરમાણુ માટે પ્રોટોનથી) અનંત અંતરે દૂર કરવા માટે ઊર્જાની જરૂર પડશે.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

સમીકરણો (12.17) થી (12.19) સાધિત કરવામાં એવી પૂર્વધારણા રહેલી છે કે ઈલેક્ટ્રૉનની કક્ષાઓ વર્તુળાકાર છે. જો કે વ્યસ્ત વર્ગના બળની અસર હેઠળ કક્ષાઓ વ્યાપકરૂપે દીર્ઘવૃત્તિય આકાર (Elliptical)ની હોય છે. (ગ્રહો સૂર્યના વ્યસ્ત વર્ગના ગુરુત્વ બળની અસર હેઠળ દીર્ઘવૃત્તિય કક્ષાઓમાં ભ્રમણ કરે છે.) આમ છતાં, જર્મન ભૌતિકવિજ્ઞાની આર્નોલ્ડ સોમરફેલ્ડ (1868-1951) દ્વારા એમ દર્શાવાયું કે વર્તુળાકાર કક્ષાઓનું નિયંત્રણ હળવું (Relax) કરવામાં આવે તો આ સમીકરણો દીર્ઘવૃત્તિય કક્ષાઓને પણ લાગુ પડે છે.

પરમાણુમાં ઈલેક્ટ્રૉનની કક્ષા વિરૂદ્ધ અવસ્થા (કક્ષીય ચિત્ર)

ભૌતિકવિજ્ઞાનના અભ્યાસમાં એક યા બીજા સમયે આપણને પરમાણુના બોહ્ર મૉડેલની ઓળખ થયેલી છે. આ મૉડેલનું ક્વૉન્ટમ યંત્રશાસ્ત્રના ઈતિહાસમાં અને વિશેષ કરીને પરમાણુનું બંધારણ સમજાવવામાં, આગવું સ્થાન છે. પ્રચલિત ખ્યાલો મુજબ તો પ્રવેગિત કણને વિકિરણનું ઉત્સર્જન કરવાની જરૂર છે, તેનાથી વિપરિત (વિરૂદ્ધ) બોહ્રે ઈલેક્ટ્રૉન માટે નિશ્ચિત ઊર્જા કક્ષાઓનો ક્રાંતિકારી વિચાર રજૂ કર્યો તે એક સિમાચિહ્ન બની ગયેલ છે. બોહ્રે નિશ્ચિત કક્ષાઓમાં ભ્રમણ કરતા ઈલેક્ટ્રૉનના કોણીય વેગમાનના ક્વૉન્ટમીકરણ (Quantisation)નો ખ્યાલ રજૂ કર્યો. આમ, તે પરમાણુના બંધારણ અંગેનું અર્ધ-પ્રચલિત (Semi Classical) ચિત્ર હતું.

હવે, ક્વૉન્ટમ યંત્રશાસ્ત્રનો વિકાસ થતાં આપણે પરમાણુના બંધારણ અંગે વધુ સારી સમજણ ધરાવીએ છીએ. શ્રોડિંજર (Schrodinger)ના તરંગ સમીકરણના ઉકેલો પ્રોટોનના આકર્ષણ બળોને લીધે પરમાણુમાં બંધિત ઈલેક્ટ્રૉનનો તરંગ જેવો પ્રકાર દર્શાવે છે.

બોહ્ર મૉડેલમાં ઈલેક્ટ્રૉનની કક્ષા, ન્યુક્લિયસની આસપાસ ઈલેક્ટ્રૉનની ગતિનો વર્તુળાકાર પથ છે. પરંતુ ક્વૉન્ટમ યંત્રશાસ્ત્ર મુજબ પરમાણુમાં ઈલેક્ટ્રૉનની ગતિ સાથે કોઈ નિશ્ચિત માર્ગ (પથ) આપણે સાંકળી શકીએ નહિ. આપણે માત્ર, ન્યુક્લિયસની આસપાસ અમુક નિશ્ચિત વિસ્તારમાં ઈલેક્ટ્રૉનને શોધવાની સંભાવના (Probability)ની જ વાત કરી શકીએ. આ સંભાવના એક - ઈલેક્ટ્રૉન તરંગવિધેય જેને *Orbital* કહે છે તેના પરથી નક્કી કરી શકાય છે. આવું વિધેય ઈલેક્ટ્રૉનના ફક્ત યામો પર જ આધારિત છે.

આથી, એ જરૂરી છે કે આપણે આ બે મૉડેલ વચ્ચે રહેલો માર્મિક (સૂક્ષ્મ, Subtle) તફાવત સમજીએ :

- બોહ્ર મૉડેલ એક ઈલેક્ટ્રૉન પરમાણુઓ/આયનો માટે જ માન્ય છે, આ મૉડેલમાં દરેક કક્ષાને અપાતું ઊર્જાનું મૂલ્ય મુખ્ય ક્વૉન્ટમ અંક પર આધારિત છે. આપણે જાણીએ છીએ કે એક - ઈલેક્ટ્રૉન પરમાણુ/આયન માટે પરમાણુની સ્થાયી અવસ્થા સાથે સંકળાયેલ ઊર્જાનું મૂલ્ય માત્ર n પર આધારિત છે. બહુ-ઈલેક્ટ્રૉન પરમાણુ/આયન માટે આ સાચું નથી.
- હાઈડ્રોજન જેવા પરમાણુઓ/આયનો માટે શ્રોડિંજરના તરંગ સમીકરણના ઉકેલ જેને તરંગ વિધેય કહે છે તે, ન્યુક્લિયસની આસપાસ વિવિધ વિસ્તારોમાં ઈલેક્ટ્રૉનને શોધવાની સંભાવના અંગે માહિતી આપે છે. આ *Orbital*ને બોહ્ર મૉડેલમાં ઈલેક્ટ્રૉન માટે વ્યાખ્યાયિત કરેલ *કક્ષા* (*Orbit*) સાથે કોઈ સામ્યતા નથી.

ઉદાહરણ 12.5

ઉદાહરણ 12.5 પૃથ્વીની આસપાસ 10 kgનો એક ઉપગ્રહ (સેટેલાઈટ) 8000 km ત્રિજ્યા ધરાવતી વર્તુળ કક્ષામાં દર બે કલાકે એક વખત ભ્રમણ કરે છે. બોહ્રનો કોણીય વેગમાનનો અધિતર્ક, હાઈડ્રોજન પરમાણુમાંના ઈલેક્ટ્રૉનની જેમ જ ઉપગ્રહને પણ લાગુ પડે છે એમ ધારીને ઉપગ્રહની કક્ષાનો ક્વૉન્ટમ અંક શોધો.

ઉકેલ

સમીકરણ (12.13) પરથી આપણને

$m\upsilon_n r_n = nh/2\pi$

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

ઉદાહરણ 12.5

મળે. અત્રે $m = 10$ kg અને $r_n = 8 \times 10^6$ m. આપણને ભ્રમણ કરતા ઉપગ્રહનો આવર્તકાળ T તરીકે 2 h મળે છે. એટલે કે T = 7200 s

આમ, વેગ $\upsilon_n = 2\pi r_n / T$. ઉપગ્રહની કક્ષાનો ક્વૉન્ટમ અંક $n = (2\pi r_n)^2 \times m/(T \times h)$ યોગ્ય મૂલ્યો અવેજ કરતાં,

$$n = (2\pi \times 8 \times 10^6 \text{ m})^2 \times 10 / (7200 \text{ s} \times 6.64 \times 10^{-34} \text{ J s})$$
$$= 5.3 \times 10^{45}$$

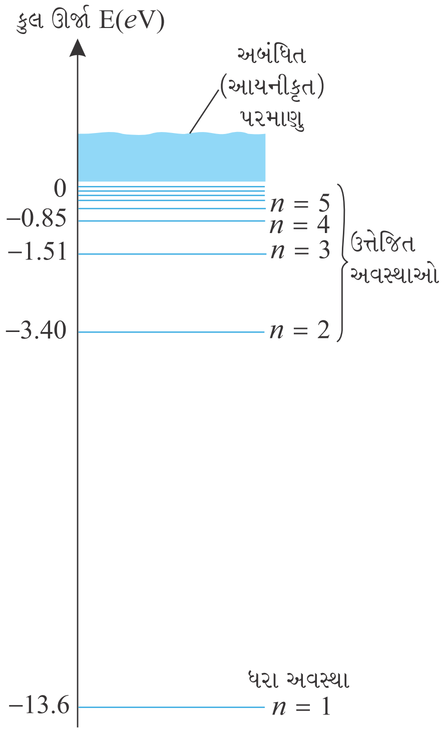
એ નોંધો કે ઉપગ્રહ માટેનો ક્વૉન્ટમ અંક અત્યંત મોટો છે ! હકીકતમાં આવા મોટા ક્વૉન્ટમ અંકો માટે ક્વૉન્ટમીકરણની શરતોનાં પરિણામો પ્રચલિત ભૌતિકવિજ્ઞાનથી મળતાં પરિણામો જેવાં હોય છે.

12.4.1 ઊર્જા સ્તરો (Energy Levels)

જ્યારે ઈલેક્ટ્રૉન, ન્યુક્લિયસની સૌથી નજીકની એટલે કે જેને માટે $n = 1$ હોય તેવી કક્ષામાં ભ્રમણ કરતો હોય ત્યારે પરમાણુની ઊર્જા લઘુત્તમ (મહત્તમ ઋણ મૂલ્ય) હોય છે. $n = 2, 3, ...$ માટે ઊર્જાનું નિરપેક્ષ મૂલ્ય નાનું હોય છે, આથી બહારની કક્ષાઓમાં ઊર્જા ક્રમશઃ વધુને વધુ હોય છે. પરમાણુની *નિમ્નતમ* (*Lowest*) અવસ્થાને *ધરા અવસ્થા* કહે છે અને તેમાં ઊર્જા લઘુત્તમ હોય છે, તેમજ ઈલેક્ટ્રૉન સૌથી નાની ત્રિજ્યા (બોહ્‌ર ત્રિજ્યા a_0)ની કક્ષામાં ભ્રમણ કરે છે. આ અવસ્થા ($n = 1$)ની ઊર્જા E_1, -13.6 *eV* છે. આથી, હાઈડ્રોજન પરમાણુની ધરા અવસ્થામાંથી ઈલેક્ટ્રૉનને મુક્ત કરવા માટે જરૂરી ઊર્જા 13.6 *eV*છે. તેને હાઈડ્રોજન પરમાણુની *આયનીકરણ* (*Ionisation*) *ઊર્જા* કહે છે. બોહ્‌ર મૉડેલનું આ પૂર્વાનુમાન (Prediction) આયનીકરણ ઊર્જાના પ્રાયોગિક મૂલ્ય સાથે ઉત્તમ સામ્યતા ધરાવે છે.

ઓરડાના તાપમાને મોટાભાગના હાઈડ્રોજન પરમાણુઓ *ધરા અવસ્થા*માં હોય છે. જ્યારે હાઈડ્રોજન પરમાણુ, કોઈ ઈલેક્ટ્રૉન સંઘાત (અથડામણ) જેવી પ્રક્રિયાથી ઊર્જા પ્રાપ્ત કરે છે ત્યારે પરમાણુ ઈલેક્ટ્રૉનને ઉચ્ચ અવસ્થાઓ પર લઈ જવા માટે શક્તિમાન બને છે. આ સ્થિતિમાં પરમાણુ *ઉત્તેજિત અવસ્થા*માં હોવાનું કહેવાય છે. સમીકરણ (12.19) પરથી $n = 2$ માટે, ઊર્જા E_2, -3.40 *eV* છે. આનો અર્થ એ કે હાઈડ્રોજન પરમાણુમાં ઈલેક્ટ્રૉનને તેની પ્રથમ ઉત્તેજિત અવસ્થા સુધી ઉત્તેજિત કરવા માટે જરૂરી ઊર્જા $E_2 - E_1 = -3.4$ *eV* $- (-13.6$ *eV*$) = 10.2$ *eV* છે. તે જ પ્રમાણે $E_3 = -1.51$ *eV* અને $E_3 - E_1 = 12.09$ *eV* અથવા હાઈડ્રોજન પરમાણુને તેની ધરા અવસ્થામાંથી બીજી ઉત્તેજિત અવસ્થા ($n = 3$) સુધી ઉત્તેજિત કરવા માટે, 12.09 *eV* ઊર્જાની જરૂર છે, વગેરે. આ ઉત્તેજિત અવસ્થાઓમાંથી ઈલેક્ટ્રૉન ઓછી ઊર્જાવાળી અવસ્થામાં પાછો પડે ત્યારે આ પ્રક્રિયામાં એક ફોટોનનું ઉત્સર્જન કરે છે. આમ, જેમ જેમ હાઈડ્રોજન પરમાણુની ઉત્તેજિતતા વધે છે (એટલે કે જેમ જેમ n વધે છે) તેમ તેમ ઉત્તેજિત પરમાણુમાંથી ઈલેક્ટ્રૉનને મુક્ત કરવા માટે જરૂરી લઘુત્તમ ઊર્જા ઘટતી જાય છે.

સમીકરણ (12.19) પરથી હાઈડ્રોજન પરમાણુની સ્થાયી અવસ્થાઓની ઊર્જા સ્તર આકૃતિ*, બાજુમાંની આકૃતિ (12.8)માં દર્શાવેલ છે. મુખ્ય ક્વૉન્ટમ અંક n,



આકૃતિ 12.8 હાઈડ્રોજન પરમાણુ માટે ઊર્જા સ્તર આકૃતિ. ઓરડાના તાપમાને હાઈડ્રોજન પરમાણુમાં ઈલેક્ટ્રૉન તેનો મોટા ભાગનો સમય ધરા અવસ્થામાં પસાર કરે છે. હાઈડ્રોજન પરમાણુનું આયનીકરણ કરવા માટે ધરા અવસ્થામાંના ઈલેક્ટ્રૉનને 13.6 *eV* ઊર્જા પૂરી પાડવી પડે. [સમક્ષિતિજ રેખાઓ માન્ય (Allowed) ઊર્જા અવસ્થાઓની હાજરી દર્શાવે છે.]

* ઈલેક્ટ્રૉનને E = 0 eVથી ઉપરની કોઈ પણ કુલ ઊર્જા હોઈ શકે છે. આવી પરિસ્થિતિઓમાં ઈલેક્ટ્રૉન મુક્ત છે. આમ, આકૃતિ 12.8માં દર્શાવ્યા મુજબ ઊર્જા અવસ્થાઓનો એક સળંગ વિભાગ (Continuum) છે.

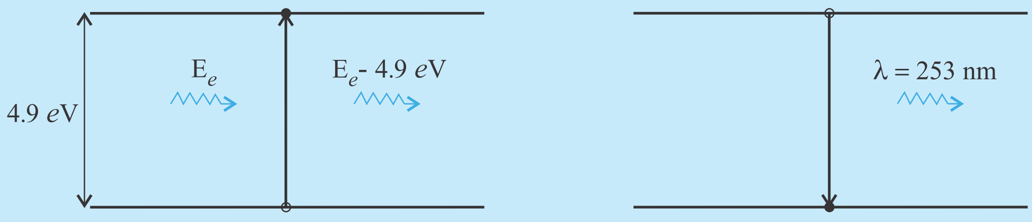
Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

ઊર્જાના ચઢતા ક્રમમાં સ્થાયી અવસ્થાઓને દર્શાવે છે. આ આકૃતિમાં ઉચ્ચતમ ઊર્જા અવસ્થા, સમીકરણ (12.19)માં $n = \infty$ને અનુરૂપ છે અને તેની ઊર્જા 0 eV છે. પરમાણુની આટલી ઊર્જા જ્યારે ઈલેક્ટ્રૉન ન્યુક્લિયસથી સંપૂર્ણ દૂર ($r = \infty$) થઈને સ્થિર હોય ત્યારે હોય છે. જેમ n વધતો જાય તેમ ઉત્તેજિત અવસ્થાઓની ઊર્જાઓ કેવી વધુ ને વધુ નજીક આવે છે તે જુઓ.

ફ્રેન્ક-હર્ટ્ઝનો પ્રયોગ (FRANCK–HERTZ EXPERIMENT)

પરમાણુમાં અમુક નિશ્ચિત ઊર્જા સ્તરોના અસ્તિત્વની પ્રત્યક્ષ ચકાસણી 1914માં જેમ્સ ફ્રેન્ક અને ગુસ્તાવ હર્ટ્ઝ દ્વારા કરવામાં આવી હતી. તેમણે વિવિધ ગતિઊર્જા ધરાવતાં ઈલેક્ટ્રૉનને મરક્યુરિની બાષ્પ (Vapour)માંથી પસાર કરીને મળતા મરક્યુરિ બાષ્પના વર્ણપટનો અભ્યાસ કર્યો. ઈલેક્ટ્રૉન પર જુદી જુદી તીવ્રતા ધરાવતા વિદ્યુતક્ષેત્ર લાગુ પાડીને ઈલેક્ટ્રૉનની ઊર્જા બદલવામાં આવી હતી. ઈલેક્ટ્રૉન મરક્યુરિના પરમાણુ સાથે અથડાઈને મરક્યુરિ પરમાણુઓને ઊર્જા પહોંચાડતા હતા. આવું ત્યારે જ થઈ શકે કે આપાત ઈલેક્ટ્રૉનની ઊર્જા મરક્યુરિ પરમાણુના સ્તરમાં રહેલા ઈલેક્ટ્રૉનની ઊર્જા અને તેની ઉપરના ખાલી સ્તરની ઊર્જાના તફાવત કરતાં, વધુ હોય (જુઓ આકૃતિ). દાખલા તરીકે, ઈલેક્ટ્રૉન વડે ભરાયેલા Hg પરમાણુના ઊર્જા સ્તર અને ઉપરના ખાલી સ્તર વચ્ચેનો તફાવત 4.9 eV છે. જો 4.9 eV જેટલી કે તે કરતાં વધુ ઊર્જા ધરાવતો કોઈ ઈલેક્ટ્રૉન મરક્યુરિ બાષ્પમાંથી પસાર થાય તો મરક્યુરિ પરમાણુમાંનો ઈલેક્ટ્રૉન આ આપાત ઈલેક્ટ્રૉનમાંથી ઊર્જાનું શોષણ કરી શકે અને ઉચ્ચ સ્તર સુધી ઉત્તેજિત થઈ શકે [આકૃતિ (a)]. આ રીતે આપાત થઈને અથડાતા ઈલેક્ટ્રૉનની ઊર્જા આટલી માત્રામાં ઘટે છે.



(a) (b)

ત્યારપછી, આ ઉત્તેજિત ઈલેક્ટ્રૉન વિકિરણનું ઉત્સર્જન કરીને ધરા અવસ્થામાં પાછો પડે છે.

ઉત્સર્જિત વિકિરણની તરંગલંબાઈ

$$\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{6.625 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{8}}{4.9 \times 1.6 \times 10^{-19}} = 253 \text{ nm છે.}$$

પ્રત્યક્ષ માપનમાં ફ્રેન્ક અને હર્ટ્ઝને જણાયું કે મરક્યુરિના ઉત્સર્જન વર્ણપટમાં આ તરંગલંબાઈને અનુરૂપ રેખા હાજર છે. પરમાણુમાં નિશ્ચિત ઊર્જાવાળા સ્તરો અંગે બોહ્‌રના મૂળભૂત વિચાર અને ફોટોનના ઉત્સર્જનની પ્રક્રિયાની આ પ્રાયોગિક ચકાસણી માટે ફ્રેન્ક અને હર્ટ્ઝને 1925માં નૉબેલ પ્રાઈઝ એનાયત થયું હતું.

12.5 હાઈડ્રોજન પરમાણુના રેખીય વર્ણપટ (THE LINE SPECTRA OF THE HYDROGEN ATOM)

બોહ્‌ર મૉડેલની ત્રીજી સ્વીકૃતિ મુજબ, જ્યારે પરમાણુ n_i ક્વૉન્ટમ અંકની ઉચ્ચ ઊર્જા અવસ્થામાંથી, n_f ($n_f < n_i$) ક્વૉન્ટમ અંકની નિમ્ન ઊર્જા અવસ્થામાં સંક્રાંતિ કરે છે ત્યારે તેના ઊર્જા તફાવત જેટલી ઊર્જાનો ફોટોન ઉત્સર્જિત થાય છે, જેની આવૃત્તિ ν_{if} નીચેના સૂત્ર પરથી મળે છે.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

$$h\nu_{if} = E_{n_i} - E_{n_f} \tag{12.20}$$

E_{n_i} અને E_{n_f} માટે સમીકરણ (12.16) પરથી આપણને

$$h\nu_{if} = \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^2}\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right) \tag{12.21}$$

અથવા $$\nu_{if} = \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^3}\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right) \tag{12.22}$$

મળે છે. સમીકરણ (12.21) હાઈડ્રોજન પરમાણુના વર્ણપટ માટે રીડબર્ગનું સૂત્ર છે. આ સૂત્રમાં જો આપણે $n_f = 2$ અને $n_i = 3, 4, 5$ ... લઈએ તો તેનું સ્વરૂપ બામર શ્રેણી માટેના સમીકરણ (12.10) જેવું બને છે. રીડબર્ગના અચળાંક Rની ઓળખ

$$R = \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^3 c} \tag{12.23}$$

તરીકે કરી શકાય છે.

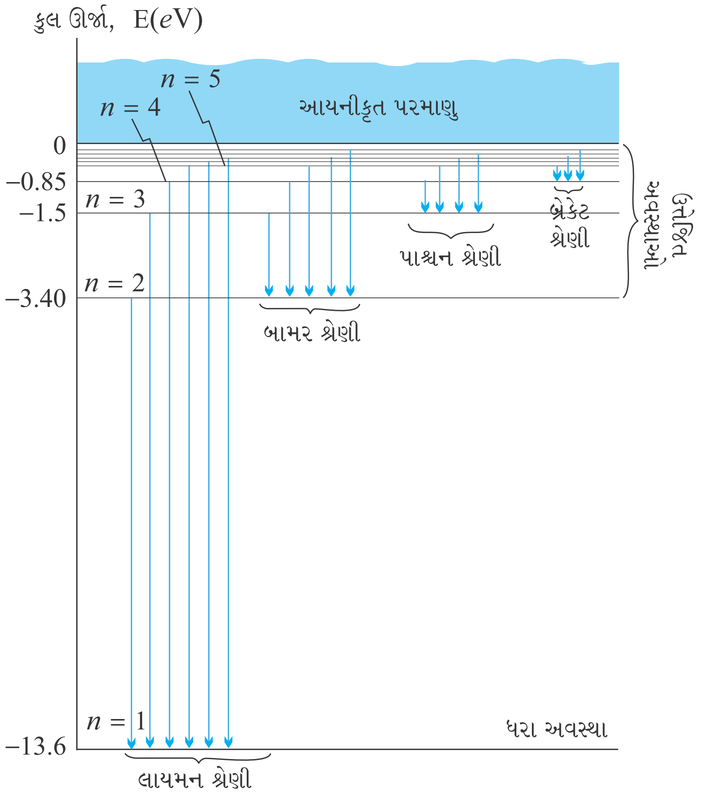
જો આપણે સમીકરણ (12.23)માં જુદા જુદા અચળાંકોનાં મૂલ્યો દાખલ કરીએ તો,

$R = 1.03 \times 10^7 \ m^{-1}$

મળે છે. આ મૂલ્ય બામરના આનુભવિક સૂત્ર પરથી મળતા મૂલ્ય ($1.097 \times 10^7 \ m^{-1}$)ની ખૂબ જ નજીક છે. રીડબર્ગના અચળાંકના સૈદ્ધાંતિક અને પ્રાયોગિક મૂલ્યોની આ સમાનતાએ બોહ્‌ર મૉડેલને પ્રત્યક્ષ અને નોંધપાત્ર સમર્થન પુરું પાડ્યું.

n_f અને n_i બંને પૂર્ણાંકો હોવાથી સમીકરણ (12.22) દર્શાવે છે કે વિવિધ પરમાણુ અવસ્થાઓ વચ્ચેની સંક્રાંતિઓમાં વિવિધ નિશ્ચિત આવૃત્તિઓના પ્રકાશનું ઉત્સર્જન થાય છે. હાઈડ્રોજન વર્ણપટ માટે બામરનું સૂત્ર $n_f = 2$ અને $n_i = 3, 4, 5$ વગેરેને અનુરૂપ છે. બોહ્‌ર મૉડેલના પરિણામોએ હાઈડ્રોજન પરમાણુ માટે બીજા પણ શ્રેણી વર્ણપટો હોવાનું સૂચન કર્યું. જેઓ $n_f = 1$ અને $n_i = 2, 3$ વગેરે, $n_f = 3$ અને $n_i = 4, 5$ વગેરેને અનુરૂપ શ્રેણીઓ અને તે જ પ્રમાણે આગળ બીજી શ્રેણીઓ માટે હોય. આવી શ્રેણીઓ સ્પેક્ટ્રોસ્કોપીક અભ્યાસોમાં જોવા મળી હતી અને તેઓ લાયમન, બામર, પાશ્વન, બ્રેકેટ અને ફંડ શ્રેણીઓ તરીકે ઓળખાય છે. આ શ્રેણીઓને અનુરૂપ ઈલેક્ટ્રૉનની સંક્રાંતિઓ આકૃતિ 12.9માં દર્શાવી છે.

પરમાણુ વર્ણપટોમાં જુદી-જુદી રંગીન પ્રકાશિત રેખાઓ ત્યારે ઉત્પન્ન થાય છે કે જ્યારે ઈલેક્ટ્રૉન ઉચ્ચ ઊર્જા અવસ્થામાંથી નિમ્ન ઊર્જા અવસ્થામાં કૂદી પડીને ફોટોનનું ઉત્સર્જન કરે છે. આ વર્ણપટ-રેખાઓને ઉત્સર્જન રેખાઓ કહે છે. પરંતુ આ જ ઈલેક્ટ્રૉનને નિમ્ન ઊર્જા અવસ્થાથી ઉચ્ચ ઊર્જા અવસ્થામાં સંક્રાંતિ કરવા માટે જરૂરી ઊર્જા જેટલી જ ઊર્જા ધરાવતા ફોટોનને જો પરમાણુ શોષે તો એ ક્રિયાને શોષણ કહે છે. આમ, જો સતત મૂલ્યો ધરાવતી આવૃત્તિઓનાં



આકૃતિ 12.9 ઊર્જા સ્તરો વચ્ચેની સંક્રાંતિથી રેખીય વર્ણપટો ઉદ્‌ભવે છે.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

ફોટોનને અત્યંત ઓછી ઘનતાના વાયુમાંથી પસાર કરી, તેમનું સ્પેક્ટ્રોમીટર વડે વિશ્લેષણ કરવામાં આવે તો એક સળંગ વર્ણપટમાં અપ્રકાશિત એવી શોષણ રેખાઓ જોવા મળે છે. અપ્રકાશિત રેખાઓ, વાયુના પરમાણુ વડે શોષાયેલી આવૃત્તિઓનું સૂચન કરે છે.

બોહ્‌રના મૉડેલ વડે અપાયેલી હાઈડ્રોજન પરમાણુના વર્ણપટની સમજૂતી એક ઉત્કૃષ્ટ સિદ્ધિ હતી, જેનાથી આધુનિક ક્વૉન્ટમ સિદ્ધાંત તરફના વિકાસને પ્રોત્સાહન મળ્યું. 1922માં, બોહ્‌રને ભૌતિકવિજ્ઞાનનું નોબેલ પ્રાઈઝ એનાયત થયું હતું.

ઉદાહરણ 12.6 રીડબર્ગના સૂત્રનો ઉપયોગ કરી, હાઈડ્રોજન વર્ણપટની લાયમન શ્રેણીની પ્રથમ ચાર વર્ણપટ રેખાઓની તરંગલંબાઈઓની ગણતરી કરો.

ઉકેલ રીડબર્ગનું સૂત્ર નીચે મુજબ છે,

$$hc/\lambda_{if} = \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^2}\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right)$$

લાયમન શ્રેણીની પ્રથમ ચાર રેખાઓની તરંગલંબાઈઓ $n_i = 2, 3, 4, 5$ થી $n_f = 1$ સંક્રાંતિઓને અનુરૂપ છે.

$$\frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^2} = 13.6\ eV = 21.76 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

આથી,

$$\lambda_{i1} = \frac{hc}{21.76 \times 10^{-19}\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n_i^2}\right)}\ \text{m}$$

$$= \frac{6.625 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8 \times n_i^2}{21.76 \times 10^{-19} \times (n_i^2 - 1)}\ \text{m} = \frac{0.9134\ n_i^2}{(n_i^2 - 1)} \times 10^{-7}\ \text{m}$$

$$= 913.4\ n_i^2/(n_i^2 - 1)\ \text{Å}$$

$n_i = 2, 3, 4, 5$ અવેજ કરતાં આપણને $\lambda_{21} = 1218$ Å, $\lambda_{31} = 1028$ Å, $\lambda_{41} = 974.3$ Å અને $\lambda_{51} = 951.4$ Å મળે છે.

ઉદાહરણ 12.6

12.6 બોહ્‌રની ક્વૉન્ટમીકરણની બીજી સ્વીકૃતિની ડિ બ્રોગ્લીની સમજૂતી (De Broglie's Explanation of Bohr's Second Postulate of Quantisation)

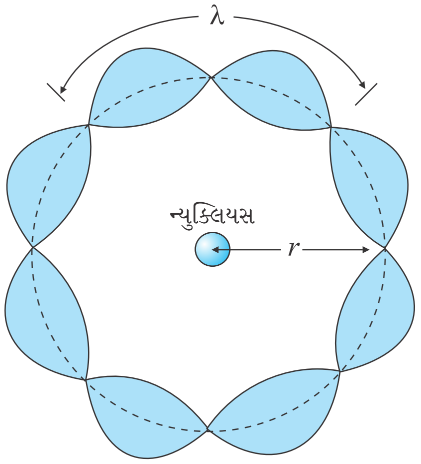
બોહ્‌રે તેના પરમાણુના મૉડેલમાં રજૂ કરેલી સ્વીકૃતિઓમાં સૌથી વધુ કોયડારૂપ તેની બીજી સ્વીકૃતિ છે. તે જણાવે છે કે ન્યુક્લિયસની આસપાસ કક્ષીય ભ્રમણ કરતા ઈલેક્ટ્રૉનનું કોણીય વેગમાન ક્વૉન્ટમીકૃત (Quantised) છે. (એટલે કે, $L_n = nh/2\pi$; $n = 1, 2, 3$ ...). કોણીય વેગમાનને $h/2\pi$ના પૂર્ણાંક ગુણાંક ધરાવતાં મૂલ્યો જ શા માટે હોવાં જોઈએ ? બોહ્‌રે તેનું મૉડેલ રજૂ કર્યું તેના દસ વર્ષ બાદ, 1923માં ફ્રેંચ ભૌતિકવિજ્ઞાની લૂઈ ડિ બ્રોગ્લી (Louis de Broglie) એ આ કોયડાનો ઉકેલ જણાવ્યો.

પ્રકરણ-11માં આપણે શીખ્યા છીએ કે ડિ બ્રોગ્લીના અધિતર્ક મુજબ, ઈલેક્ટ્રૉન જેવાં દ્રવ્ય કણોને પણ તરંગ પ્રકૃતિ (તરંગ સ્વભાવ) હોય છે. પછીથી 1927માં, સી. જે. ડેવિસન અને એલ. એચ. ગર્મર

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

દ્વારા ઈલેક્ટ્રૉનની તરંગ પ્રકૃતિની પ્રાયોગિક ચકાસણી થઈ હતી. લૂઈ ડિ બ્રોગ્લીએ એવી દલીલ કરી કે બોહ્રના સૂચવ્યા મુજબ વર્તુળાકાર કક્ષામાંના ઈલેક્ટ્રૉનને દ્રવ્ય તરંગ (Particle Wave) તરીકે જોવું જોઈએ. દોરી પર પ્રસરતા તરંગોની જેમ, દ્રવ્ય તરંગો પણ અનુનાદ સ્થિતિઓમાં સ્થિત તરંગો ઉપજાવે છે. ધોરણ XIના ભૌતિકવિજ્ઞાનના પાઠ્યપુસ્તકના પ્રકરણ-15 પરથી, આપણે જાણીએ છીએ કે, જ્યારે દોરીને ખેંચીને છોડી દેવામાં આવે (આંચકો આપવામાં આવે–Plucked) ત્યારે મોટી સંખ્યામાં તરંગલંબાઈઓ ઉત્તેજિત થાય છે. આમ છતાં, જે તરંગો માટે છેડાઓ પર નિષ્પંદ બિંદુઓ (Nodes) હોય અને સ્થિત તરંગો રચતા હોય તેવા જ તરંગો ટકી રહે છે. આનો અર્થ એ કે દોરીમાં સ્થિત તરંગો ત્યારે રચાય છે કે જ્યારે તરંગે દોરી પર જતાં અને પાછા આવતાં કાપેલું કુલ અંતર, એક તરંગલંબાઈ, બે તરંગલંબાઈ અથવા તરંગલંબાઈના કોઈ પણ પૂર્ણાંક ગણું હોય. બીજી તરંગલંબાઈઓ ધરાવતાં તરંગો પરાવર્તન થતાં તેમની પોતાની સાથે વ્યતિકરણ અનુભવે છે અને તેમના કંપવિસ્તાર ઝડપી ઘટીને શૂન્ય થાય છે. r_n ત્રિજ્યાની n-મી વર્તુળાકાર કક્ષામાં ભ્રમણ કરતા ઈલેક્ટ્રૉન માટે, કુલ અંતર કક્ષાના પરિઘ $2\pi r_n$ જેટલું છે.



આકૃતિ 12.10 વર્તુળાકાર કક્ષા પર સ્થિત તરંગ દર્શાવેલ છે. જ્યાં, ચાર ડિ બ્રોગ્લી તરંગલંબાઈઓ કક્ષાના પરિઘમાં બંધબેસતી છે.

આમ, $2\pi r_n = n\lambda, \qquad n = 1, 2, 3, \ldots \qquad (12.24)$

આકૃતિ 12.10, $n = 4$ માટેની વર્તુળાકાર કક્ષા પરનું સ્થિત દ્રવ્ય તરંગ દર્શાવે છે, એટલે કે $2\pi r_n = 4\lambda$. જ્યાં, λ એ n-મી કક્ષામાં ભ્રમણ કરતાં ઈલેક્ટ્રૉનની ડિ બ્રોગ્લી તરંગલંબાઈ છે. પ્રકરણ-11 પરથી આપણને $\lambda = h/p$ મળે છે. જ્યાં, p એ ઈલેક્ટ્રૉનના વેગમાનનું મૂલ્ય છે. જો ઈલેક્ટ્રૉનની ઝડપ પ્રકાશની ઝડપ કરતાં ઘણી ઓછી હોય તો વેગમાન mv_n છે. આમ, $\lambda = h/mv_n$. સમીકરણ (12.24) પરથી આપણને $2\pi r_n = nh/mv_n$ અથવા $mv_n r_n = nh/2\pi$ મળે છે.

આ જ ઈલેક્ટ્રૉનના કોણીય વેગમાન માટે બોહ્રે સૂચવેલ ક્વૉન્ટમ શરત [સમીકરણ (12.13)] છે. પરિચ્છેદ 12.5માં આપણે જોયું છે કે હાઈડ્રોજન પરમાણુમાં નિશ્ચિત કક્ષાઓ અને ઊર્જા સ્તરોની સમજૂતીમાં આ સમીકરણ પાયારૂપ છે. આમ, ડિ બ્રોગ્લી અધિતર્કે, કક્ષામાં ભ્રમણ કરતા ઈલેક્ટ્રૉનના કોણીય વેગમાનના ક્વૉન્ટમીકરણ માટેની બોહ્રની બીજી સ્વીકૃતિની સમજૂતી આપી. ક્વૉન્ટમીકૃત ઈલેક્ટ્રૉન કક્ષાઓ અને ઊર્જા અવસ્થાઓ ઈલેક્ટ્રૉનના તરંગ સ્વરૂપના કારણે છે અને માત્ર અનુનાદિત સ્થિત તરંગો ટકી શકે છે.

ગતિપથ અંગેનું પ્રચલિત ચિત્ર (સૂર્યની આસપાસ ગ્રહની જેમ ન્યુક્લિયસની આસપાસ કક્ષામાં ભ્રમણ કરતો ઈલેક્ટ્રૉન) ધરાવતું બોહ્રનું મૉડેલ હાઈડ્રોજન જેવા પરમાણુઓના* મોટાભાગનાં લક્ષણો ખાસ કરીને ઉત્સર્જિત અથવા પસંદગીયુક્ત શોષણ કરેલ વિકિરણની આવૃત્તિઓની સાચી આગાહી કરે છે. આમ છતાં આ મૉડેલની ઘણી મર્યાદાઓ છે.

કેટલીક આ મુજબ છે :

(i) બોહ્ર મૉડેલ હાઈડ્રોજન જેવાં પરમાણુઓને લાગુ પડે છે. તેને ફક્ત બે ઈલેક્ટ્રૉન ધરાવતા હિલિયમ જેવા પરમાણુઓ સુધી પણ લાગુ પાડી શકાતું નથી. હાઈડ્રોજન જેવાં પરમાણુઓ માટેનાં બોહ્રના મૉડેલની પદ્ધતિએ જ એક કરતાં વધુ ઈલેક્ટ્રૉનવાળા પરમાણુઓના વિશ્લેષણનો પ્રયાસ કરવામાં આવ્યો હતો પરંતુ તેને કોઈ સફળતા મળી ન હતી. દરેક ઈલેક્ટ્રૉન ધન વિદ્યુતભારિત ન્યુક્લિયસની સાથે જ નહિ પણ બીજા બધા ઈલેક્ટ્રૉન સાથે પણ

* હાઈડ્રોજન જેવા પરમાણુઓ કંઈક ધન વિદ્યુતભાર $+Ze$ ધરાવતા ન્યુક્લિયસ અને એક ઈલેક્ટ્રૉનના બનેલા છે, જ્યાં Z પ્રોટોનની સંખ્યા છે. તેના ઉદાહરણો તરીકે હાઈડ્રોજન પરમાણુ, સીંગલી આયોનાઈઝ્ડ હિલિયમ અને ડબલી આયોનાઈઝ્ડ લિથિયમ વગેરે છે. આ પરમાણુમાં વધારે જટિલ એવી ઈલેક્ટ્રૉન-ઈલેક્ટ્રૉન આંતરક્રિયા અસ્તિત્વ ધરાવતી નથી.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

આંતરક્રિયા કરે છે તે હકીકતમાં જ મુશ્કેલી રહેલી છે. બોહ્‌ર મૉડેલની રચનામાં ધન વિદ્યુતભારિત ન્યુક્લિયસ અને ઈલેક્ટ્રૉન વચ્ચેનું વિદ્યુતબળ સંકળાયેલું છે. તે બહુ ઈલેક્ટ્રૉન પરમાણુઓમાં અનિવાર્યપણે દેખાતા ઈલેક્ટ્રૉન-ઈલેક્ટ્રૉન વચ્ચેના વિદ્યુતબળોનો સમાવેશ કરતું નથી.

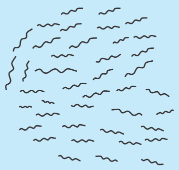
(ii) બોહ્‌ર મૉડેલ, હાઈડ્રોજન પરમાણુઓ વડે ઉત્સર્જિત પ્રકાશની આવૃત્તિઓનું સાચી રીતે પુર્વાનુમાન કરે છે, તેમ છતાં આ મૉડેલ વર્ણપટમાં આવૃત્તિઓની સાપેક્ષ તીવ્રતાઓ સમજાવી શકતું નથી. હાઈડ્રોજનના ઉત્સર્જન વર્ણપટમાં, કેટલીક દૃશ્ય આવૃત્તિઓની તીવ્રતા ઓછી છે અને બીજીની તીવ્રતા વધુ છે. શા માટે ? પ્રાયોગિક અવલોકનો દર્શાવે છે કે કેટલીક સંક્રાંતિઓ અન્ય કરતાં વધારે માનીતી (Favoured) છે. બોહ્‌રનું મૉડેલ તીવ્રતાના ફેરફારો સમજાવવા માટે અશક્ત છે.

બોહ્‌રનું મૉડેલ પરમાણુનું મનોહર ચિત્ર રજૂ કરે છે અને તેને જટિલ પરમાણુઓ માટે લાગુ પાડી શકાતું નથી. જટિલ પરમાણુઓ માટે ક્વૉન્ટમ યંત્રશાસ્ત્ર પર આધારિત મૂળભૂત રીતે અલગ પડતા નવા વાદનો ઉપયોગ કરવો પડે છે.

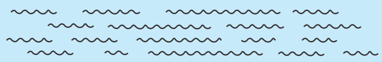
લેસર પ્રકાશ (Laser Light)

ભીડવાળા બજાર અથવા રેલ્વે સ્ટેશનનો વિચાર કરો જેનાં એક દરવાજેથી દાખલ થઈને લોકો બધી દિશામાં જતા હોય. તેમનાં પગલાં અસ્તવ્યસ્ત હોય છે અને તેમની વચ્ચે કોઈ કળા સંબંધ હોતો નથી. બીજી તરફ, મોટી સંખ્યાના સૈનિકો નિયંત્રિક કૂચમાં હોય, તેનો વિચાર કરો. તેમનાં પગલાં (કદમો) વચ્ચે ખૂબ સારો સંબંધ છે. અહીંની આકૃતિ જુઓ.

આ તફાવત, મીણબત્તી કે બલ્બ જેવા સામાન્ય ઉદ્‌ગમ દ્વારા ઉત્સર્જિત પ્રકાશ અને લેસર વડે ઉત્સર્જિત પ્રકાશ વચ્ચેના તફાવત જેવો છે. LASER એ Light Amplification by Stimulated Emission of Radiationનું ટૂંકું સ્વરૂપ છે. 1960માં તેની શરૂઆતથી વિકાસ થતાં તે વિજ્ઞાન અને ટેક્નોલૉજીના દરેક ક્ષેત્રમાં દાખલ થયેલ છે. ભૌતિકવિજ્ઞાન, રસાયણવિજ્ઞાન, જીવવિજ્ઞાન, ઔષધવિજ્ઞાન, શસ્ત્રક્રિયા (Surgery), ઈજનેરી વગેરેમાં તેના ઉપયોગો જણાયા છે. 0.5 mW પાવર જેવા ઓછા પાવરના લેસર પેન્સિલ લેસર્સ કહેવાય છે અને તેઓ દર્શક (Pointer) તરીકે વપરાય છે. જુદા-જુદા પાવરના લેસર પણ હોય છે, જેમાંથી કેટલાક આંખની અથવા હોજરી (Stomach)માંની ગ્રંથિની નાજુક શસ્ત્રક્રિયા માટે યોગ્ય છે. અંતમાં, કેટલાક લેસર સ્ટીલને કાપી શકે કે કાયમી જોડાણ (Welding) કરી શકે તેવા હોય છે.



(a) બલ્બમાંથી આવતો પ્રકાશ



(b) લેસર પ્રકાશ

ઉદ્‌ગમમાંથી પ્રકાશ તરંગોના પેકેટ (Packets) સ્વરૂપે ઉત્સર્જિત થાય છે. સામાન્ય ઉદ્‌ગમમાંથી આવતો પ્રકાશ ઘણી તરંગલંબાઈઓનું મિશ્રણ ધરાવે છે. વળી જુદા જુદા તરંગો વચ્ચે કોઈ કળા-સંબંધ પણ હોતો નથી. તેથી આવો પ્રકાશ, કોઈ છિદ્રમાંથી પસાર કરવામાં આવે તો પણ, ઝડપથી ફેલાઈ જાય છે અને કિરણાવલિનું પરિમાણ અંતર સાથે ઝડપથી વધતું જાય છે. લેસર પ્રકાશની બાબતમાં, દરેક પેકેટની તરંગલંબાઈ લગભગ સમાન હોય છે. વળી, તરંગોના પેકેટની સરેરાશ લંબાઈ ઘણી વધારે હોય છે. આનો અર્થ એ છે કે લાંબા સમયગાળા સુધી ઘણો સારો કળા-સંબંધ હોય છે. આના પરિણામે લેસર કિરણાવલિનું ફેલાઈ જવું ઘણું ઘટી જાય છે.

જો ઉદ્‌ગમમાં N પરમાણુઓ હોય અને દરેક I તીવ્રતાનો પ્રકાશ ઉત્સર્જિત કરતા હોય તો સામાન્ય ઉદ્‌ગમ વડે ઉત્પન્ન થતી તીવ્રતા NIના સમપ્રમાણમાં હોય છે, જ્યારે લેસર ઉદ્‌ગમમાં તે N^2Iને સમપ્રમાણમાં છે. N ખૂબ જ મોટી સંખ્યા છે તેમ વિચારતાં આપણે જોઈ શકીએ છીએ કે સામાન્ય ઉદ્‌ગમમાંથી આવતા પ્રકાશ કરતાં લેસરમાંથી આવતો પ્રકાશ ખૂબ તીવ્ર હોય છે.

જ્યારે એપોલો મિશન (Apollo Mission)ના અવકાશયાત્રીઓ ચંદ્ર પર પહોંચ્યા ત્યારે તેમણે પૃથ્વી તરફ રહે તે રીતે એક અરિસો તેની સપાટી પર મૂક્યો. પછી પૃથ્વી પરના વિજ્ઞાનીઓએ તીવ્ર લેસર કિરણ તેના પર મોકલ્યું જે અરિસા વડે પરાવર્તિત થઈને પૃથ્વી પર પાછું મેળવવામાં આવ્યું હતું. પરાવર્તિત લેસર કિરણનું પરિમાણ (Size) અને યાત્રાનો જવા-આવવાનો કુલ સમય માપવામાં આવ્યો હતો. આ પરથી (*a*) લેસર કિરણના અત્યંત ઓછા ફેલાવાનું અને (*b*) પૃથ્વીથી ચંદ્રના અંતરનું ચોક્સાઈથી માપન થયું હતું.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

સારાંશ

1. પરમાણુ, સમગ્રપણે વિદ્યુતની દૃષ્ટિએ તટસ્થ છે અને તેથી સમાન માત્રામાં/જથ્થામાં ધન અને ઋણ વિદ્યુતભારો ધરાવે છે.
2. *થોમસનના મૉડેલમાં,* પરમાણુ એ ધન વિદ્યુતભારોનું ગોળાકાર વાદળ છે અને તેમાં ઈલેક્ટ્રૉન જડાયેલા (Embedded) છે.
3. *રધરફર્ડના મૉડેલમાં* પરમાણુનું લગભગ બધું દળ અને બધો જ ધન વિદ્યુતભાર સૂક્ષ્મ ન્યુક્લિયસમાં (જે પરમાણુના પરિમાણના દસ હજારમાં ભાગનું પરિમાણ ધરાવે છે તેમાં) કેન્દ્રિત થયેલ છે અને ઈલેક્ટ્રૉન તેની આસપાસ ભ્રમણ કરે છે.
4. રધરફર્ડ ન્યુક્લિયર મૉડેલને પરમાણુનું બંધારણ સમજાવવામાં બે મુખ્ય મુશ્કેલીઓ પડે છે. (a) તે એવું પૂર્વાનુમાન કરે છે કે પરમાણુઓ અસ્થાયી છે કારણકે ન્યુક્લિયસની ફરતે ભ્રમણ કરતા પ્રવેગિત ન્યુક્લિયસ સર્પિલ ગતિ કરીને ન્યુક્લિયસમાં પડી જવા જોઈએ. આ બાબત દ્રવ્યના સ્થાયીપણાનો વિરોધ કરે છે. (b) વિવિધ તત્વોના પરમાણુઓના લાક્ષણિક રેખીય વર્ણપટોને તે સમજાવી શકતું નથી.
5. મોટા ભાગના તત્વના પરમાણુઓ સ્થાયી છે અને લાક્ષણિક વર્ણપટનું ઉત્સર્જન કરે છે. વર્ણપટ અલગ અલગ સમાંતર રેખાઓના સમૂહનો બનેલો છે અને તેને રેખીય વર્ણપટ કહે છે. તે પરમાણુના બંધારણ અંગેની ઉપયોગી માહિતી ધરાવે છે.
6. પરમાણ્વિક હાઈડ્રોજન રેખીય વર્ણપટનું ઉત્સર્જન કરે છે જે વિવિધ શ્રેણીઓનો બનેલો છે. શ્રેણીમાં કોઈ પણ રેખાની આવૃત્તિ બે પદોના તફાવત તરીકે રજૂ કરી શકાય છે :

   લાયમન શ્રેણી : $\nu = Rc\left(\frac{1}{1^2}-\frac{1}{n^2}\right);\ n = 2,\ 3,\ 4\ldots$

   બામર શ્રેણી : $\nu = Rc\left(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{n^2}\right);\ n = 3,\ 4,\ 5\ldots$

   પાશ્ચન શ્રેણી : $\nu = Rc\left(\frac{1}{3^2}-\frac{1}{n^2}\right);\ n = 4,\ 5,\ 6\ldots$

   બ્રેકેટ શ્રેણી : $\nu = Rc\left(\frac{1}{4^2}-\frac{1}{n^2}\right);\ n = 5,\ 6,\ 7\ldots$

   ફંડ શ્રેણી : $\nu = Rc\left(\frac{1}{5^2}-\frac{1}{n^2}\right);\ n = 6,\ 7,\ 8\ldots$

7. પરમાણુ વડે ઉત્સર્જિત રેખીય વર્ણપટ તેમજ પરમાણુઓના સ્થાયીપણાને સમજાવવા માટે નીલ્સ બોહ્‌રે, હાઈડ્રોજન જેવા (એક ઈલેક્ટ્રૉન ધરાવતા) પરમાણુઓ માટે એક મૉડેલ સૂચવ્યું. તેણે ત્રણ સ્વીકૃતિઓ અપનાવી અને ક્વૉન્ટમ યંત્રશાસ્ત્રનો પાયો નાંખ્યો :
   (a) હાઈડ્રોજન પરમાણુમાં ઈલેક્ટ્રૉન અમુક નિશ્ચિત સ્થાયી કક્ષાઓ (જેમને સ્થિર (Stationary) કક્ષાઓ કહે છે)માં વિકિરણ ઊર્જાના ઉત્સર્જન વિના ભ્રમણ કરે છે.
   (b) સ્થાયી કક્ષાઓ એ છે કે જેમાં કોણીય વેગમાન $h/2\pi$ના પૂર્ણાંક ગણું છે (બોહ્‌રની ક્વૉન્ટમીકરણની શરત). એટલે કે $L = nh/2\pi$ જ્યાં n એ પૂર્ણાંક છે જેને મુખ્ય ક્વૉન્ટમ અંક કહે છે.
   (c) ત્રીજી સ્વીકૃતિ જણાવે છે કે ઈલેક્ટ્રૉન તેની કોઈ એક નિશ્ચિત, વિકિરણનું ઉત્સર્જન ન કરતી હોય તેવી, કક્ષામાંથી બીજી ઓછી ઊર્જા ધરાવતી કક્ષામાં સંક્રાંતિ કરી શકે છે. જ્યારે તે આમ કરે, ત્યારે એક ફોટોન ઉત્સર્જિત થાય છે જેની ઊર્જા, પ્રારંભિક અને અંતિમ અવસ્થાઓની, ઊર્જાના તફાવત જેટલી હોય છે. આ પરથી ઉત્સર્જિત ફોટોનની આવૃત્તિ

   $h\nu = E_i - E_f$

   દ્વારા મળે છે. પરમાણુ જે આવૃત્તિનું ઉત્સર્જન કરે છે તે જ આવૃત્તિના વિકિરણનું શોષણ કરે છે અને તે કિસ્સામાં ઈલેક્ટ્રૉન nના ઊંચા મૂલ્યની કક્ષામાં સંક્રાંતિ કરે છે.

   $E_i + h\nu = E_f$

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

8. કોણીય વેગમાનના ક્વૉન્ટમીકરણની શરતના પરિણામે ઈલેક્ટ્રૉન ન્યુક્લિયસની ફરતે ફક્ત અમુક નિશ્ચિત ત્રિજ્યાઓની કક્ષામાં જ ભ્રમણ કરે છે. હાઈડ્રોજન પરમાણુ માટે આ ત્રિજ્યાઓ $r_n = \left(\frac{n^2}{m}\right)\left(\frac{h}{2\pi}\right)^2\left(\frac{4\pi\varepsilon_0}{e^2}\right)$ વડે અપાય છે.
કુલ ઊર્જાનું પણ ક્વૉન્ટમીકરણ થયેલ છે.
$$E_n = -\frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^2 n^2}$$
$$= -13.6\ eV/n^2$$
$n = 1$ અવસ્થાને ધરા અવસ્થા કહે છે. હાઈડ્રોજન પરમાણુમાં ધરા અવસ્થાની ઊર્જા -13.6 eV છે. nનાં ઊંચા મૂલ્યો ($n > 1$) ઉત્તેજિત અવસ્થાઓને અનુરૂપ છે. પરમાણુઓ, બીજા પરમાણુઓ કે ઈલેક્ટ્રૉન સાથેની અથડામણોથી અથવા યોગ્ય આવૃત્તિના ફોટોનના શોષણથી આ ઊંચી અવસ્થાઓ સુધી ઉત્તેજિત થાય છે.
9. તરંગ-કણની દ્વૈત પ્રકૃતિનો ઉપયોગ કરી ઈલેક્ટ્રૉનને h/mv જેટલી તરંગલંબાઈ છે એવા ડિ બ્રોગ્લીના અધિતર્ક વડે બોહ્‌રની ક્વૉન્ટમીકૃત કક્ષાઓની સમજૂતી આપી શકાઈ હતી. કક્ષાઓ, વર્તુળાકાર સ્થિત તરંગોને અનુરૂપ છે, જેમાં કક્ષાનો પરિઘ તરંગલંબાઈના પૂર્ણાંક જેટલો હોય છે.
10. બોહ્‌રનું મૉડેલ માત્ર હાઈડ્રોજન જેવા (એક ઈલેક્ટ્રૉન ધરાવતા) પરમાણુઓને જ લાગુ પડે છે. તે હિલિયમ જેવા બે ઈલેક્ટ્રૉન ધરાવતા પરમાણુઓને પણ લાગુ પાડી શકાતું નથી. આ મૉડેલ, હાઈડ્રોજન જેવા પરમાણુઓ વડે ઉત્સર્જિત આવૃત્તિઓની સાપેક્ષ તીવ્રતાઓને પણ સમજાવી શકતું નથી.

ગહન વિચારણાના મુદ્દાઓ

1. થોમસન અને રધરફર્ડ બંનેનાં મૉડેલ એક અસ્થાયી તંત્ર રચે છે. થોમસનનું મૉડેલ સ્થિત વિદ્યુતની દૃષ્ટિએ અસ્થાયી છે, જ્યારે રધરફર્ડનું મૉડેલ કક્ષામાં ભ્રમણ કરતા ઈલેક્ટ્રૉન દ્વારા વિદ્યુતચુંબકીય વિકિરણના ઉત્સર્જનને કારણે અસ્થાયી છે.
2. બોહ્‌રે કોણીય વેગમાનનું ક્વૉન્ટમીકરણ કર્યું (બીજી સ્વીકૃતિ) અને બીજી કોઈક રાશિનું કેમ ન કર્યું ? એ નોંધો કે hને કોણીય વેગમાનનાં પરિમાણ છે, અને વર્તુળાકાર કક્ષાઓ માટે કોણીય વેગમાન એ બહુ સુસંગત રાશિ છે. આથી બીજી સ્વીકૃતિ તદ્દન સ્વાભાવિક છે.
3. હાઈડ્રોજન પરમાણુના બોહ્‌ર મૉડેલમાં કક્ષાનું ચિત્ર અનિશ્ચિતતાના સિદ્ધાંત (Uncertainty Principle) સાથે સુસંગત ન હતો. તેને સ્થાને અર્વાચિન ક્વૉન્ટમ યંત્રશાસ્ત્રનો સ્વીકાર થયો કે જેમાં બોહ્‌રની કક્ષાઓ એવા વિસ્તારો છે કે જ્યાં ઈલેક્ટ્રૉનને શોધવાની સંભાવના (Probability) વધુ છે.
4. સૂર્યમંડળની પરિસ્થિતિમાં ગ્રહ-ગ્રહ વચ્ચેનાં ગુરુત્વ બળો, સૂર્યના દરેક ગ્રહ પરના બળ કરતાં ઘણા નાનાં છે (કારણ કે સૂર્યનું દળ કોઈ પણ ગ્રહના દળ કરતાં ઘણું વધારે છે.) આથી વિપરિત ઈલેક્ટ્રૉન-ઈલેક્ટ્રૉન વચ્ચેનું વિદ્યુતબળ, ઈલેક્ટ્રૉન-ન્યુક્લિયસ વિદ્યુતબળ સાથે સરખાવી શકાય તેવા માનનું હોય છે, કારણ કે વિદ્યુતભારો અને અંતરો માનના એકસરખા ક્રમનાં છે. આ કારણથી ગ્રહ - જેવા ઈલેક્ટ્રૉન સાથેનું બોહ્‌ર મૉડેલ બહુ-ઈલેક્ટ્રૉન પરમાણુઓને લાગુ પાડી શકાતું નથી.
5. બોહ્‌રે, જેમાં ઈલેક્ટ્રૉન વિકિરણ ઉત્સર્જિત કરતા નથી એવી વિશિષ્ટ કક્ષાઓની સ્વીકૃતિ અપનાવીને ક્વૉન્ટમ સિદ્ધાંતનો પાયો નાંખ્યો. બોહ્‌રનું મૉડેલ માત્ર એક ક્વૉન્ટમ અંક n નો સમાવેશ કરે છે. ક્વૉન્ટમ યંત્રશાસ્ત્ર તરીકે ઓળખાતો નવો સિદ્ધાંત બોહ્‌રની સ્વીકૃતિનું

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

સમર્થન કરે છે. આમ છતાં, ક્વૉન્ટમ યંત્રશાસ્ત્રમાં (જે વધુ વ્યાપકપણે સ્વીકારાયું છે, તેમાં), આપેલ ઊર્જા સ્તર માત્ર એક જ ક્વૉન્ટમ અવસ્થાને અનુરૂપ નહિ હોય. દાખલા તરીકે, કોઈ અવસ્થા ચાર ક્વૉન્ટમ અંકો (n, l, m અને s) દ્વારા લાક્ષણિક બને છે, પરંતુ (હાઈડ્રોજન પરમાણુની જેમ) શુદ્ધ કુલંબ સ્થિતિમાન માટે ઊર્જા ફક્ત n પર આધાર રાખે છે.

6. બોહ્‌રના મૉડેલમાં, સામાન્ય પ્રચલિત અપેક્ષા કરતાં વિરૂદ્ધ, ઈલેક્ટ્રૉનની તેની કક્ષામાંના ભ્રમણની આવૃત્તિને વર્ણપટની રેખાની આવૃત્તિ સાથે કોઈ સંબંધ નથી. રેખાની આવૃત્તિ બે કક્ષીય ઊર્જાઓના તફાવત ભાગ્યા h જેટલી છે. આમ છતાં, મોટા ક્વૉન્ટમ અંકો વચ્ચેની સંક્રાંતિઓ (n થી $n-1$, n ઘણો મોટો) માટે તેઓ બંને અપેક્ષા મુજબ એક જ બની જાય છે.

7. બોહ્‌રનું કેટલાક પ્રચલિત અને કેટલાક અર્વાચિન ભૌતિકવિજ્ઞાનના ખ્યાલો પર આધારિત અર્ધ-પ્રચલિત (Semi Classical) મૉડેલ, સાદામાં સાદા હાઈડ્રોજન જેવા પરમાણુઓનું સાચું ચિત્ર રજૂ કરતું નથી. સાચું ચિત્ર ક્વૉન્ટમ યંત્રશાસ્ત્રની બાબત છે જે બોહ્‌ર મૉડેલ કરતાં ઘણી મૂળભૂત રીતે જુદું પડે છે. પણ તો પછી જો બોહ્‌ર મૉડેલ તદ્દન સાચું ન હોય તો આપણે તેની ચિંતા શા માટે કરીએ છીએ ? આ બધું છતાં બોહ્‌ર મૉડેલને ઉપયોગી બનાવતાં કારણો આ છે :
   (i) મૉડેલ માત્ર ત્રણ સ્વીકૃતિઓ પર આધારિત છે પણ હાઈડ્રોજન વર્ણપટનાં લગભગ બધાં સામાન્ય લક્ષણોને સમજાવે છે.
   (ii) મૉડેલમાં આપણે પ્રચલિત ભૌતિકવિજ્ઞાનમાં શીખ્યા હોઈએ તેવા ઘણા ખ્યાલોને સમાવેલા છે.
   (iii) એક સૈદ્ધાંતિક ભૌતિકવિજ્ઞાનીએ, કોઈકવાર કોયડાના ઉકેલના અભિગમમાંની કેટલીક મુશ્કેલીઓ, કેવી રીતે શબ્દશઃ અવગણવી જોઈએ કે જેથી બીજા કેટલાંક પૂર્વાનુમાન કરવાની આશા રાખી શકાય, તે આ મૉડેલ દર્શાવે છે. જો મૉડેલ કે સિદ્ધાંતનાં આ પૂર્વાનુમાન પ્રયોગ સાથે સંમત થાય તો, સિદ્ધાંતવાદીએ જે મુશ્કેલીઓને અવગણી હતી તેને તાર્કિક રીતે સમજાવવાની આશા ગમે તેમ કરીને રાખવી જ જોઈએ.

સ્વાધ્યાય

12.1 દરેક વિધાનને અંતે આપેલ શબ્દ/શબ્દ સમૂહોમાંથી સાચો વિકલ્પ પસંદ કરો :

(a) થોમસનના મૉડેલમાં પરમાણુનું પરિમાણ, રધરફર્ડના મૉડેલમાં પરમાણુના પરિમાણ .... છે. (કરતાં ઘણું મોટું / થી જુદું નથી / કરતાં ઘણું નાનું)

(b) .... ની ધરા અવસ્થામાં ઈલેક્ટ્રૉન સ્થાયી સંતુલનમાં છે જ્યારે .... માં ઈલેક્ટ્રૉન હંમેશાં ચોખ્ખું (Net) બળ અનુભવે છે. (થોમસન મૉડેલ / રધરફર્ડ મૉડેલ)

(c) .... પર આધારિત પ્રચલિત પરમાણુનું ભાગ્ય જ પડી ભાંગવાનું છે. (થોમસન મૉડેલ / રધરફર્ડ મૉડેલ)

(d) .... માં પરમાણુ લગભગ સતત દળ વિતરણ ધરાવે છે પરંતુ .... માં પરમાણુ ખૂબ જ અસતત દળ વિતરણ ધરાવે છે. (થોમસન મૉડેલ / રધરફર્ડ મૉડેલ)

(e) .... માં પરમાણુનો ધન વિદ્યુતભારિત વિભાગ લગભગ બધું દળ ધરાવે છે. (રધરફર્ડ મૉડેલ / બંને મૉડેલ)

12.2 ધારો કે તમને આલ્ફા-કણ પ્રકિર્ણનનો પ્રયોગ સુવર્ણના વરખને સ્થાને ઘન (Solid) હાઈડ્રોજન વાપરીને કરવાની તક આપવામાં આવે છે. (હાઈડ્રોજન 14 K થી નીચા તાપમાને ઘન હોય છે) તમે કેવાં પરિણામોની અપેક્ષા રાખશો ?

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

12.3 વર્ણપટ રેખાઓની પાશ્ચન શ્રેણીમાં ટૂંકામાં ટૂંકી કઈ તરંગલંબાઈ હાજર છે ?

12.4 એક પરમાણુમાં 2.3 eV તફાવત બે ઊર્જા સ્તરોને જુદા પાડે છે. જ્યારે પરમાણુ ઉચ્ચ સ્તરથી નિમ્નસ્તર પર સંક્રાંતિ કરે ત્યારે ઉત્સર્જિત વિકિરણની આવૃત્તિ કેટલી હશે ?

12.5 હાઈડ્રોજન પરમાણુની ધરા અવસ્થાની ઊર્જા −13.6 eV છે. આ અવસ્થામાં ઈલેક્ટ્રૉનની ગતિઊર્જા અને સ્થિતિઊર્જા કેટલી હશે ?

12.6 પ્રારંભમાં ધરા સ્થિતિમાં રહેલો હાઈડ્રોજન પરમાણુ એક ફોટોનનું શોષણ કરે છે, જે તેને $n = 4$ સ્તર સુધી ઉત્તેજિત કરે છે. આ ફોટોનની આવૃત્તિ અને તરંગલંબાઈ શોધો.

12.7 (a) બોહ્‌ર મૉડેલનો ઉપયોગ કરીને n = 1, 2 અને 3 સ્તરોમાં હાઈડ્રોજન પરમાણુમાંના ઈલેક્ટ્રૉનની ઝડપની ગણતરી કરો. (b) આ દરેક સ્તર માટે કક્ષીય આવર્તકાળ શોધો.

12.8 હાઈડ્રોજન પરમાણુની સૌથી અંદરની ઈલેક્ટ્રૉન કક્ષાની ત્રિજ્યા 5.3×10^{-11} m છે. $n = 2$ અને $n = 3$ કક્ષાઓની ત્રિજ્યાઓ કેટલી હશે ?

12.9 ઓરડાના તાપમાને 12.5 eVની ઈલેક્ટ્રૉન કિરણાવલિ વાયુરૂપ હાઈડ્રોજન પર મારો ચલાવવા માટે વપરાય છે. તરંગલંબાઈઓની કઈ શ્રેણી(ઓ) ઉત્સર્જિત થશે ?

12.10 બોહ્‌ર મૉડેલ અનુસાર, સૂર્યની આસપાસ 3×10^{4} m/sની ઝડપથી 1.5×10^{11} mની ત્રિજ્યા ધરાવતી કક્ષામાંના પૃથ્વીના ભ્રમણને રજૂ કરતો ક્વૉન્ટમ અંક શોધો.
(પૃથ્વીનું દળ = 6.0×10^{24} kg)

વધારાના સ્વાધ્યાય

12.11 નીચેના પ્રશ્નોના જવાબ આપો જે તમને થોમસન મૉડેલ અને રધરફર્ડ મૉડેલ વચ્ચેનો તફાવત સમજવામાં સારી મદદ કરશે.

(a) પાતળા સુવર્ણ વરખ વડે થતા α-કણોના વિચલન (આવર્તન)ના સરેરાશ કોણ અંગે થોમસન મૉડેલનું પૂર્વાનુમાન રધરફર્ડ મૉડેલના પૂર્વાનુમાન કરતાં, ઘણું ઓછું, લગભગ તેટલું જ કે ઘણું વધારે છે ?

(b) પશ્ચાદ્‌વર્તી (પાછળ તરફનું, Backward) પ્રકીર્ણન (એટલે કે 90° કરતાં મોટા કોણે α-કણોનું પ્રકીર્ણન)ની સંભાવના અંગે થોમસન મૉડેલનું પૂર્વાનુમાન રુધરફર્ડ મૉડેલના પૂર્વાનુમાન કરતાં ઘણું ઓછું, લગભગ તેટલું જ કે ઘણું વધારે છે ?

(c) પ્રયોગથી એવું જણાય છે કે બીજા પરિબળો અચળ રાખતાં, ઓછી જાડાઈ t માટે, મધ્યમ (Moderate) કોણે પ્રકીર્ણન પામતા α-કણોની સંખ્યા, t ના સમપ્રમાણમાં છે. t પરની આ સપ્રમાણતા શું સૂચવે છે ?

(d) પાતળા વરખ દ્વારા α-કણોના પ્રકીર્ણનના સરેરાશ કોણની ગણતરીમાં એક કરતાં વધુ (Multiple) પ્રકીર્ણન થવાનું અવગણવું કયા મૉડેલમાં સંપૂર્ણપણે ખોટું છે ?

12.12 હાઈડ્રોજન પરમાણુમાં ઈલેક્ટ્રૉન અને પ્રોટોન વચ્ચેનું ગુરુત્વાકર્ષણ, કુલંબ આકર્ષણ કરતાં 10^{-40} ગણું નાનું છે. આ હકીકતને જોવાની એક વૈકલ્પિક રીત, ઈલેક્ટ્રૉન અને પ્રોટોન ગુરુત્વાકર્ષણથી બંધિત હોત તો હાઈડ્રોજન પરમાણુની પ્રથમ બોહ્‌ર કક્ષાની ત્રિજ્યાનો અંદાજ મેળવવાની છે. તમને તેનો ઉત્તર રસપ્રદ લાગશે.

12.13 હાઈડ્રોજન પરમાણુ સ્તર nથી $(n - 1)$ સ્તર પર સંક્રાંતિ કરે ત્યારે ઉત્સર્જિત વિકિરણની આવૃત્તિ માટેનું સૂત્ર મેળવો. n ના મોટા મૂલ્ય માટે, દર્શાવો કે આ આવૃત્તિ, કક્ષામાં ઈલેક્ટ્રૉનના ભ્રમણની પ્રચલિત આવૃત્તિ બરાબર છે.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

12.14 પ્રચલિત સિદ્ધાંતો મુજબ, ન્યુક્લિયસની ફરતે ઈલેક્ટ્રૉન કોઈ પણ કક્ષામાં હોઈ શકે છે. તો પછી પરમાણુનું લાક્ષણિક પરિમાણ શાના પરથી નક્કી થાય છે ? પરમાણુ તેના લાક્ષણિક પરિમાણ કરતાં હજાર ગણો મોટો કેમ નથી ? આ પુસ્તકમાં તમે શીખ્યા તે પ્રખ્યાત મૉડેલ પર પહોંચતાં અગાઉ બોહ્‌રને આ પ્રશ્નએ ખૂબ મૂંઝવી દીધો હતો ? તેણે શોધ અગાઉ શું કર્યું હશે તેને મૂર્તિમંત (Simulate) કરવા માટે, કુદરતના મૂળભૂત અચળાંકોની મદદથી, આપણે નીચેની રમત કરીએ અને જોઈએ કે આપણને પરમાણુના જાણીતા પરિમાણ ($\sim 10^{-10}$ m)ના લગભગ જેટલી લંબાઈનું પરિમાણ ધરાવતી રાશિ મળે છે કે કેમ ?

(a) મૂળભૂત અચળાંકો e, m_e અને c પરથી લંબાઈના પરિમાણ ધરાવતી રાશિ રચો. તેનું સંખ્યાત્મક મૂલ્ય શોધો.

(b) તમે જોશો કે (a)માં મેળવેલી લંબાઈ, પરમાણુના પરિમાણ કરતાં માનના (મૂલ્યના) ઘણાં ક્રમોથી નાની છે. ઉપરાંત તેમાં c રહેલ છે. પરંતુ પરમાણુઓની ઊર્જાઓ મહદ્અંશે બિન-સાપેક્ષવાદીય વિસ્તારોમાં હોય છે જ્યાં c કોઈ મહત્વનો ભાગ ભજવે છે તે અપેક્ષિત નથી. કદાચ આ બાબતે બોહ્‌રને એમ સૂચવ્યું હશે કે c ને દૂર કરવો અને પરમાણુનું સાચું પરિમાણ મેળવવા માટે 'કંઈક બીજું' શોધવું. હવે, તે ગાળામાં પ્લેન્કના અચળાંક h એ અન્ય સ્થળે દેખા દીધેલી જ હતી. h, m_e અને e પરમાણુનું સાચું પરિમાણ આપશે એવું ઓળખવામાં (સમજવામાં), બોહ્‌રનું મહાન અંતર્દર્શન (Insight) રહેલું છે. h, m_e અને e પરથી લંબાઈનાં પરિમાણ ધરાવતી રાશિ રચો અને તેનું સંખ્યાત્મક મૂલ્ય માનનો સાચો ક્રમ ધરાવે છે તેમ ચકાસીને પુષ્ટિ કરો.

12.15 હાઈડ્રોજન પરમાણુની પ્રથમ ઉત્તેજિત અવસ્થામાં ઈલેક્ટ્રૉનની કુલ ઊર્જા લગભગ -3.4 eV છે.

(a) આ અવસ્થામાં ઈલેક્ટ્રૉનની ગતિઊર્જા કેટલી હશે ?

(b) આ અવસ્થામાં ઈલેક્ટ્રૉનની સ્થિતિઊર્જા કેટલી હશે ?

(c) સ્થિતિઊર્જાનું મૂલ્ય શૂન્ય લેવાની પસંદગી બદલવામાં આવે તો ઉપરનામાંથી કયો જવાબ બદલાઈ જશે ?

12.16 જો બોહ્‌રની ક્વૉન્ટમીકરણ (કોણીય વેગમાન $= nh/2\pi$)ની સ્વીકૃતિ, કુદરતનો મૂળભૂત નિયમ હોય તો તે ગ્રહોની ગતિના કિસ્સા માટે પણ સમાનરૂપે માન્ય રહેવો જોઈએ. તો પછી આપણે સૂર્યની આસપાસ ગ્રહોની કક્ષાઓના ક્વૉન્ટમીકરણ અંગે કદી કહેતા કેમ નથી ?

12.17 *મ્યુઓનિક (Muonic) હાઈડ્રોજન પરમાણુ* (એટલે કે એવો પરમાણુ કે જેમાં પ્રોટોનની આસપાસ લગભગ 207 m_e દળનો ઋણ વિદ્યુતભાર ધરાવતો મ્યુઓન (Muon– μ^-) કક્ષીય ભ્રમણ કરે છે.) માટે પ્રથમ બોહ્‌ર ત્રિજ્યા અને ધરા અવસ્થાની ઊર્જા મેળવો.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

પ્રકરણ તેર

ન્યુક્લિયસ (NUCLEI)

13.1 પ્રસ્તાવના (INTRODUCTION)

અગાઉના પ્રકરણમાં આપણે શીખ્યા છીએ કે દરેક પરમાણુમાં ધન વિદ્યુતભાર અને દળ ઘનીષ્ટ રીતે પરમાણુના કેન્દ્ર પર સંકેન્દ્રિત થયેલાં છે અને તેનું ન્યુક્લિયસ (નાભિ) રચે છે. સમગ્રપણે ન્યુક્લિયસનાં પરિમાણ પરમાણુના પરિમાણ કરતાં ઘણાં નાનાં હોય છે. α-કણોના પ્રકીર્ણન (Scattering)ના પ્રયોગોએ દર્શાવ્યું કે ન્યુક્લિયસની ત્રિજ્યા પરમાણુની ત્રિજ્યા કરતાં 10^4 ગણી નાની છે. આનો અર્થ એ કે ન્યુક્લિયસનું કદ પરમાણુના કદના 10^{-12} ગણું છે. બીજા શબ્દોમાં પરમાણુ લગભગ ખાલી (Empty) છે. જો પરમાણુને એક વર્ગ-ખંડના માપ જેટલો વિવર્ધિત (Enlarged) કરીએ તો ન્યુક્લિયસ એક ટાંકણીની ટોચ (Pin Head) જેટલા માપનું હોય. આમ હોવા છતાં પણ ન્યુક્લિયસ પરમાણુનું લગભગ બધું (99.9 % કરતાં વધુ) દળ ધરાવે છે.

શું ન્યુક્લિયસને પરમાણુને હોય છે તેમ બંધારણ છે ? જો હોય તો ન્યુક્લિયસના ઘટકો કયા કયા છે ? તેઓ કેવી રીતે એક સાથે જકડાયેલાં છે ? આ પ્રકરણમાં આપણે આવા પ્રશ્નોના ઉત્તરો મેળવીશું. આપણે ન્યુક્લિયસના પરિમાણ, દળ અને સ્થાયીપણું (Stability) જેવાં વિવિધ ગુણધર્મો અને રેડિયો ઍક્ટિવિટી, વિખંડન અને સંલયન જેવી સંબંધિત ઘટનાઓની ચર્ચા કરીશું.

13.2 પરમાણુ દળો અને ન્યુક્લિયસનું બંધારણ (ATOMIC MASSES AND COMPOSITION OF NUCLEUS)

પરમાણુનું દળ કિલોગ્રામની સરખામણીએ ઘણું નાનું છે; દાખલા તરીકે, કાર્બન પરમાણુ ^{12}Cનું દળ 1.992647×10^{-26} kg છે. આવી નાની રાશિઓ માપવા માટે કિલોગ્રામ બહુ સગવડભર્યો એકમ નથી.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

આથી, પરમાણુ દળોને દર્શાવવા માટે દળનો જુદો એકમ વપરાય છે. આ એકમ atomic mass unit (u) છે જેને કાર્બન (^{12}C) પરમાણુના દળના બારમા ભાગ (1/12) તરીકે વ્યાખ્યાયિત કરવામાં આવે છે. આ વ્યાખ્યા મુજબ

$$1\,u = \frac{\text{એક } ^{12}\text{C પરમાણુનું દળ}}{12}$$

$$= \frac{1.992647 \times 10^{-26}\,\text{kg}}{12}$$

$$= 1.660539 \times 10^{-27}\ \text{kg} \qquad (13.1)$$

જુદા જુદા તત્વોનાં પરમાણુદળોને atomic mass unit (u)માં દર્શાવતાં હાઈડ્રોજન પરમાણુના દળના પૂર્ણાંક ગુણકોની નજીકનાં હોવાનું જણાય છે. જો કે આ નિયમને ઘણા નોંધપાત્ર અપવાદો છે. દાખલા તરીકે, ક્લોરિનનું પરમાણુ દળ 35.46 u છે.

પરમાણુ દળોનું ચોક્સાઈભર્યું માપન માસ-સ્પેક્ટ્રોમીટર વડે થાય છે. પરમાણુ દળોનું માપન એક જ તત્વના વિવિધ પ્રકારના પરમાણુઓ કે જેઓ એકસમાન રાસાયણિક ગુણધર્મો ધરાવે પરંતુ દળમાં જુદા હોય તેમનું અસ્તિત્વ હોવાનું દર્શાવે છે. એક જ તત્વના પણ દળમાં જુદા હોય તેવા પરમાણુઓના પ્રકારને *સમસ્થાનિકો* (*Isotopes*) કહે છે. ગ્રીકમાં Isotope એટલે તે જ સ્થાન; એટલે કે તત્વોના આવર્ત કોષ્ટકમાં તેઓ એક જ સ્થાનમાં રહેલા છે.

લગભગ દરેક તત્વ ઘણાં સમસ્થાનિકોનું મિશ્રણ ધરાવતું હોવાનું જણાયું હતું. વિવિધ સમસ્થાનિકોનું સાપેક્ષ પ્રમાણ જુદાં જુદાં તત્વોમાં જુદું જુદું હોય છે. દાખલા તરીકે, ક્લોરિનને 34.98 u અને 36.98 u દળના બે સમસ્થાનિકો છે. તે હાઈડ્રોજનના દળના પૂર્ણાંક ગુણાંકની નજીક છે. આ સમસ્થાનિકોનું સાપેક્ષ પ્રમાણ અનુક્રમે 75.4 અને 24.6 ટકા છે. આમ ક્લોરિન પરમાણુનું સરેરાશ દળ આ બે સમસ્થાનિકોના દળોના ભારિત (Weighted) સરેરાશ પરથી મળે છે. આ મુજબ તે

$$= \frac{75.4 \times 34.98 + 24.6 \times 36.98}{100}$$

$$= 35.47\,u$$

મળે છે જે ક્લોરિનના પરમાણુ દળ સાથે સામ્ય ધરાવે છે. સૌથી હલકા તત્વ હાઈડ્રોજનને પણ 1.0078 u, 2.0141 u અને 3.0160 u દળના ત્રણ સમસ્થાનિકો છે. હાઈડ્રોજનના સૌથી હલકા પરમાણુ કે જેનું સાપેક્ષ પ્રમાણ 99.985 % છે તેના ન્યુક્લિયસને પ્રોટોન કહે છે. પ્રોટોનનું દળ

$$m_p = 1.00727\,u = 1.67262 \times 10^{-27}\ \text{kg છે.} \qquad (13.2)$$

આ મૂલ્ય હાઈડ્રોજન પરમાણુના દળ (= 1.00783 u) માંથી એક ઈલેક્ટ્રૉન દળ ($m_e = 0.00055\,u$)ને બાદ કરવાથી મળતા મૂલ્ય જેટલું છે. હાઈડ્રોજનના બીજા બે સમસ્થાનિકોને ડ્યુટેરિયમ અને ટ્રિટિયમ કહે છે. ટ્રિટિયમનાં ન્યુક્લિયસ અસ્થાયી હોવાથી કુદરતમાં મળતા નથી પણ પ્રયોગશાળાઓમાં કૃત્રિમ રીતે ઉત્પન્ન કરાય છે.

ન્યુક્લિયસમાંનો ધન વિદ્યુતભાર એ પ્રોટોનનો ધન વિદ્યુતભાર છે. પ્રોટોનને એક એકમનો મૂળભૂત વિદ્યુતભાર છે અને તે સ્થાયી છે. અગાઉ એવું માનવામાં આવતું કે ન્યુક્લિયસ ઈલેક્ટ્રૉન ધરાવતા હશે, પણ પછી ક્વૉન્ટમ સિદ્ધાંતો પર આધારિત દલીલો વડે તે નકારવામાં આવ્યું હતું. પરમાણુના બધા ઈલેક્ટ્રૉન ન્યુક્લિયસની બહાર છે. આપણે જાણીએ છીએ કે

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

પરમાણુના ન્યુક્લિયસની બહાર આવા ઈલેક્ટ્રૉનની સંખ્યા, એ પરમાણુ ક્રમાંક Z છે. આમ, પરમાણુના ઈલેક્ટ્રૉનનો કુલ વિદ્યુતભાર ($-Ze$) છે અને પરમાણુ તટસ્થ હોવાથી ન્યુક્લિયસનો વિદ્યુતભાર ($+Ze$) છે. આથી પરમાણુના ન્યુક્લિયસમાં પ્રોટોનની સંખ્યા, બરાબર પરમાણુ ક્રમાંક Z જેટલી જ છે.

ન્યુટ્રોનની શોધ (Discovery of Neutron)

ડ્યુટેરિયમ અને ટ્રિટિયમનાં ન્યુક્લિયસ હાઈડ્રોજનના સમસ્થાનિકો (Isotopes) હોવાથી તે દરેક ફક્ત એક જ પ્રોટોન ધરાવતા હોય છે. પણ હાઈડ્રોજન, ડ્યુટેરિયમ અને ટ્રિટિયમનાં ન્યુક્લિયસોનાં દળો 1 : 2 : 3 ગુણોત્તરમાં છે. આથી ડ્યુટેરિયમ અને ટ્રિટિયમનાં ન્યુક્લિયસ, પ્રોટોન ઉપરાંત કંઈક તટસ્થ દ્રવ્યમાન ધરાવતાં હોવાં જોઈએ. આ સમસ્થાનિકો (Isotopes)નાં ન્યુક્લિયસમાં હાજર એવા આ તટસ્થ દ્રવ્યમાનનો જથ્થો, પ્રોટોનના દળના એકમમાં દર્શાવતાં અનુક્રમે લગભગ એક અને બે છે. આ હકીકત દર્શાવે છે કે પરમાણુનાં ન્યુક્લિયસ, પ્રોટોન ઉપરાંતનું, જે તટસ્થ દ્રવ્યમાન ધરાવે છે તે મૂળભૂત એકમના પૂર્ણાંક ગુણાંક જેટલું છે. આ અધિતર્ક 1932માં જેમ્સ ચૅડ્વિકે ચકાસ્યો હતો. તેણે જોયું કે, જ્યારે બેરિયમ ન્યુક્લિયસ પર α-કણનો મારો ચલાવવામાં આવે (α- કણો પ્રતાડિત કરવામાં આવે) ત્યારે તટસ્થ વિકિરણ ઉત્સર્જન પામે છે. (α-કણોએ હિલિયમ ન્યુક્લિયસ છે જે આગળ ઉપરના પરિચ્છેદમાં જોઈશું). એવું પણ અવલોકિત થયું કે આ તટસ્થ વિકિરણ, હિલિયમ, કાર્બન અને નાઈટ્રોજન જેવા હલકા ન્યુક્લિયસમાંથી પ્રોટોનને દૂર કરી શકે છે. તે સમયે તટસ્થ વિકિરણ તરીકે એકમાત્ર ફોટોન (વિદ્યુતચુંબકીય તરંગો) જાણીતાં હતાં. ઊર્જા સંરક્ષણ અને વેગમાન સંરક્ષણના સિદ્ધાંતો લાગુ પાડતાં એમ જણાયું હતું કે જો તટસ્થ વિકિરણ ફોટોનનું બનેલું હોય તો ફોટોનની ઊર્જા બેરિલિયમ ન્યુક્લિયસ પર α-કણોના મારાથી મળતી ઊર્જા કરતાં ખૂબ ઊંચી હોવી જોઈએ. ચૅડ્વિકે સંતોષકારક રીતે ઉકેલેલા આ કોયડાની ચાવી એ હતી કે તટસ્થ વિકિરણ, *ન્યુટ્રોન* તરીકે ઓળખાતા નવા પ્રકારના તટસ્થ કણોનું બનેલું ધારવામાં આવે. ઊર્જા અને વેગમાન સંરક્ષણ પરથી આ નવા કણ (ન્યુટ્રોન)નું દળ તે નક્કી કરી શક્યો અને તે 'પ્રોટોનના દળના લગભગ જેટલું જ દળ' હોવાનું જણાવ્યું.

અત્યારે ન્યુટ્રોનનું દળ વધુ ચોકસાઈપૂર્વક જાણી શકાયું છે. તે

$$m_n = 1.00866\,u = 1.6749 \times 10^{-27}\ \text{kg} \qquad (13.3)$$

છે. ન્યુટ્રોનની તેની શોધ માટે ચૅડ્વિકને ભૌતિકવિજ્ઞાનનું 1935નું નૉબેલ પ્રાઈઝ ઍનાયત થયું હતું.

મુક્ત પ્રોટોનથી વિપરિત, મુક્ત ન્યુટ્રોન અસ્થાયી છે. તે એક પ્રોટોન, એક ઈલેક્ટ્રૉન અને એક ઍન્ટિન્યુટ્રીનો (Antineutrino–એક અન્ય મૂળભૂત કણ) માં વિભંજન (ક્ષય) પામે છે અને તે 1000 sનો સરેરાશ જીવનકાળ ધરાવે છે. જો કે તે ન્યુક્લિયસની અંદર સ્થાયી છે.

હવે ન્યુક્લિયસનું બંધારણ નીચેનાં પદો અને પ્રતિકો (Symbols)નો ઉપયોગ કરી દર્શાવી શકાય છે.

Z - *પરમાણુ ક્રમાંક* = પ્રોટોનની સંખ્યા [13.4(a)]

N - *ન્યુટ્રોન ક્રમાંક* = ન્યુટ્રોનની સંખ્યા [13.4(b)]

A - *પરમાણુ દળાંક* = Z + N

= પ્રોટોન અને ન્યુટ્રોનની કુલ સંખ્યા [13.4(c)]

પ્રોટોન અને ન્યુટ્રોન માટે ન્યુક્લિયોન શબ્દ પણ વપરાય છે. આમ પરમાણુમાં ન્યુક્લિયોનની સંખ્યા એ તેનો દળાંક (પરમાણુ દળાંક) A છે.

ન્યુક્લિયસનાં પ્રકાર (જાત)ને ન્યુક્લાઈડ કહે છે, તેને ${}^{A}_{Z}X$ દ્વારા દર્શાવાય છે. જ્યાં, X તેના પ્રકારની રાસાયણિક સંજ્ઞા છે. ઉદાહરણ તરીકે, સોના (Gold)નું ન્યુક્લિયસ ${}^{197}_{79}Au$ દ્વારા દર્શાવાય છે. તે 197 ન્યુક્લિયોન ધરાવે છે જેમાં 79 પ્રોટોન છે અને બાકીના 118 ન્યુટ્રોન છે.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

તત્ત્વના સમસ્થાનિકો (Isotopes)નું બંધારણ હવે સહેલાઈથી સમજાવી શકાય છે. આપેલ તત્વના સમસ્થાનિકોનાં ન્યુક્લિયસ સમાન સંખ્યાનાં પ્રોટોન ધરાવે છે, પરંતુ તેમની ન્યુટ્રોન સંખ્યામાં જુદા પડે છે. ડ્યુટેરિયમ $^{2}_{1}H$ કે જે હાઈડ્રોજનનો સમસ્થાનિક છે તે એક પ્રોટોન અને એક ન્યુટ્રોન ધરાવે છે. તેનો બીજો સમસ્થાનિક ટ્રિટિયમ $^{3}_{1}H$, એક પ્રોટોન અને બે ન્યુટ્રોન ધરાવે છે. તત્વ સોનું (Gold) 32 સમસ્થાનિકો ધરાવે છે જેનાં દળાંક $A = 173$ થી $A = 204$ સુધીનાં છે. આપણે એ જણાવેલું જ છે કે તત્વોનાં રાસાયણિક ગુણધર્મો તેમના ઈલેક્ટ્રૉનિક બંધારણ પર આધારિત છે. સમસ્થાનિકના (Isotopic) પરમાણુઓને એકસમાન ઈલેક્ટ્રૉનિક બંધારણ હોવાથી તેમની રાસાયણિક વર્તણૂક એકસમાન હોય છે અને તેઓને આવર્ત કોષ્ટકમાં એક જ સ્થાનમાં મૂકવામાં આવે છે.

એકસમાન દળાંક A ધરાવતા બધા ન્યુક્લાઈડ્ઝને સમદળીય (Isobar) કહે છે. ઉદાહરણ તરીકે, $^{3}_{1}H$ અને $^{3}_{2}He$ ન્યુક્લાઈડ્ઝ સમદળીય છે. એક સમાન ન્યુટ્રોન સંખ્યા N હોય પરંતુ પરમાણુ ક્રમાંક Z જુદા હોય તેવા ન્યુક્લાઈડ્ઝને *આઈસોટોન* (*Isotones*) કહે છે. દાખલા તરીકે $^{198}_{80}Hg$ અને $^{197}_{79}Au$ આઈસોટોન છે.

13.3 ન્યુક્લિયસનું પરિમાણ (SIZE OF THE NUCLEUS)

પ્રકરણ-12માં આપણે જોયું તે મુજબ, રધરફર્ડ એ પ્રણેતા હતો જેણે પરમાણુના ન્યુક્લિસની કલ્પના કરી અને તેનું અસ્તિત્વ સ્થાપિત કર્યું. રધરફર્ડના સૂચનથી ગેઈગર અને માર્સ્ડન નામના વિજ્ઞાનીઓએ પાતળા સોનાના વરખ વડે થતા α-કણોના પ્રકીર્ણનનો ઉત્કૃષ્ટ પ્રયોગ કર્યો. તેમના પ્રયોગોએ દર્શાવ્યું કે 5.5 MeVની ગતિઊર્જા ધરાવતા α-કણોનું, સોનાના ન્યુક્લિયસથી નજીકતમ અંતર (Distance of Closest Approach) લગભગ 4.0×10^{-14} m છે. સોનાના વરખ દ્વારા α-કણોનું પ્રકીર્ણન સમજવા માટે રધરફર્ડે એમ ધાર્યું કે કુલંબ અપાકર્ષણ બળ આ ઘટનામાં જવાબદાર છે. ધન વિદ્યુતભાર માત્ર ન્યુક્લિયસમાં જ હોવાથી, ન્યુક્લિયસનું વાસ્તવિક પરિમાણ 4.0×10^{-14} m કરતાં ઓછું હોવું જોઈએ.

જો આપણે 5.5 MeV કરતાં વધુ ઊર્જા ધરાવતા α-કણોનો ઉપયોગ કરીએ તો સોનાના ન્યુક્લિયસથી નજીકતમ અંતર હજી નાનું થશે અને કોઈ એક બિંદુએ પ્રકીર્ણન પર ટૂંકા (લઘુ) અંતરી ન્યુક્લિયર બળોની અસર થવા લાગશે અને તેથી રધરફર્ડની ગણતરીથી તે જુદું પડશે. રધરફર્ડની ગણતરીઓ, α-કણના ધન વિદ્યુતભાર અને સોનાના ન્યુક્લિયસ વચ્ચેના માત્ર કુલંબ અપાકર્ષણ બળ પર આધારિત હતી. જે અંતરેથી રધરફર્ડની ગણતરીઓથી આવું અલગ પડવાનું (વિચલન) જણાશે તે અંતર પરથી, ન્યુક્લિયસનું પરિમાણ જાણી શકાય છે. α-કણોને બદલે ઝડપી (Fast) ઈલેક્ટ્રૉનને પ્રક્ષિપ્ત કણ તરીકે લઈ, વિવિધ તત્વોના બનેલા લક્ષ્ય પર મારો ચલાવી પ્રકીર્ણનના પ્રયોગો કરતાં, વિવિધ તત્વોના ન્યુક્લિયસનાં પરિમાણ ચોક્સાઈપૂર્વક મપાયેલ છે.

એમ જણાયું છે કે દળાંક A ધરાવતા ન્યુક્લિયસની ત્રિજ્યા

$$R = R_0 A^{1/3} \tag{13.5}$$

વડે અપાય છે, જ્યાં, $R_0 = 1.2 \times 10^{-15}$m ($= 1.2\,fm$; $1\,fm = 10^{-15}$m) આનો અર્થ એ કે ન્યુક્લિયસનું કદ કે જે R^3ને સમપ્રમાણમાં છે તે Aના સમપ્રમાણમાં છે. આમ, બધા ન્યુક્લિયસ માટે ન્યુક્લિયસની ઘનતા અચળ છે, જે A પર આધારિત નથી. જુદા જુદા ન્યુક્લિયસો અચળ ઘનતા ધરાવતા પ્રવાહીના બુંદ જેવાં છે. ન્યુક્લિયર દ્રવ્યની ઘનતા લગભગ 2.3×10^{17} kg m^{-3} છે. આ ઘનતા, સામાન્ય દ્રવ્યની ઘનતા દા. ત. પાણીની ઘનતા 10^{3} kg m^{-3} કરતાં ઘણી મોટી છે. આ સમજાય તેવું છે, કારણ કે આપણે જોઈ ગયા કે પરમાણુ મહદ્ અંશે ખાલી (Empty) છે. પરમાણુઓના બનેલા સામાન્ય દ્રવ્યમાં પુષ્કળ પ્રમાણમાં ખાલી અવકાશ (Space) છે.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

ઉદાહરણ 13.1

ઉદાહરણ 13.1 આયર્ન (લોખંડ)ના ન્યુક્લિયસ માટે દળ 55.85 u અને A= 56 આપેલ છે. તેના ન્યુક્લિયસની ઘનતા શોધો.

ઉકેલ $m_{Fe} = 55.85\,u = 9.27 \times 10^{-26}$ kg

ત્રિજ્યા $R = R_0 A^{1/3}$

$= 1.2 \times 10^{-15} \times (56)^{1/3}$ m

ન્યુક્લિયસનું કદ $= \frac{4}{3}\pi R^3 = 4.05 \times 10^{-43}\,m^{-3}$

ન્યુક્લિયર ઘનતા $= \frac{\text{દળ}}{\text{કદ}} = 2.29 \times 10^{17}$ kg m^{-3}

ન્યુટ્રોન તારાઓ (ખગોળ ભૌતિકીય પદાર્થ)ની ઘનતા આ ઘનતા સાથે સરખામણી કરી શકાય તેવી છે. આ દર્શાવે છે કે, તેવા પદાર્થોમાં દ્રવ્ય એટલા બધા પ્રમાણમાં દબાવાયેલું (Compressed) - ખીચોખીચ - છે કે તેઓ મોટા ન્યુક્લિયસ સાથે સામ્યતા ધરાવે છે.

13.4 દળ-ઊર્જા અને ન્યુક્લિયર બંધન ઊર્જા (MASS-ENERGY AND NUCLEAR BINDING ENERGY)

13.4.1 આઈન્સ્ટાઈને તેના વિશિષ્ટ સાપેક્ષવાદ (Special Theory of Relativity)

પરથી દર્શાવ્યું કે દળ (દ્રવ્યમાન, mass)ને ઊર્જા (Energy)ના એક બીજા સ્વરૂપ તરીકે ગણવું જોઈએ. તેના વિશિષ્ટ સાપેક્ષવાદના આગમન પહેલાં એમ માનવામાં આવતું હતું કે પ્રક્રિયામાં દળ અને ઊર્જાનાં અલગ અલગ સંરક્ષણ થાય છે, પરંતુ આઈન્સ્ટાઈને દર્શાવ્યું કે દળ એ ઊર્જાનું બીજું સ્વરૂપ છે અને દળ-ઊર્જાનું રૂપાંતર ઊર્જાના અન્ય સ્વરૂપ જેવી કે ગતિઊર્જા વગેરેમાં થઈ શકે છે અને એથી ઊલટું અન્ય સ્વરૂપની ઊર્જાનું રૂપાંતર દળ-ઊર્જાના સ્વરૂપમાં થઈ શકે છે.

આઈન્સ્ટાઈને પ્રખ્યાત દળ-ઊર્જા સમતુલ્યતાનો સંબંધ

$$E = mc^2 \qquad (13.6)$$

આપ્યો. અત્રે, દળ mને સમતુલ્ય ઊર્જા ઉપરના સમીકરણ દ્વારા સંબંધિત છે અને c પ્રકાશનો શૂન્યાવકાશમાં વેગ છે જે લગભગ 3×10^8 m s^{-1} બરાબર છે.

ઉદાહરણ 13.2

ઉદાહરણ 13.2 1 g દ્રવ્યને સમતુલ્ય ઊર્જાની ગણતરી કરો.

ઉકેલ

ઊર્જા $E = 10^{-3} \times (3 \times 10^8)^2$ J

$E = 10^{-3} \times 9 \times 10^{16}\,J = 9 \times 10^{13}$ J

આમ, જો એક ગ્રામ દ્રવ્યનું ઊર્જામાં રૂપાંતર થાય તો વિપુલ પ્રમાણમાં ઊર્જા ઉત્પન્ન થાય છે.

આઈન્સ્ટાઈનના દળ-ઊર્જા સમીકરણની પ્રાયોગિક ચકાસણી, ન્યુક્લિયોન, ન્યુક્લિયસ, ઈલેક્ટ્રૉન અને હાલમાં શોધાયેલા અન્ય કણો વચ્ચેની ન્યુક્લિયર પ્રક્રિયાઓમાં કરાયેલ છે. પ્રક્રિયામાં ઊર્જા સંરક્ષણનો નિયમ એમ જણાવે છે કે જો દળ સાથે સંબંધિત ઊર્જાનો સમાવેશ કરવામાં આવે તો પ્રારંભિક ઊર્જા અને અંતિમ ઊર્જા સમાન હોય છે. ન્યુક્લિયસનાં દળો અને ન્યુક્લિયસની એકબીજા સાથેની આંતરક્રિયા સમજવામાં આ વિભાવના મહત્વની છે. હવે પછીનાં કેટલાક પરિચ્છેદોમાં આ વિશે વિચારણા કરવામાં આવી છે.

13.4.2 ન્યુક્લિયર બંધન ઊર્જા (Nuclear Binding Energy)

પરિચ્છેદ 13.2માં આપણે જોયું કે ન્યુક્લિયસ ન્યુટ્રોન અને પ્રોટોનનો બનેલો છે. આથી, એવું અપેક્ષિત છે કે ન્યુક્લિયસનું દળ તેના પ્રોટોન અને ન્યુટ્રોનના વ્યક્તિગત દળોના કુલ દળ જેટલું જ હોય. પરંતુ ન્યુક્લિયસનું દળ M હંમેશા આ કુલ દળ કરતાં ઓછું જ હોય છે. ઉદાહરણ તરીકે, આપણે $^{16}_{8}O$ કે જેનું

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

ન્યુક્લિયસ 8 ન્યુટ્રોન અને 8 પ્રોટોનનું બનેલું છે, તેનો વિચાર કરીએ.

8 ન્યુટ્રોનનું દળ $= 8 \times 1.00866\, u$

8 પ્રોટોનનું દળ $= 8 \times 1.00727\, u$

8 ઈલેક્ટ્રૉનનું દળ $= 8 \times 0.00055\, u$

આથી, $^{16}_{8}O$ ન્યુક્લિયસનું અપેક્ષિત દળ $= 8 \times 2.01593\, u = 16.12744\, u$

માસ-સ્પેક્ટ્રોસ્કોપીના પ્રયોગો પરથી $^{16}_{8}O$ નું પરમાણુ દળ $15.99493\, u$ જણાય છે. આમાંથી 8 ઈલેક્ટ્રૉનનું દળ $(8 \times 0.00055\, u)$ બાદ કરતાં, $^{16}_{8}O$ ન્યુક્લિયસના દળનું પ્રાયોગિક મૂલ્ય $15.99053\, u$ મળે છે.

આમ, આપણને જણાય છે કે $^{16}_{8}O$ ન્યુક્લિયસનું દળ તેના ઘટકોના કુલ દળ કરતાં $0.13691\, u$ ઓછું છે. ન્યુક્લિયસના દળ અને તેના ઘટકોના કુલ દળ વચ્ચેનાં તફાવત ΔMને *દળ ક્ષતિ* (*Mass Defect*) કહે છે, અને તે

$$\Delta M = [Zm_p + (A-Z)m_n] - M \qquad (13.7)$$

પરથી મળે છે.

દળ ક્ષતિનો અર્થ શું છે ? બરાબર આ બાબતમાં આઈન્સ્ટાઈનની દળ અને ઊર્જાની સમતુલ્યતા ભાગ ભજવે છે. ઑક્સિજન ન્યુક્લિયસનું દળ તેના ઘટકોના (8 પ્રોટોન અને 8 ન્યુટ્રોન અબંધિત અવસ્થામાંના) કુલ દળ કરતાં ઓછું હોવાથી ઑક્સિજન ન્યુક્લિયસની સમતુલ્ય ઊર્જા તેના ઘટકોની સમતુલ્ય ઊર્જાના સરવાળા કરતાં ઓછી છે. જો આપણે ઑક્સિજન ન્યુક્લિયસને તેના 8 પ્રોટોન અને 8 ન્યુટ્રોનમાં ખંડિત કરવો હોય તો આ $\Delta M c^2$ જેટલી વધારાની ઊર્જા આપવી પડે. આ જરૂરી ઊર્જા E_bનો દળ ક્ષતિ સાથેનો સંબંધ

$$E_b = \Delta M c^2 \text{ છે.} \qquad (13.8)$$

ઉદાહરણ 13.3 એક atomic mass unit (*u*)ને સમતુલ્ય ઊર્જા પ્રથમ jouleમાં અને પછી MeVમાં શોધો. આ પરથી, $^{16}_{8}O$ ની દળ ક્ષતિને MeV/c^2માં દર્શાવો.

ઉકેલ : $1\, u = 1.6605 \times 10^{-27}$ kg

તેને ઊર્જાના એકમોમાં રૂપાંતર કરવા માટે c^2 વડે ગુણીએ અને સમતુલ્ય ઊર્જા મેળવીએ.

સમતુલ્ય ઊર્જા $= 1.6605 \times 10^{-27} \times (2.9979 \times 10^8)^2$ kg m^2/s^2

$= 1.4924 \times 10^{-10}$ J

$= \dfrac{1.4924 \times 10^{-10}}{1.602 \times 10^{-19}}$ eV

$= 0.9315 \times 10^9$ eV

$= 931.5$ MeV

અથવા $1\, u = 931.5$ MeV/c^2

માટે $\Delta M = 0.13691\, u = 0.13691 \times 931.5$ MeV/c^2

$= 127.5$ MeV/c^2

આમ, $^{16}_{8}O$ નું તેના ઘટકોમાં વિભાજન કરવા માટે જરૂરી ઊર્જા 127.5 MeV/c^2 છે.

ઉદાહરણ 13.3

જો અમુક સંખ્યાના ન્યુટ્રોન અને પ્રોટોનને ભેગાં કરીને (જોડીને), અમુક વિદ્યુતભાર અને દળ ધરાવતા ન્યુક્લિયસની રચના કરવામાં આવે તો તે પ્રક્રિયામાં ઊર્જા E_b વિમુક્ત (Release) થશે.

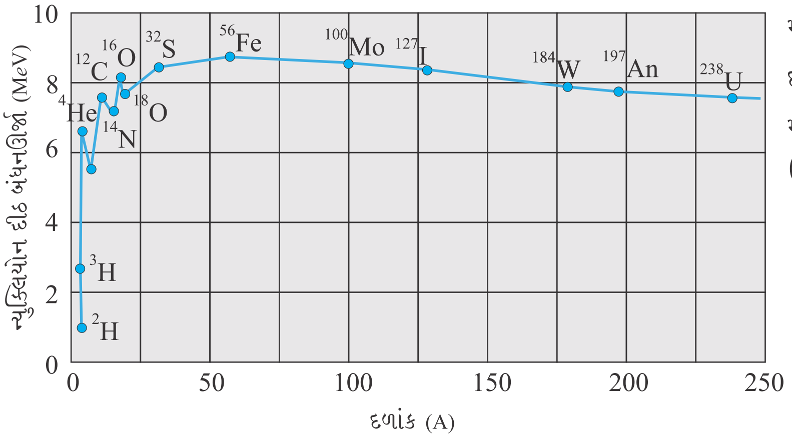
Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

E_b ઊર્જાને ન્યુક્લિયસની *બંધન ઊર્જા* કહે છે. જો આપણે ન્યુક્લિયસને તેના ન્યુક્લિયોનમાં વિભાજિત કરવો હોય તો આપણે કુલ E_b જેટલી ઊર્જા, તે કણોને પુરી પાડવી પડે. જો કે આ રીતે આપણે ન્યુક્લિયસને ચીરી શકતા નથી, તેમ છતાં ન્યુક્લિયર બંધન ઊર્જા, એ ન્યુક્લિયસ કેટલો સારો જકડાયેલો (પકડાયેલો) છે તેનું સુગમ ભર્યું માપન છે. ન્યુક્લિયસના ઘટકો વચ્ચેના બંધનનું વધુ ઉપયોગી માપન એ ન્યુક્લિયોન દીઠ બંધનઊર્જા E_{bn} છે, જે ન્યુક્લિયસની બંધનઊર્જા E_b અને ન્યુક્લિયોન સંખ્યા Aનો ગુણોત્તર છે.

$$E_{bn} = E_b / A \qquad (13.9)$$

આપણે ન્યુક્લિયોન દીઠ બંધન ઊર્જાને; ન્યુક્લિયસને તેના વ્યક્તિગત ન્યુક્લિયોનમાં છુટા પાડવા માટે જરૂરી એવી *ન્યુક્લિયોન દીઠ સરેરાશ ઊર્જા* તરીકે ગણી શકીએ.



આકૃતિ 13.1 દળાંકના વિધેય તરીકે ન્યુક્લિયોન દીઠ બંધનઊર્જા

આકૃતિ 13.1, મોટી સંખ્યાનાં ન્યુક્લિયસ માટે ન્યુક્લિયોન દીઠ બંધનઊર્જા E_{bn} વિરુદ્ધ દળાંક Aનો આલેખ છે. આ આલેખનાં નોંધપાત્ર મુખ્ય લક્ષણો આપણે આ મુજબ નોંધીએ :

(i) વચગાળાનાં (મધ્ય ગાળાનાં) દળાંક ($30 < A < 170$) ધરાવતાં ન્યુક્લિયસો માટે ન્યુક્લિયોન દીઠ બંધનઊર્જા E_{bn} લગભગ અચળ છે એટલે કે ન્યુક્લિયસોના પરમાણુ ક્રમાંક પર આધારિત નથી. આ વક્ર E_{bn}નું મહત્તમ મૂલ્ય 8.75 MeV/Nucleon દર્શાવે છે, જે $A = 56$ માટે મળે છે. $A = 238$ માટે E_{bn}નું મૂલ્ય 7.6 MeV/Nucleon છે.

(ii) હલકાં ન્યુક્લિયસ ($A < 30$) અને ભારે ન્યુક્લિયસ ($A > 170$) માટે E_{bn}નું મૂલ્ય નાનું છે.

આ બે અવલોકનો પરથી આપણે કેટલાક નિષ્કર્ષ તારવી શકીએ :

(i) બળ આકર્ષણ પ્રકારનું છે અને ન્યુક્લિયોન દીઠ કેટલાક MeVની બંધનઊર્જા ઉત્પન્ન કરવા માટે પુરતું પ્રબળ છે.

(ii) $30 < A < 170$ વિસ્તારમાં E_{bn} (ન્યુક્લિયોન દીઠ બંધનઊર્જા)નું લગભગ અચળ મૂલ્ય હોવું એ, ન્યુક્લિયર બળ ટૂંકા અંતરી હોવાનું પરિણામ છે. પુરતા મોટા ન્યુક્લિયસના અંતરિયાળ વિસ્તારમાં રહેલા એક ન્યુક્લિયોનનો વિચાર કરો. તે તેના માત્ર કેટલાક પડોશીઓની અસરમાં હોય છે કે જેઓ તે ન્યુક્લિયોનથી ન્યુક્લિયર બળની અવધિના અંતરની અંદર રહેલા હોય. જો કોઈ એક ન્યુક્લિયોનથી બીજો કોઈ ન્યુક્લિયોન ન્યુક્લિયર બળની અવધિ કરતાં વધુ અંતરે રહેલો હોય તો તેની કોઈ અસર વિચારણા હેઠળના ન્યુક્લિયસ પર થતી નથી. જો કોઈ ન્યુક્લિયોનને ન્યુક્લિયર બળની અવધિની અંદરના અંતરમાં p પડોશીઓ હોય તો, તેની બંધનઊર્જા pને સમપ્રમાણમાં હોય છે. આ ન્યુક્લિયોનની બંધન ઊર્જા, ધારો કે pk છે. જ્યાં, k એવો અચળાંક છે જેને ઊર્જાનાં પરિમાણ છે. જો આપણે અન્ય ન્યુક્લિયોન ઉમેરીને Aનું મૂલ્ય વધારીએ તો તેઓ, અંતરિયાળ ભાગમાંના ન્યુક્લિયોનની બંધનઊર્જા વધારતા નથી. મોટા ન્યુક્લિયસમાં મોટા ભાગના ન્યુક્લિયોન સપાટી

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

પર નહિ પણ અંદરના ભાગમાં રહેતા હોવાથી ન્યુક્લિયોન દીઠ બંધનઊર્જામાંનો ફેરફાર નાનો હોય છે. ન્યુક્લિયોન દીઠ બંધનઊર્જા અચળ હોય છે અને લગભગ *pk* બરાબર હોય છે. આપેલ ન્યુક્લિયોન માત્ર તેની નજીકનાં ન્યુક્લિયોનને જ અસર કરે છે-એ ગુણધર્મને ન્યુક્લિયર બળના સંતૃપ્તતાનો ગુણધર્મ (Saturation Property) પણ કહે છે.

(iii) ઘણા ભારે જેવા કે A = 240 હોય તેવા ન્યુક્લિયસની ન્યુક્લિયોન દીઠ બંધન ઊર્જા (E_{bn})નું મૂલ્ય A = 120 હોય તેવા ન્યુક્લિયસ માટેના મૂલ્યની સરખામણીએ ઓછું છે. આમ જો A = 240નો ન્યુક્લિયસ ખંડિત થઈને બે A = 120ના ન્યુક્લિયસ બને તો; ન્યુક્લિયોન વધારે ઠાંસીને (ચુસ્તપણે, સખ્તાઈથી) બંધિત થાય છે. આ દર્શાવે છે કે આ ક્રિયામાં ઊર્જા વિમુક્ત (Release) થશે (એટલે કે ઊર્જા બહાર પડશે). આગળ ઉપર પરિચ્છેદ 13.7.1માં જેની ચર્ચા થવાની છે તે *વિખંડન* (*Fission*) દ્વારા ઊર્જા ઉત્પન્ન કરવામાં આ બાબતનું ખૂબ મહત્ત્વ છે.

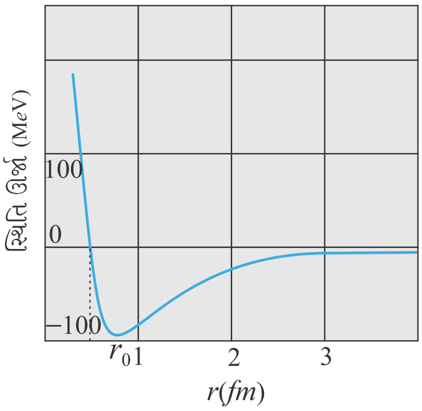
(iv) બે ખૂબ હલકાં (A ≤ 10) ન્યુક્લિયસ ભેગાં મળીને એક ભારે ન્યુક્લિયસ બનાવે તેનો વિચાર કરો. આ રીતે સંલયનથી બનેલા ભારે ન્યુક્લિયસની ન્યુક્લિયોન દીઠ બંધન ઊર્જા, હલકાં ન્યુક્લિયસના ન્યુક્લિયન દીઠ બંધનઊર્જા કરતાં વધુ છે. આનો અર્થ એ કે અંતિમ તંત્ર પ્રારંભિક તંત્ર કરતાં વધારે ચુસ્તપણે (ઠાંસીને) બંધિત થયેલ છે. આવી *સંલયન* ઘટનામાં પણ ઊર્જા વિમુક્ત થાય છે (એટલે કે ઊર્જા બહાર પડે છે) આગળ ઉપર પરિચ્છેદ 13.7.3માં ચર્ચા કરવાના છીએ તે સૂર્યની ઊર્જાનો આ સ્રોત છે.

13.5 ન્યુક્લિયર બળ (Nuclear Force)

પરમાણુનાં ઈલેક્ટ્રૉનની ગતિ નક્કી કરનારું બળ એ જાણીતું કુલંબ બળ છે. પરિચ્છેદ 13.4માં આપણે જોયું કે સરેરાશ દળ ધરાવતાં ન્યુક્લિયસ માટે ન્યુક્લિયોન દીઠ બંધનઊર્જા લગભગ 8 MeV છે, જે પરમાણુઓમાં બંધનઊર્જા કરતાં ઘણી વધુ છે. આથી, ન્યુક્લિયસમાં ન્યુક્લિયોનોને જકડી (બાંધી) રાખનાર બળ, કોઈ તદ્દન જુદા પ્રકારનું પ્રબળ આકર્ષક બળ હોવું જોઈએ. તે (ધન વિદ્યુતભારિત) પ્રોટોન વચ્ચેના અપાકર્ષણની ઉપરવટ જઈને (પહોંચી વળીને), પ્રોટોન અને ન્યુટ્રોનને નાના ન્યુક્લિયર કદમાં જકડી રાખે તેટલું પુરતું પ્રબળ હોવું જોઈએ. આપણે એ જોઈ ગયા છીએ કે ન્યુક્લિયોન દીઠ બંધનઊર્જાની અચળતા (Constancy), ટૂંકા અંતરી બળના પદમાં સમજી શકાય છે. આવા ન્યુક્લિયસને બંધિત રાખનાર આવા ન્યુક્લિયર બળનાં ઘણાં લક્ષણો નીચે ટૂંકમાં જણાવ્યાં છે. આ લક્ષણો 1930થી 1950 વચ્ચે થયેલા વિવિધ પ્રયોગો પરથી પ્રાપ્ત થયેલ છે.

(i) વિદ્યુતભારો વચ્ચે લાગતાં કુલંબ બળ અને દળો વચ્ચે લાગતાં ગરુત્વ બળ કરતાં ન્યુક્લિયર બળ ઘણું પ્રબળ છે. ન્યુક્લિયસને બંધિત રાખનાર બળને, ન્યુક્લિયસની અંદર રહેલા પ્રોટોન-પ્રોટોન વચ્ચેના કુલંબ અપાકર્ષણ બળ પર, પ્રભુત્વ સ્થાપિત કરવું પડે. જ્યારે ન્યુક્લિયર બળ કુલંબ બળ કરતાં ઘણું પ્રબળ હોય ત્યારે જ આવું થાય. ગુરુત્વ બળ તો કુલંબ બળ કરતાં ઘણું નિર્બળ (Weak) બળ છે.

(ii) બે ન્યુક્લિયોન વચ્ચેનું ન્યુક્લિયર બળ તેમની વચ્ચેના કેટલાક ફેમ્ટોમીટર કરતાં વધુ અંતરે ઝડપથી ઘટીને શૂન્ય થાય છે. આને કારણે મધ્યમ કે મોટા કદના ન્યુક્લિયસમાં *બળોની સંતૃપ્તતા* (*Saturation of Forces*) થાય છે, જે ન્યુક્લિયોન દીઠ બંધનઊર્જાના અચળત્વ (Constancy) માટેનું કારણ છે. આકૃતિ 13.2માં બે ન્યુક્લિયોન વચ્ચેની સ્થિતિ ઊર્જાનો અંતરના વિધેય તરીકે આલેખ આશરે દર્શાવેલ છે. લગભગ 0.8 *fm* જેટલા અંતર r_0 માટે સ્થિતિઊર્જા લઘુત્તમ છે. આનો અર્થ એ કે 0.8 *fm* કરતાં વધુ મોટા અંતરો માટે બળ આકર્ષણ પ્રકારનું અને 0.8 *fm* કરતાં ઓછા અંતરો માટે તે અપાકર્ષણ પ્રકારનું છે.



આકૃતિ 13.2 ન્યુક્લિયોનની એક જોડીની સ્થિતિ ઊર્જા તેમની વચ્ચેના અંતરના વિધેય તરીકે. r_0 કરતાં વધુ અંતર માટે બળ આકર્ષક છે અને r_0 કરતાં ઓછા અંતર માટે બળ તીવ્ર અપાકર્ષક છે.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

(iii) ન્યુટ્રોન-ન્યુટ્રોન વચ્ચેનું, પ્રોટોન-ન્યુટ્રોન વચ્ચેનું અને પ્રોટોન-પ્રોટોન વચ્ચેનું ન્યુક્લિયર બળ લગભગ સમાન છે. ન્યુક્લિયર બળ વિદ્યુતભાર પર આધારિત નથી.

કુલંબના નિયમ કે ન્યૂટનના ગુરુત્વાકર્ષણના નિયમથી વિપરિત (અલગ), ન્યુક્લિયર બળનું કોઈ સરળ ગાણિતીક સ્વરૂપ નથી.

13.6 રેડિયો ઍક્ટિવિટી (Radio Activity)

એ. એચ. બેક્વેરલ નામના વિજ્ઞાનીએ રેડિયો ઍક્ટિવિટીની શોધ 1896માં આકસ્મિક જ કરી હતી. દૃશ્ય પ્રકાશને રાસાયણિક સંયોજનો પર આપાત કરીને પ્રસ્ફુરણ (Fluorescence) અને પશ્ચાત્ સ્ફુરણ (Phosphorescence)ના અભ્યાસ દરમ્યાન, બૅક્વેરેલને રસપ્રદ ઘટનાનું અવલોકન થયું. યુરેનિયમ-પોટેશિયમ સલ્ફેટના કેટલાક ટૂકડાઓ પર દૃશ્ય પ્રકાશ આપાત કર્યા બાદ, તેણે તેમને કાળા કાગળમાં વિંટાળીને તે પેકેટને એક, સિલ્વર (ચાંદી)ના ટૂકડા દ્વારા, ફોટોગ્રાફીક પ્લેટથી અલગ કરીને મૂક્યું. કેટલાક કલાક આ પ્રમાણે રાખીને ફોટો-પ્લેટને ડેવલપ કરવામાં આવી. આમ કરતાં ફોટો-પ્લેટ પર કાળાશ (Blackening) જણાઈ હતી. આ કાળાશ, સંયોજનમાંથી ઉત્સર્જન પામેલા કોઈક વિકિરણને લીધે હોવી જોઈએ કે જે કાળા કાગળ અને ચાંદી બંનેને ભેદી (Penetrate) શક્યું હોય.

ત્યાર બાદ થયેલા પ્રયોગોએ દર્શાવ્યું કે રેડિયો ઍક્ટિવિટી એ ન્યુક્લિયર ઘટના છે કે જેમાં કોઈ અસ્થાયી (Unstable) ન્યુક્લિયસ ક્ષય (Decay) પામે છે. આને *રેડિયો ઍક્ટિવ ક્ષય* કહે છે. કુદરતમાં ત્રણ પ્રકારનાં રેડિયો ઍક્ટિવ ક્ષય થતા જણાય છે.

(i) α-ક્ષય કે જેમાં હિલિયમ ન્યુક્લિયસ ${}_2^4He$ ઉત્સર્જન પામે છે.

(ii) β-ક્ષય કે જેમાં ઈલેક્ટ્રૉન અથવા પૉઝિટ્રોન (ઈલેક્ટ્રૉનના જેટલું જ દળ પરંતુ ઈલેક્ટ્રૉન જેટલો જ તેનાથી વિરુદ્ધ વિદ્યુતભાર ધરાવતો કણ) ઉત્સર્જન પામે છે.

(iii) γ-ક્ષય કે જેમાં ઉચ્ચ ઊર્જા (સેંકડો keV અથવા વધુ) ધરાવતા ફોટોન ઉત્સર્જિત થાય છે.

આગળ આવનારા પરિચ્છેદમાં આ દરેક ક્ષયનો વિચાર કરીશું.

13.6.1 રેડિયો ઍક્ટિવ ક્ષયનો નિયમ (Law of Radioactive Decay)

α, β કે γ ક્ષય પામતા કોઈ રેડિયો ઍક્ટિવ નમૂનામાં એમ જણાયું છે કે એકમ સમયમાં ક્ષય (વિભંજન) પામતા ન્યુક્લિયસની સંખ્યા તે સમયે તે નમૂનામાં રહેલા ન્યુક્લિયસની કુલ સંખ્યાના સમપ્રમાણમાં હોય છે. જો નમૂનામાં રહેલા ન્યુક્લિયસની સંખ્યા N હોય અને તેમાંથી ΔN ન્યુક્લિયસ Δt સમયમાં વિભંજન પામતા હોય તો

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} \propto N$$

અથવા $\Delta N/\Delta t = \lambda N$ (13.10)

જ્યાં, λને રેડિયો ઍક્ટિવ *ક્ષય અચળાંક* અથવા *વિભંજન અચળાંક* કહે છે.

Δt સમયમાં, નમૂનામાં ન્યુક્લિયસની સંખ્યાનો ફેરફાર* $dN = -\Delta N$ છે.

આથી ($\Delta t \to 0$ લક્ષમાં) Nના ફેરફારનો દર,

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

* ΔN ક્ષય પામતા ન્યુક્લિયસની સંખ્યા છે અને તેથી હંમેશા ધન છે. dN એ Nમાં ફેરફાર છે, જેને ધન કે ઋણ ગમે તે ચિહ્ન હોઈ શકે. અહીં તે ઋણ છે, કારણ કે મૂળ N ન્યુક્લિયસમાંથી ΔN ક્ષય પામ્યા છે, જેથી $(N - \Delta N)$ન્યુક્લિયસ બચેલાં છે.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

અથવા $\frac{dN}{N} = -\lambda dt$

ઉપરના સમીકરણની બંને બાજુઓનું સંકલન કરતાં, આપણને

$$\int_{N_0}^{N} \frac{dN}{N} = -\lambda \int_{t_0}^{t} dt \tag{13.11}$$

અથવા $\ln N - \ln N_0 = -\lambda(t - t_0)$ (13.12)

મળે છે. અહીં, N_0 એ કોઈક યાદચ્છિક t_0 સમયે નમૂનામાં રેડિયો ઍક્ટિવ ન્યુક્લિયસની સંખ્યા છે અને N તે પછીના કોઈક t સમયે રેડિયો ઍક્ટિવ ન્યુક્લિયસની સંખ્યા છે. $t_0 = 0$ મૂકીને ઉપરના સમીકરણની પુનઃગોઠવણી કરતાં,

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t \tag{13.13}$$

આ પરથી

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \tag{13.14}$$

સમીકરણ મળે છે. એ નોંધો કે પ્રકાશના બલ્બ આવો કોઈ ચરઘાતાંકી (Exponential) નિયમ અનુસરતા નથી. જો આપણે 1000 બલ્બનું તેમના જીવન (કાળ) (તેઓ પીગલન પામે અથવા બળી જાય / પ્રકાશ આપવાનું બંધ કરે તે અગાઉના સમયગાળા) માટે પરિક્ષણ કરીએ તો, આપણને એવું અપેક્ષિત છે કે તેઓ લગભગ એકસમાન સમયે ક્ષય (Decay) પામશે (બળી જશે). પરંતુ રેડિયો ન્યુક્લાઈડ્ઝનો ક્ષય તદ્દન જુદો નિયમ; જે સમીકરણ (13.14) વડે રજૂ કરાય છે તે *રેડિયો ઍક્ટિવ ક્ષય*નો નિયમ અનુસરે છે.

કોઈ નમૂનાનો કુલ ક્ષય દર (વિભંજન દર, Decay Rate) R; એકમ સમયમાં વિભંજન પામતા ન્યુક્લિયસની સંખ્યા છે. ધારો કે dt સમયગાળામાં, મપાયેલાં વિભંજનની સંખ્યા ΔN છે. આ પરથી,

$$dN = -\Delta N$$

આ પરથી ધન રાશિ R(=વિભંજન દર)ને

$$R = -\frac{dN}{dt}$$

તરીકે વ્યાખ્યાયિત કરાય છે.

સમીકરણ (13.14)નું વિકલન કરતાં, આપણને

$$R = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$$

અથવા $R = R_0 e^{-\lambda t}$ (13.15)

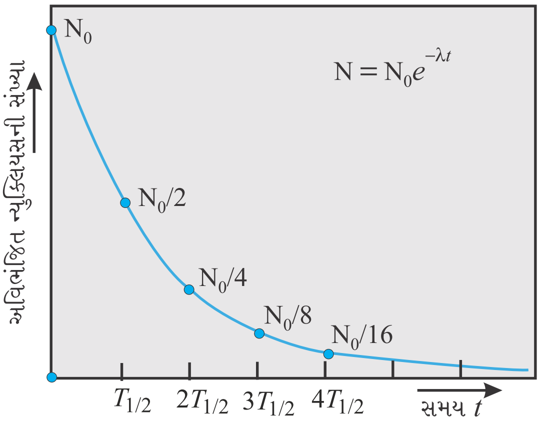
મળે છે. આ રેડિયો ઍક્ટિવ વિભંજનના નિયમને સમતુલ્ય સમીકરણ છે, કારણ કે તમે સમીકરણ (13.15)નું સંકલન કરશો તો પાછું સમીકરણ (13.14) જ મળી જશે. એ સ્પષ્ટ છે કે $R_0 = \lambda N_0$ એ $t = 0$ સમયે વિભંજન દર છે. કોઈ નિશ્ચિત t સમયે વિભંજન દર R અને તે જ સમયે અવિભંજિત (Undecayed) ન્યુક્લિયસની સંખ્યા N હોય તો તેમની વચ્ચેનો સંબંધ

$$R = \lambda N \tag{13.16}$$

પરથી મળે છે. કોઈ નમૂનામાં રેડિયો ઍક્ટિવ ન્યુક્લિયસની સંખ્યા Nને બદલે, તે નમૂનાનો વિભંજન દર R એ વધુ પ્રત્યક્ષ રીતે માપી શકાય તેવી રાશિ છે અને તેને '*ઍક્ટિવિટી*' (*Activity*) એવું વિશિષ્ટ નામ અપાયું છે. રેડિયો ઍક્ટિવિટીના શોધક હેન્રી બેક્વેરેલની યાદમાં ઍક્ટિવિટીનો SI એકમ becquerel (B*q*) છે.

1 becquerel, દર સેકંડ દીઠ 1 વિભંજન અથવા ક્ષય બરાબર છે. વ્યાપક પ્રમાણમાં વપરાતો એક બીજો 'curie' નામનો એકમ પણ છે અને તેનો SI એકમ સાથેનો સંબંધ આ મુજબ છે :

1 curie = 1 C*i* = 3.7×10^{10} વિભંજન પ્રતિ સેકંડ = 3.7×10^{10} B*q*



આકૃતિ 13.3 રેડિયો ઍક્ટિવ ન્યુક્લિયસનો ચર ઘાતાંકી ક્ષય. $T_{1/2}$ સમયગાળા પછી, આપેલ પ્રકારના ન્યુક્લિયસની સંખ્યા અડધી થાય છે.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

જુદાં જુદાં રેડિયો ન્યુક્લાઈડ્ઝના ક્ષય દર (વિભંજન દર, Rate of Decay) ઘણા જુદાં જુદાં હોય છે. આ લક્ષણને વિશિષ્ટ રીતે રજુ કરવાનો સરળ ઉપાય *અર્ધ-આયુ* (*અર્ધ જીવનકાળ, Half life*)ના ખ્યાલ પરથી મળે છે. કોઈ રેડિયો ન્યુક્લાઈડનું અર્ધ-આયુ (જેને $T_{1/2}$ વડે દર્શાવાય છે) એ તેના નમૂનામાં પ્રારંભમાં રહેલા રેડિયો ન્યુક્લિયસની સંખ્યા N_0ને ઘટીને $N_0/2$ (એટલે કે અડધી) બનવા માટે લાગતો સમય છે. સમીકરણ (13.14)માં $N = N_0/2$ અને $t = T_{1/2}$ મૂકતાં

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

$$= \frac{0.693}{\lambda} \qquad (13.17)$$

મળે છે. જો $T_{1/2}$ સમયમાં N_0 ઘટીને અડધા મૂલ્યનું બને તો, સમીકરણ (13.16) પરથી સ્પષ્ટ છે કે તેટલા જ સમયમાં R_0 પણ ઘટીને તેના અડધા મૂલ્યની બને.

એક બીજું સંબંધિત માપ એ *સરેરાશ જીવનકાળ* (*Average or Mean Life*) τ છે. આ પણ સમીકરણ (13.14) પરથી મેળવી શકાય છે. t અને $t + \Delta t$ વચ્ચેના સમયગાળામાં વિભંજન (ક્ષય) પામતા ન્યુક્લિયસની સંખ્યા $R(t)\Delta t \,(= \lambda N_0 e^{-\lambda t} \Delta t)$ છે. આમાંના દરેક ન્યુક્લિયસ t સમય સુધી તો જીવ્યા જ છે. આ બધા ન્યુક્લિયસનો કુલ જીવનકાળ $t\lambda N_0 e^{-\lambda t} dt$ છે. એ પણ સ્પષ્ટ છે જ કે કેટલાક ન્યુક્લિયસ ટૂંકા અને બીજા કેટલાક લાંબા સમય સુધી જીવ્યા હોય. આથી, સરેરાશ જીવનકાળ શોધવા માટે આપણે આ પદનો 0થી અનંત સુધીના બધા સમયો પરનો સરવાળો (અથવા સંકલન) મેળવવો જોઈએ અને તેને $t = 0$ સમયે કુલ ન્યુક્લિયસની સંખ્યા N_0 વડે ભાગવો જોઈએ. આમ

$$\tau = \frac{\lambda N_0 \int_0^{\infty} t e^{-\lambda t} dt}{N_0} = \lambda \int_0^{\infty} t e^{-\lambda t} dt$$

આ સંકલન કરીને આપણે દર્શાવી શકીએ કે

$$\tau = 1/\lambda$$

આ પરિણામોનો સારાંશ આપણે નીચે મુજબ કરીએ :

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \tau \ln 2 \qquad (13.18)$$

જે રેડિયો ઍક્ટિવ તત્વો (જેવા કે ટ્રિટિયમ, પ્લુટોનિયમ) ટૂંકો જીવનકાળ ધરાવે છે એટલે કે તેમના અર્ધ-આયુ બ્રહ્માંડ (વિશ્વ)ની ઉંમર (~15 Billion Years) કરતાં ઘણાં ઓછાં છે, તે બધા ઘણા સમય અગાઉ જ ક્ષય પામી ગયાં છે અને તેથી તેઓ કુદરતમાં મળી આવતાં નથી. જો કે પ્રયોગશાળામાં ન્યુક્લિયર પ્રક્રિયાઓમાં તેઓને રચી શકાય છે.

મેરી સ્કલોડ્વસ્કા ક્યુરિ (1867-1934)

મેરી સ્કલોડ્વસ્કા ક્યુરિ (1867-1934) પોલેન્ડમાં જન્મ્યાં હતાં. તે ભૌતિકવિજ્ઞાની અને રસાયણવિજ્ઞાની બંને તરીકે ઓળખાય છે. 1896માં હેન્રી બેકવેરેલ દ્વારા થયેલી રેડિયો ઍક્ટિવિટીની શોધે મેરી અને તેના પતિ પીયરી ક્યુરિને તેમનાં સંશોધનો અને વિશ્લેષણમાં પ્રેરિત કર્યાં. જે પરથી રેડિયમ અને પોલોનિયમ તત્વોને અલગ મેળવી શકાયાં. બે નોબેલ ઈનામો પ્રાપ્ત કરનાર તે પ્રથમ વ્યક્તિ હતા – ભૌતિકવિજ્ઞાન માટે 1903માં અને રસાયણવિજ્ઞાન માટે 1911માં.

ઉદાહરણ 13.4

ઉદાહરણ 13.4 α-ક્ષય પામતા $^{238}_{92}U$ નું અર્ધ-આયુ 4.5×10^9 years છે. $^{238}_{92}U$ ના 1 g નમૂનાની ઍક્ટિવિટી કેટલી હશે ?

ઉકેલ

$$T_{1/2} = 4.5 \times 10^9 \text{ y}$$

$$= 4.5 \times 10^9 \text{ y} \times 3.16 \times 10^7 \text{ s/y}$$

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

$= 1.42 \times 10^{17}$ s

કોઈ પણ સમસ્થાનિક (Isotope)ના 1 k molમાં એવોગેડ્રો સંખ્યાના પરમાણુઓ રહેલા હોય છે, તેથી 1 g $^{238}_{92}$U માં રહેલાં ન્યુક્લિયસની સંખ્યા

$= \frac{1}{238} \times 10^{-3}$ k mol $\times 6.025 \times 10^{26}$ પરમાણુ/k mol

$= 25.3 \times 10^{20}$ પરમાણુ

વિભંજન દર (Decay Rate) R નીચે મુજબ મળે.

$R = \lambda N$

$= \frac{0.693}{T_{1/2}} N = \frac{0.693 \times 25.3 \times 10^{20}}{1.42 \times 10^{17}} s^{-1}$

$= 1.23 \times 10^4 s^{-1}$

$= 1.23 \times 10^4$ Bq

ઉદાહરણ 13.4

ઉદાહરણ 13.5 ટ્રિટિયમ 12.5 yના અર્ધ-આયુ સાથે બીટા-ક્ષય પામે છે. 25 y પછી શુદ્ધ ટ્રિટિયમના નમૂનાનો કેટલો અંશ (Fraction) અવિભંજિત રહેશે ?

ઉકેલ અર્ધ-આયુની વ્યાખ્યા મુજબ 12.5 y પછી મૂળ નમૂનાનો અડધો ભાગ અવિભંજિત રહેશે. તે પછીના બીજા 12.5 yમાં આ ન્યુક્લિયસની અડધી સંખ્યા વિભંજિત થશે. તેથી શુદ્ધ ટ્રિટિયમના મૂળ નમૂનાનો એક ચતુર્થાંશ અવિભંજિત રહેશે.

ઉદાહરણ 13.5

13.6.2 આલ્ફા ક્ષય (Alpha Decay)

આલ્ફા ક્ષયનું જાણીતું ઉદાહરણ એ એક હિલિયમ ન્યુક્લિયસના ઉત્સર્જન સાથે યુરેનિયમ $^{238}_{92}$U નો ક્ષય થઈ થોરિયમ $^{234}_{90}Th$ બનવાની ઘટના છે.

$$^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}He \quad (\alpha\text{-ક્ષય}) \qquad (13.19)$$

α-ક્ષયમાં, ઉત્પન્ન થયેલાં ન્યુક્લિયસ (જનિત ન્યુક્લિયસ)નો દળાંક ક્ષય પામતા ન્યુક્લિયસ (જનક ન્યુક્લિયસ)ના દળાંક કરતાં ચાર જેટલો ઓછો હોય છે અને પરમાણુ ક્રમાંક બે જેટલો ઓછો હોય છે. વ્યાપકરૂપે, $^{A}_{Z}X$ જનક ન્યુક્લિયસના α-ક્ષયથી $^{A-4}_{Z-2}Y$ જનિત ન્યુક્લિયસ ઉત્પન્ન થાય છે.

$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He \qquad (13.20)$$

આઈન્સ્ટાઈનના દળ-ઊર્જા સમતુલ્યતાના સંબંધ (સમીકરણ 13.6) પરથી અને ઊર્જાના સંરક્ષણ પરથી એ સ્પષ્ટ છે કે આ સ્વતઃ (આપમેળે થતો) ક્ષય ત્યારે જ શક્ય બને કે જ્યારે ક્ષયથી નીપજતા પદાર્થોનું કુલ દળ, મૂળ ન્યુક્લિયસના દળ કરતાં ઓછું હોય. ન્યુક્લિયર દળો દર્શાવતા કોષ્ટકનો સંદર્ભ લઈને, આપણે ચકાસી શકીએ છીએ કે $^{234}_{90}Th$ અને $^{4}_{2}He$ નું કુલ દળ $^{238}_{92}$U ના દળ કરતાં ખરેખર ઓછું જ છે.

વિભંજન ઊર્જા અથવા ન્યુક્લિયર પ્રક્રિયાનું Q-મૂલ્ય એ પ્રારંભિક દળઊર્જા અને ક્ષય નીપજોની કુલ દળઊર્જાનો તફાવત છે. α-ક્ષય માટે

$$Q = (m_X - m_Y - m_{He})c^2 \qquad (13.21)$$

Q એ પ્રક્રિયામાં પ્રાપ્ત થતી કુલ (ચોખ્ખી) ગતિઊર્જા છે અથવા જો મૂળ ન્યુક્લિયસ X સ્થિર હોય તો તે નીપજોની ગતિઊર્જા છે. એ સ્પષ્ટ છે કે α-ક્ષય જેવી ઉષ્માક્ષેપક પ્રક્રિયાઓ માટે $Q > 0$ છે.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

ઉદાહરણ 13.6 નીચેનાં પરમાણુદળો આપણને આપેલ છે :

$^{238}_{92}\text{U} = 238.05079\ u \qquad ^{4}_{2}\text{He} = 4.00260\ u$

$^{234}_{90}Th = 234.04363\ u \qquad ^{1}_{1}\text{H} = 1.00783\ u$

$^{237}_{91}Pa = 237.05121\ u$

અત્રે પ્રતિક Pa એ પ્રોટેક્ટિનિયમ (Z = 91) તત્વ માટે છે.

(a) $^{238}_{92}\text{U}$ ના આલ્ફા ક્ષય દરમ્યાન વિમુક્ત થતી ઉત્સર્જન પામતી ઊર્જા ગણો.

(b) $^{238}_{92}\text{U}$ સ્વતઃ (આપમેળે, સ્વયંભૂ રીતે) પ્રોટોનનું ઉત્સર્જન કરી શકે નહિ તેમ દર્શાવો.

ઉકેલ

(a) $^{238}_{92}\text{U}$ નો આલ્ફા ક્ષય સમીકરણ (13.20) દ્વારા રજૂ થાય છે. આ પ્રક્રિયામાં વિમુક્ત થતી ઊર્જા,

$Q = (m_{\text{U}} - m_{Th} - m_{\text{He}})c^2$ દ્વારા મળે.

પક્ષમાં આપેલા પરમાણુ દળોનાં મૂલ્યો અવેજ કરતાં આપણને Q નીચે મુજબ મળે.

$$Q = (238.05079 - 234.04363 - 4.00260)u \times c^2$$
$$= (0.00456\ u)c^2$$
$$= (0.00456\ u)\ (931.5\ \text{MeV}/u) = 4.25\ \text{MeV}$$

(b) જો $^{238}_{92}\text{U}$ સ્વતઃ એક પ્રોટોનનું ઉત્સર્જન કરે, તો ક્ષય પ્રક્રિયા નીચે મુજબ હોય.

$$^{238}_{92}\text{U} \rightarrow\ ^{237}_{91}Pa +\ ^{1}_{1}\text{H}$$

આ પ્રક્રિયા થવા માટેનું Q-મૂલ્ય નીચે મુજબ મળે.

$$Q = (m_{\text{U}} - m_{Pa} - m_{\text{H}})c^2$$
$$= (238.05079 - 237.05121 - 1.00783)\ u \times c^2$$
$$= (-0.00825\ u)c^2$$
$$= -(0.00825\ u)\ (931.5\ \text{MeV}/u) = -7.68\ \text{MeV}$$

આમ, આ પ્રક્રિયાનું Q-મૂલ્ય ઋણ છે તેથી તે સ્વતઃ (આપમેળે) થઈ શકે નહિ. આપણે $^{238}_{92}\text{U}$ ન્યુક્લિયસને 7.68 MeV જેટલી લઘુત્તમ ઊર્જા આપવી પડે અને તો જ તે એક પ્રોટોનનું ઉત્સર્જન કરી શકે.

ઉદાહરણ 13.6

13.6.3 બીટા ક્ષય (Beta Decay)

બીટા ક્ષયમાં, ન્યુક્લિયસ સ્વતઃ (આપમેળે) ઈલેક્ટ્રૉન (β^- ક્ષય)નું અથવા પૉઝિટ્રૉન (β^- ક્ષય)નું ઉત્સર્જન કરે છે. β^- ક્ષયનું એક સામાન્ય ઉદાહરણ

$$^{32}_{15}\text{P} \rightarrow\ ^{32}_{16}\text{S} + e^- + \bar{\nu} \tag{13.22}$$

છે, અને β^+ ક્ષયનું ઉદાહરણ

$$^{22}_{11}Na \rightarrow\ ^{22}_{10}\text{Ne} + e^+ + \nu \tag{13.23}$$

છે. વિભંજનોનું સંચાલન સમીકરણ (13.14) અને સમીકરણ (13.15) દ્વારા થાય છે, જેથી આપણે કયું ન્યુક્લિયસ ક્ષય પામશે તે કહી શકતા નથી પરંતુ આવા ક્ષયને અર્ધ-આયુ $T_{1/2}$ વડે લાક્ષણિક રીતે રજૂ કરાય છે. દાખલા તરીકે, ઉપર જણાવેલા વિભંજનો માટે $T_{1/2}$ અનુક્રમે 14.3 d અને 2.6 y છે. β^- ક્ષયમાં ઈલેક્ટ્રૉનના ઉત્સર્જનની સાથે જ ઍન્ટિન્યુટ્રીનો ($\bar{\nu}$) પણ ઉત્સર્જન પામે છે. તેના બદલે β^+ ક્ષયમાં ન્યુટ્રીનો ઉત્પન્ન થાય છે. ન્યુટ્રીનો એ ઈલેક્ટ્રૉનની સરખામણીએ ખૂબ નાના દળ (શૂન્ય પણ હોઈ શકે) ધરાવતા કણ છે. તેમની બીજા કણો સાથે માત્ર નિર્બળ (Weak) આંતરક્રિયા હોય છે. તેથી તેમની પરખ કરવી (Detect) ખૂબ મુશ્કેલ છે. તેઓ દ્રવ્યના વિપુલ જથ્થામાંથી (પૃથ્વીમાંથી પણ) કોઈ પણ આંતરક્રિયા કર્યા વગર આરપાર પસાર થઈ શકે છે.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

β^- ક્ષય અને β^+ ક્ષય એ બંનેમાં દળાંક A અફર રહે છે. β^- ક્ષયમાં પરમાણુક્રમાંક Z માં 1નો વધારો થાય છે અને β^+ ક્ષયમાં પરમાણુક્રમાંક Zમાં 1નો ઘટાડો થાય છે. β^- ક્ષયમાં મૂળભૂત ન્યુક્લિયર પ્રક્રિયા તો ન્યુટ્રોનનું પ્રોટોનમાં રૂપાંતર થવાની છે.

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu} \qquad (13.24)$$

અને β^+ ક્ષયમાં તે પ્રોટોનનું ન્યુટ્રોનમાં રૂપાંતર થવાની છે.

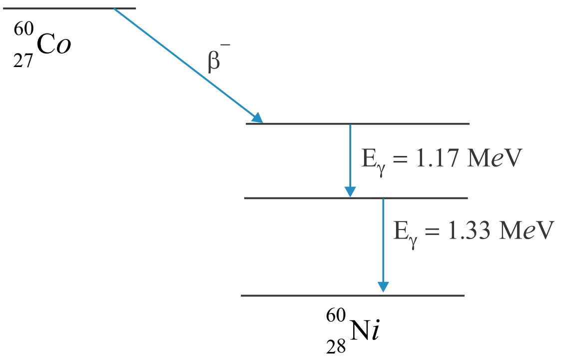
$$p \rightarrow n + e^+ + \nu \qquad (13.25)$$

એ બરાબર નોંધો કે મુક્ત (Free) ન્યુટ્રોન પ્રોટોનમાં ક્ષય પામે છે. પરંતુ પ્રોટોનનો ક્ષય પામીને ન્યુટ્રોન થવાની પ્રક્રિયા માત્ર ન્યુક્લિયસની અંદર જ શક્ય છે, કારણ કે પ્રોટોનનું દળ ન્યુટ્રોન કરતાં ઓછું છે.

13.6.4 ગેમા ક્ષય (Gamma Decay)

પરમાણુની જેમ, ન્યુક્લિયસને પણ જુદાં-જુદાં (અસતત) ઊર્જા સ્તરો-ધરા અવસ્થા અને ઉત્તેજિત અવસ્થાઓ-હોય છે. જો કે ઊર્જાનો માપક્રમ ઘણો જુદો હોય છે. પરમાણુ ઊર્જાના સ્તરોનો તફાવત eVના ક્રમનો હોય છે, જ્યારે ન્યુક્લિયર ઊર્જા સ્તરોનો તફાવત MeVના ક્રમનો હોય છે. જ્યારે ઉત્તેજિત અવસ્થામાં રહેલું ન્યુક્લિયસ સ્વતઃ તેની ધરા અવસ્થા (અથવા બીજી નિમ્ન ઊર્જા અવસ્થા)માં ક્ષય પામે છે ત્યારે ન્યુક્લિયસના તે બે ઊર્જા સ્તરો વચ્ચેના તફાવત જેટલી ઊર્જાના ફોટોનનું ઉત્સર્જન થાય છે. આ ઘટનાને *ગેમા ક્ષય* કહેવાય છે. આ ઊર્જા (MeV), સખત (Hard) X-કિરણોના વિસ્તારથી પણ ટૂંકી તરંગલંબાઈ ધરાવતા વિકિરણને અનુરૂપ છે.

લાક્ષણિક રીતે, જ્યારે α અથવા β ક્ષયના પરિણામે ઉપજેલ જનિત ન્યુક્લિયસ ઉત્તેજિત અવસ્થામાં હોય ત્યારે γ-કિરણ ઉત્સર્જિત થાય છે. આ નીપજ ન્યુક્લિયસ, ત્યારબાદ એક ફોટોનના ઉત્સર્જનથી અથવા એક કરતાં વધુ ફોટોનના ક્રમશઃ ઉત્સર્જનથી ધરા અવસ્થામાં પાછું આવે છે. આનું એક જાણીતું ઉદાહરણ એ ${}^{60}_{27}Co$ ના β^- ક્ષયથી નીપજેલ ${}^{60}_{28}Ni$ ન્યુક્લિયસની ધરા અવસ્થામાંની સંક્રાંતિ દરમિયાન ક્રમશઃ ઉત્સર્જાયેલાં 1.17 MeV અને 1.33 MeV ઊર્જા ધરાવતાં γ-કિરણો છે.



આકૃતિ 13.4 ${}^{60}_{27}Co$ ન્યુક્લિયસના β-ક્ષયથી નીપજેલ જનિત ન્યુક્લિયસ ${}^{60}_{28}Ni$ ની નિમ્નસ્તરો પર સંક્રાંતિથી ઉત્સર્જાતાં બે γ-કિરણો

13.7 ન્યુક્લિયર ઊર્જા (Nuclear Energy)

આકૃતિ 13.1માં દર્શાવેલ ન્યુક્લિયોન દીઠ બંધનઊર્જાના વક્રમાં $A = 30$ અને $A = 170$ વચ્ચે એક લાંબો સપાટ મધ્ય વિસ્તાર છે. આ વિસ્તારમાં ન્યુક્લિયોન દીઠ બંધન ઊર્જા લગભગ અચળ (8.0 MeV) છે. આપણે અગાઉ નોંધ્યું છે તે પ્રમાણે $A < 30$ના હલકા ન્યુક્લિયસના વિસ્તાર માટે અને $A > 170$ના ભારે ન્યુક્લિયસના વિસ્તાર માટે ન્યુક્લિયોન દીઠ બંધનઊર્જા 8.0 MeV કરતાં ઓછી છે. હવે, બંધનઊર્જા જેમ વધુ હોય તેમ ન્યુક્લિયસ જેવા બંધિત તંત્રનું કુલ દળ ઓછું હોય છે. પરિણામે, જો કુલ બંધનઊર્જા ઓછી હોય તેવા ન્યુક્લિયસ વધારે કુલ બંધનઊર્જા ધરાવતા ન્યુક્લિયસમાં રૂપાંતર પામે તો ઊર્જા મુક્ત થાય છે (એટલે કે ઊર્જાનું ઉત્સર્જન થાય છે). જ્યારે ભારે ન્યુક્લિયસનો બે અથવા વધુ વચગાળાનાં દળ ધરાવતાં ટુકડાઓમાં ક્ષય (*વિખંડન, Fission*) થાય છે અથવા હલકાં ન્યુક્લિયસનું *સંલયન* (*Fusion*) થઈ ભારે ન્યુક્લિયસ બને છે ત્યારે આવું જ થાય છે.

કોલસો અથવા પેટ્રોલિયમ જેવા ઊર્જાના પ્રચલિત સ્રોતમાં મૂળભૂત બાબત ઉષ્માક્ષેપક રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ છે. આમાં સંકળાયેલી ઊર્જા ઈલેક્ટ્રૉન વૉલ્ટના ક્રમની હોય છે. બીજી તરફ, ન્યુક્લિયર

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

પ્રક્રિયામાં મુક્ત થતી (ઉત્સર્જન પામતી) ઊર્જા MeVના ક્રમની હોય છે. આથી સમાન જથ્થાનાં દળ માટે ન્યુક્લિયર સ્રોત, રાસાયણિક સ્રોત કરતાં મિલિયન (દસ લાખ, 10^6) ગણી ઊર્જા ઉત્પન્ન કરે છે. દાખલા તરીકે, 1 kg કોલસાના દહનથી 10^7 J ઊર્જા મળે છે જ્યારે 1 kg યુરેનિયમના વિખંડન (Fission)થી 10^{14} J ઊર્જા ઉત્પન્ન થાય છે.

13.7.1 વિખંડન (Fission)

જ્યારે આપણે નૈસર્ગિક (કુદરતી) રેડિયો ઍક્ટિવ વિભંજનોથી કંઈક આગળ જઈને ન્યુક્લિયસ પર પ્રોટોન, ન્યુટ્રોન, α-કણ વગેરે જેવાં અન્ય ન્યુક્લિયર કણોનો મારો ચલાવવાની પ્રક્રિયાઓનો અભ્યાસ કરીએ ત્યારે નવી સંભાવનાઓ ઊભી થાય છે.

સૌથી મહત્વની ન્યુટ્રોન પ્રેરિત ન્યુક્લિયર પ્રક્રિયા એ વિખંડન છે. વિખંડનનું ઉદાહરણ એ યુરેનિયમના સમસ્થાનિક (Isotope) પર ન્યુટ્રોનનો મારો ચલાવતાં તેનું બે વચગાળાનાં દળ ધરાવતા ન્યુક્લિયર ટુકડાઓમાં વિભાજન થઈ જાય તે છે.

$$ {}_0^1n + {}_{92}^{235}\mathrm{U} \rightarrow {}_{92}^{236}\mathrm{U} \rightarrow {}_{56}^{144}Ba + {}_{36}^{89}Kr + 3\,{}_0^1n \quad (13.26) $$

આ જ પ્રક્રિયા વચગાળાનાં દળ ધરાવતા ટુકડાઓની અન્ય જોડ (Pair) પણ ઉત્પન્ન કરી શકે છે.

$$ {}_0^1n + {}_{92}^{235}\mathrm{U} \rightarrow {}_{92}^{236}\mathrm{U} \rightarrow {}_{51}^{133}Sb + {}_{41}^{99}Nb + 4\,{}_0^1n \quad (13.27) $$

અથવા અન્ય ઉદાહરણ તરીકે,

$$ {}_0^1n + {}_{92}^{235}\mathrm{U} \rightarrow {}_{92}^{236}\mathrm{U} \rightarrow {}_{54}^{140}Xe \rightarrow {}_{38}^{94}Sr + 2\,{}_0^1n \quad (13.28) $$

આમાં નીપજતાં ટુકડાઓ રેડિયો ઍક્ટિવ ન્યુક્લિયસ છે, તેઓ ક્રમશઃ β-કણોનું ઉત્સર્જન કરીને સ્થાયી અંતિમ નીપજ બનાવે છે.

યુરેનિયમ જેવા ન્યુક્લિયસની વિખંડન પ્રક્રિયામાં વિમુક્ત થતી (ઉત્સર્જાતી) ઊર્જા, વિખંડન પામતા ન્યુક્લિયસ દીઠ 200 MeV છે. નીચે મુજબ આનો અંદાજ મેળવી શકાય.

ધારોકે આપણે A = 240 ધરાવતો ન્યુક્લિયસ લઈએ અને તે A = 120 ધરાવતા બે ટુકડાઓમાં વિભાજિત થાય, તો

A = 240 ન્યુક્લિયસ માટે E_{bn} = 7.6 MeV

A = 120નાં બે વિભાજિત ન્યુક્લિયસ માટે E_{bn} = 8.5 MeV

ન્યુક્લિયોન દીઠ બંધનઊર્જામાં વધારો = 0.9 MeV

આથી, બંધનઊર્જામાં કુલ વધારો $240 \times 0.9 = 216$ MeV.

વિખંડન ઘટનામાં ઉદ્‌ભવતી આ વિભંજન ઊર્જા શરૂઆતમાં ટુકડાઓ અને ન્યુટ્રોનની ગતિઊર્જાના સ્વરૂપમાં હોય છે. સમય જતાં તે આસપાસના દ્રવ્યમાં રૂપાંતર પામીને ઉષ્મા રૂપે દેખા દે છે. વિદ્યુત ઉત્પન્ન કરનારા ન્યુક્લિયર રીએક્ટરોમાં સ્રોત તરીકે ન્યુક્લિયર વિખંડન છે. પરમાણુ બૉમ્બમાં વિમુક્ત થતી પ્રચંડ ઊર્જા અનિયંત્રિત ન્યુક્લિયર વિખંડન (Fission)માંથી આવે છે. હવે પછીના પરિચ્છેદમાં ન્યુક્લિયર રીએક્ટર કેવી રીતે કાર્ય કરે છે તેની ચર્ચા કરવાના છીએ.

13.7.2 ન્યુક્લિયર રીએક્ટર (Nuclear Reactor)

સમીકરણ (13.26)થી સમીકરણ (13.28)માં દર્શાવેલ વિખંડન પ્રક્રિયાઓમાં એક બહુ મહત્વની હકીકતની નોંધ લો. વિખંડન પ્રક્રિયામાં વધારાના ન્યુટ્રોન પણ મુક્ત થાય છે. દર એક યુરેનિયમ ન્યુક્લિયસના વિખંડન દીઠ સરેરાશ $2\frac{1}{2}$ ન્યુટ્રોન મુક્ત થાય છે. આ અપૂર્ણાંક હોવાનું કારણ એ છે કે કેટલાક વિખંડનમાં 2 ન્યુટ્રોન તો કેટલાંકમાં 3 ન્યુટ્રોન વગેરે ઉત્સર્જિત થાય છે. વધારાના ન્યુટ્રોન વિખંડન

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

ભારતનો પરમાણુ ઊર્જા કાર્યક્રમ (INDIA'S ATOMIC ENERGY PROGRAMME)

ભારતનો પરમાણુ ઊર્જા કાર્યક્રમ સ્વતંત્રતા સમયની આસપાસ હોમી જે. ભાભાના નેતૃત્વ હેઠળ શરૂ કરાયો હતો. પ્રારંભિક ઐતિહાસિક સિદ્ધિ તરીકે ભારતમાં પ્રથમ ન્યુક્લિયર રીએક્ટર (અપ્સરા નામ અપાયું હતું)નું આલેખન (Design) અને રચના હતી. જે 4 ઓગસ્ટ, 1956ના દિવસે કાર્યાન્વિત થયું હતું. તેમાં સમૃદ્ધ યુરેનિયમ બળતણ તરીકે અને પાણી મોડરેટર તરીકે વપરાયાં હતાં. આની પાછળ પાછળ બીજો નોંધપાત્ર સીમાસ્તંભ એ 1960માં CIRUS (Canada India Research U.S.) રીએક્ટરની રચનાનો હતો. આ 40 MWના રીએક્ટરમાં નૈસર્ગિક (કુદરતમાં મળે છે તે સ્વરૂપે) યુરેનિયમ બળતણ તરીકે અને ભારે પાણી મોડરેટર તરીકે વપરાયાં હતાં. અપ્સરા અને સાયરસ દ્વારા મૂળભૂત અને પ્રયોજિત ન્યુક્લિયર વિજ્ઞાનના સંશોધનના વિશાળ વિસ્તારોને પ્રોત્સાહન મળ્યું. પ્રથમ બે દશકના કાર્યક્રમનો મહત્વનો સીમાસ્તંભ એ ટ્રોમ્બે ખાતેના પ્લુટોનિયમ પ્લાન્ટના સ્વદેશી આલેખન (Design) અને રચનાનો હતો. તેનાથી ભારતમાં બળતણની પુનઃપ્રક્રિયા (રીએક્ટરમાં વપરાયેલા બળતણમાંથી વિખંડન કરી શકાય તેવા અને ફળદ્રુપ દ્રવ્યોને અલગ તારવવા)ની ટેકનોલૉજીની શરૂઆત થઈ. ત્યારબાદ શરૂ કરાયેલા સંશોધન રીએક્ટરોમાં ZERLINA, PURNIMA (I, II અને III) DHRUVA અને KAMINIનો સમાવેશ થાય છે. KAMINI એ દેશનું સૌપ્રથમ મોટું રીએક્ટર છે જે U-233ને બળતણ તરીકે વાપરે છે. નામ જ સૂચવે છે કે સંશોધન રીએક્ટરનો મૂળ ઉદ્દેશ એ પાવર ઉત્પન્ન કરવાનો નથી પણ ન્યુક્લિયર વિજ્ઞાન અને ટેક્નોલૉજીના વિવિધ ક્ષેત્રોમાં સંશોધન માટેની સગવડ પુરી પાડવાનો છે. સંશોધન રીએક્ટરો વિવિધ રેડિયોએક્ટિવ સમસ્થાનિકો (Isotopes)ના ઉત્પાદન માટેનો એક સરસ સ્રોત છે. આ સમસ્થાનિકો ઉદ્યોગ, દવાઓ અને કૃષિ જેવા ક્ષેત્રોમાં ઉપયોગી છે.

ભારતના પરમાણુ ઊર્જા કાર્યક્રમના મુખ્ય ઉદ્દેશો દેશના સામાજિક અને આર્થિક વિકાસ માટે સલામત અને વિશ્વસનિય વિદ્યુત પાવર પુરો પાડવાનો અને ન્યુક્લિયર ટેક્નોલૉજીના દરેક પાસામાં સ્વનિર્ભર બનવાનો છે. પચાસના દાયકાની શરૂઆતથી ભારતમાં શરૂ થયેલી પરમાણુ ખનિજોની શોધખોળોએ દર્શાવ્યું કે ભારત પાસે યુરેનિયમનો મર્યાદિત જથ્થો છે પણ થોરિયમનો જથ્થો ઘણા સારા પ્રમાણમાં છે. આ મુજબ, આપણા દેશે ન્યુક્લિયર પાવર ઉત્પાદન માટે ત્રણ તબક્કાની વ્યુહરચના અપનાવી છે. પ્રથમ તબક્કામાં નૈસર્ગિક યુરેનિયમ બળતણ તરીકે અને ભારે પાણી (Heavy Water) મોડરેટર તરીકે વપરાય છે. રીઍક્ટરોમાંથી મળતા વપરાઈ ગયેલા બળતણની પુનઃપ્રક્રિયાથી મળતું પ્લુટોનિયમ-239 દ્વિતિય તબક્કા માટે Fast Breeder Reactorમાં બળતણ (Fuel) તરીકે વપરાય છે. તેમને આવું નામ એટલા માટે અપાયું છે કે તેઓ શૃંખલા પ્રક્રિયાને ચાલુ રાખવા માટે ઝડપી ન્યુટ્રોનનો ઉપયોગ કરે છે (અને તેથી કોઈ મોડરેટરની જરૂર પડતી નથી) અને પાવર ઉત્પાદન કરવા ઉપરાંત તેઓ જેટલું વાપરે તેના કરતાં વધારે વધુ વિખંડનિય (પ્લુટોનિયમ) ઉત્પન્ન કરે છે. તૃતીય તબક્કો લાંબા ગાળે સૌથી મહત્વનો છે તેમાં Fast Breeder Reactorની મદદથી થોરિયમ-232માંથી યુરેનિયમ-233 ઉત્પન્ન કરીને તેમના પર આધારિત પાવર રીએક્ટરો બનાવવાના છે.

હાલમાં ભારત આ કાર્યક્રમના બીજા તબક્કામાં સારી રીતે કાર્ય કરે છે અને ત્રીજા તબક્કા-થોરિયમના ઉપયોગના તબક્કામાં પણ નોંધપાત્ર પ્રગતિ થયેલ છે. ખનિજ શોધખોળો અને ખાણો કરવી, બળતણની રચના, ભારે પાણીનું ઉત્પાદન, રીઍક્ટરનાં આલેખન (Design), નિર્માણ અને સંચાલન, બળતણની પુનઃપ્રક્રિયા વગેરે જેવી જટિલ ટેક્નોલૉજીમાં આપણા દેશે નિપુણતા મેળવી છે. દેશમાં વિવિધ સ્થળોએ બનાવેલા Pressurised Heavy Water Reactors (PHWRs) આ કાર્યક્રમના પ્રથમ તબક્કાની પૂર્ણતા દર્શાવે છે. ભારે પાણીના ઉત્પાદનમાં ભારત હવે સ્વનિર્ભર હોવાથી પણ આગળ વધેલું છે. Radiological Protection (વિકિરણ સામે રક્ષણ) અંગેના કડક પ્રમાણોને વળગી રહેવામાં અને રીઍક્ટરોના આલેખન (Design) અને સંચાલનમાં વિસ્તૃત સલામતી પગલાંઓ ભારતના પરમાણુ ઊર્જા કાર્યક્રમના ગુણવત્તાની અધિકૃત છાપ સમાન છે.

પ્રક્રિયાને હજી આગળ ધપાવીને હજી વધારે ન્યુટ્રોન ઉત્પન્ન કરે છે. એનરિકો ફર્મિએ સૂચવ્યા મુજબ આને કારણે શ્રૃંખલા પ્રક્રિયા (Chain Reaction) શક્ય બને છે. જો આવી શ્રૃંખલા પ્રક્રિયાને યોગ્ય રીતે નિયંત્રિત કરવામાં આવે તો આપણને સ્થાયી દરથી ઊર્જા મળે. ન્યુક્લિયર રીએક્ટરમાં આવું જ થાય છે. જો શ્રૃંખલા પ્રક્રિયા અનિયંત્રિત હોય તો ન્યુક્લિયર બૉમ્બની જેમ ધડાકાભેર ઊર્જા બહાર પડે છે.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

જોકે, અત્રે દર્શાવેલી શ્રૃંખલા પ્રક્રિયાને સતત ચાલુ રાખવામાં એક અડચણ છે. પ્રયોગથી એમ જણાયું છે કે $^{235}_{92}$Uનું વિખંડન ઉપજાવવામાં ધીમા ન્યુટ્રૉન (Slow Neutrons, Thermal Neutrons) ઝડપી (Fast) ન્યુટ્રૉન કરતાં વધુ અસરકારક છે. ઉપરાંત, વિખંડનમાં મુક્ત થયેલા ઝડપી ન્યુટ્રૉન બીજી વિખંડન પ્રક્રિયા ઉપજાવવાને બદલે ભાગી છૂટે એમ પણ બને.

$^{235}_{92}$U ના વિખંડનથી ઉદ્‌ભવેલા ન્યુટ્રૉનની સરેરાશ ઊર્જા 2 MeV છે. આ ન્યુટ્રૉનને જો ધીમા પાડવામાં ન આવે તો યુરેનિયમ ન્યુક્લિયસ સાથે પ્રક્રિયા કર્યા વિના રીઍક્ટરમાંથી ભાગી છૂટશે, સિવાય કે શ્રૃંખલા પ્રક્રિયાને ચાલુ રાખવા વિખંડનિય દ્રવ્યનો ખૂબ વધારે જથ્થો વાપરવામાં આવે. ઝડપી ન્યુટ્રૉનને હલકાં ન્યુક્લિયસ સાથેના સ્થિતિસ્થાપક પ્રકીર્ણન (Scattering)થી ધીમા પાડવાની જરૂર છે. હકીકતમાં ચૅડ્‌વિકના પ્રયોગોએ દર્શાવ્યું કે હાઈડ્રોજન સાથેના સ્થિતિસ્થાપક સંઘાતમાં ન્યુટ્રૉન લગભગ સ્થિર થાય છે અને પ્રોટોન ઊર્જા લઈ જાય છે. આ પરિસ્થિતિ એક લખોટી બીજી તેના જેવી જ પણ સ્થિર લખોટીને સન્મુખ અથડાય તેના જેવી જ છે.

આથી, રીઍક્ટર્સમાં *મોડરેટર* તરીકે ઓળખાતાં હલકાં ન્યુક્લિયસ વિખંડનિય ન્યુક્લિયસની સાથે જ, ઝડપી ન્યુટ્રૉનને ધીમા પાડવા માટે રાખેલા હોય છે. સામાન્ય રીતે વપરાતાં મોડરેટર પાણી, ભારે પાણી (D_2O) અને ગ્રેફાઈટ છે. મુંબઈમાં ભાભા ઍટમિક રિચર્સ સેન્ટર ખાતેના અપ્સરા રીઍક્ટરમાં મોડરેટર તરીકે પાણી વપરાય છે. પાવર ઉત્પાદન માટે વપરાતા અન્ય ભારતીય રીઍક્ટર્સ મોડરેટર તરીકે ભારે પાણી વાપરે છે.

મોડરેટરના ઉપયોગને લીધે એ શક્ય છે કે કોઈ એક પેઢી (Generation)ના ન્યુટ્રૉન વડે ઉપજાવેલાં વિખંડનની સંખ્યા અને તેની અગાઉની પેઢી (Generation)માં ઉપજેલાં વિખંડનની સંખ્યાનો ગુણોત્તર K, એક કરતાં મોટો હોય. આ ગુણોત્તરને *ગુણક અંક* (*Multiplication Factor*) કહે છે અને તે રીઍક્ટરમાં ન્યુટ્રૉનના વૃદ્ધિ દરનું માપ છે. $K = 1$ માટે રીઍક્ટર *ક્રિટિકલ-Critical* થયાનું કહેવાય છે અને સ્થાયી પાવર ઉત્પન્ન કરવા માટે આપણે તે જ ઈચ્છીએ છીએ. જો K એક કરતાં વધી જાય તો પ્રક્રિયાનો દર અને રીઍક્ટરનો પાવર ચરઘાતાંકી રીતે (Exponentially) વધી જાય છે. ગુણક અંક Kને ઘટાડીને એકની ખૂબ નજીક લાવવામાં ન આવે તો રીઍક્ટર સુપર ક્રિટિકલ-(Super Critical) બની જાય અને ધડાકો (વિસ્ફોટ) પણ થઈ શકે. 1986માં યુક્રેનમાં ચેર્નોબીલ રીઍક્ટરમાં થયેલ ધડાકો એ દુ:ખદ યાદ અપાવે છે કે ન્યુક્લિયર રીઍક્ટરમાં અકસ્માતો આફત બની શકે છે.

પ્રક્રિયાનો દર નિયંત્રિત કરવા માટે ન્યુટ્રૉનનું શોષણ કરે તેવા કેડ્‌મિયમ જેવા દ્રવ્યના બનેલા નિયંત્રક-સળિયાઓ વપરાય છે. નિયંત્રક-સળિયાઓ ઉપરાંત રીઍક્ટરમાં *સલામતી સળિયાઓ* - (*Safety Rods*) પણ હોય છે જેઓને જ્યારે જરૂર પડે ત્યારે રીઍક્ટરમાં દાખલ કરીને Kનું મૂલ્ય ઝડપથી એક કરતાં ઓછું કરી શકાય.

કુદરતી રીતે મળતા યુરેનિયમમાં વધુ પ્રમાણમાં રહેલો સમસ્થાનિક (Isotope) $^{238}_{92}$U વિખંડનીય (વિખંડન થઈ શકે તેવો) નથી. જ્યારે તે એક ન્યુટ્રૉનને પ્રાપ્ત કરે છે ત્યારે તે નીચેની પ્રક્રિયાઓ મારફત અત્યંત રેડિયોઍક્ટિવ એવું પ્લુટોનિયમ ઉત્પન્ન કરે છે.

$$^{238}_{92}\text{U} + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{239}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{239}_{93}\text{N}_p + e^- + \bar{\nu}$$

$$^{239}_{93}\text{N}p \rightarrow {}^{239}_{94}\text{P}u + e^- + \bar{\nu} \qquad (13.29)$$

પ્લુટોનિયમ ધીમા ન્યુટ્રૉનથી વિખંડિત થાય છે.

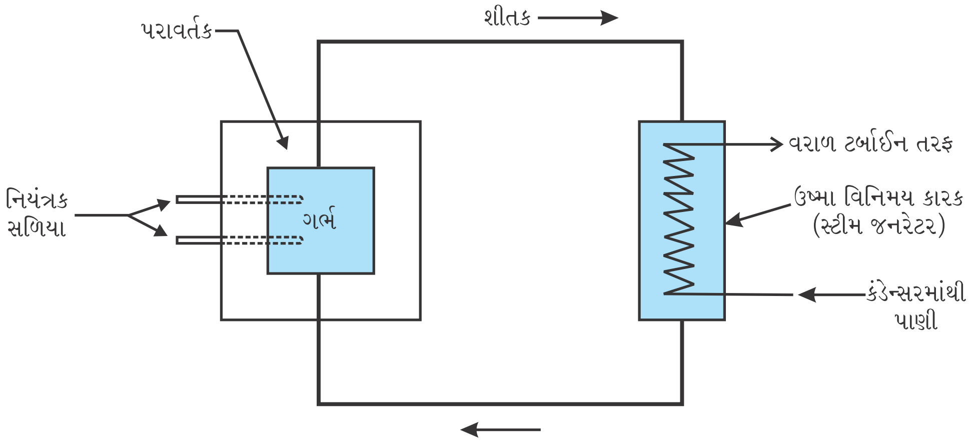
ઉષ્મીય (Thermal) ન્યુટ્રૉન વિખંડન પર આધારિત ન્યુક્લિયર રીઍક્ટરની રેખાકૃતિ આકૃતિ 13.5માં દર્શાવી છે. રીઍક્ટરનો *ગર્ભ-અંદરનો મધ્યભાગ* - એ ન્યુક્લિયર વિખંડનનું સ્થાન છે તે યોગ્ય સ્વરૂપમાં રચીને રાખેલા બળતણ (Fuel) તત્વો ધરાવે છે. બળતણ તરીકે સમૃદ્ધ (Enriched) યુરેનિયમ (એટલે કે કુદરતી રીતે મળતા યુરેનિયમમાં હોય તે કરતાં તેનામાં $^{235}_{92}$U નું પ્રમાણ વધારે હોય) હોઈ શકે છે.

Nuclear power plants in India
http://www.npcil.nic.in/plantsInoperation.asp

PHYSICS

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com



આકૃતિ 13.5 ઉષ્મીય ન્યુટ્રોન વિખંડન પર આધારિત ન્યુક્લિયર રીએક્ટરની રેખાકૃતિ

આ ગર્ભમાં ન્યુટ્રોનને ધીમા પાડવા માટે મોડરેટર હોય છે. ગર્ભની આસપાસ લીકેજ (Leakage) ઘટાડવા માટે *પરાવર્તક* હોય છે. વિખંડનમાં મુક્ત થતી (બહાર પડતી) ઊર્જા (ઉષ્મા) યોગ્ય *શીતક* (*Coolant*) દ્વારા દૂર કરાય છે. આ બધાને ધારણ કરતું પાત્ર વિખંડનની રેડિયો ઍક્ટિવ નીપજોને લીક થતું રોકે છે. આ સમગ્ર તંત્ર-સમૂહ (Assembly) નુકશાનકારક વિકિરણ બહાર ન આવે તે રીતે રક્ષિત કરી દેવામાં આવે છે. ન્યુટ્રોનનું પુષ્કળ શોષણ કરી શકે તેવા સળિયાઓ (દા.ત., કેડ્મિયમના બનેલા)ની મદદથી રીએક્ટરને બંધ કરી શકાય છે. શીતક ઉષ્માને કાર્યકારી તરલમાં પહોંચાડે છે અને તે વરાળ ઉત્પન્ન કરે છે. વરાળ ટર્બાઈનને ચલાવે છે અને વિદ્યુત ઉત્પન્ન કરે છે.

કોઈ પણ પાવર રીએક્ટરની જેમ જ ન્યુક્લિયર રીઍક્ટર ખાસ્સી માત્રામાં બિનઉપયોગી પદાર્થો (કચરો) ઉત્પન્ન કરે છે. પરંતુ ન્યુક્લિયર કચરો રેડિયો ઍક્ટિવ અને જોખમી (Hazardous) હોવાથી તેના નિકાલ માટે વિશેષ કાળજીની જરૂર છે. રીઍક્ટરના સંચાલન અને ખર્ચાયેલા બળતણને સંભાળવા અને પુનઃપ્રક્રિયા કરવામાં વિસ્તૃત સલામતી પગલાંઓ જરૂરી છે. આ સલામતી પગલાંઓ, ભારતના પરમાણુ ઊર્જા કાર્યક્રમનું વિશિષ્ટ લક્ષણ છે. રેડિયો ઍક્ટિવ કચરાનું રૂપાંતર ઓછા ઍક્ટિવ અને અલ્પજીવી દ્રવ્યમાં કરવાની શક્યતાના અભ્યાસની યોગ્ય યોજના વિકસાવવામાં આવી રહી છે.

A simplified online simulation of a nuclear reactor
http://www.kernenergie.net/datf/en/interactive/reactor.php

PHYSICS

13.7.3 ન્યુક્લિયર સંલયન-તારાઓમાં ઊર્જાની ઉત્પત્તિ (Nuclear Fusion - Energy Production in Stars)

આકૃતિ 13.1માં બંધનઊર્જા વક્ર પરથી આપણે જોઈ ગયા તે મુજબ, જ્યારે બે હલકાં ન્યુક્લિયસ સંલગ્ન (Fuse) થઈ એક ભારે (એટલે કે મોટું) ન્યુક્લિયસ બનાવે છે ત્યારે ઊર્જા વિમુક્ત થાય છે કારણ કે મોટું ન્યુક્લિયસ વધારે સખતાઈથી (Tightly) બંધિત હોય છે. ઊર્જામુક્ત કરતી આવી કેટલીક ન્યુક્લિયર સંલયન પ્રક્રિયાઓનાં ઉદાહરણ નીચે મુજબ છે :

$$ {}^1_1\text{H} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^2_1\text{H} + e^+ + \nu + 0.42\,\text{MeV} \qquad [13.29(a)]$$

$$ {}^2_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^3_2He + n + 3.27\,\text{MeV} \qquad [13.29(b)]$$

$$ {}^2_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^3_1\text{H} + {}^1_1\text{H} + 4.03\,\text{MeV} \qquad [13.29(c)]$$

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

પ્રથમ પ્રક્રિયામાં, બે પ્રોટોન સંયોજાઈને એક ડ્યુટેરોન અને એક પૉઝિટ્રોન બનાવે છે અને 0.42 MeV ઊર્જા વિમુક્ત થાય છે. [13.29(b)]માંની પ્રક્રિયામાં, બે ડ્યુટેરોન સંયોજાઈને હિલિયમનો હલકો ન્યુક્લિયસ બનાવે છે [13.29(c)]માંની પ્રક્રિયામાં બે ડ્યુટેરોન સંયોજાઈને એક ટ્રિટોન અને એક પ્રોટોન બનાવે છે. સંલયન થવા માટે બે ન્યુક્લિયસ એકબીજાની એટલાં નજીક આવવાં જોઈએ કે આકર્ષક એવાં ટૂંકા અંતરી ન્યુક્લિયર બળો તેમના પર અસર કરી શકે. જોકે તેઓ બંને ધન વિદ્યુતભારિત હોવાથી તેઓ કુલંબ અપાકર્ષણ અનુભવે છે. આથી, તેઓની ઊર્જા કુલંબ અપાકર્ષણરૂપી દિવાલને ઓળંગી શકે તેટલી પુરતી હોવી જોઈએ. આ અપાકર્ષણરૂપી દિવાલની ઊંચાઈ આંતરક્રિયા કરતા તે બે ન્યુક્લિયસના વિદ્યુતભાર અને ત્રિજ્યાઓ પર આધારિત છે. દા.ત., એવું દર્શાવી શકાય છે કે બે પ્રોટોન માટે આવી અપાકર્ષણરૂપી દિવાલની ઊંચાઈ ~ 400 *keV* જેટલી છે અને વધુ વિદ્યુતભાર ધરાવતા ન્યુક્લિયસ માટે વધારે ઊંચી હોય છે. આવી કુલંબ અપાકર્ષણરૂપી દિવાલની ઊંચાઈને ઓળંગી જવા માટે પ્રોટોન વાયુમાં રહેલાં બે પ્રોટોનને જરૂરી (સરેરાશ) ઊર્જા હોવા માટે લગભગ કેટલું તાપમાન હોય તેનો અંદાજ આપણે મેળવી શકીએ છીએ.

$(3/2)\ kT = $K (ગ.ઊ.), 400 keV, તે પરથી $T \sim 3 \times 10^9$ K

જ્યારે કુલંબ અપાકર્ષણરૂપી દિવાલને ઓળંગી જવા માટે તાપમાન વધારીને પુરતી ઊર્જા પુરી પાડીને કણોનું સંલયન કરાવવામાં આવે, તે પ્રક્રિયાને *તાપ ન્યુક્લિયર સંલયન* (*Thermo Nuclear Fusion*) કહે છે.

તાપ ન્યુક્લિયર સંલયન એ તારાઓના અંતરિયાળ ભાગમાં ઉદ્ભવતી ઊર્જાનો સ્રોત છે. સૂર્યના અંતરિયાળ ભાગનું તાપમાન 1.5×10^7K છે, જે સરેરાશ ઊર્જા ધરાવતા કણોના સંલયન માટે અંદાજિત તાપમાન કરતાં ખાસ્સું ઓછું છે. સ્પષ્ટપણે, સૂર્યમાં સંલયન માટે પ્રોટોનની ઊર્જા સરેરાશ ઊર્જા કરતાં ઘણી વધારે હોવી જરૂરી છે.

સૂર્યમાં થતી સંલયન પ્રક્રિયા એ ઘણા તબક્કાઓમાં થતી પ્રક્રિયા છે કે જેમાં હાઈડ્રોજન દહન પામીને હિલિયમ બનાવે છે. આમ સૂર્યમાં બળતણ તરીકે તેના ગર્ભભાગમાં રહેલો હાઈડ્રોજન છે. આ સંલયન પ્રક્રિયા જેના દ્વારા થાય છે તે *પ્રોટોન-પ્રોટોન* (p, p) *ચક્ર* નીચેની પ્રક્રિયાઓના સમૂહ દ્વારા રજૂ કરાય છે :

$${}^1_1\text{H} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^2_1\text{H} + e^+ + \nu + 0.42\ \text{MeV} \qquad \text{(i)}$$

$$e^+ + e^- \rightarrow \gamma + \gamma + 1.02\ \text{MeV} \qquad \text{(ii)}$$

$${}^2_1\text{H} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^3_2He + \gamma + 5.49\ \text{MeV} \qquad \text{(iii)}$$

$${}^3_2He + {}^3_2He \rightarrow {}^4_2He + {}^1_1\text{H} + {}^1_1\text{H} + 12.86\ \text{MeV} \qquad \text{(iv)} \qquad (13.30)$$

ચોથી પ્રક્રિયા થવા માટે પહેલી ત્રણ પ્રક્રિયાઓ બે વાર થવી જોઈએ અને આ કિસ્સામાં બે હલકાં હિલિયમ ન્યુક્લિયસ જોડાઈને સામાન્ય હિલિયમ ન્યુક્લિયસ બનાવે છે. જો આપણે 2(i) + 2(ii) + 2(iii) + (iv) સંયોજન વિચારીએ તો કુલ અસર આ પ્રમાણે થશે :

$$4{}^1_1\text{H} + 2e^- \rightarrow {}^4_2He + 2\nu + 6\gamma + 26.7\ \text{MeV}$$

$$\text{અથવા } (4{}^1_1\text{H} + 4e^-) \rightarrow ({}^4_2He + 2e^-) + 2\nu + 6\gamma + 26.7\ \text{MeV} \qquad (13.31)$$

આમ, ચાર હાઈડ્રોજન પરમાણુઓ સંયોજિત થઈને ${}^4_2$He પરમાણુ બનાવે છે અને તેમાં 26.7 MeV ઊર્જા વિમુક્ત થાય છે (એટલે કે બહાર પડે છે).

તારાના અંતરિયાળ ભાગમાં સંલયનથી માત્ર હિલિયમ જ બને છે એવું નથી. ગર્ભભાગનો હાઈડ્રોજન હિલિયમ બનાવવામાં વપરાઈ જાય (ખલાસ થતો જાય) ત્યારે ગર્ભભાગ ઠંડો પડવા લાગે છે. તારો તેના પોતાના ગુરુત્વની અસર હેઠળ સંકોચાવા લાગે છે, જેના લીધે ગર્ભભાગનું તાપમાન વધવા

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

લાગે છે. જો આ તાપમાન વધીને લગભગ 10^8 K જેટલું બને તો ફરીથી સંલયન થાય છે પરંતુ હવે હિલિયમનાં ન્યુક્લિયસનું કાર્બનમાં સંલયન થાય છે. આ પ્રકારની પ્રક્રિયા સંલયન દ્વારા મોટાને મોટા દળાંક ધરાવતાં તત્વો ઉત્પન્ન કરે છે પણ આકૃતિ 13.1માંના બંધનઊર્જા વક્રની ટોચ નજીકના દળાંક કરતાં વધારે દળાંકવાળાં તત્વો આ રીતે બની શકતાં નથી.

સૂર્યની ઉંમર લગભગ 5×10^9 y છે અને એવો અંદાજ કરવામાં આવેલ છે કે સૂર્યમાં પુરતો હાઈડ્રોજન છે કે જેથી તે હજી બીજા 5 બિલિયન વર્ષ સુધી પ્રકાશી શકશે. ત્યારબાદ હાઈડ્રોજનનું દહન બંધ થઈ જશે અને સૂર્ય ઠંડો પડવાનો શરૂ થશે અને ગુરુત્વની અસર હેઠળ સંકોચાવા લાગશે અને તેનાથી ગર્ભભાગનું તાપમાન વધશે. સૂર્યનું બાહ્ય આવરણ વિસ્તરવા લાગશે અને તે જેને *રેડ જાયન્ટ* (*Red Giant*) કહીએ છીએ તેમાં ફેરવાશે.

ન્યુક્લિયર સર્વનાશ (NUCLEAR HOLOCAUST)

યુરેનિયમના એક વિખંડનથી લગભગ 0.9 × 235 Mev (≈ 200 MeV) ઊર્જા વિમુક્ત થાય છે. લગભગ 50 kg ^{235}Uનું દરેક ન્યુક્લિયસ વિખંડન પામે તો લગભગ 4×10^{15} J ઊર્જા વિમુક્ત થાય. આ ઊર્જા લગભગ 20,000 ટન TNTને સમતુલ્ય છે, તે પ્રચંડ વિસ્ફોટ માટે પુરતી છે. વિપુલ ન્યુક્લિયર ઊર્જાના અનિયંત્રિત ઉત્સર્જનને પરમાણુ વિસ્ફોટ (Atomic Explosion) કહે છે. સૌ પ્રથમવાર ઑગસ્ટ 6, 1945ના દિવસે યુદ્ધમાં પરમાણુ હથિયારનો ઉપયોગ થયો હતો. જાપાનના હિરોશિમા પર US દ્વારા પરમાણુ બોંબ ઝીંકાયો હતો. આ વિસ્ફોટ 20,000 TNTને સમતુલ્ય હતો. તત્ક્ષણ રેડિયોઍક્ટિવ નીપજોએ 3,43,000 રહેવાસી ધરાવતા શહેરના 10 $(km)^2$ વિસ્તારનો સર્વનાશ કર્યો હતો. આમાં 66,000 મૃત્યુ પામ્યા હતા અને 69,000 ઘવાયા હતા, શહેરનું 67 % બાંધકામ નાશ પામ્યું હતું.

સંલયન પ્રક્રિયાઓ માટેની ઊંચા તાપમાનની પરિસ્થિતિ વિખંડન બૉમ્બના વિસ્ફોટથી ઉત્પન્ન કરી શકાય છે. 10 મેગાટન TNTની વિસ્ફોટક શક્તિને સમતુલ્ય પ્રચંડ વિસ્ફોટોનું 1954માં પરીક્ષણ થયું હતું. હાઈડ્રોજનના સમસ્થાનિકો ડ્યુટેરિયમ અને ટ્રિટિયમના સંલયનને સાંકળતા આવા બૉમ્બને હાઈડ્રોજન બૉમ્બ કહે છે. એવો અંદાજ કરવામાં આવ્યો છે કે આપણા ગ્રહ પરના જીવનના બધા સ્વરૂપોને અનેક વખત નાશ કરી શકે તેવો ન્યુક્લિયર શસ્ત્રાગાર હાલમાં મોજૂદ છે જે બટન દબાવતાં જ સર્વનાશ કરે. આવો ન્યુક્લિયર સર્વનાશ આપણા ગ્રહ પર અત્યારે અસ્તિત્વ ધરાવતા જીવનનો તો નાશ કરશે જ પણ તેની રેડિયોઍક્ટિવ નીપજો આ ગ્રહને હંમેશ માટે જીવન માટે અયોગ્ય બનાવશે. સૈદ્ધાંતિક ગણતરીઓ એવી આગાહી કરે છે કે રેડિયોઍક્ટિવ કચરો પૃથ્વીના વાતાવરણમાં વાદળની પેઠે લટકતો રહેશે અને સૂર્યનાં કિરણોનું શોષણ કરી લઈ પૃથ્વી પર '*ન્યુક્લિયર શિયાળો*' (*Nuclear Winter*) ઉત્પન્ન કરશે.

13.7.4 નિયંત્રિત તાપ ન્યુક્લિયર સંલયન (Controlled Thermonuclear Fusion)

તારામાં કુદરતી રીતે થતી તાપ ન્યુક્લિયર સંલયનની પ્રક્રિયાની તાપ ન્યુક્લિય સંલયન રચનામાં નકલ કરવામાં આવે છે. નિયંત્રિત સંલયન રીએક્ટરોમાં ન્યુક્લિયર બળતણને 10^8 K જેવા ઊંચા તાપમાન સુધી ગરમ કરી સ્થાયી પાવર ઉત્પન્ન કરવાનો ઉદ્દેશ હોય છે. આવા ઊંચા તાપમાને બળતણ ધન આયનો અને ઈલેક્ટ્રૉનના મિશ્રણ (પ્લાઝમા) રૂપમાં હોય છે. આટલું ઊંચું તાપમાન કોઈ પાત્ર સહન કરી શકે તેમ ન હોવાથી આ પ્લાઝમાને બંધિત કરવું (કેદ કરવું) એ મોટો પડકાર છે. ભારત સહિત વિશ્વભરમાં ઘણા દેશો આ અંગેની ટેકનીક વિકસાવી રહ્યાં છે. જો સફળ થાય તો, સંલયન રીએક્ટરો માનવજાતને લગભગ અમર્યાદ પાવર પુરો પાડી શકશે.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

ઉદાહરણ 13.7 નીચેના પ્રશ્નોના જવાબ આપો :

(a) ન્યુક્લિયર પ્રક્રિયાઓ (પરિચ્છેદ 13.7માં દર્શાવેલી છે તેવી)નાં સમીકરણો જે અર્થમાં રાસાયણિક સમીકરણ (દા.ત., $2H_2 + O_2 = 2H_2O$) સમતોલ છે, તે અર્થમાં 'સમતોલ' છે ? જો આમ ન હોય, તો કયા અર્થમાં તેઓ બંને બાજુ સમતોલ છે ?

(b) જો પ્રોટોન સંખ્યા અને ન્યુટ્રોન સંખ્યા દરેક ન્યુક્લિયર પ્રક્રિયામાં સંરક્ષિત રહેતી હોય તો ન્યુક્લિયર પ્રક્રિયામાં દળનું રૂપાંતર ઊર્જામાં (અથવા ઉલટું) કેવી રીતે થાય છે ?

(c) એક સામાન્ય છાપ એવી છે કે દળ અને ઊર્જાનું એકબીજામાં રૂપાંતર માત્ર ન્યુક્લિયર પ્રક્રિયામાં જ થાય છે અને રાસાયણિક પ્રક્રિયામાં કદાપિ નહિ. આ તદ્દન ખોટું છે. સમજાવો.

ઉકેલ

(a) રાસાયણિક સમીકરણ એ અર્થમાં સમતોલ છે કે દરેક તત્વના પરમાણુઓની સંખ્યા સમીકરણની બંને બાજુએ સમાન હોય છે. રાસાયણિક પ્રક્રિયા માત્ર પરમાણુઓના મૂળ સંયોજનોને બદલે છે. ન્યુક્લિયર પ્રક્રિયામાં તત્વોનું રૂપાંતર થતું હોઈ શકે. આમ, ન્યુક્લિયર પ્રક્રિયામાં દરેક તત્વના પરમાણુઓની સંખ્યા સંરક્ષિત થવી જ જોઈએ એવું જરૂરી નથી. આમ છતાં ન્યુક્લિયર પ્રક્રિયામાં પ્રોટોનની સંખ્યા અને ન્યુટ્રોનની સંખ્યા અલગ અલગથી સંરક્ષિત થાય છે. (હકીકતમાં, આ પણ ઊંચી ઊર્જાના વિસ્તારમાં તદ્દન સાચું નથી. જેનું સંપૂર્ણપણે સંરક્ષણ થાય છે તે 'કુલ વિદ્યુતભાર' અને કુલ 'બેરિયોન સંખ્યા' છે. અહીં આપણે આને આગળ નહિ ધપાવીએ. ન્યુક્લિયર પ્રક્રિયાઓ (દા.ત., સમીકરણ 13.26)માં પ્રોટોન સંખ્યા અને ન્યુટ્રોન સંખ્યા સમીકરણની બંને બાજુએ સમાન હોય છે.

(b) આપણે જાણીએ છીએ કે ન્યુક્લિયસની બંધનઊર્જા ન્યુક્લિયસના દળમાં ઋણ ફાળો (દળ ક્ષતિ) આપે છે. હવે, પ્રોટોન સંખ્યાનું અને ન્યુટ્રોન સંખ્યાનું ન્યુક્લિયર પ્રક્રિયામાં સંરક્ષણ થતું હોવાથી, ન્યુટ્રોનનું કુલ સ્થિર દળ અને પ્રોટોનનું કુલ સ્થિર દળ પ્રક્રિયાની બંને બાજુએ સમાન હોય છે. પરંતુ ડાબી બાજુએ બધા ન્યુક્લિયસની કુલ બંધનઊર્જા જમણી બાજુના બધા ન્યુક્લિયસની કુલ બંધનઊર્જાને બરાબર જ હોય તે જરૂરી નથી. આ બંધનઊર્જાઓમાંનો તફાવત ન્યુક્લિયર પ્રક્રિયામાં વિમુક્ત થતી કે શોષાતી ઊર્જારૂપે દેખા દે છે. બંધનઊર્જા દળમાં ફાળો આપતી હોવાથી આપણે એમ કહીએ છીએ કે બંને બાજુના ન્યુક્લિયસના કુલ દળનો તફાવત ઊર્જામાં રૂપાંતર પામે છે અથવા તેથી ઉલટું થાય છે. આ અર્થમાં ન્યુક્લિયર પ્રક્રિયા દળ-ઊર્જાના આંતરરૂપાંતરણ (એકબીજામાં રૂપાંતરણ)નું ઉદાહરણ છે.

(c) દળ અને ઊર્જાના આંતર-રૂપાંતરણની દૃષ્ટિએ, *સિદ્ધાંતમાં* તો રાસાયણિક પ્રક્રિયા ન્યુક્લિયર પ્રક્રિયા જેવી છે. રાસાયણિક પ્રક્રિયામાં વિમુક્ત થયેલી કે શોષાયેલી ઊર્જા પ્રક્રિયાની બે બાજુઓ પરના પરમાણુઓ અને અણુઓની રાસાયણિક (ન્યુક્લિયર નહિ) બંધનઊર્જાના તફાવત સાથે સંબંધિત છે. બહુ સાચું કહીએ તો રાસાયણિક બંધનઊર્જા પણ પરમાણુ કે અણુના કુલ દળમાં ઋણ ફાળો (દળક્ષતિ) આપે છે તેથી આપણે એમ પણ કહી શકીએ કે રાસાયણિક પ્રક્રિયાની બે બાજુના પરમાણુઓ કે અણુઓના કુલ દળમાંનો તફાવત ઊર્જામાં રૂપાંતર (અથવા એથી ઉલટું) પામે છે. જો કે, રાસાયણિક પ્રક્રિયામાંની દળક્ષતિઓ ન્યુક્લિયર પ્રક્રિયામાંની દળક્ષતિઓની દસ લાખ ગણી નાની હોય છે. દળ-ઊર્જા આંતર-રૂપાંતરણ રાસાયણિક પ્રક્રિયામાં થતું નથી તેવી સામાન્ય છાપ (જે *ખોટી* છે)નું આ કારણ છે.

ઉદાહરણ 13.7

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

ન્યુક્લિયસ

સારાંશ

1. પરમાણુને ન્યુક્લિયસ હોય છે. ન્યુક્લિયસ ધન વિદ્યુતભારિત છે. ન્યુક્લિયસની ત્રિજ્યા પરમાણુની ત્રિજ્યા કરતાં 10^4 ગણી નાની છે. પરમાણુનું 99.9 % કરતાંય વધુ દળ ન્યુક્લિયસમાં કેન્દ્રિત થયેલું છે.
2. પરમાણુ માપક્રમ પર દળને atomic mass unit (u)માં માપવામાં આવે છે. વ્યાખ્યા મુજબ, 1 atomic mass unit એ ^{12}C પરમાણુના દળનો બારમો ભાગ (1/12 ગણો) છે, $1\,u = 1.660563 \times 10^{-27}$ kg
3. ન્યુક્લિયસ ન્યુટ્રોન તરીકે ઓળખાતા તટસ્થ કણ ધરાવે છે. તેનું દળ પ્રોટોનના દળ જેટલું લગભગ છે.
4. પરમાણુ ક્રમાંક Z એ તત્વના પરમાણુના ન્યુક્લિયસમાં રહેલા પ્રોટોનની સંખ્યા છે. દળાંક A એ પરમાણુના ન્યુક્લિયસમાં રહેલા પ્રોટોન અને ન્યુટ્રોનની કુલ સંખ્યા છે, $A = Z + N$; અહીં N ન્યુક્લિયસમાં રહેલા ન્યુટ્રોનની સંખ્યા દર્શાવે છે.
   ન્યુક્લિયસનો પ્રકાર અથવા ન્યુક્લાઈડ $^{A}_{Z}X$ તરીકે દર્શાવાય છે. જ્યાં, X એ તત્વની રાસાયણિક સંજ્ઞા (પ્રતિક) છે. એકસમાન પરમાણુ ક્રમાંક Z ધરાવતા પણ જુદી જુદી ન્યુટ્રોન સંખ્યા N ધરાવતા ન્યુક્લાઈડ્ઝને *સમસ્થાનિકો* (*Isotopes*) કહે છે. સમાન A ધરાવતા ન્યુક્લાઈડ્ઝને સમદળીય કહે છે અને સમાન N ધરાવતા ન્યુક્લાઈડ્ઝને *આઈસોટોન્સ* (*Isotones*) કહે છે.
   મોટાભાગના તત્વો બે કે વધુ સમસ્થાનિકો (Isotopes)ના મિશ્રણ રૂપે રહેલા છે. તત્વનું પરમાણુદળ તેના સમસ્થાનિકોના દળોના ભારિત (Weighted) સરેરાશ જેટલું હોય છે. આવું ભારિત સરેરાશ સમસ્થાનિકોના સાપેક્ષ પ્રમાણથી નક્કી થાય છે.
5. ન્યુક્લિયસને ગોળાકાર સ્વરૂપે વિચારી શકાય અને તેને ત્રિજ્યાનો નિર્દેશ કરી શકાય. ઈલેક્ટ્રૉનના પ્રકીર્ણનના પ્રયોગો પરથી ન્યુક્લિયસની ત્રિજ્યા નક્કી કરી શકાય છે. એમ જણાય છે કે ન્યુક્લિયસની ત્રિજ્યા $R = R_0 A^{1/3}$
   સૂત્રને અનુસરે છે. જ્યાં, R_0 = અચળાંક = 1.2 *fm*. આનો અર્થ એ છે કે ન્યુક્લિયસની ઘનતા A પર આધારિત નથી. તે 10^{17} kg/m^{3}ના ક્રમની છે.
6. ન્યુટ્રોન અને પ્રોટોન ન્યુક્લિયસમાં ટૂંકા અંતરી (Short-Range) પ્રબળ ન્યુક્લિયર બળ દ્વારા બંધિત છે. ન્યુક્લિયર બળ ન્યુટ્રોન અને પ્રોટોન વચ્ચે ભેદ રાખતું નથી.
7. ન્યુક્લિયસનું દળ M, તેના ઘટકોના કુલ દળ Σm, કરતાં હંમેશા ઓછું જ હોય છે. ન્યુક્લિયસના દળ અને તેના ઘટકોના કુલ દળ વચ્ચેના તફાવતને *દળ ક્ષતિ* (*Mass Defect*) કહે છે. $\Delta M = [Z m_p + (A - Z) m_n] - M$
   આઈન્સ્ટાઈનના દળઊર્જા સંબંધનો ઉપયોગ કરી, આપણે આ દળ તફાવતને ઊર્જામાં આ મુજબ દર્શાવીએ છીએ. $\Delta E_b = \Delta M c^2$
   ઊર્જા ΔE_b, ન્યુક્લિયસની *બંધનઊર્જા* દર્શાવે છે. 30થી 170 સુધીના દળાંકના વિસ્તારમાં, ન્યુક્લિયોન દીઠ બંધનઊર્જા લગભગ અચળ છે, લગભગ 8 MeV/Nucleon.
8. ન્યુક્લિયર પ્રક્રિયાઓમાં સંકળાયેલી ઊર્જાઓ રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ કરતાં લગભગ દસ લાખ ગણી હોય છે.
9. ન્યુક્લિયર પ્રક્રિયાનું Q-મૂલ્ય Q = અંતિમ ગતિઊર્જા − પ્રારંભિક ગતિઊર્જા છે.
   દળ-ઊર્જાની સમતુલ્યતાને લીધે આ Q-મૂલ્યને
   Q = (પ્રારંભિક દળોનો સરવાળો − અંતિમ દળોનો સરવાળો)c^2 તરીકે પણ લખી શકાય છે.
10. રેડિયો ઍક્ટિવિટી એ આપેલ ન્યુક્લાઈડ્ઝની α અથવા β અથવા γ-કિરણો ઉત્સર્જિત કરીને રૂપાંતર પામવાની ઘટના છે. α-કિરણો હિલિયમનાં ન્યુક્લિયસ છે. β-કિરણો ઈલેક્ટ્રૉન છે. γ-કિરણો X-કિરણો કરતાં ટૂંકી તરંગલંબાઈ ધરાવતાં વિદ્યુતચુંબકીય વિકિરણ છે.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

11. રેડિયો ઍક્ટિવ ક્ષયનો નિયમ : $N(t) = N(0)\,e^{-\lambda t}$
જ્યાં, λ ક્ષય નિયતાંક અથવા રેડિયો ઍક્ટિવ નિયતાંક છે. રેડિયો ન્યુક્લાઈડનું અર્ધ-આયુ $T_{1/2}$ એ Nને તેના પ્રારંભિક મૂલ્યનું અડધું થવા માટે લાગતો સમયગાળો છે. સરેરાશ જીવનકાળ τ એ Nને તેના પ્રારંભિક મૂલ્યના e^{-1} ગણું બનવા માટે લાગતો સમયગાળો છે.
$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \tau \ln 2$$
12. જ્યારે ઓછી સખ્તાઈથી બંધિત ન્યુક્લિયસ, વધુ સખ્તાઈથી બંધિત ન્યુક્લિયસમાં રૂપાંતર પામે ત્યારે ઊર્જા વિમુક્ત થાય છે (બહાર પડે છે, ઉત્સર્જિત થાય છે). વિખંડનમાં $^{235}_{92}U$ જેવું ભારે ન્યુક્લિયસ બે નાના ટુકડાઓમાં વિભાજિત થઈ જાય છે.
દા.ત., $^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{133}_{51}Sb + ^{99}_{41}Nb + 4\,^{1}_{0}n$
13. વિખંડનમાં વપરાતા હોય તે કરતાં વધુ ન્યુટ્રોન ઉત્પન્ન થાય છે એ હકીકત શૃંખલા પ્રક્રિયાની શક્યતા દર્શાવે છે કે જેમાં ઉત્પન્ન થયેલો દરેક ન્યુટ્રોન હજી આગળ બીજું વિખંડન ઉપજાવે છે. ન્યુક્લિયર બૉમ્બ વિસ્ફોટમાં શૃંખલા પ્રક્રિયા અનિયંત્રિત અને ત્વરિત હોય છે. ન્યુક્લિયર રીઍક્ટરમાં તે નિયંત્રિત અને સ્થાયી હોય છે. રીઍક્ટરમાં ન્યુટ્રોન ગુણક અંકનું મૂલ્ય 1 જેટલું જાળવી રાખવામાં આવે છે.
14. સંલયનમાં હલકાં ન્યુક્લિયસ જોડાઈને મોટું (ભારે) ન્યુક્લિયસ બનાવે છે. હાઈડ્રોજનનાં ન્યુક્લિયસનું હિલિયમનાં ન્યુક્લિયસમાં સંલયન એ આપણા સૂર્ય સહિત બધા તારાઓમાં ઊર્જાનું ઉદ્‌ગમ છે.

ભૌતિક રાશિ	પ્રતિક	પરિમાણ	એકમો	નોંધ
atomic mass unit (એટમીક માસ યુનિટ)		[M]	*u*	પરમાણુ અથવા ન્યુક્લિયર દળોને દર્શાવવા માટેનો એકમ. એક atomic mass unit એ ^{12}C પરમાણુના દળનો બારમો ભાગ (1/12 ગણું) છે.
વિભંજન અથવા ક્ષય નિયતાંક	λ	$[T^{-1}]$	s^{-1}	
અર્ધ-આયુ	$T_{1/2}$	[T]	s	રેડિયો ઍક્ટિવ નમૂનામાં હાજર ન્યુક્લિયસની પ્રારંભિક સંખ્યાના અડધાને ક્ષય પામતા લાગતો સમય.
સરેરાશ જીવનકાળ	τ	[T]	s	ન્યુક્લિયસની સંખ્યા ઘટીને પ્રારંભિક સંખ્યાના e^{-1} ગણી થવા માટે લાગતો સમય.
રેડિયો ઍક્ટિવ નમૂનાની ઍક્ટિવિટી	R	$[T^{-1}]$	Bq	રેડિયો ઍક્ટિવ સ્રોતની ઍક્ટિવિટીનું માપ

ગહન વિચારણાના મુદ્દાઓ

1. ન્યુક્લિયર દ્રવ્યની ઘનતા ન્યુક્લિયસના પરિમાણ પર આધારિત નથી. પરમાણુની દળ ઘનતા આ નિયમનું પાલન કરતી નથી.
2. ઈલેક્ટ્રૉનના પ્રકીર્ણનના પ્રયોગો પરથી નક્કી કરેલ ન્યુક્લિયસની ત્રિજ્યા, α-કણના પ્રકીર્ણન પરથી નક્કી કરેલ ત્રિજ્યા કરતાં સહેજ જુદી છે. આનું કારણ એ છે કે ઈલેક્ટ્રૉન

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

પ્રકીર્ણન ન્યુક્લિયસના વિદ્યુતભાર વિતરણની અનુભૂતિ (Sense) કરે છે જ્યારે α-કણ અને તેના જેવા કણ ન્યુક્લિયર દ્રવ્યની અનુભૂતિ (Sense) કરે છે.

3. આલ્બર્ટ આઈન્સ્ટાઈને દળ અને ઊર્જાની સમતુલ્યતા, $E = mc^2$ દર્શાવી. હવે આપણે દળ સંરક્ષણ અને ઊર્જા સંરક્ષણના અલગ નિયમોની વાત ન કરી શકીએ પરંતુ આપણે દળ-ઊર્જાના સંરક્ષણના સંગઠિત નિયમની વાત કરવી જોઈએ. કુદરતમાં આ સિદ્ધાંત લાગુ પડતો હોવાનો સૌથી ખાતરીદાયક પુરાવો ન્યુક્લિયર ભૌતિકવિજ્ઞાનમાંથી મળે છે. તે ન્યુક્લિયર ઊર્જાની આપણી સમજનું હાર્દ છે અને પાવરના ઉદ્‌ગમ તરીકે તેને ઉપયોગમાં લેવામાં મુખ્ય છે. આ સિદ્ધાંતનો ઉપયોગ કરીને ન્યુક્લિયર પ્રક્રિયા (ક્ષય અથવા અન્ય)ના Q મૂલ્યને પ્રારંભિક અને અંતિમ દળોના પદમાં દર્શાવી શકાય છે.
4. (ન્યુક્લિયોન દીઠ) બંધનઊર્જાના વક્રનો પ્રકાર દર્શાવે છે કે જેમાં બે હલકાં ન્યુક્લિયસ જોડાય અથવા ભારે ન્યુક્લિયસ વિખંડન પામીને વચગાળાનાં દળ ધરાવતા ન્યુક્લિયસ બનાવે તેવી ઉષ્માક્ષેપક ન્યુક્લિયર પ્રક્રિયાઓ શક્ય છે.
5. સંલયન માટે, હલકાં ન્યુક્લિયસની પ્રારંભિક ઊર્જા કુલંબ સ્થિતિમાનને (અપાકર્ષણરૂપી દિવાલને) ઓળંગી જવા માટે પુરતી હોવી જોઈએ. આ કારણથી સંલયન માટે ઘણું ઊંચું તાપમાન જરૂરી છે.
6. જો કે (ન્યુક્લિયોન દીઠ) બંધનઊર્જા વક્ર સુંવાળો (Smooth) છે અને ધીમા ફેરફાર દર્શાવે છે, તેમ છતાં તે ^4He, ^{16}O વગેરે ન્યુક્લાઈડ્ઝ આગળ શિખરો (Peaks) દર્શાવે છે. આને ન્યુક્લિયસમાં પરમાણુની જેમ કવચ-બંધારણ (Shell Structure) હોવાના પુરાવારૂપે જોવામાં આવે છે.
7. ઈલેક્ટ્રૉન અને પૉઝીટ્રોન એ કણ-પ્રતિકણની જોડ (Pair) છે. તેમનાં દળ સમાન છે. તેમનાં વિદ્યુતભાર સમાન મૂલ્યના અને વિરુદ્ધ પ્રકારના છે (એમ જણાયું છે કે જ્યારે ઈલેક્ટ્રૉન અને પૉઝિટ્રોન ભેગાં મળે ત્યારે તેઓ એકબીજાનો પૂર્ણનાશ કરે છે અને ગેમા કિરણ ફોટોનના રૂપમાં ઊર્જા આપે છે.).
8. β^--ક્ષય (ઈલેક્ટ્રૉન ઉત્સર્જન)માં ઈલેક્ટ્રૉનની સાથે સાથે ઉત્સર્જિત કણ એન્ટિ-ન્યુટ્રિનો ($\bar{\nu}$) છે. બીજી તરફ, β^+-ક્ષય (પૉઝિટ્રોન ઉત્સર્જન)માં પૉઝિટ્રોનની સાથે ઉત્સર્જન પામતો કણ ન્યુટ્રિનો (ν) છે. ન્યુટ્રિનો અને એન્ટિન્યુટ્રિનો એ કણ-પ્રતિકણની જોડ છે. દરેક કણ માટેનો કોઈક પ્રતિકણ હોય છે. પ્રોટોનનો પ્રતિકણ એન્ટિપ્રોટોન કેવો હશે ?
9 મુક્ત ન્યુટ્રોન અસ્થાયી છે ($n \rightarrow p + \bar{e} + \bar{\nu}$). પરંતુ આવો પ્રોટોનનો ક્ષય શક્ય નથી, કારણ કે પ્રોટોન ન્યુટ્રોન કરતાં સ્હેજ હલકો છે.
10. સમાન્ય રીતે ગેમા ઉત્સર્જન આલ્ફા કે બીટા ઉત્સર્જન પછી થતું હોય છે. ઉત્તેજિત અવસ્થામાં રહેલું ન્યુક્લિયસ એક ગેમા કિરણ ફોટોનનું ઉત્સર્જન કરીને નિમ્નસ્તરમાં સંક્રાંતિ કરે છે. આલ્ફા કે બીટા ઉત્સર્જનથી જનિત ન્યુક્લિયસ ઉત્તેજિત અવસ્થામાં હોઈ શકે છે. આ જ ન્યુક્લિયસમાંથી ક્રમશઃ ગેમા કિરણોનું ઉત્સર્જન (^{60}Niના કિસ્સાની જેમ, આકૃતિ 13.4), પરમાણુની જેમ ન્યુક્લિયસને પણ અલગ-અલગ ઊર્જા સ્તરો હોવાનો સ્પષ્ટ પુરાવો છે.
11. રેડિયો ઍક્ટિવિટી એ ન્યુક્લિયસના અસ્થાયીપણાની સૂચક છે. હલકાં ન્યુક્લિયસના સ્થાયીપણા માટે ન્યુટ્રોન અને પ્રોટોનનો ગુણોત્તર 1 : 1 હોવો જરૂરી છે. આ ગુણોત્તર ભારે ન્યુક્લિયસ માટે વધીને 3 : 2 થાય છે. (પ્રોટોન - પ્રોટોન વચ્ચેના અપાકર્ષણને પહોંચી વળવા માટે વધારે ન્યુટ્રોનની જરૂર છે.) આ સ્થાયીત્વ ગુણોત્તરથી દૂર હોય તેવાં ન્યુક્લિયસ એટલે કે આ રીતે જરૂરી હોય તે કરતાં વધુ ન્યુટ્રોન કે પ્રોટોન ધરાવતાં ન્યુક્લિયસ અસ્થાયી છે. હકીકતમાં જાણીતાં સમસ્થાનિકો (બધા તત્વોનાં)ના માત્ર 10 % જ સ્થાયી છે. બીજાઓને (અસ્થાયી) પ્રયોગશાળામાં α, p, d, n કે બીજા કણોનો યોગ્ય ન્યુક્લાઈડ્ઝ પર મારો ચલાવીને બનાવાયાં છે અથવા વિશ્વમાં દ્રવ્યના ખગોળીય અવલોકનોમાં ઓળખાયાં છે.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

સ્વાધ્યાય

તમને સ્વાધ્યાયના ઉકેલમાં નીચેની વિગતો ઉપયોગી થશે :

$$e = 1.6\times10^{-19}\text{C} \qquad N = 6.023 \times 10^{23}\ \text{mole દીઠ}$$
$$1/(4\pi\varepsilon_0) = 9\times10^{9}\ \text{N m}^2/\text{C}^2 \qquad k = 1.381 \times 10^{-23}\ \text{J K}^{-1}$$
$$1\ \text{MeV} = 1.6\times10^{-13}\ \text{J} \qquad 1\,u = 931.5\ \text{MeV}/c^2$$
$$1\ \text{year} = 3.154\times10^{7}\ \text{s}$$
$$m_{\text{H}} = 1.007825\,u \qquad m_n = 1.008665\,u$$
$$m(^{4}_{2}\text{He}) = 4.002603\,u \qquad m_e = 0.000548\,u$$

13.1 (a) લિથિયમના બે સ્થાયી સમસ્થાનિકો $^{6}_{3}Li$ અને $^{7}_{3}Li$ નું પ્રમાણ (જથ્થો) અનુક્રમે 7.5 % અને 92.5 % છે. તેમના દળો અનુક્રમે 6.01512 u અને 7.01600 u છે. લિથિયમનું પરમાણુ દળ શોધો.

(b) બોરોનને બે સ્થાયી સમસ્થાનિકો $^{10}_{5}$B અને $^{11}_{5}$B છે. તેમનાં દળ અનુક્રમે 10.01294 u અને 11.00931 u છે અને બોરોનનું પરમાણુદળ 10.811 u છે. $^{10}_{5}$B અને $^{11}_{5}$B નું સાપેક્ષ પ્રમાણ શોધો.

13.2 નિયોનના ત્રણ સ્થાયી સમસ્થાનિકો $^{20}_{10}Ne$, $^{21}_{10}Ne$ અને $^{22}_{10}Ne$ નું સાપેક્ષ પ્રમાણ 90.51 %, 0.27 % અને 9.22 % છે. આ ત્રણ સમસ્થાનિકોના પરમાણુ દળો અનુક્રમે 19.99 u, 20.99 u અને 21.99 u છે. નિયોનનું સરેરાશ પરમાણુદળ શોધો.

13.3 નાઈટ્રોજન ન્યુક્લિયસ ($^{14}_{7}$N)ની બંધનઊર્જા (MeVમાં) શોધો. $m(^{14}_{7}\text{N}) = 14.00307\,u$ આપેલ છે.

13.4 નીચેની વિગતો પરથી $^{56}_{26}Fe$ અને $^{209}_{83}Bi$ ન્યુક્લિયસની બંધનઊર્જા MeV એકમમાં શોધો.

$m(^{56}_{26}\text{Fe}) = 55.934939\,u$, $m(^{209}_{83}\text{Bi}) = 208.980388\,u$

13.5 એક આપેલ સિક્કાનું દળ 3.0 g છે. બધા ન્યુટ્રોન અને પ્રોટોનને એકબીજાથી અલગ કરવા માટે જરૂરી ન્યુક્લિયર ઊર્જાની ગણતરી કરો. સરળતા ખાતર સિક્કો સંપૂર્ણપણે $^{63}_{29}Cu$ પરમાણુઓ (62.92960 u દળના) નો બનેલો ગણો.

13.6 નીચેના માટે ન્યુક્લિયર પ્રક્રિયા સમીકરણો લખો.

(i) $^{226}_{88}Ra$ નો α-ક્ષય (ii) $^{242}_{94}Pu$ નો α-ક્ષય

(iii) $^{32}_{15}$P નો β^--ક્ષય (iv) $^{210}_{83}Bi$ નો β^--ક્ષય

(v) $^{11}_{6}$C નો β^+-ક્ષય (vi) $^{97}_{43}Tc$ નો β^+ ક્ષય

(vii) $^{120}_{54}Xe$ નું ઈલેક્ટ્રૉન કૅપ્ચર

13.7 એક રેડિયો ઍક્ટિવ સમસ્થાનિકનું અર્ધ-આયુ T years છે. તેની ઍક્ટિવિટી મૂળ ઍક્ટિવિટીના (a) 3.125 % (b) 1 % થવા માટે કેટલો સમય લાગશે ?

13.8 કાર્બન-ધરાવતા સજીવ દ્રવ્યની સામાન્ય ઍક્ટિવિટી કાર્બનના દર ગ્રામ દીઠ દર મિનિટે 15 વિભંજન જણાય છે. આ ઍક્ટિવિટી સ્થાયી કાર્બન સમસ્થાનિક $^{12}_{6}$C ની સાથે થોડા પ્રમાણમાં હાજર રહેલા રેડિયો ઍક્ટિવ $^{14}_{6}$Cને લીધે છે. જ્યારે સજીવ મૃત્યુ પામે છે ત્યારે તેની

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

વાતાવરણ (જે ઉપર્યુક્ત સંતુલન ઍક્ટિવિટી જાળવી રાખે છે) સાથેની આંતરક્રિયા બંધ થાય છે અને તેની ઍક્ટિવિટી ઘટવાની શરૂ થાય છે. $^{14}_{6}C$ ના જાણીતા અર્ધ-આયુ (5730 years) અને ઍક્ટિવિટીના માપેલા મૂલ્ય પરથી તે નમૂનાની ઉંમરનો લગભગ અંદાજ લગાવી શકાય છે. પુરાતત્વવિદ્યામાં વપરાતા $^{14}_{6}C$ ડેટીંગનો આ સિદ્ધાંત છે. ધારો કે મોહેન-જો-દરોનો એક નમૂનો કાર્બનના દર ગ્રામ દીઠ દર મિનિટે 9 વિભંજનની ઍક્ટિવિટી દર્શાવે છે. સિંધુ-ખીણની સંસ્કૃતિની લગભગ ઉંમરનો અંદાજ કરો.

13.9 8.0 mCi તીવ્રતાનો રેડિયો ઍક્ટિવ સ્રોત મેળવવા માટે $^{60}_{27}Co$ નો જરૂરી જથ્થો શોધો. $^{60}_{27}Co$ નું અર્ધ-આયુ 5.3 years છે.

13.10 $^{90}_{38}Sr$ નું અર્ધઆયુ 28 years છે. આ સમસ્થાનિકના 15 mgનો વિભંજન દર કેટલો હશે ?

13.11 ગોલ્ડના સમસ્થાનિક $^{197}_{79}Au$અને સિલ્વરના સમસ્થાન $^{107}_{47}Ag$નાં ન્યુક્લિયસની ત્રિજ્યાઓનો આશરે ગુણોત્તર શોધો.

13.12 (a) $^{226}_{88}Ra$ અને (b) $^{220}_{86}Rn$ ના α-ક્ષયમાં Q-મૂલ્ય અને ઉત્સર્જિત α-કણની ગતિઊર્જા શોધો.

$m(^{226}_{88}Ra) = 226.02540\ u$ $\quad$ $m(^{222}_{86}Rn) = 222.01750\ u$

$m(^{220}_{86}Rn) = 220.01137\ u$ $\quad$ $m(^{216}_{84}Po) = 216.00189\ u$ આપેલ છે.

13.13 રેડિયો ન્યુક્લાઈડ ^{11}C નું વિભંજન

$^{11}_{6}C \rightarrow {}^{11}_{5}B + e^{+} + \nu;\ T_{1/2} = 20.3$ min, મુજબ થાય છે.

ઉત્સર્જિત પૉઝિટ્રોનની મહત્તમ ગતિઊર્જા 0.960 MeV છે. દળનાં મૂલ્યો આપેલ છે :

$m(^{11}_{6}C) = 11.011434\ u$ અને $m(^{11}_{5}B) = 11.009305\ u$.

Q-મૂલ્યની ગણતરી કરો અને તેને ઉત્સર્જિત પૉઝિટ્રોનની મહત્તમ ઊર્જા સાથે સરખામણી કરો.

13.14 $^{23}_{10}Ne$ ન્યુક્લિયસ β^{-}-ઉત્સર્જન દ્વારા ક્ષય પામે છે. β-ક્ષયનું સમીકરણ લખો અને ઉત્સર્જન પામેલા ઈલેક્ટ્રૉનની મહત્તમ ગતિઊર્જા શોધો.

$m(^{23}_{10}Ne) = 22.994466\ u$

$m(^{23}_{11}Na) = 22.989770\ u$ આપેલ છે.

13.15 ન્યુક્લિયર પ્રક્રિયા $A + b \rightarrow C + d$ નું Q-મૂલ્ય $Q = [m_A + m_b - m_C - m_d]c^2$ વડે વ્યાખ્યાયિત થાય છે. જ્યાં દળો અનુરૂપ ન્યુક્લિયસનાં છે. આપેલ વિગતો પરથી નીચેની પ્રક્રિયાઓનું Q-મૂલ્ય શોધો અને જણાવો કે પ્રક્રિયાઓ ઉષ્માક્ષેપક છે કે ઉષ્માશોષક છે.

(i) $^{1}_{1}H + {}^{3}_{1}H \rightarrow {}^{2}_{1}H + {}^{2}_{1}H$

(ii) $^{12}_{6}C + {}^{12}_{6}C \rightarrow {}^{20}_{10}Ne + {}^{4}_{2}He$

પરમાણુદળો આ મુજબ આપેલ છે :

$m(^{2}_{1}H) = 2.014102\ u$

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

$m(^{3}_{1}\text{H}) = 3.016049\, u$

$m(^{12}_{6}\text{C}) = 12.000000\, u$

$m(^{20}_{10}\text{Ne}) = 19.992439\, u$

13.16 ધારોકે આપણે $^{56}_{26}Fe$ ન્યુક્લિયસનું વિખંડન બે સમાન ટુકડાઓ $^{28}_{13}Al$ માં કરવાનું વિચારીએ. આવું વિખંડન ઊર્જાની દૃષ્ટિએ શક્ય છે ? પ્રક્રિયાનું Q મૂલ્ય શોધીને સમજાવો. $m(^{56}_{26}\text{Fe}) = 55.93494\, u$ અને $m(^{28}_{13}\text{A}l) = 27.98191\, u$ આપેલ છે.

13.17 $^{239}_{94}Pu$ ના વિખંડન ગુણધર્મો $^{235}_{92}\text{U}$ ના જેવાં છે. વિખંડનદીઠ વિમુક્ત થતી ઊર્જા 180 MeV છે. જો શુદ્ધ $^{239}_{94}Pu$ ના 1 kg માંના બધા પરમાણુઓ વિખંડન પામે તો કેટલી ઊર્જા MeVમાં વિમુક્ત થશે ?

13.18 એક 1000 MWનું વિખંડન (Fission) રીએક્ટર તેના બળતણનો અડધો ભાગ 5 yમાં વાપરે છે. પ્રારંભમાં તે કેટલું $^{235}_{92}\text{U}$ ધરાવતો હશે ? એવું ધારોકે રીએક્ટર 80 % સમય માટે કાર્યાન્વિત રહે છે, બધી ઊર્જા $^{235}_{92}\text{U}$ ના વિખંડનથી ઉત્પન્ન થાય છે અને આ ન્યુક્લાઈડ માત્ર વિખંડન પ્રક્રિયામાં જ વપરાયું છે.

13.19 ડ્યુટેરિયમના 2.0 kgના વિખંડનથી 100 Wનો વિદ્યુત લૅમ્પ કેટલો સમય સુધી પ્રકાશતો રાખી શકાય ? વિખંડન પ્રક્રિયા નીચે મુજબ થાય છે એમ ગણો.

$^{2}_{1}\text{H} + ^{2}_{1}\text{H} \rightarrow ^{3}_{2}\text{He} + n + 3.27\,\text{MeV}$

13.20 બે ડ્યુટેરોનના સન્મુખ (Head-on) સંઘાત માટે સ્થિતિમાન બેરિયરની ઊંચાઈ ગણો. (સૂચના : સ્થિતિમાન બેરિયરની ઊંચાઈ બે ડ્યુટેરોન એકબીજાને સ્હેજ સ્પર્શે ત્યારે તેમની વચ્ચેના કુલંબ અપાકર્ષણ દ્વારા અપાય છે. તેમને 2.0 *fm*ની ત્રિજ્યાના સખત ગોળા ગણી શકાય છે તેમ ધારો.)

13.21 $R = R_0A^{1/3}$ સંબંધ, જ્યાં R_0 એ અચળાંક અને A એ ન્યુક્લિયસનો દળાંક છે, પરથી દર્શાવો કે ન્યુક્લિયર દ્રવ્યની ઘનતા લગભગ અચળ હોય છે (એટલે કે A પર આધારિત નથી).

13.22 ન્યુક્લિયસમાંથી β^+ (પૉઝિટ્રોન)ના ઉત્સર્જન માટે બીજી એક સ્પર્ધા કરનારી પ્રક્રિયા ઈલેક્ટ્રૉન કેપ્ચર (અંદરની કક્ષા દા.ત., K કવચમાંથી ઈલેક્ટ્રૉન ન્યુક્લિયસ દ્વારા પકડાઈ જાય છે અને એક ન્યુટ્રિનો ઉત્સર્જિત થાય છે)ની પ્રક્રિયા છે.

$e^- + ^{A}_{Z}\text{Y} \rightarrow ^{A}_{Z-1}\text{Y} + \nu$

દર્શાવો કે જો β^+ ઉત્સર્જન ઊર્જાની દૃષ્ટિએ મંજુર હોય તો ઈલેક્ટ્રૉન કેપ્ચર મંજુર હોવું જ જોઈએ પરંતુ તેથી ઊલટું સંભવ નથી (એટલે કે ઈલેક્ટ્રૉન કેપ્ચર ઊર્જાની દૃષ્ટિએ મંજુર હોય તો β^+ઉત્સર્જન મંજૂર હોવું જ જોઈએ એમ નથી).

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

વધારાના સ્વાધ્યાય

13.23 આવર્ત કોષ્ટકમાં મૅગ્નેશિયમનું સરેરાશ દળ 24.372 u આપેલ છે. સરેરાશ મૂલ્ય, પૃથ્વી પરના તેના સમસ્થાનિકોના સાપેક્ષ કુદરતી પ્રમાણ પર આધારિત છે. ત્રણ સમસ્થાનિકો (Istopes) અને તેમનાં દળ $^{24}_{12}$Mg (23.98504 u), $^{25}_{12}$Mg (24.98584 u) અને $^{26}_{12}$Mg (25.98259 u) છે. $^{24}_{12}$Mg નું કુદરતમાં દળનું પ્રમાણ 78.99 % છે. બીજા બે સમસ્થાનિકોના પ્રમાણ નક્કી કરો.

13.24 ન્યુક્લિયસમાંથી ન્યુટ્રોનને દૂર કરવા માટે જરૂરી ઊર્જાને ન્યુટ્રોન વિયોગ (Separation) ઊર્જા તરીકે વ્યાખ્યાયિત કરવામાં આવે છે. નીચેની વિગતો પરથી $^{41}_{20}Ca$ અને $^{27}_{13}Al$ નાં ન્યુક્લિયસ માટે ન્યુટ્રોન વિયોગ ઊર્જાનાં મૂલ્યો શોધો.

$m(^{40}_{20}Ca) = 39.962591\ u$

$m(^{41}_{20}Ca) = 40.962278\ u$

$m(^{26}_{13}Al) = 25.986895\ u$

$m(^{27}_{13}Al) = 26.981541\ u$

13.25 એક સ્રોત ફોસ્ફરસના બે રેડિયો ન્યુક્લાઈડ્ઝ $^{32}_{15}P\ (T_{1/2} = 14.3\ d)$ અને $^{33}_{15}P\ (T_{1/2} = 25.3\ d)$ ધરાવે છે. પ્રારંભમાં 10 % ક્ષય $^{33}_{15}P$ માંથી આવે છે. આ 90 % બને તે માટે કેટલો સમય લાગશે ?

13.26 કેટલાંક સંજોગોમાં ન્યુક્લિયસ α-કણ કરતાં વધુ દળના કણના ઉત્સર્જનથી ક્ષય પામે છે. નીચેની ક્ષય પ્રક્રિયા વિચારો :

$$^{223}_{88}Ra \rightarrow {}^{209}_{82}Pb + {}^{14}_{6}C$$

$$^{223}_{88}Ra \rightarrow {}^{219}_{86}Rn + {}^{4}_{2}He$$

આ ક્ષય માટે Q-મૂલ્યો ગણો અને આ બંને ઊર્જાની દૃષ્ટિએ મંજૂર છે તેમ નક્કી કરો.

13.27 ઝડપી ન્યુટ્રોન વડે થતા $^{238}_{92}U$ ના વિખંડનનો વિચાર કરો. એક વિખંડન ઘટનામાં કોઈ ન્યુટ્રોન ઉત્સર્જિત થતો નથી અને β-ક્ષય પામ્યા બાદ પ્રાથમિક ટુકડાઓ $^{140}_{58}Ce$ અને $^{99}_{44}Ru$ છે. આ વિખંડન પ્રક્રિયા માટે Q-મૂલ્ય ગણો. પરમાણુના અને કણના જરૂરી દળો આ મુજબ છે :

$m(^{238}_{92}U) = 238.05079\ u$

$m(^{140}_{58}Ce) = 139.90543\ u$

$m(^{99}_{44}Ru) = 98.90594\ u$

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

પ્રકરણ ચૌદ

સેમિકન્ડક્ટર ઈલેક્ટ્રૉનિક્સ : દ્રવ્યો, રચનાઓ અને સાદા પરિપથો

(SEMICONDUCTOR ELECTRONICS : MATERIALS, DEVICES AND SIMPLE CIRCUITS)

14.1 પ્રસ્તાવના (INTRODUCTION)

જે રચનાઓ (સાધનો)માં ઈલેક્ટ્રૉનનો નિયંત્રિત પ્રવાહ મેળવી શકાય છે તે બધા ઈલેક્ટ્રૉનિક્સ પરિપથોના મૂળભૂત *બંધારણીય એકમો* છે. 1948માં ટ્રાન્ઝિસ્ટરની શોધ થઈ તે પહેલાં આ રચનાઓ મોટે ભાગે શૂન્યાવકાશિત (નિર્વાત) નળીઓ (જેમને વાલ્વ પણ કહેવામાં આવતા હતા), જેમકે નિર્વાત ડાયોડ જેને બે ઈલેક્ટ્રોડ હોય છે, એટલે કે ઍનોડ (જેને પ્લેટ પણ કહેવાય છે) અને કૅથોડ; ટ્રાયોડ જેમાં ત્રણ ઈલેક્ટ્રોડ હોય છે, કૅથોડ, પ્લેટ અને ગ્રીડ; ટેટ્રોડ અને પેન્ટોડ (જેમને અનુક્રમે 4 અને 5 ઈલેક્ટ્રૉડસ હોય છે) હતી. *નિર્વાત નળીમાં,* ગરમ થયેલા કૅથોડમાંથી ઈલેક્ટ્રૉન મળે છે અને જુદા જુદા ઈલેક્ટ્રૉડસ વચ્ચે વોલ્ટેજ બદલીને શૂન્યાવકાશમાંથી પસાર થતા ઈલેક્ટ્રૉનના પ્રવાહને નિયંત્રિત કરાય છે. ઈલેક્ટ્રૉડસ વચ્ચેના અવકાશમાં શૂન્યાવકાશ હોવો જરૂરી છે; નહીંતર ગતિ કરતા ઈલેક્ટ્રૉનો તેમનાં માર્ગમાં આવતા હવાના અણુઓ સાથેની અથડામણ દરમિયાન તેમની ઊર્જા ગુમાવી દે. આ રચનાઓમાં ઈલેક્ટ્રૉન ફક્ત કૅથોડથી ઍનોડ તરફ ગતિ કરી શકે છે (એટલે કે એક જ દિશામાં). આથી, આ રચનાઓને વાલ્વ કહેવાય છે. આ નિર્વાત નળીવાળા સાધનો મોટે ભાગે મોટા કદના હોય છે, વધુ પાવર વાપરે છે, સામાન્ય રીતે ઊંચા વોલ્ટેજ (~ 100 V) પર કાર્ય કરે છે અને તેમનું આયુષ્ય ટૂંકુ તથા તેમની વિશ્વસનીયતા ઓછી હોય છે. આધુનિક *ઘન અવસ્થા અર્ધવાહક ઈલેક્ટ્રૉનિક્સ* (સોલિડ સ્ટેટ સેમીકન્ડક્ટર ઈલેક્ટ્રૉનિક્સ)ના બીજ આપણને 1930 ના સમયગાળા સુધી દોરી જાય છે જ્યારે એવું જાણવામાં આવ્યું હતું કે કેટલાક ઘન અવસ્થા અર્ધવાહકો અને તેમના જોડાણ સ્થાનો (જંક્શન) વડે તેમનામાંથી વિદ્યુતભારવાહકોની સંખ્યા

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

અને તેમની દિશા નિયંત્રિત કરી શકાય છે. સામાન્ય ઉદ્દીપકો જેમકે પ્રકાશ, ઉષ્મા કે આપેલ નાના વોલ્ટેજ વડે અર્ધવાહકમાં ગતિમાન વિદ્યુતભારોની સંખ્યા બદલી શકાય છે. નોંધો કે આ અર્ધવાહક રચનાઓમાં વિદ્યુતભારવાહકોનો પુરવઠો અને તેમના પ્રવાહ ફક્ત આ *ઘનપદાર્થની અંદર* જ હોય છે, જ્યારે પહેલાની *નિર્વાત* નળીઓ/વાલ્વમાં, ગરમ થયેલા કૅથોડમાંથી ગતિમાન ઈલેક્ટ્રૉન મળતા હતા અને નિર્વાત અવકાશ કે શૂન્યાવકાશમાં તેમની ગતિ કરાવાતી હતી. અર્ધવાહક રચનાઓમાં બાહ્ય ઉષ્મા કે મોટા નિર્વાત અવકાશની જરૂર પડતી નથી. તેઓનું કદ નાનું હોય છે, તે ઓછો પાવર વાપરે છે, ઓછા વોલ્ટેજ પર કાર્ય કરે છે તથા લાંબું આયુષ્ય અને વધુ વિશ્વસનિયતા ધરાવે છે. ટેલિવિઝન અને કોમ્પ્યુટરના મોનિટરમાં વપરાતી કૅથોડ રે ટ્યુબ્સ (CRT) જે નિર્વાત નળીઓના સિદ્ધાંત પર કાર્ય કરે છે, તેમની જગ્યાએ હવે ઘન અવસ્થા (સૉલિડસ્ટેટ) ઈલેક્ટ્રૉનિક્સ પર આધારિત લિક્વિડ ક્રીસ્ટલડીસ્પ્લે (LCD)ના મોનિટરો આવવા લાગ્યા છે. સેમીકન્ડક્ટર રચનાઓની પુરેપુરી સમજૂતી મળી તેના કરતાં ઘણા પહેલાંના વખતમાં કુદરતમાં મળી આવતા ગેલિના સ્ફટીકો (લેડ સલ્ફાઈડ, PbS) સાથે ધાતુનો પોઈન્ટ કોન્ટેક્ટ જોડીને તેનો ઉપયોગ રેડિયો તરંગો *પરખવા* (ઝીલવા) માટે થતો હતો.

હવેના પરિચ્છેદમાં, આપણે સેમિકન્ડક્ટર ભૌતિકવિજ્ઞાનના પાયાના સિદ્ધાંતોનો પરિચય મેળવીશું અને કેટલીક સેમીકન્ડક્ટર રચનાઓ જેમ કે જંકશન ડાયોડ્સ (2-ઈલેક્ટ્રૉડવાળી રચના) અને બાઈપોલર જંકશન ટ્રાન્ઝિસ્ટર (3-ઈલેક્ટ્રૉડવાળી રચના)ની ચર્ચા કરીશું. તેમના ઉપયોગો દર્શાવતા કેટલાક પરિપથો પણ દર્શાવીશું.

14.2 ધાતુઓ, સુવાહકો અને અર્ધવાહકોનું વર્ગીકરણ (CLASSIFICATION OF MATELS, CONDUCTORS AND SEMICONDUCTORS)

વાહકતાના આધારે :

વિદ્યુત વાહકતા (σ) અથવા અવરોધકતા ($\rho = 1/\sigma$)ના સાપેક્ષ મૂલ્યોના આધારે ઘન પદાર્થોને આ રીતે વર્ગીકૃત કરી શકાય છે :

(i) ***ધાતુઓ*** **:** તેઓની અવરોધકતા બહુ ઓછી (અથવા વાહકતા, ઘણી વધુ) હોય છે.

$\rho \sim 10^{-2} - 10^{-8}\ \Omega\,m$

$\sigma \sim 10^{2} - 10^{8}\ S\,m^{-1}$

(ii) ***અર્ધવાહકો (સેમિકન્ડક્ટર્સ)*** **:** તેમની અવરોધકતા કે વાહકતા ધાતુઓ અને અવાહકોની વચ્ચેની હોય છે.

$\rho \sim 10^{-5} - 10^{6}\ \Omega\,m$

$\sigma \sim 10^{5} - 10^{-6}\ S\,m^{-1}$

(iii) ***અવાહકો*** **:** તેમની અવરોધકતા ઘણી વધુ (ઘણી ઓછી વાહકતા) હોય છે.

$\rho \sim 10^{11} - 10^{19}\ \Omega\,m$

$\sigma \sim 10^{-11} - 10^{-19}\ S\,m^{-1}$

ρ અને σના આપેલ મૂલ્યો ફક્ત પરિમાણ દર્શાવે છે, જે આ સીમાઓ (અવધિ)ની બહાર પણ જઈ શકે. અવરોધકતાના આ સાપેક્ષ મૂલ્યો જ ધાતુઓ, અવાહકો અને અર્ધવાહકોને એકબીજાથી જુદા પાડવા માટેના માપદંડો નથી. બીજા કેટલાક તફાવતો પણ છે, જે આ પ્રકરણમાં આગળ વધતાં જઈશું તેમ સ્પષ્ટ થતા જશે. આપણે અર્ધવાહકોનો અભ્યાસ કરીશું.

આ પ્રકરણમાં આપણો હેતુ એવા અર્ધવાહકોનો અભ્યાસ કરવાનો છે, જેઓ :

(i) *પ્રાથમિક (તાત્વિક) અર્ધવાહકો* **:** *Si* અને *Ge*

(ii) *મિશ્ર (સંયોજન) અર્ધવાહકો* **:** ઉદાહરણ તરીકે :

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

અકાર્બનિક (Inorganic) : CdS, GaAs, CdSe, InP વગેરે.

કાર્બનિક (Organic) : એન્થ્રાસિન, અશુદ્ધિ ઉમેરેલા થેલોસાયનાઈન્સ વગેરે.

કાર્બનિક પોલિમરો : પોલિપાયરોલ, પોલિએનિલિન, પોલિથિઓફેન વગેરે હોઈ શકે.

હાલમાં મળતા મોટાભાગના સેમીકન્ડક્ટર સાધનો તાત્વિક (પ્રાથમિક) સેમીકન્ડક્ટરો Si કે Ge અને મિશ્ર *ઈનઓર્ગેનિક* સેમિકન્ડકટરોના બનેલા હોય છે. આમ છતાં, 1990 પછી ઓર્ગેનિક સેમિકન્ડક્ટરો અને સેમિકન્ડક્ટીંગ પોલિમરોનો ઉપયોગ કરીને અમુક સેમિકન્ક્ટર સાધનો વિકસાવવામાં આવ્યા જેમણે ભવિષ્યમાં આવનારી પોલિમર ઈલેક્ટ્રૉનિક્સ અને આણ્વિક (મૉલેક્યુલર) ઈલેક્ટ્રૉનિક્સ ટેક્નોલૉજીના ઉદ્‌ભવ તરફ ઈશારો કર્યો. આ પ્રકરણમાં આપણે ફક્ત ઈનઓર્ગેનિક સેમિકન્ડક્ટરો પૂરતું ધ્યાન કેન્દ્રિત કરીશું. ખાસ કરીને તાત્વિક (પ્રાથમિક) સેમીકન્ડક્ટરો Si કે Ge પર. અહીંયા, પ્રાથમિક સેમિકન્ડક્ટરોને સમજાવવા માટે અત્રે દર્શાવેલા સામાન્ય સિદ્ધાંતો મોટે ભાગે મિશ્ર સેમિકન્ડક્ટરોને પણ લાગુ પડે છે.

ઊર્જા પટ (બૅન્ડ) પર આધારિત :

બ્હોરના પરમાણ્વિક (એટમિક) મોડેલ મુજબ, *અલગ કરેલા પરમાણુમાં,* તેના કોઈ પણ ઈલેક્ટ્રૉનની ઊર્જા તે જે કક્ષામાં ફરતો હોય તેના પર આધાર રાખે છે. પરંતુ જ્યારે પરમાણુઓ પાસપાસે આવીને ઘન પદાર્થ બનાવે ત્યારે તેઓ એકબીજાની ખૂબ નજીક હોય છે. આથી, આજુબાજુમાં આવેલા પરમાણુઓના ઈલેક્ટ્રૉનોની બાહ્ય કક્ષાઓ ખૂબ નજીક આવે છે અથવા એકબીજા સાથે વ્યાપ્ત (Overlap) પણ થઈ શકે છે. આના કારણે ઘન પદાર્થમાંની ઈલેક્ટ્રૉનની ગતિ સ્વતંત્ર પરમાણુમાંની ગતિ કરતા ખૂબ ભિન્ન હોય છે.

સ્ફટીકમાં દરેક ઈલેક્ટ્રૉનને એક ચોક્કસ સ્થિતિ હોય છે તથા કોઈ પણ બે ઈલેક્ટ્રૉનની આસપાસ વિદ્યુતભારોની સમાન ગોઠવણી નથી હોતી. આથી દરેક ઈલેક્ટ્રૉનને એક અલગ *ઊર્જા સ્તર* હોય છે. આ સતત ઊર્જા-ફેરફાર ધરાવતા જુદા જુદા ઊર્જા સ્તરો *ઊર્જા પટ* (*Energy Band*) બનાવે છે. વેલેન્સ ઈલેક્ટ્રૉનના ઊર્જા સ્તરો ધરાવતા ઊર્જાપટને *વેલેન્સ બૅન્ડ* કહે છે. વેલેન્સ બૅન્ડની ઉપરના ઊર્જાપટને *કન્ડકશન બૅન્ડ* કહે છે. બાહ્ય ઊર્જાની ગેરહાજરીમાં બધા જ વેલેન્સ ઈલેક્ટ્રૉન વેલેન્સ બૅન્ડમાં રહે છે. જ્યારે કન્ડકશન બૅન્ડનું લઘુત્તમ (Lowest) ઊર્જા સ્તર, વેલેન્સ બૅન્ડના મહત્તમ ઊર્જાસ્તર કરતાં નીચું હોય ત્યારે વેલેન્સ બૅન્ડમાં રહેલા ઈલેક્ટ્રૉન સહેલાઈથી કન્ડકશન બૅન્ડમાં જઈ શકે છે. સામાન્ય રીતે કન્ડકશન બૅન્ડ ખાલી હોય છે. પરંતુ જ્યારે તે વેલેન્સ બૅન્ડ પર વ્યાપ્ત (Overlap) થાય ત્યારે ઈલેક્ટ્રૉન તેમાં મુક્ત રીતે ગતિ કરી શકે છે. આવું ધાત્વિક (મેટાલીક) વાહકોમાં હોય છે.

જો કન્ડકશન બૅન્ડ અને વેલેન્સ બૅન્ડ વચ્ચે અમુક જગ્યા હોય તો, વેલેન્સ બૅન્ડમાં રહેલા બધા જ ઈલેક્ટ્રૉન બંધિત રહે છે અને કન્ડકશન બૅન્ડમાં એકપણ મુક્ત ઈલેક્ટ્રૉન હોતો નથી. આથી, દ્રવ્ય અવાહક બને છે. પરંતુ વેલેન્સ બૅન્ડમાં રહેલા કેટલાક ઈલેક્ટ્રૉન બાહ્ય ઊર્જા મેળવીને કન્ડકશન બૅન્ડ અને વેલેન્સ બૅન્ડ વચ્ચેની જગ્યા પાર કરી શકે છે. આમ થતાં, આ ઈલેક્ટ્રૉન કન્ડકશન બૅન્ડમાં જાય છે. આ જ સમયે તેઓ વેલેન્સ બૅન્ડમાં રીક્ત (ખાલી) ઊર્જા સ્તરો ઉત્પન્ન કરે છે જેમાં બીજા વેલેન્સ ઈલેક્ટ્રૉન આવી શકે. આ ઘટનાથી કન્ડકશન બૅન્ડમાં ઈલેક્ટ્રૉનના કારણે અને વેલેન્સ બૅન્ડમાં રિક્ત સ્થાનોના કારણે વહન થવાની શક્યતા ઊભી થાય છે.

N પરમાણુઓ ધરાવતા Si કે Ge સ્ફટીકમાં શું થાય છે તે જોઈએ. Siમાં સૌથી બહારની કક્ષા ત્રીજી ($n = 3$) કક્ષા છે, જ્યારે Ge માટે તે ચોથી કક્ષા ($n = 4$) છે. સૌથી બહારની કક્ષામાં કુલ 4 ઈલેક્ટ્રૉન ($2s$ અને $2p$ ઈલેક્ટ્રૉન) હોય છે. આથી, સ્ફટીકમાં બહારની કક્ષાના કુલ ઈલેક્ટ્રૉન 4 N છે. બહારની કક્ષામાં મહત્તમ 8 ઈલેક્ટ્રૉન ($2s + 6p$ ઈલેક્ટ્રૉન) રહી શકે. આથી, 4 N વેલેન્સ ઈલેક્ટ્રૉન માટે 8 N ઊર્જાસ્તરો (અવસ્થાઓ) મળે છે. આ 8 N અલગ ઊર્જા સ્તરો સતત પટ (બૅન્ડ) બનાવી શકે અથવા તેઓના સ્ફટીકમાં પરમાણુઓ વચ્ચેના અંતર (બોક્ષમાં ઘન પદાર્થો માટે બૅન્ડ થીયરીનો સિદ્ધાંત જુઓ)ને અનુલક્ષીને જુદા જુદા બૅન્ડના જૂથ બનાવી શકાય.

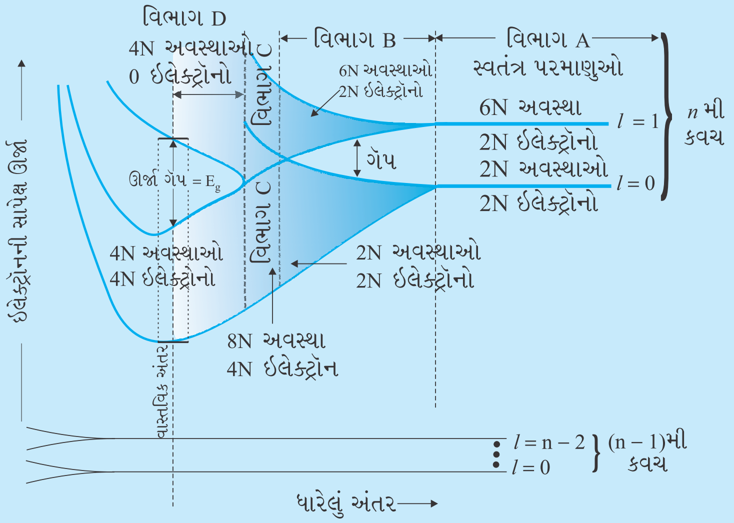
Si અને Geના સ્ફટીક લેટીસોમાં પરમાણુઓ વચ્ચેના અંતરે, 8 N સ્થિતિઓ ધરાવતું ઊર્જા પટ

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

(બૅન્ડ) બે ભાગમાં વિભાજિત થાય છે, જેમની વચ્ચે E_g જેટલો *ઊર્જા-અંતરાલ* ખાલી છે (આકૃતિ 14.1). નિરપેક્ષ શૂન્ય તાપમાને 4 N વેલેન્સ ઇલેક્ટ્રૉનો વડે સંપૂર્ણ ભરાયેલો નીચેનો બૅન્ડ *વેલેન્સ બૅન્ડ* છે. 4 N ઊર્જા સ્તરો ધરાવતો બીજો બૅન્ડ *કન્ડક્શન બૅન્ડ* છે, જે નિરપેક્ષ શૂન્ય તાપમાને સંપૂર્ણ ખાલી છે.

ઘન પદાર્થો માટે બૅન્ડ થિયરી (સિદ્ધાંત) (BAND THEORY OF SOLIDS)



ધારોકે Si કે Ge સ્ફટિક N પરમાણુઓ ધરાવે છે. દરેક પરમાણુના ઇલેક્ટ્રૉનની ઊર્જા જુદી-જુદી કક્ષામાં જુદી-જુદી હશે. જો બધા પરમાણુઓ *અલગ અલગ* એટલે કે એકબીજાથી મોટા અંતરે હોય તો ઇલેક્ટ્રૉનની ઊર્જા સમાન હશે, પરંતુ સ્ફટીકમાં પરમાણુઓ એકબીજાની નજીક (2 થી 3Å) હોય છે અને તેથી ઇલેક્ટ્રૉન એકબીજા સાથે તેમજ આજુબાજુમાં આવેલા પરમાણુઓના કેન્દ્ર (મધ્ય ભાગ) સાથે આંતરક્રિયા કરે છે. સૌથી બહારની કક્ષાઓમાં રહેલા ઇલેક્ટ્રૉન માટે આ વ્યાપ્ત (કે આંતરક્રિયા) વધુ જણાય છે, જ્યારે અંદરની કક્ષાઓ કે કેન્દ્રની નજીક આવેલા ઇલેક્ટ્રૉનની ઊર્જા પર કોઈ અસર ન થતી હોય. આથી, Si કે Ge સ્ફટીકમાં ઇલેક્ટ્રૉન ઊર્જાઓ સમજવા માટે, આપણે સૌથી બહારની કક્ષામાં આવેલા ઇલેક્ટ્રૉનની ઊર્જાઓમાં થતાં ફેરફાર જ ધ્યાનમાં લેવા જોઈએ. Si માટે સૌથી બહારની કક્ષા ત્રીજી (n = 3) છે. જ્યારે Ge માટે તે ચોથી (n = 4) છે. સૌથી બહારની કક્ષામાં રહેલા ઇલેક્ટ્રૉનની સંખ્યા 4 (2s અને 2p ઇલેક્ટ્રૉન) છે. આથી, સ્ફટિકમાં બહારની કક્ષામાં રહેલા ઇલેક્ટ્રૉનની કુલ સંખ્યા 4 N છે. બહારની કક્ષામાં મહત્તમ 8 ઇલેક્ટ્રૉન (2s + 6s ઇલેક્ટ્રૉન) રહી શકે. આથી, 4N ઇલેક્ટ્રૉનમાંથી 2N ઇલેક્ટ્રૉન, 2N s-*સ્ટેટ્સ* (*અવસ્થાઓ*) (કક્ષીય ક્વોન્ટમ નંબર l = 0)માં હોય અને બાકીના 2N ઇલેક્ટ્રૉન ઉપલબ્ધ એવા 6N p-*સ્ટેટ્સ* (*અવસ્થાઓ*) માં હોય. દેખીતું છે કે કેટલીક p-ઇલેક્ટ્રૉન અવસ્થાઓ (સ્ટેટસ) ખાલી છે, જે આકૃતિમાં છેક જમણી બાજુ દર્શાવેલ છે. આ કિસ્સો એકબીજાથી દૂર રહેલા અલગ અલગ સ્વતંત્ર પરમાણુઓ માટેનો (આકૃતિ વિસ્તાર-A) છે.

ધારોકે આ પરમાણુઓ ઘન પદાર્થ બનાવવા માટે એકબીજાની પાસે આવતા જાય છે. સૌથી બહારની કક્ષાઓમાં રહેલા આ ઇલેક્ટ્રૉનની ઊર્જા જુદા-જુદા પરમાણુઓના ઇલેક્ટ્રૉન સાથેની આંતરક્રિયાના કારણે બદલાઈ શકે (વધે કે ઘટે બંને). l = 1 માટેના 6N સ્ટેટસ (અવસ્થાઓ)ની ઊર્જા અલગ-અલગ પરમાણુઓ માટે સમાન હતી, તે અવસ્થાઓ વિસ્તરતી જાય છે અને *ઊર્જા બૅન્ડ* (આકૃતિમાં વિસ્તાર -B) રચે છે. તે જ રીતે l = 0 માટે 2N સ્ટેટસ (અવસ્થાઓ)ની ઊર્જા અલગ-અલગ પરમાણુઓ માટે સમાન હતી તે વિભાજિત થઈને બીજો બૅન્ડ બનાવે છે. (આકૃતિમાં વિસ્તાર-Bને ધ્યાનથી જુઓ) જે પ્રથમ બૅન્ડથી *ઊર્જા અંતરાલ* વડે જુદો પડે છે.

હજી નાના અંતર માટે ફરીથી એ સ્થિતિ આવે છે કે જેમાં બંને બૅન્ડ એકબીજામાં ભેગા થઈ જાય છે. ઉપરના પરમાણુ સ્તરનું વિભાજીત લઘુત્તમ ઊર્જા સ્તર નીચેના પરમાણુ સ્તરના વિભાજીત મહત્તમ (ઉપરના) ઊર્જા સ્તરથી નીચે ગયેલું દેખાય છે. આ વિસ્તારમાં *ઉપરના અને નીચેના ઊર્જા સ્તરો ભેગા થઈ જતા હોય છે. (આકૃતિ વિસ્તાર-C) ત્યાં કોઈ ઊર્જા અંતરાલ હોતો નથી.*

અંતમાં જો પરમાણુઓ વચ્ચેનું અંતર હજી ઘટે તો ઊર્જા બૅન્ડસ ફરી છુટા પડે છે અને *ઊર્જા અંતરાલ* E_g (આકૃતિમાં વિસ્તાર -D) વડે જુદા પડે છે. ઉપલબ્ધ (પ્રાપ્ય) એવા 8N ઊર્જા સ્ટેટસ (અવસ્થાઓ) બે સરખા ભાગ (દરેક નીચેના અને ઉપરના ઊર્જા સ્તરોમાં 4N અવસ્થાઓ)માં *વહેંચાય* છે. અહીંયા, અગત્યનો મુદ્દો એ છે કે નીચેના સ્તરમાં જેટલા સ્ટેટસ પ્રાપ્ય છે (4N), એટલા જ વેલેન્સ ઇલેક્ટ્રૉન (4N) પરમાણુઓમાંથી પ્રાપ્ય છે.

આથી, આ બૅન્ડ (જે *વેલેન્સ બૅન્ડ* કહેવાય છે) સંપૂર્ણ ભરાયેલો હોય છે, જ્યારે ઉપરનો બૅન્ડ સંપૂર્ણ ખાલી છે. ઉપરનો બૅન્ડ *કન્ડક્શન બૅન્ડ* કહેવાય છે.

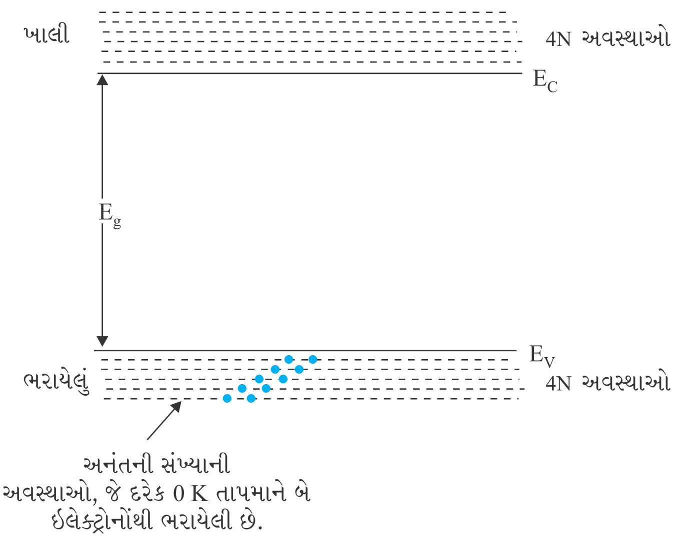
Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

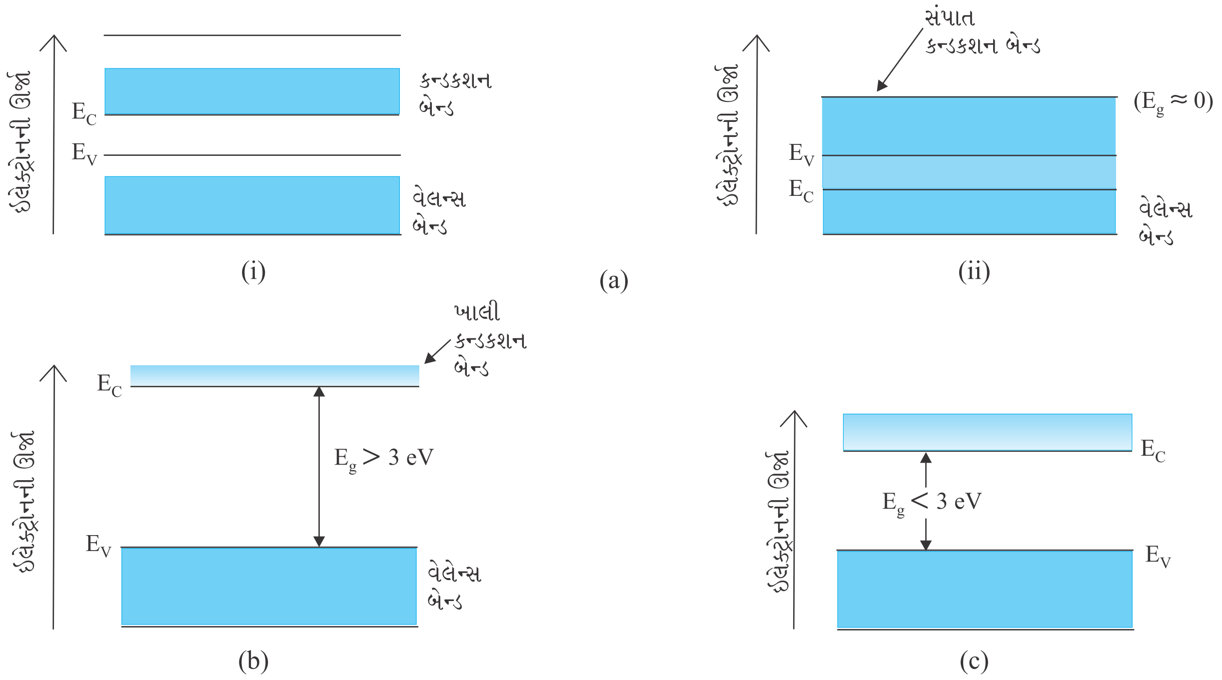
કન્ડકશન બૅન્ડનું લઘુત્તમ ઊર્જા સ્તર E_C વડે દર્શાવ્યું છે અને વેલેન્સ બૅન્ડનું મહત્તમ ઊર્જા સ્તર E_V વડે દર્શાવ્યું છે. E_Cની ઉપર અને E_Vની નીચે મોટી સંખ્યામાં પાસપાસે રહેલા ઊર્જા સ્તરો, આકૃતિ 14.1માં દર્શાવ્યા છે.

વેલેન્સ બૅન્ડની ઉપરની સપાટી અને કન્ડકશન બૅન્ડના તળીયાની સપાટી વચ્ચેની (ખાલી) જગ્યાને *ઊર્જા બૅન્ડ અંતરાલ* (*ઊર્જા ગેપ* E_g) કહે છે. દ્રવ્યના પ્રકારના આધારે તે મોટી, નાની કે શૂન્ય હોઈ શકે છે. આ બધી પરિસ્થિતિઓ આકૃતિ 14.2માં દર્શાવી છે, અને તે નીચે સમજાવેલ છે.

કિસ્સો I : તે આકૃતિ 14.2(a)માં દર્શાવેલ પરિસ્થિતિને અનુરૂપ છે. આપણી પાસે એવી ધાતુ હોઈ શકે જેમાં કન્ડકશન બૅન્ડ અંશતઃ (Partially) ભરાયેલો અને વેલેન્સ બૅન્ડ અંશતઃ ખાલી હોય, અથવા કન્ડકશન અને વેલેન્સ બૅન્ડ બંને એકબીજા પર વ્યાપ્ત (Overlap) હોય. જ્યારે એકબીજા પર વ્યાપ્ત હોય ત્યારે વેલેન્સ બૅન્ડના ઈલેક્ટ્રૉન સહેલાઈથી કન્ડકશન બૅન્ડમાં જઈ શકે. આ પરિસ્થિતિમાં વિદ્યુતવહન માટે મોટી સંખ્યામાં ઈલેક્ટ્રૉન પ્રાપ્ય હોય છે. જ્યારે વેલેન્સ બૅન્ડ અંશતઃ ખાલી હોય ત્યારે તેના નીચેના સ્તરમાંથી ઈલેક્ટ્રૉનો ઉપરના સ્તરમાં આવી શકે, જેથી વિદ્યુતવહન શક્ય બને. આથી, આવા દ્રવ્યોનો અવરોધ ઓછો હોય છે અને વાહકતા વધુ હોય છે.



આકૃતિ 14.1 0 K એ અર્ધવાહકમાં ઊર્જા બૅન્ડનાં સ્થાન. ઉપરનો બૅન્ડ, જે કન્ડકશન બૅન્ડ કહેવાય છે, અનંત સંખ્યાના પાસપાસે રહેલા ઊર્જા સ્તરોનો બનેલો છે. નીચેનો બૅન્ડ જે વેલેન્સ બૅન્ડ કહેવાય છે, સંપૂર્ણ રીતે ભરાયેલા પાસપાસે રહેલા ઊર્જા સ્તરોનો બનેલો છે.



આકૃતિ 14.2 (a) ધાતુઓ (b) અવાહકો અને (c) અર્ધવાહકોના ઊર્જા સ્તરો વચ્ચેનો તફાવત

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

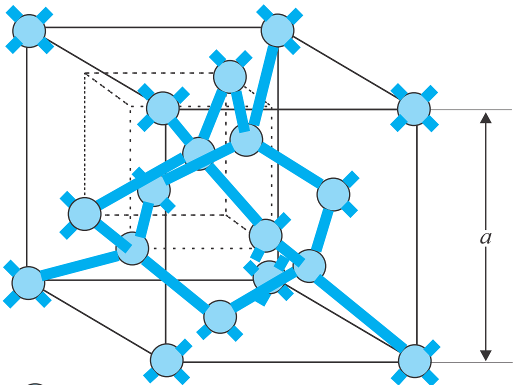
કિસ્સો II : આ કિસ્સામાં, આકૃતિ 14.2(b)માં દર્શાવ્યા મુજબ, મોટો ઊર્જા ગેપ (અંતરાલ) E_g ($E_g > 3$ eV) હોય છે. કન્ડક્શન બૅન્ડમાં કોઈ ઇલેક્ટ્રૉન હોતા નથી અને તેથી વિદ્યુતવહન શક્ય નથી. નોંધો કે, આ ઊર્જા ગેપ (તફાવત) એટલો મોટો હોય છે કે તાપિય ઉત્તેજનથી પણ કોઈ ઇલેક્ટ્રૉનને વેલેન્સ બૅન્ડથી કન્ડક્શન બૅન્ડ સુધી મોકલી શકાતો નથી. આ કિસ્સો *અવાહકોનો* છે.

કિસ્સો III : આ પરિસ્થિતિ આકૃતિ 14.2(c)માં દર્શાવી છે. અત્રે ચોક્કસ પણ નાનો ઊર્જા ગેપ (અંતરાલ) ($E_g < 3$ eV) હોય છે. ઊર્જાગેપ (તફાવત) નાનો હોવાથી ઓરડાના તાપમાને વેલેન્સ બૅન્ડમાં રહેલા કેટલાક ઇલેક્ટ્રૉન પુરતી ઊર્જા મેળવીને ઊર્જા ગેપ પસાર કરી *કન્ડક્શન બૅન્ડમાં* આવે છે. આ ઇલેક્ટ્રૉન (જેમની સંખ્યા નાની હોવા છતાં) કન્ડક્શન બૅન્ડમાં ગતિ કરે છે. આથી, *અર્ધવાહકોનો* અવરોધ અવાહકો જેટલો ઊંચો નથી હોતો.

આ પરિચ્છેદમાં આપણે ધાતુઓ, અવાહકો અને અર્ધવાહકોનું વર્ગીકરણ કર્યું. હવે પછીના પરિચ્છેદમાં તમે અર્ધવાહકોમાં વહનની પ્રક્રિયા શીખશો.

14.3 શુદ્ધ (આંતરિક) અર્ધવાહક (INTRINSIC SEMICONDUCTOR)

આપણે Ge અને Si નો સામાન્ય કિસ્સો લઈશું, જેનું સ્ફટીક બંધારણ આકૃતિ 14.3માં દર્શાવ્યું છે. આવા બંધારણો ડાયમન્ડ (હીરા) પ્રકારના બંધારણ કહેવાય છે. દરેક પરમાણુ ચાર નજીકત્તમ પરમાણુઓ વડે ઘેરાયેલો હોય છે. આપણે જાણીએ છીએ કે Si અને Geને ચાર વેલેન્સ ઇલેક્ટ્રૉન હોય છે. દરેક Si કે Ge પરમાણુ તેમના સ્ફટીક બંધારણમાં તેમના ચારમાંથી એક એક વેલેન્સ ઇલેક્ટ્રૉનની તેમના નજીકતમ પડોશી પરમાણુઓના એક એક ઇલેક્ટ્રૉન સાથે *ભાગીદારી કરે* છે અને આવા દરેક પડોશી પાસેથી એક ઇલેક્ટ્રૉનનો ફાળો મેળવે છે. આ ભાગીદારી પામેલા ઇલેક્ટ્રૉન જોડકાં *કોવેલેન્ટ બંધ* અથવા ફક્ત વેલેન્સ બૉન્ડ (બંધ) બનાવે છે એમ કહેવાય છે. ભાગીદારી પામેલા આ બે ઇલેક્ટ્રૉન તેમના સંકળાયેલા પરમાણુઓ વચ્ચે આગળ-પાછળ ગતિ કરતા રહે છે અને તેમને મજબુત રીતે બાંધી રાખે છે. આકૃતિ 14.3માં દર્શાવેલ Si કે Geના બંધારણને આકૃતિ 14.4માં દ્વિ-પરિમાણમાં રેખાકૃત કર્યું છે, જે કોવેલેન્ટ બંધને વધુ સ્પષ્ટ કરે છે. તે આદર્શ પરિસ્થિતિ દર્શાવે છે, જેમાં એક પણ બંધ તુટેલ નથી (બધા બંધ એમ જ છે). આવી પરિસ્થિતિ નીચા તાપમાનોએ હોય છે. જેમ તાપમાન વધે તેમ આ ઇલેક્ટ્રૉનને વધુ ઉષ્મા ઊર્જા પ્રાપ્ત થાય છે અને કેટલાક ઇલેક્ટ્રૉન (બંધમાંથી) છુટા પડી જાય છે (*મુક્ત* ઇલેક્ટ્રૉન બને છે જે વિદ્યુતવહનમાં ફાળો આપે છે). પરિણામ સ્વરૂપે ઉષ્મા ઊર્જા, સ્ફટીક બંધારણમાં પરમાણુઓનું આયનીકરણ કરે છે અને બંધમાં *ખાલી જગ્યા* ઉત્પન્ન કરે છે જે આકૃતિ 14.5(a)માં દર્શાવેલ છે. બાજુની જગ્યા જ્યાંથી મુક્ત ઇલેક્ટ્રૉન (વિદ્યુતભાર $-q$ સાથે) આવ્યો છે ત્યાં ખાલી જગ્યા છોડી જાય છે. જેના અસરકારક વિદ્યુતભાર ($+q$) હોય છે. અસરકારક ધન વિદ્યુતભાર ધરાવતી આ *ખાલી જગ્યાને હોલ* (*Hole*) કહે છે. હોલ જાણે કે પરિણામી ધન વિદ્યુતભાર ધરાવતો *આભાસી મુક્ત કણ* હોય તેમ વર્તે છે.



આકૃતિ 14.3 કાર્બન, સિલિકોન કે જર્મેનિયમનું ત્રિપારિમાણિક ડાયમન્ડ પ્રકારનું સ્ફટીક બંધારણ, જેમાં સ્તરો વચ્ચેનું અંતર a અનુક્રમે 3.56, 5.43 અને 5.66 Å છે.

શુદ્ધ (આંતરિક) અર્ધવાહકોમાં, મુક્ત ઇલેક્ટ્રૉનની સંખ્યા n_e, હોલની સંખ્યા n_h જેટલી હોય છે. એટલે કે,

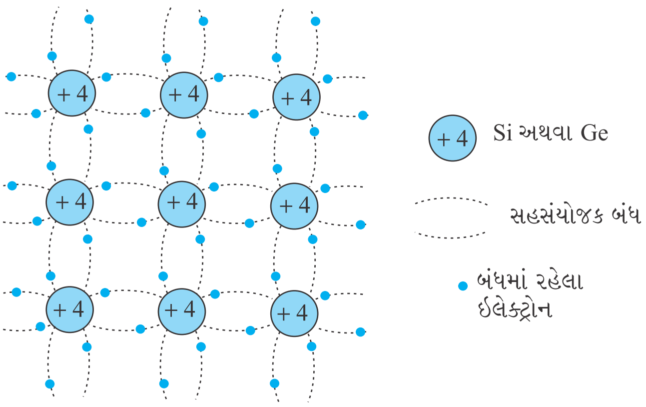
$$n_e = n_h = n_i \qquad (14.1)$$

જ્યાં, n_i એ શુદ્ધ (Intrinsic) વાહક સંખ્યા છે.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

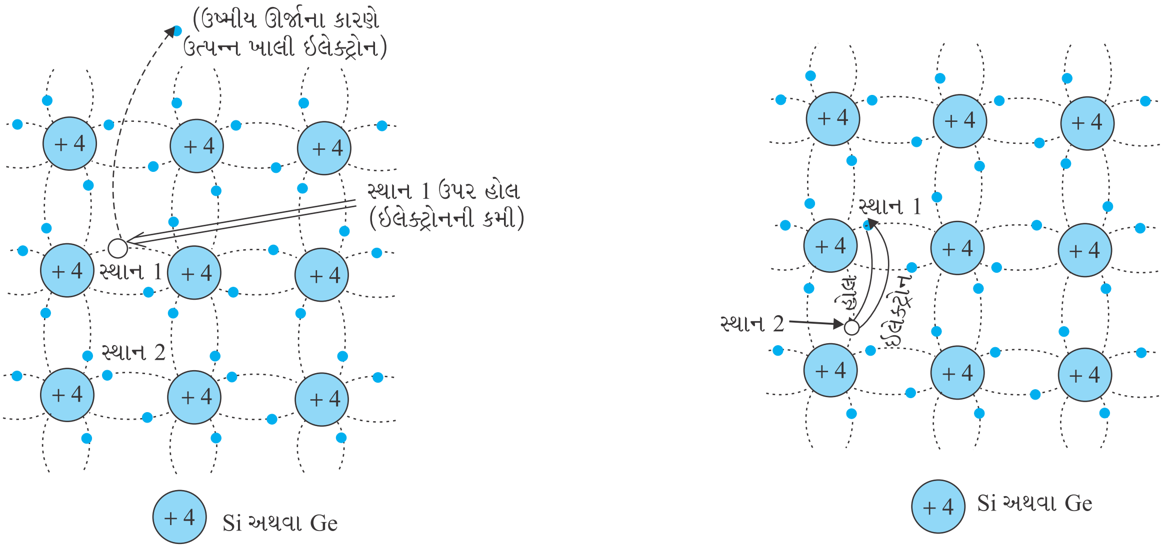
અર્ધવાહકો એવો અદ્વિતિય ગુણધર્મ ધરાવે છે કે જેમાં, ઈલેક્ટ્રૉન ઉપરાંત હોલ પણ ગતિ કરે છે. ધારોકે આકૃતિ 14.5(a)માં દર્શાવ્યા મુજબ સ્થાન 1 પાસે એક હોલ છે. હોલની ગતિ આકૃતિ 14.5(b)માં દર્શાવ્યા મુજબ જોઈ શકાય છે. સ્થાન 2 પાસે કોવેલેન્ટ બંધમાં રહેલો ઈલેક્ટ્રૉન ખાલી સ્થાન 1 (હોલ)માં કૂદીને જાય. આમ, આ કૂદકા પછી, હોલ સ્થાન 2 પાસે જાય અને સ્થાન 1 પાસે ઈલેક્ટ્રૉન હોય. આમ, દેખીતી રીતે હોલ સ્થાન 1થી સ્થાન 2 સુધી ગતિ કરે છે. નોંધો કે મૂળ જે ઇલેક્ટ્રૉન મુક્ત થયો હતો [આકૃતિ 14.5(a)], તે હોલની ગતિ માટેની આ પ્રક્રિયામાં ભાગ લેતો નથી. મુક્ત ઈલેક્ટ્રૉન સ્વતંત્ર રીતે વાહક (કન્ડક્શન) ઈલેક્ટ્રૉન તરીકે ગતિ કરે છે જેના પરિણામે આપેલ વિદ્યુતક્ષેત્રની અસર હેઠળ ઈલેક્ટ્રૉન પ્રવાહ I_e મળે છે. યાદ રહે કે હોલની ગતિ એ જ્યારે પણ સ્ફટિકમાં કોઈ બંધ ખાલી હોય ત્યારે *બંધિત ઈલેક્ટ્રૉન*ની વાસ્તવિક ગતિ દર્શાવવાની એક સગવડ ભરી પદ્ધતિ છે. વિદ્યુતક્ષેત્રની અસર હેઠળ આ હોલ ઋણ સ્થિતિમાન તરફ ગતિ કરે છે, જેના પરિણામે હોલ પ્રવાહ I_h મળે છે. આમ, કુલ વિદ્યુતપ્રવાહ I એ ઈલેક્ટ્રૉન પ્રવાહ I_e અને હોલ પ્રવાહ I_hના સરવાળા જેટલો હોય છે.



આકૃતિ 14.4 Si કે Geનું દ્વિપારિમાણીક રેખાચિત્ર જે નીચા તાપમાને કોવેલેન્ટ બંધ દર્શાવે છે. +4 સંજ્ઞા Si કે Geના આંતરિક ભાગ (કેન્દ્ર) દર્શાવે છે.

$$I = I_e + I_h \qquad (14.2)$$

એ નોંધવું જોઈએ કે વાહક (કન્ડક્શન) ઈલેક્ટ્રૉન અને હોલના *ઉદ્ભવની પ્રક્રિયા* ઉપરાંત, ઈલેક્ટ્રૉનના હોલ સાથે *ભળવાની* (*પુનઃ સંયોજનની*) પ્રક્રિયા પણ ચાલુ હોય છે. સંતુલન સ્થિતિમાં વિદ્યુતભાર વાહકોના (જોડકાના) ઉદ્ભવ દર અને એકબીજામાં ભળવાનો દર સમાન હોય છે. ઈલેક્ટ્રૉન જ્યારે હોલ સાથે અથડાય ત્યારે આવું પુનઃસંયોજન થતું હોય છે.

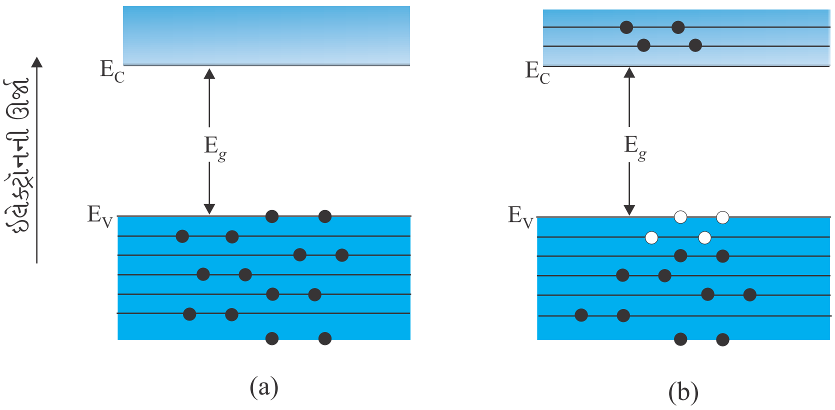


(a) (b)

આકૃતિ 14.5 (a) સામાન્ય તાપમાને ઉષ્મા ઊર્જાના કારણે સ્થાન 1 પાસે હોલના સર્જન અને કન્ડક્શન ઈલેક્ટ્રૉનનું રેખાચિત્રણ મોડલ. (b) હોલની શક્ય ઉષ્મીય ગતિ દર્શાવતું સરળ નિદર્શન. ડાબી બાજુ નીચેના કોવેલેન્ટ બોન્ડ (સ્થાન-2) પાસેથી, ઈલેક્ટ્રૉન અગાઉના હોલના સ્થાન 1 પર જાય છે, જે પાછળ તેના સ્થાને હોલ છોડતો જાય છે. જે હોલની સ્થાન 1થી સ્થાન 2 સુધીની દેખીતી ગતિ દર્શાવે છે.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com



આકૃતિ 14.6 (a) T = 0K એ શુધ્ધ અર્ધવાહક, અવાહક તરીકે વર્તે છે. (b) T > 0K એ ઉષ્મીય રીતે ઉત્પન્ન થયેલા ચાર ઇલેક્ટ્રોન-હોલ જોડકાં. ઘાટા વર્તુળ (•) ઇલેક્ટ્રોનો દર્શાવે છે, જ્યારે ખાલી વર્તુળો (o) હોલ દર્શાવે છે.

T = 0 K એ શુદ્ધ અર્ધવાહક આકૃતિ 14.6(a)માં દર્શાવ્યા મુજબ અવાહક તરીકે વર્તે છે. ઊંચા તાપમાનો (T > 0 K) એ ઉષ્મા ઊર્જાના કારણે વેલેન્સ બૅન્ડમાં રહેલા કેટલાક ઇલેક્ટ્રૉન ઉત્તેજિત થઈને કન્ડક્શન બૅન્ડમાં આવે છે. T > 0 K એ ઉષ્મીય રીતે ઉત્તેજીત થયેલા ઇલેક્ટ્રૉન, કન્ડક્શન બૅન્ડને આંશિક રીતે ભરે (રોકે) છે. આથી, શુદ્ધ અર્ધવાહકોના ઊર્જા બૅન્ડ આકૃતિ 14.6(b)માં દર્શાવ્યા મુજબ હોય છે. અત્રે કેટલાક ઇલેક્ટ્રૉનને કન્ડક્શન બૅન્ડમાં દર્શાવ્યા છે તેઓ વેલેન્સ બૅન્ડમાંથી આવ્યા છે તથા ત્યાં એટલા જ હોલ ઉત્પન્ન કરતાં આવ્યા છે.

ઉદાહરણ 14.1

ઉદાહરણ 14.1 C, Si અને Ge ને એક સમાન લેટીસ બંધારણ છે. શા માટે C અવાહક છે જ્યારે Si અને *Ge* અર્ધવાહક છે ?

ઉકેલ C, Si અને Ge ના બંધ બનાવતા ચાર ઇલેક્ટ્રૉન અનુક્રમે બીજી, ત્રીજી અને ચોથી કક્ષામાં છે. આથી, આ પરમાણુઓમાંથી એક ઇલેક્ટ્રૉનને બહાર કાઢવા માટે જરૂરી ઊર્જા (એટલે કે આયનીકરણ ઊર્જા E_g) Ge માટે સૌથી ઓછી, Si માટે તેનાથી વધુ અને C માટે સૌથી વધુ હોય છે. આથી, વહન માટે મુક્ત ઇલેક્ટ્રૉન સંખ્યા Ge અને Si માં નોંધપાત્ર છે પણ C માટે અવગણ્ય એવી નાની છે.

14.4 અશુદ્ધ (બાહ્ય) અર્ધવાહક (Extrinsic Semiconductor)

શુદ્ધ અર્ધવાહકની વાહકતા તેના તાપમાન પર આધાર રાખે છે, પરંતુ ઓરડાના તાપમાને તેની વાહકતા ઘણી ઓછી હોય છે. હકીકતમાં, આવા અર્ધવાહકોની મદદથી કોઈ અગત્યના ઇલેક્ટ્રૉનિક સાધનો બનાવી ન શકાય. આથી, તેમની વાહકતા વધારવી જરૂરી બને છે. આવું અશુદ્ધિઓનો ઉપયોગ કરવાથી થઈ શકે છે.

જ્યારે નાના પ્રમાણમાં, જેમકે દસ લાખે અમુક સંખ્યા (*ppm*-parts per million)ની યોગ્ય અશુદ્ધિ, શુદ્ધ અર્ધવાહકમાં ઉમેરવામાં આવે છે, ત્યારે અર્ધવાહકની વાહકતા અનેકગણી વધી જાય છે. આવા દ્રવ્યો *અશુદ્ધ અર્ધવાહકો અથવા એક્સ્ટ્રીન્ઝીક અર્ધવાહકો* કહેવાય છે. હેતુપૂર્વક ઇચ્છનીય અશુદ્ધિ ઉમેરવાની ઘટનાને ડોપીંગ (Dopping) કહે છે અને અશુદ્ધિ પરમાણુઓને *ડોપન્ટસ* (*Dopants*) કહે છે. આવા પદાર્થને *ડોપ્ડ સેમિકન્ડક્ટર* પણ કહે છે. ડોપન્ટ (અશુદ્ધિ પરમાણુ) એવો હોવો જોઈએ કે જે શુદ્ધ અર્ધવાહક સ્ફટીકની રચનાને વિકૃત ન કરે. તે સ્ફટીકમાં થોડાક મૂળભૂત અર્ધવાહક પરમાણુ સ્થાન રોકે છે. આમ, કરવા માટેની જરૂરી શરત એ છે કે ડોપન્ટ પરમાણુઓ અને અર્ધવાહક પરમાણુઓના કદ (પરિમાણ) લગભગ સમાન હોવા જોઈએ.

ચાર સંયોજકતા (વેલેન્સી) ધરાવતા (ટેટ્રાવેલન્ટ)Si કે Geમાં ડોપીંગ કરવા માટે બે પ્રકારના ડોપન્ટસનો ઉપયોગ થાય છે.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

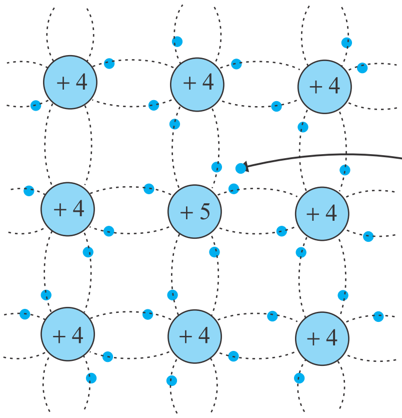
(i) પેન્ટાવેલેન્ટ સંયોજકતા (વેલેન્સી 5) : જેમકે, આર્સેનિક (As), એન્ટિમની (Sb), ફૉસ્ફરસ (P) વગેરે.

(ii) ટ્રાઈવેલેન્ટ સંયોજકતા (વેલેન્સી 3) : જેમકે, ઈન્ડીયમ (In), બોરોન (B), ઍલ્યુમિનિયમ (Al) વગેરે.

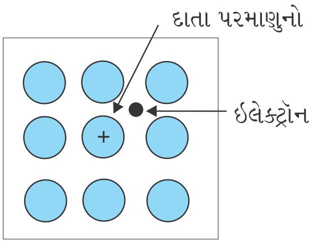
આપણે હવે એ સમજીશું કે કેવી રીતે ડોપીંગ, અર્ધવાહકમાં વાહક વિદ્યુતભારોની સંખ્યા (અને તેથી વાહકતા) બદલે છે. Si અને Ge આવર્ત કોષ્ટક (પિરિયોડીક ટેબલ)ના ચોથા સમુહ (ગ્રુપ)માં આવે છે. આથી, આપણે ડોપીંગ માટેનું તત્વ નજીકના પાંચમાં કે ત્રીજા સમુહ (ગ્રુપ)માંથી પસંદ કરીએ છીએ કે જેથી અપેક્ષા મુજબ ડોપીંગ કરવાના પરમાણુનું કદ Si કે Geના કદ જેટલું હોય. Si કે Geમાં પેન્ટાવેલેન્ટ અને ટ્રાઈવેલેન્ટ ડોપન્ટ બે સંપૂર્ણ જુદા પ્રકારના અર્ધવાહકો આપે છે જે નીચે સમજાવ્યા છે.

(i) *n*-પ્રકારનો અર્ધવાહક (*n-type Semi-conductor*)

ધારોકે આપણે આકૃતિ 14.7માં દર્શાવ્યા મુજબ Si કે Geને પેન્ટાવેલેન્ટ તત્વ વડે ડોપીંગ કરીએ છીએ. જ્યારે +5 વેલેન્સીવાળા તત્વનો પરમાણુ Si સ્ફટીક બંધારણમાં કોઈ પરમાણુની જગ્યાએ ગોઠવાય છે ત્યારે તેના ચાર ઈલેક્ટ્રૉન આજુબાજુમાં આવેલા ચાર સિલિકોન પરમાણુઓ સાથે બંધ રચે છે. જ્યારે પાંચમો ઈલેક્ટ્રૉન આ જનક પરમાણુ સાથે અત્યંત નબળી રીતે બંધિત રહે છે. કારણ એ છે કે પાંચમો ઈલેક્ટ્રૉન બંધ (બોન્ડ) બનાવવામાં વપરાતા ચાર ઈલેક્ટ્રૉનને પરમાણુના અસરકારક ગર્ભ (Core) ના ભાગ તરીકે જુએ છે. પરિણામે આ ઈલેક્ટ્રૉનને મુક્ત કરવા માટે જરૂરી આયનાઈઝેશન ઊર્જા ઘણી ઓછી હોય છે, અને ઓરડાના તાપમાને પણ તે અર્ધવાહક સ્ફટીકમાં ગતિ કરવા માટે મુક્ત થાય છે. ઉદાહરણ તરીકે આ ઈલેક્ટ્રૉનને પરમાણુમાંથી મુક્ત કરવા જર્મેનિયમ માટે ~ 0.01 *e*V અને સિલિકોન માટે 0.05 *e*V ઊર્જા જોઈએ છીએ. આ ઊર્જા ઓરડાના તાપમાને શુદ્ધ અર્ધવાહક માટે પ્રતિબંધિત પટ (Forbidden Band)માંથી કુદકો મારવા માટે જરૂરી ઊર્જા (જર્મેનિયમ માટે લગભગ 0.72 *e*V અને સિલિકોન માટે લગભગ 1.1 *e*V) કરતાં ઘણી ઓછી છે. આમ, પેન્ટાવેલેન્ટ પરમાણુ એક વધારાનો ઈલેક્ટ્રૉન વહન (Conduction) માટે આપે છે અને તેથી તે *દાતા* (*Donar*) અશુદ્ધિ કહેવાય છે. વહન માટે પ્રાપ્ય એવા ઈલેક્ટ્રૉનોની સંખ્યાનો આધાર ડોપીંગ (ઉમેરેલ અશુદ્ધિ)ના પ્રમાણ પર છે, અને તે આસપાસના તાપમાનના વધારા પર આધાર રાખતી નથી. બીજી બાજુ Si પરમાણુઓ વડે તાપમાનના વધારા સાથે મુક્ત ઈલેક્ટ્રૉનની સંખ્યા (અને તેટલી જ હોલની સંખ્યા) ઓછા પ્રમાણમાં વધે છે. ડોપીંગ કરેલા અર્ધવાહકમાં વાહક (કન્ડકશન) ઈલેક્ટ્રૉનની કુલ સંખ્યા n_e, એ દાતા (Donor) પરમાણુઓએ આપેલા ઈલેક્ટ્રૉનના કારણે અને શુદ્ધ વાહકનાં (ઓરડાના તાપમાને ઉત્પન્ન થયેલા ઈલેક્ટ્રૉનનાં) કારણે છે, જ્યારે હોલની કુલ સંખ્યા n_h એ ફક્ત શુદ્ધ વાહકના કારણે છે, પરંતુ હોલના (ઈલેક્ટ્રૉન સાથે) જોડાણની સંખ્યા ઈલેક્ટ્રૉનની સંખ્યા વધતાં વધે છે. પરિણામે, હોલની સંખ્યા હજી ઘટે છે.



(a)

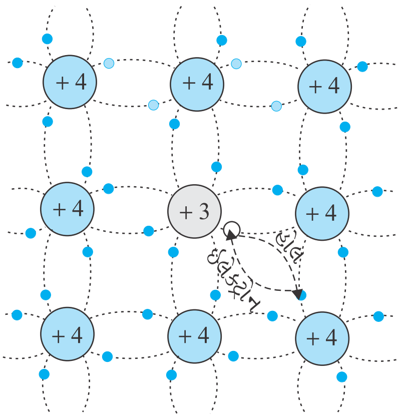


(b)

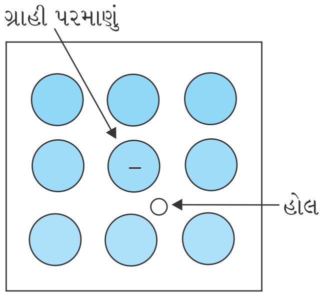
આકૃતિ 14.7 (a) પેન્ટાવેલેન્ટ દાતા (Donar) પરમાણુ As, Sb, P વગેરે. જે ટેટ્રાવેલેન્ટ Si કે Geમાં ડોપીંગ કરવાથી *n*-પ્રકારનો અર્ધવાહક આપે છે અને (b) *n*-પ્રકારના પદાર્થ માટે સામાન્ય રીતે ઉપયોગમાં લેવાતું રેખાચિત્ર, જે ફક્ત ડોનર પરમાણુના ચોક્કસ કેન્દ્રોને વધારાના ધન વિદ્યુતભાર અને તેની સાથે સંકળાયેલા વધારાના ઈલેક્ટ્રૉન વડે દર્શાવે છે.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com



(a)



(b)

આકૃતિ 14.8 (a) ટ્રાઈવેલેન્ટ ગ્રાહી (સ્વીકારનાર, Accepor) પરમાણુ In, Al, B વગેરે. જે ટેટ્રાવેલન્ટ Si કે Geના સ્ફટીકમાં ડોપીંગ કરવાથી *p*-પ્રકારનો અર્ધવાહક મળે છે, અને (b) *p*-પ્રકારના પદાર્થ માટે સામાન્ય રીતે ઉપયોગમાં લેવાતું રેખાચિત્ર, જે ફક્ત સ્વીકારનાર પરમાણુના નિશ્ચિત કેન્દ્રોને વધારાના એક અસરકારક ઋણ વિદ્યુતભાર અને તેની સાથે સંકળાયેલા હોલ વડે દર્શાવે છે.

આમ, યોગ્ય પ્રમાણમાં ડોપીંગ કરવાથી કન્ડક્શન ઈલેક્ટ્રૉનની સંખ્યા હોલની સંખ્યા કરતા ઘણી વધારી શકાય. આથી, પેન્ટાવેલેન્ટ અશુદ્ધિ ડોપ કરેલા અશુદ્ધ અર્ધવાહકમાં, ઈલેક્ટ્રૉન *મેજોરિટી (બહુસંખ્યક-Majority)* વાહકો બને છે જ્યારે હોલ *માઈનોરિટી (અલ્પસંખ્યક-Minority) વાહકો* બને છે. આથી, આ અર્ધવાહકોને *n-પ્રકારના અર્ધવાહકો* કહે છે. *n*-પ્રકારના અર્ધવાહકો માટે

$$n_e >> n_h \qquad (14.3)$$

(ii) *p*-પ્રકારનો અર્ધવાહક (*p*-type Semiconductor)

જ્યારે Si કે Geને ટ્રાઈવેલેન્ટ (ત્રણ વેલેન્સ ઈલેક્ટ્રૉન ધરાવતી) અશુદ્ધિ, જેમ કે Al, B, In વગેરે વડે ડોપ કરવામાં આવે ત્યારે આવા પદાર્થ મળે છે. આ ડોપીંગ કરવા માટેના પરમાણુને Si કે Ge કરતાં એક ઓછો વેલેન્સ ઈલેક્ટ્રૉન હોય છે. આથી આ પરમાણુ આજુબાજુના ત્રણ Si પરમાણુઓ સાથે કોવેલન્ટ (સહસંયોજક) બંધ (બોન્ડ) બનાવી શકે છે. પરંતુ ચોથા Si પરમાણુ સાથે બંધ બનાવવા તેની પાસે ઈલેક્ટ્રૉન હોતો નથી. આથી, ચોથા પડોશી પરમાણુ અને ટ્રાઈવેલેન્ટ પરમાણુ વચ્ચેના બંધમાં આકૃતિ 14.8માં દર્શાવ્યા મુજબ એક ખાલી જગ્યા (Vacancy) કે હોલ હોય છે. સ્ફટીકમાં પડોશી Si પરમાણુને હોલની જગ્યાએ એક ઈલેક્ટ્રૉનની જરૂરિયાત હોવાથી બાજુમાં આવેલા પરમાણુની બહારની કક્ષામાં આવેલો ઈલેક્ટ્રૉન કુદીને આ જગ્યા પૂરે છે, જેના પરિણામે તેના પોતાના મૂળ સ્થાને ખાલી જગ્યા કે હોલ ઉત્પન્ન થાય છે. આમ, કન્ડક્શન માટે હોલ પ્રાપ્ત થાય છે. નોંધો કે ટ્રાઈવેલેન્ટ, બહારનો પરમાણુ જ્યારે ચોથા ઈલેક્ટ્રૉનની બાજુના Si પરમાણુ સાથે ભાગીદારી કરે ત્યારે પરિણામ સ્વરૂપે તે ઋણ વિદ્યુતભારીત બને છે. આથી, *p*-પ્રકારના પદાર્થના ડોપન્ટ પરમાણુને આકૃતિ 14.8 (b)માં દર્શાવ્યા મુજબ તેની સાથે સંકળાયેલ હોલ સાથે *એક ઋણ વિદ્યુતભારવાળા કેન્દ્ર* તરીકે ગણવામાં આવે છે. એ દેખીતું છે કે એક *ગ્રાહી (સ્વીકારનાર - Acceptor)* પરમાણુ એક હોલ આપે છે. આ હોલ શુદ્ધ અર્ધવાહકમાં (ઓરડાના તાપમાને બનતા) હોલ ઉપરાંત છે, જ્યારે વાહક ઈલેક્ટ્રૉનનું ઉદ્‌ગમ ફક્ત શુદ્ધ અર્ધવાહક જ છે. આમ, આવા પદાર્થ માટે હોલ મેજોરિટી વાહકો અને ઈલેક્ટ્રૉન માઈનોરિટી વાહકો છે. તેથી, ટ્રાઈવેલેન્ટ અશુદ્ધિઓ ડોપ કરેલા અશુદ્ધ અર્ધવાહકો *p-પ્રકારના અર્ધવાહકો* કહેવાય છે.

p-પ્રકારના અર્ધવાહકો માટે (ઈલેક્ટ્રૉન હોલના) પુનઃ સંયોજનની પ્રક્રિયાના કારણે શુદ્ધ (આંતરિક) રીતે ઉત્પન્ન થયેલા ઈલેક્ટ્રૉનની સંખ્યા (n_i) થાય છે. આથી, *p*-પ્રકારના અર્ધવાહકો માટે

$$n_h >> n_e \qquad (14.4)$$

નોંધો કે સ્ફટીક સમગ્રપણે વિદ્યુતભાર તટસ્થતા જાળવી રાખે છે. કારણકે, વધારાના વિદ્યુતભાર વાહકોનો વિદ્યુતભાર સ્ફટીકમાં રહેલા આયનાઈઝ્ડ કેન્દ્રો (ગર્ભ) જેટલો જ અને વિરૂદ્ધ પ્રકારનો હોય છે.

અશુદ્ધ (બાહ્ય) અર્ધવાહકોમાં મેજોરિટી વિદ્યુતભાર વાહકોની સંખ્યા પુષ્કળ હોવાથી ઉષ્મીય રીતે ઉત્પન્ન થયેલા માઈનોરિટી વિદ્યુતભાર વાહકોને મેજોરિટી વિદ્યુતભાર વાહકો સાથે અથડાવાની શક્યતા વધુ હોય છે અને આમ, તે નાશ પામતા હોય છે. આથી, અશુદ્ધ પરમાણુઓ જે એક પ્રકારના મોટી સંખ્યાના વિદ્યુતભાર વાહકો પ્રદાન કરે છે, તે મેજોરિટી વિદ્યુતભાર વાહકો બને છે અને પરોક્ષ રીતે (ઉષ્મીય રીતે) ઉત્પન્ન થયેલા માઈનોરિટી વાહકોની સંખ્યા ઘટાડવામાં મદદ કરે છે.

અર્ધવાહકના ઊર્જા બૅન્ડ (પટ)ની રચના ડોપીંગને કારણે બદલાય છે. અશુદ્ધ અર્ધવાહકોમાં દાતા અશુદ્ધિઓ અને સ્વીકારનાર (એસેપ્ટર) અશુદ્ધિઓના કારણે વધારાના ઊર્જા સ્તરો (E_D અને E_A)પણ હાજર હોય છે. *n*-પ્રકારના, Si અર્ધવાહકમાં, દાતા ઊર્જા સ્તર E_D એ કન્ડક્શન બૅન્ડના તળિયાના સ્તરથી થોડુંક નીચે હોય છે અને આ સ્તરમાંથી ઈલેક્ટ્રૉન બહુ ઓછી ઊર્જા આપવાથી પણ કન્ડક્શન બૅન્ડમાં જાય

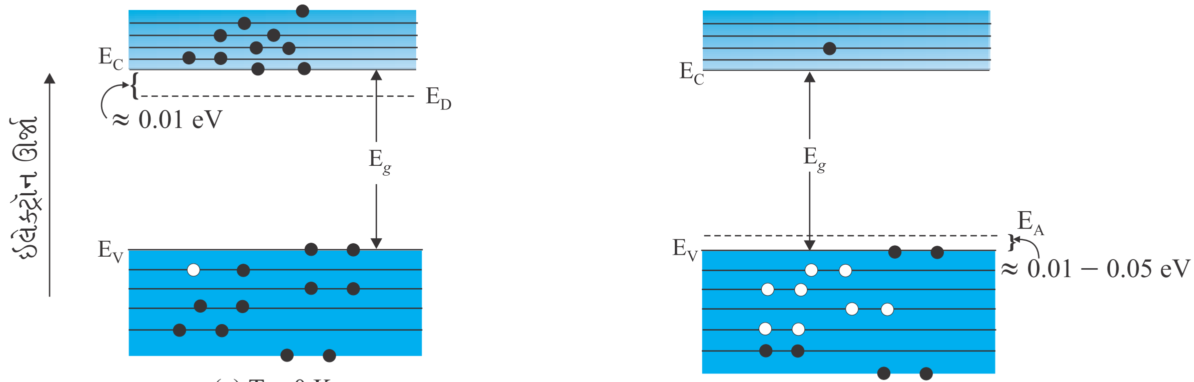
Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

છે. ઓરડાના તાપમાને, મોટાભાગના દાતા (ડોનર) પરમાણુઓ આયનીકૃત થાય છે, પરંતુ Siનાં ઘણાં ઓછા ($\sim 10^{12}$) પરમાણુઓ આયનીકૃત થાય છે. આથી, કન્ડક્શન બૅન્ડમાં મોટાભાગના ઇલેક્ટ્રૉનો દાતા અશુદ્ધિઓમાંથી મળે છે. જે આકૃતિ 14.9 (a)માં દર્શાવેલ છે. તે જ રીતે *p*-પ્રકારના અર્ધવાહક માટે એક્સેપ્ટર (સ્વીકારનાર) ઊર્જા સ્તર E_A, વેલેન્સ બૅન્ડ E_Vના ટોચના સ્તરથી થોડુંક ઉપર હોય છે, જે આકૃતિ 14.9 (b)માં દર્શાવેલ છે. થોડીક ઊર્જા આપવાથી પણ વેલેન્સ બૅન્ડમાં રહેલો ઇલેક્ટ્રૉન E_Aમાં પહોંચે છે અને એક્સેપ્ટરને ઋણવિદ્યુત ભાર સાથે આયનીકૃત કરે છે (બીજી રીતે આપણે એમ પણ કહી શકીએ કે થોડીક ઊર્જા આપવાથી સ્તર E_Aમાંથી હોલ વેલેન્સ બૅન્ડમાં નીચે જાય છે, જ્યારે બાહ્ય ઊર્જા પ્રાપ્ત થાય છે ત્યારે ઇલેક્ટ્રૉનો ઉપર આવે છે અને હોલ નીચે જાય છે). ઓરડાના તાપમાને મોટાભાગના ગ્રાહી (એક્સેપ્ટર) પરમાણુઓ આયનીકૃત થાય છે, જે વેલેન્સ બૅન્ડમાં હોલ ઉત્પન્ન કરે છે. આમ, ઓરડાના તાપમાને વેલેન્સ બૅન્ડમાં હોલની સંખ્યા ઘનતા મોટે ભાગે અશુદ્ધ અર્ધવાહકમાં રહેલી અશુદ્ધિના કારણે હોય છે. *ઉષ્મીય સંતુલન*માં ઇલેક્ટ્રૉન અને હોલની સંખ્યા

$$n_e n_h = n_i^2 \tag{14.5}$$

વડે અપાય છે. ઉપરની સમજુતી આશરે અને કાલ્પનિક (Hypothetical) હોવા છતાં તે ધાતુઓ, અવાહકો અને અર્ધવાહકો (શુદ્ધ અને અશુદ્ધ) વચ્ચેનો તફાવત સરળ રીતે સમજાવામાં મદદરૂપ છે. C, Si અને Geની અવરોધકતાનો તફાવત તેમના કન્ડક્શન અને વેલેન્સ બૅન્ડ વચ્ચેના ઊર્જા તફાવત પર આધાર રાખે છે. C (હીરા), Si અને Ge માટે આ ઊર્જા તફાવતો અનુક્રમે 5.4 *e*V, 1.1 *e*V અને 0.7 *e*V છે. Sn પણ સમૂહ-IVમાં આવતું તત્વ છે પરંતુ તે ધાતુ છે કારણકે તેના માટે ઊર્જા તફાવત 0 *e*V છે.



(a) T > 0 K
એક ઉષ્માજનિત ઇલેક્ટ્રૉન-હોલ જોડકું,
તથા દાતા પરમાણુઓના 9 ઇલેક્ટ્રૉન

(b) T > 0 K

આકૃતિ 14.9 (a) *n*-પ્રકારના અર્ધવાહક અને (b) *p*-પ્રકારના અર્ધવાહક માટે T > 0 K તાપમાને ઊર્જા બૅન્ડ

ઉદાહરણ 14.2 ધારોકે શુદ્ધ Si સ્ફટીકમાં 5×10^{28} પરમાણુ/m^3 છે. તેને 1 *ppm* ઘનતા (સાંદ્રતા) સાથે As વડે ડોપ કરવામાં આવે છે. ઇલેક્ટ્રૉન અને હોલની સંખ્યા ગણો. $n_i = 1.5 \times 10^{16}\ m^{-3}$ આપેલ છે.

ઉકેલ નોંધો કે ઉષ્મીય રીતે ઉત્પન્ન થયેલા ઇલેક્ટ્રૉન ($n_i \sim 10^{16}\ m^{-3}$) છે, જે ડોપીંગ વડે મળતા ઇલેક્ટ્રૉનની સરખામણીમાં અવગણી શકાય તેટલા છે. આથી, $n_e \approx n_D$. પરંતુ $n_e n_h = n_i^2$ હોવાથી હોલની સંખ્યા

$$n_h = (2.25 \times 10^{32}) / (5 \times 10^{22})$$

$$\sim 4.5 \times 10^9\ m^{-3}$$

ઉદાહરણ 14.2

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Formation and working of p-n junctiondiode
http://www.mtmi.vu.lt/pfk/funkc_dariniai/diod/p-n_devices.htm

PHYSICS

14.5 *p-n* જંક્શન (*p-n* JUNCTION)

ડાયોડ, ટ્રાન્ઝિસ્ટર જેવી ઘણી રચનાઓ માટે *p-n* જંક્શન એ પ્રાથમિક બંધારણ એકમ છે. અન્ય અર્ધવાહક રચનાઓનું કાર્ય સમજવા માટે જંક્શનનું કાર્ય સમજવું ખૂબ ઉપયોગી છે. આપણે હવે એ સમજવા પ્રયત્ન કરીશું કે જંક્શન કેવી રીતે રચાય છે અને આપેલ બાહ્ય વૉલ્ટેજ (જેને *બાયસ* પણ કહે છે)ની અસર હેઠળ તે કેવી રીતે વર્તે છે.

14.5.1 *p-n* જંક્શનની રચના (*p-n* Junction Formation)

p-પ્રકારના સિલિકોન (*p*-Si) અર્ધવાહકનું પાતળું સ્તર (કપોટી) વિચારો. નિશ્ચિત, થોડા પ્રમાણમાં પેન્ટાવેલેન્ટ અશુદ્ધિ ઉમેરવાથી *p*-Si સ્તરના/પતરીના થોડાક ભાગને *n*-Siમાં ફેરવી શકાય. એવી ઘણી બધી પ્રક્રિયાઓ છે જેના વડે અર્ધવાહક રચી શકાય. હવે આ પતરી (સ્તર) *p*-વિસ્તાર અને *n*-વિસ્તાર ધરાવે છે તથા *p* અને *n* વિસ્તારો વચ્ચે ધાત્વિક જંક્શન પણ ધરાવે છે.

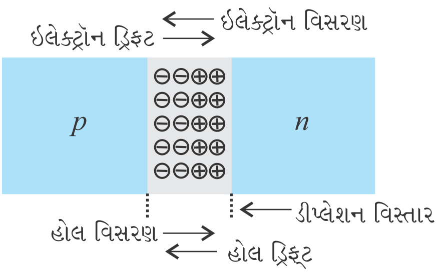
p-n જંક્શન રચવાની ઘટના દરમિયાન બે અગત્યની પ્રક્રિયાઓ થાય છે : *વિસરણ* (*Diffusion*) *અને વહન* (*Drift*).

આપણે જાણીએ છીએ કે, *n*-પ્રકારના અર્ધવાહકમાં ઇલેક્ટ્રૉનની સંખ્યા ઘનતા (એકમ કદ દીઠ ઇલેક્ટ્રૉનની સંખ્યા), હોલની સંખ્યા ઘનતા કરતાં વધુ હોય છે. તે જ રીતે, *p*-પ્રકારના અર્ધવાહકમાં, હોલની સંખ્યા ઘનતા, ઇલેક્ટ્રૉનની સંખ્યા ઘનતા કરતાં વધુ હોય છે. *p-n* જંક્શન બનવાની ઘટના દરમિયાન *p* અને *n*-તરફના વિસ્તારોમાં, સંખ્યા ઘનતામાં તફાવત હોવાથી *p*-વિસ્તારમાંથી હોલ *n*-વિભાગ તરફ ($p \rightarrow n$) વિસરણ (Diffusion) પામે છે, અને *n*-વિસ્તારમાંથી ઇલેક્ટ્રૉન *p*-વિસ્તાર તરફ ($n \rightarrow p$) વિસરણ પામે છે. વિદ્યુતભારોની આ પ્રકારની ગતિના કારણે જંક્શનમાંથી વિસરણ (Diffusion) પ્રવાહ વહે છે.

જ્યારે ઇલેક્ટ્રૉન $n \rightarrow p$ તરફ જાય છે, ત્યારે પાછળ તે *n*-વિસ્તારમાં આયનીકૃત ડોનર રાખતો જાય છે. આ આયનીકૃત ડોનર (ધન વિદ્યુતભારિત) ગતિશીલ નથી (સ્થિર હોય છે) કારણ કે તે આજુબાજુ પરમાણુઓ વડે બંધિત હોય છે. જેમ ઇલેક્ટ્રૉન $n \rightarrow p$ તરફ વિસરણ ચાલુ રાખે છે, તેમ ધન વિદ્યુતભાર ધારિત સ્તર (અથવા ધન સ્પેસ-ચાર્જ વિસ્તાર) જંક્શનના *n*-તરફના વિસ્તારમાં રચાતું જાય છે.

તે જ રીતે સંખ્યા ઘનતા તફાવતના કારણે જ્યારે હોલ $p \rightarrow n$ તરફ વિસરણ પામે છે ત્યારે તે પાછળ આયનીકૃત સ્વીકારનાર (એક્સેપ્ટર) (ઋણ વિદ્યુતભારીત) છોડતા જાય છે જે ગતિશીલ નથી. જેમ હોલ વિસરણ પામતા જાય છે તેમ ઋણ વિદ્યુતભારનું એક સ્તર ઋણ સ્પેસ-ચાર્જ વિસ્તાર, જંક્શનના *p*-તરફના વિસ્તારમાં રચાતું જાય છે. જંક્શનની બંને બાજુના આ સ્પેશ ચાર્જ વિસ્તારને *ડીપ્લેશન વિસ્તાર* કહે છે, કારણ કે જંક્શનની આરપારની ઇલેક્ટ્રૉન અને હોલની પ્રારંભિક ગતિવિધીને લીધે આ વિસ્તારમાં મુક્ત વિદ્યુતભાર રહેતા નથી (આકૃતિ 14.10). ડીપ્લેશન વિસ્તારની જાડાઈ માઈક્રોમીટરના દશમા ભાગના ક્રમની હોય છે. જંક્શનના *n*-તરફ ધન સ્પેશ ચાર્જ વિસ્તાર અને *p*-તરફ ઋણ સ્પેશ ચાર્જ વિસ્તાર ને લીધે, ધન વિદ્યુતભાર તરફથી ઋણ વિદ્યુતભાર તરફનું વિદ્યુતક્ષેત્ર ઉત્પન્ન થાય છે. આ વિદ્યુતક્ષેત્રના કારણે, જંક્શનના *p*-તરફનો ઇલેક્ટ્રૉન *n*-તરફ અને *n*-તરફનો હોલ જંક્શનની *p*-તરફની દિશામાં ગતિ કરે છે. વિદ્યુતક્ષેત્રના કારણે થતી વિદ્યુતભારોની આ ગતિને ડ્રિફ્ટ (વહન) કહે છે.

આમ, ડ્રિફ્ટ પ્રવાહ શરૂ થાય છે. જે વિસરણ (ડિફ્યુઝન) પ્રવાહની વિરૂદ્ધ દિશામાં હોય છે (આકૃતિ 14.10).



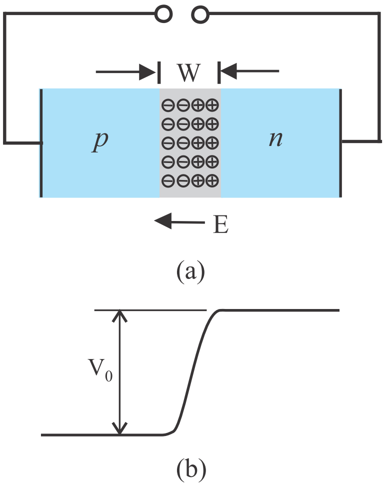
આકૃતિ 14.10 (a) *p-n* જંક્શન રચનાની પ્રક્રિયા

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

શરૂઆતમાં ડિફ્યુઝન પ્રવાહ મોટો હોય છે અને ડ્રીફ્ટ પ્રવાહ નાનો હોય છે. જેમ ડિફ્યુઝન (વિસરણ) પ્રક્રિયા આગળ વધે, તેમ જંક્શનની બંને બાજુના સ્પેશ-ચાર્જ વિસ્તાર મોટા થતા જાય છે, જે વિદ્યુતક્ષેત્રની તીવ્રતા વધારે છે અને તેથી ડ્રિફ્ટ પ્રવાહ પણ વધારે છે. જ્યાં સુધી ડિફ્યુઝન પ્રવાહ અને ડ્રિફ્ટ પ્રવાહ સરખા ન થાય ત્યાં સુધી આ પ્રક્રિયા ચાલ્યા કરે છે. આ રીતે *p-n* જંક્શન રચાય છે. સંતુલનમાં રહેલા *p-n* જંક્શનમાંથી *કોઈ ચોખ્ખો* વિદ્યુત પ્રવાહ વહેતો નથી.

n-વિસ્તારમાંથી ઈલેક્ટ્રૉન સંખ્યા ઘટવા તથા *p*-વિસ્તારમાં ઈલેક્ટ્રૉન સંખ્યા વધવાના કારણે જંક્શનની બંને બાજુના વિસ્તારમાં સ્થિતિમાનનો તફાવત સર્જાય છે. આ સ્થિતિમાનની ધ્રુવીયતા એવી હોય છે કે જે વિદ્યુતવાહકોના પ્રવાહને રોકે કે જેથી સંતુલનની સ્થિતિ સર્જાય. આકૃતિ 14.11માં સંતુલન સ્થિતિમાં રહેલ *p-n* જંક્શન અને જંક્શનની આસપાસ સ્થિતિમાન દર્શાવ્યું છે. *n*-વિસ્તાર ઈલેક્ટ્રૉન ગુમાવે છે જ્યારે *p*-વિસ્તાર ઈલેક્ટ્રૉન મેળવે છે. આથી, *p*-વિસ્તારની સાપેક્ષે *n*-વિસ્તાર ધન (વિદ્યુતભારીત) બને છે. આ સ્થિતિમાન ઈલેક્ટ્રૉનની *n*-વિસ્તારમાંથી *p*-વિસ્તાર તરફની ગતિને રોકતું હોવાથી, તેને *બેરિયર પોટેન્શિયલ* (*સ્થિતિમાન*) પણ કહે છે.

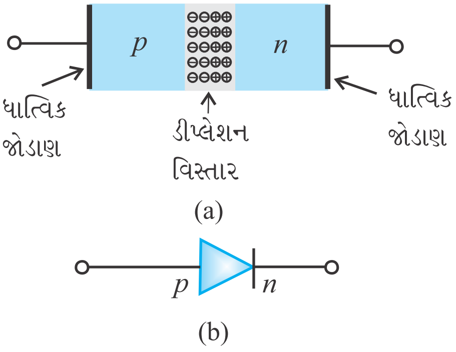


આકૃતિ 14.11 (a) સંતુલિત સ્થિતિમાં ડાયોડ (V = 0), (b) બાયસ (વોલ્ટેજ) આપ્યા પહેલાનું બેરિયર પોટેન્શિયલ

> **ઉદાહરણ 14.3 :** શું આપણે *p*-પ્રકારના અર્ધવાહક ચોસલાને ભૌતિક રીતે બીજા *n*-પ્રકારના અર્ધવાહક સાથે જોડીને *p-n* જંક્શન બનાવી શકીએ ?
>
> **ઉકેલ :** ના ! કોઈ પણ ચોસલું ભલેને ગમે તેટલું સપાટ હોય, તો પણ સ્ફટિકમાંના આંતર પરમાણ્વિક અંતર (~ 2 થી 3)થી તો વધુ ખરબચડું હોય જ અને તેથી પરમાણ્વિક સ્તરે *સતત જોડાણ* શક્ય નથી. વહેતા વિદ્યુતભાર વાહકો માટે આ જંક્શન *અસતત* (*Discontinuity*) વિસ્તાર તરીકે કાર્ય કરશે.
>
> ઉદાહરણ 14.3

14.6 અર્ધવાહક ડાયોડ (Semiconductior Diode)

અર્ધવાહક ડાયોડ [આકૃતિ 14.12(a)] મૂળભૂત રીતે તો બાહ્ય વોલ્ટેજ લગાડવા માટે છેડાઓ પર ધાત્વિક જોડાણ ધરાવતું *p-n* જંક્શન છે. તે બે વિદ્યુત-અગ્રો વાળી રચના છે. સાંકેતિક રીતે *p-n* જંક્શન ડાયોડને આકૃતિ 14.12(b) મુજબ દર્શાવી શકાય છે.



આકૃતિ 14.12 (a) અર્ધવાહક ડાયોડ, (b) *p-n* જંક્શન ડાયોડની સંજ્ઞા

તીરની દિશા વિદ્યુતપ્રવાહની રૂઢિગત (પ્રચલિત) દિશા દર્શાવે છે (જ્યારે ડાયોડ ફોરવર્ડ બાયસમાં હોય). ડાયોડના બે છેડા વચ્ચે બાહ્ય વોલ્ટેજ V લગાડીને સંતુલન બેરીયર પોટેન્શિયલ બદલી શકાય છે. *p-n* જંક્શન ડાયોડની સંતુલન પરિસ્થિતિ (બાયસ વોલ્ટેજ આપ્યા વગરની) આકૃતિ 14.11 (a) અને (b)માં દર્શાવી છે.

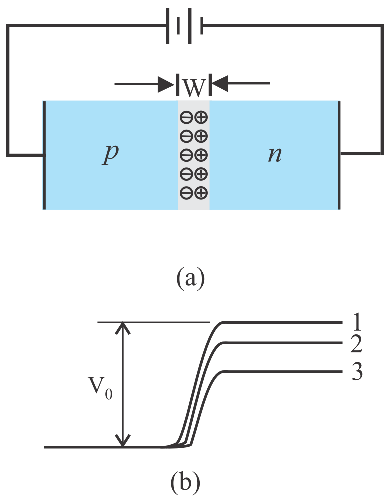
14.6.1 ફોરવર્ડ બાયસની અસર હેઠળ *p-n* જંક્શન ડાયોડ (*p-n* Junction Diode under Forward Bias)

જ્યારે અર્ધવાહક ડાયોડના બે છેડા વચ્ચે બાહ્ય વોલ્ટેજ V એવી રીતે આપવામાં આવે કે જેથી *p*-વિસ્તારને બૅટરીના ધન છેડા સાથે અને *n*-વિસ્તારને બૅટરીના ઋણ છેડા સાથે જોડવામાં આવે [આકૃતિ 14.13(a)], ત્યારે તેને *ફોરવર્ડ બાયસ* કર્યો કહેવાય છે.

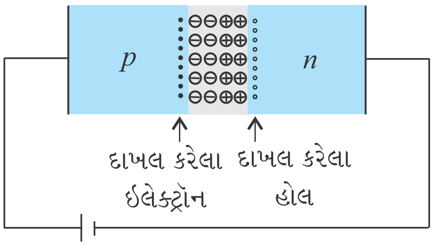
આપેલ વોલ્ટેજ ડીપ્લેશન વિસ્તારના બે છેડા વચ્ચે લાગે છે અને જંક્શનના *p*-વિસ્તાર અને *n*-વિસ્તાર વચ્ચેનો સ્થિતિમાનનો તફાવત નહીંવત હોય છે. (આનું કારણ એ છે કે, ડીપ્લેશન

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com



આકૃતિ 14.13 (a) ફોરવર્ડ બાયસ હેઠળ *p-n* જંકશન ડાયોડ, (b) બૅરિયર પોટૅન્શિયલ (1) બૅટરી વગર, (2) ઓછા બૅટરી વૉલ્ટેજ અને (3) વધુ બૅટરી વૉલ્ટેજ



આકૃતિ 14.14
માઇનોરિટી વાહક ઇન્જેક્શન

વિસ્તાર કે જેમાં કોઈ ગતિ કરી કરી શકે તેવા વિદ્યુતભાર હોતા નથી, તેનો અવરોધ *n*-વિસ્તાર અને *p*-વિસ્તારના અવરોધ કરતાં ઘણો વધારે હોય છે). લાગુ પાડેલ વોલ્ટેજ (V)ની દિશા આ રચનાની અંદરના વોલ્ટેજ V_0 કરતાં વિરૂદ્ધ હોય છે. પરિણામે, ડીપ્લેશન સ્તરની પહોળાઈ ઘટે છે અને બેરિયરની ઊંચાઈ ઘટે છે [આકૃતિ 14.13(b)]. ફોરવર્ડ બાયસની અસર હેઠળ પરિણામી બેરિયર ઊંચાઈ $(V_0 - V)$ હોય છે.

જો લગાડેલ વોલ્ટેજ ઓછો હોય, તો બેરીયર પોટેન્શિયલ સંતુલન સ્થિતિથી થોડુંક જ ઘટશે અને દ્રવ્યમાંના થોડીક સંખ્યાના વાહકો જ, જે સૌથી ઉપરના ઊર્જા સ્તરોમાં હોય તે, પુરતી ઊર્જા મેળવીને જંકશનમાંથી પસાર થશે. આમ, વિદ્યુતપ્રવાહ પણ ઓછો હશે. આપણે જો લગાડેલ વોલ્ટેજ નોંધપાત્ર વધારીએ તો બેરિયર પોટેન્શિયલની ઊંચાઈ ઘટશે અને વધારે વિદ્યુત ભાર વાહકો પુરતી ઊર્જા મેળવશે. આમ, વિદ્યુતપ્રવાહ વધે છે.

લગાડેલ વોલ્ટેજના કારણે, *n*-વિસ્તારમાંના ઈલેક્ટ્રૉન ડીપ્લેશન વિસ્તાર પસાર કરીને *p*-વિસ્તારમાં આવે છે (જ્યાં તેઓ માઈનોરિટી વાહકો કહેવાય). તે જ રીતે, *p*-વિસ્તારમાંથી હોલ જંકશન પસાર કરીને *n*-વિસ્તારમાં પહોંચે છે (જ્યાં તેઓ માઈનોરિટી વાહકો બને છે). ફોરવર્ડ બાયસની અસર હેઠળ આ પ્રક્રિયાને માઈનોરિટી વાહક ઈન્જેકશન (દાખલ કરવું) કહેવાય છે. જંકશનની સીમા પાસે, બંને બાજુ, માઈનોરિટી વાહકોની સંખ્યા ઘનતા જંકશનથી દૂરના છેડાઓ કરતાં ઘણી વધે છે.

આ સંખ્યા ઘનતાના તફાવત (ઢોળાવ-Gradient)ના કારણે *p*-તરફ દાખલ થયેલા ઈલેક્ટ્રૉન જંકશનની *p*-તરફની ધાર પાસેથી *p*-વિસ્તારના બીજા છેડે પહોંચે છે. તે જ રીતે, *n*-તરફ દાખલ થયેલા હોલ, જંકશનની *n*-તરફની ધારથી *n*-વિસ્તારના બીજા છેડે પહોંચે છે (આકૃતિ 14.14). વિદ્યુતભાર વાહકોની બંને તરફની આ ગતિના કારણે વિદ્યુતપ્રવાહ રચાય છે. ડાયોડનો કુલ ફોરવર્ડ વિદ્યુતપ્રવાહ એ હોલ ડિફ્યુઝન પ્રવાહ અને રૂઢિગત ઈલેક્ટ્રૉન ડિફ્યુઝન પ્રવાહના સરવાળા જેટલો હોય છે. આ પ્રવાહનું મૂલ્ય લગભગ *m*Aના ક્રમનું હોય છે.

14.6.2 રીવર્સ બાયસની અસર હેઠળ *p-n* જંકશન ડાયોડ (*p-n* Junction Diode Under Reverse Bias)

જ્યારે ડાયોડના બે છેડા વચ્ચે બાહ્ય વૉલ્ટેજ (V) એવી રીતે લગાડવામાં આવે કે જેથી તેનો *n*-છેડો ધન અને *p*-છેડો ઋણ હોય, ત્યારે તેને *રીવર્સ બાયસ* કહે છે [આકૃતિ 14.15(a)]. મોટાભાગનો લગાડેલ વોલ્ટેજ ડીપ્લેશન વિસ્તારમાં લાગે છે. આપેલ વોલ્ટેજની દિશા બેરીયર પોટેન્શિયલની દિશામાં હોય છે. આથી, બેરિયરની ઊંચાઈ વધે છે અને વિદ્યુતક્ષેત્રમાં ફેરફાર થવાથી ડીપ્લેશન વિસ્તાર પહોળો થાય છે. રીવર્સ બાયસની અસર હેઠળ પરિણામી બેરિયર ઊંચાઈ $(V_0 + V)$, જેટલી હોય છે [આકૃતિ 14.15(b)]. આના કારણે ઈલેક્ટ્રૉનનો $n \rightarrow p$ તરફનો પ્રવાહ અને હોલનો $p \rightarrow n$ તરફનો પ્રવાહ રૂંધાય છે. આથી, ડિફ્યુઝન પ્રવાહ ફોરવર્ડ બાયસની સ્થિતિમાંના ડાયોડની સરખામણીમાં ઘણો બધો ઘટી જાય છે.

જંકશનના વિદ્યુતક્ષેત્રની દિશા એવી હોય છે કે જેથી જો *p*-તરફના ઈલેક્ટ્રૉન કે *n*-તરફના હોલ તેમની અસ્તવ્યસ્ત ગતિ દરમિયાન જંકશનની પાસે આવે, તો તે મેજોરિટી વિસ્તાર તરફ ધકેલાઈ જાય છે. વિદ્યુતવાહકોના આ ડ્રિફ્ટ (ધકેલાઈ જવા)ને કારણે વિદ્યુતપ્રવાહ વહે છે. આ ડ્રિફ્ટ પ્રવાહ અમુક μAના ક્રમનો હોય છે. આ પ્રવાહ ઘણો ઓછો હોય છે, કારણકે તે વાહકોની માઈનોરિટી બાજુથી જંકશનની આરપાર મેજોરિટી તરફની ગતિના કારણે હોય છે. ફોરવર્ડ બાયસ દરમિયાન પણ ડ્રિફ્ટ પ્રવાહ હાજર હોય છે પરંતુ તે દાખલ થયેલા (ઈન્જેક્ટ થયેલા) વિદ્યુત વાહકોના કારણે મળતા mAના ક્રમના પ્રવાહની સરખામણીમાં અવગણી શકાય તેટલો (μA) હોય છે.

ડાયોડનો રીવર્સ પ્રવાહ, લગાડેલ વોલ્ટેજ પર ખાસ આધાર રાખતો નથી. આપેલ થોડોક વોલ્ટેજ પણ

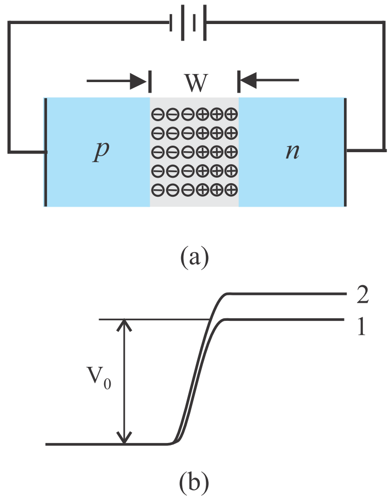
Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

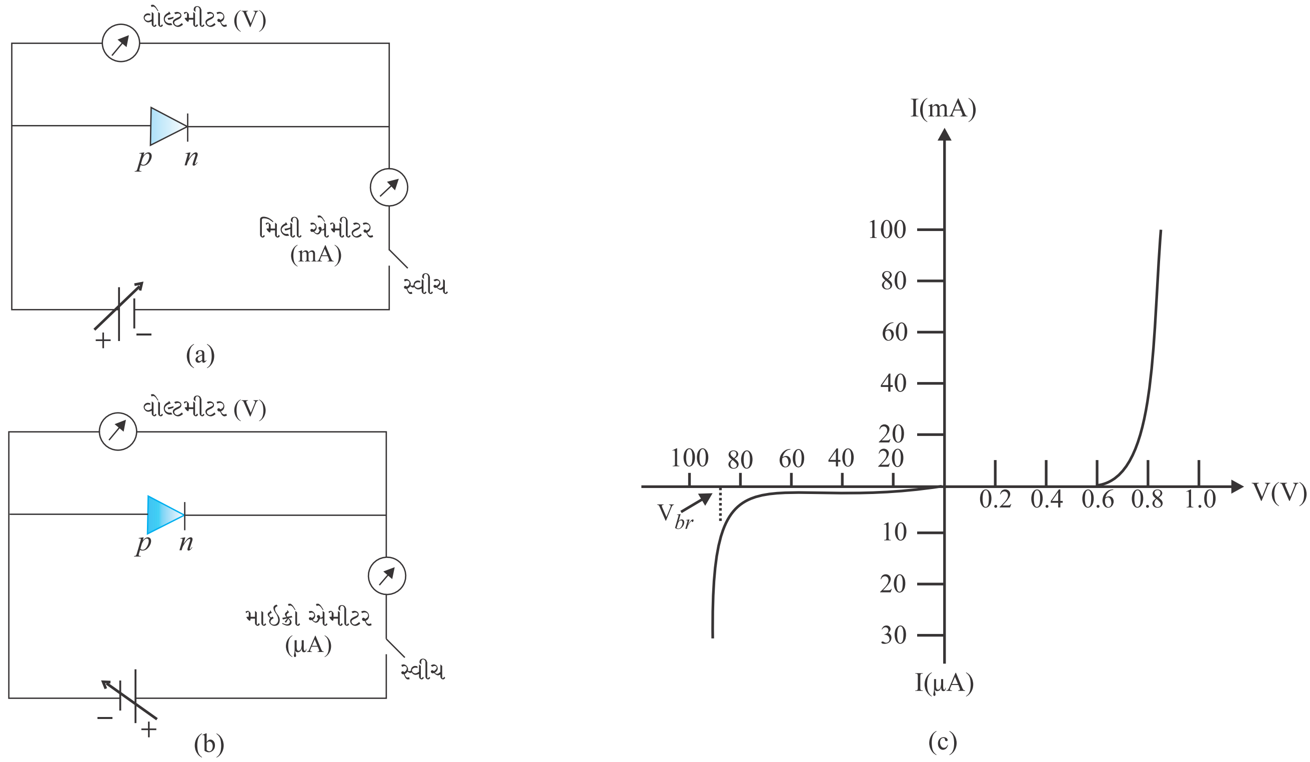
માઈનોરિટી વાહકોને જંક્શનની એક બાજુથી બીજી બાજુ લઈ જવા માટે પૂરતો હોય છે. આ પ્રવાહ લગાડેલ વોલ્ટેજ વડે સીમીત થતો નથી, પરંતુ તે જંક્શનની બંને બાજુ માઈનોરિટી વાહકોની સંખ્યા ઘનતા વડે સીમીત થાય છે.

રિવર્સ બાયસની અસર હેઠળ વિદ્યુતપ્રવાહ ક્રાંતિ રિવર્સ બાયસ વોલ્ટેજ સુધી સ્વતંત્ર હોય છે, જેને બ્રેકડાઉન વોલ્ટેજ (V_{br}) કહે છે. જ્યારે $V = V_{br}$ હોય ત્યારે ડાયોડનો રિવર્સ વિદ્યુતપ્રવાહ અત્યંત ઝડપથી વધે છે. ત્યારબાદ વોલ્ટેજનો થોડોક વધારો પણ વિદ્યુતપ્રવાહમાં ઘણો મોટો ફેરફાર કરે છે. જો રિવર્સ પ્રવાહને બાહ્ય પરિપથ વડે (તેના નિર્માતા વડે દર્શાવેલ) ચોક્કસ મૂલ્યથી ઓછા મૂલ્ય સુધી નિયંત્રિત કરવામાં ન આવે તો *p-n* જંક્શન નાશ પામે છે. એક વખત તે નક્કી કરેલ મૂલ્ય કરતાં વધી જાય એટલે ડાયોડ વધુ પડતો ગરમ થઈને નાશ પામે છે. જો ફોરવર્ડ પ્રવાહ નક્કી કરેલ મૂલ્ય કરતાં વધી જાય તો ડાયોડને ફોરવર્ડ બાયસમાં રાખ્યો હોય તો પણ આવું બની શકે છે.

ડાયોડની V – I લાક્ષણિકતાઓનો (એટલે કે, આપેલ વોલ્ટેજ સાથે વિદ્યુતપ્રવાહના ફેરફારનો) અભ્યાસ કરવા માટે પરિપથની ગોઠવણી આકૃતિ 14.16(a) અને (b)માં દર્શાવી છે. પોટેન્શિયોમીટર (કે રીઓસ્ટેટ) મારફતે બૅટરીને ડાયોડ સાથે જોડવામાં આવે છે કે જેથી ડાયોડને લગાડેલ વોલ્ટેજ બદલી શકાય છે. વોલ્ટેજના જુદા-જુદા આપેલ મૂલ્યો માટે, વિદ્યુતપ્રવાહના મૂલ્યો નોંધવામાં આવે છે. આકૃતિ 14.16(c)માં દર્શાવ્યા મુજબ V અને Iનો આલેખ દોરવામાં આવે છે. નોંધો કે ફોરવર્ડ બાયસમાં માપન દરમિયાન અપેક્ષિત પ્રવાહ મોટો હોવાથી પ્રવાહ માપવા આપણે મિલી એમીટરનો ઉપયોગ કરીએ છીએ (આગળના પરિચ્છેદમાં જોયું હતું તેમ) જ્યારે રિવર્સ બાયસ દરમિયાન પ્રવાહ માપવા માટે માઈક્રોએમીટર (μA)નો



આકૃતિ 14.15 (a) રિવર્સ બાયસમાં ડાયોડ, (b) રિવર્સ બાયસની અસર હેઠળ બેરિયર પોટેન્શિયલ



આકૃતિ 14.16 *p-n* જંક્શન ડાયોડની V–I લાક્ષણિકતાઓના અભ્યાસ કરવા માટે પરિપથની પ્રાયોગિક ગોઠવણી (a) ફોરવર્ડ બાયસ, (b) રિવર્સ બાયસ, (c) સિલિકોન ડાયોડની ચોક્કસ પ્રકારની V–I લાક્ષણિકતાઓ.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

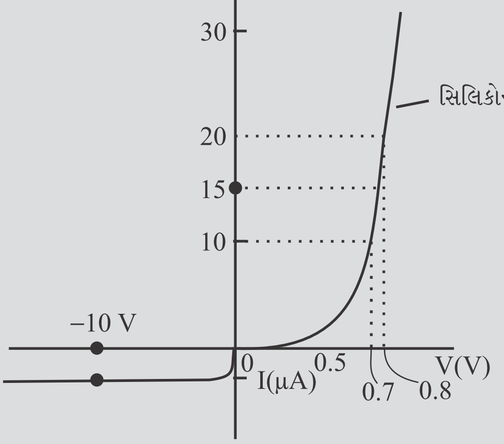
ઉપયોગ કરીએ છીએ. આકૃતિ 14.16(c)માં તમે જોઈ શકો કે, ફોરવર્ડ બાયસમાં શરૂઆતમાં જ્યાં સુધી ડાયોડના છેડાઓ વચ્ચેનો વોલ્ટેજ અમુક ચોક્કસ મૂલ્ય સુધી ના વધે ત્યાં સુધી વિદ્યુતપ્રવાહ નહીવત રીતે ધીમેથી વધે છે. અમુક લાક્ષણિક વોલ્ટેજ પછી બાયસ વોલ્ટેજના નજીવા વધારા સાથે પણ ડાયોડ પ્રવાહ ઘણો બધો (ચરઘાતાંકી રીતે, Exponentially) વધે છે. આ વોલ્ટેજને *થ્રેશોલ્ડ વોલ્ટેજ* કે કટ-ઈન વોલ્ટેજ કહે છે (જે જર્મેનિયમ ડાયોડ માટે ~0.2 V અને સિલિકોન ડાયોડ માટે ~0.7 V જેટલો હોય છે).

ડાયોડને રિવર્સ બાયસમાં જોડવામાં આવે ત્યારે વિદ્યુતપ્રવાહ અતિસૂક્ષ્મ (–μA) હોય છે અને બાયસ વોલ્ટેજના ફેરફાર સાથે લગભગ અચળ રહે છે. તેને *રિવર્સ સેચ્યુરેશન (સંતૃપ્ત) પ્રવાહ* કહે છે. આમ છતાં, વિશિષ્ટ કિસ્સાઓ માટે ઘણાં ઊંચા રિવર્સ બાયસે (બ્રેકડાઉન વોલ્ટેજ માટે), આ પ્રવાહ એકદમ વધવા લાગે છે. ડાયોડની આ અગત્યની વર્તણૂંક, આગળ આવનારા પરિચ્છેદ 4.8માં સમજાવી છે. સામાન્ય ઉપયોગમાં લેવાતા ડાયોડને રિવર્સ સેચ્યુરેશન પ્રવાહના વિસ્તારથી આગળ ઉપયોગમાં લેવાતા નથી.

ઉપરની સમજૂતી દર્શાવે છે કે સામાન્ય રીતે *p-n* જંક્શન ડાયોડ વિદ્યુતપ્રવાહનું વહન એક દિશામાં જ થવા દે છે (ફોરવર્ડ બાયસમાં). રિવર્સ બાયસના અવરોધ કરતાં ફોરવર્ડ બાયસ અવરોધ ઓછો હોય છે. આ ગુણધર્મનો ઉપયોગ એસી વોલ્ટેજના રેક્ટીફીકેશન (એકદિશીકરણ)માં થાય છે જે હવે પછીના પરિચ્છેદમાં સમજાવ્યું છે. ડાયોડ માટે આપણે વોલ્ટેજના નાના ફેરફાર ΔV અને તદનુરૂપ વિદ્યુતપ્રવાહના નાના ફેરફાર ΔIના ગુણોત્તરને *ડાયનેમિક (ચલ)* અવરોધ તરીકે વ્યાખ્યાયિત કરીએ છીએ :

$$r_d = \frac{\Delta V}{\Delta I} \qquad (14.6)$$

ઉદાહરણ 14.4 આકૃતિ 14.17માં એક સિલિકોન ડાયોડની V–I લાક્ષણિકતા દર્શાવી છે. (a) $I_D = 15\ mA$ અને (b) $V_D = -10$ V માટે ડાયોડનો અવરોધ શોધો.



આકૃતિ 14.17

ઉકેલ I = 10 *mA* થી I = 20 *mA* વચ્ચે ડાયોડની લાક્ષણિકતા દર્શાવતા વક્રને ઉદ્‌ગમ બિંદુમાંથી પસાર થતી સીધી રેખા ધારીએ, તો આપણે ઓહ્‌મ (Ohm's)ના નિયમનો ઉપયોગ કરીને અવરોધ શોધી શકીએ :

(a) વક્ર પરથી, I = 20 *mA* માટે, V = 0.8 V, I = 10 *mA* માટે, V = 0.7 V

$r_{fb} = \Delta V/\Delta I = 0.1\text{V}/10\,mA = 10\ \Omega$

(b) વક્ર પરથી V = –10 V માટે I = –1 μA,

આથી,

$r_{rb} = 10\text{ V}/1\ \mu\text{A} = 1.0 \times 10^7\ \Omega$

ઉદાહરણ 14.4

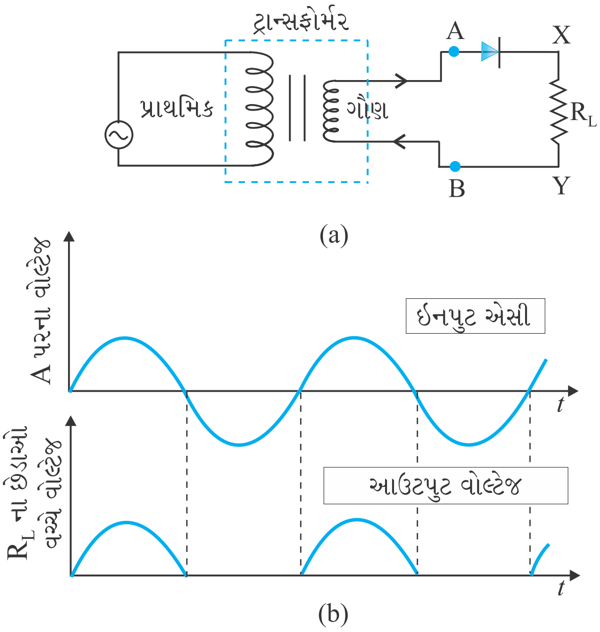
Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

14.7 જંકશન ડાયોડનો રેક્ટિફાયર તરીકે ઉપયોગ (Application of Junction Diode as a Rectifier)

જંકશન ડાયોડની V–I લાક્ષણિકતા પરથી આપણે જોઈ શકીએ કે તેને ફોરવર્ડ બાયસ આપીએ ત્યારે જ તે વિદ્યુતપ્રવાહનું વહન થવા દે છે. આથી જો ડાયોડના બે છેડા વચ્ચે ઉલટસૂલટ વોલ્ટેજ (ac Voltage) આપવામાં આવે તો વોલ્ટેજના જે ચક્ર દરમિયાન ડાયોડ ફોરવર્ડ બાયસ થતો હોય તે દરમિયાન જ વિદ્યુતપ્રવાહ વહે છે. આ ગુણધર્મનો ઉપયોગ ઉલટસૂલટ વોલ્ટેજને *રેક્ટિફાય* કરવા માટે થાય છે અને આ હેતુ માટે ઉપયોગમાં લેવાયેલા પરિપથને *રેક્ટિફાયર (એકદિશકારક)* કહે છે.

જો ડાયોડ સાથે શ્રેણીમાં એક લોડ અવરોધ જોડીને તેના છેડાઓ વચ્ચે ઉલટસૂલટ વોલ્ટેજ આપવામાં આવે, તો એસી ઈનપુટના જે અર્ધચક્રો દરમિયાન ડાયોડ ફોરવર્ડ બાયસ થતો હોય તે દરમિયાન જ લોડ અવરોધના છેડાઓ વચ્ચે ત્રુટક (કંપીત) (Pulsating) વોલ્ટેજ મળે છે. આકૃતિ 14.18માં દર્શાવ્યા મુજબના, આવા રેક્ટિફાયર પરિપથને *અર્ધતરંગ રેક્ટિફાયર* કહે છે. ટ્રાન્સફોર્મરનું ગૌણ (સેકન્ડરી) ગૂંચળું છેડાઓ A અને B વચ્ચે જરૂરી એસી વોલ્ટેજ પૂરા પાડે છે. જ્યારે A પરનો વોલ્ટેજ ધન હોય ત્યારે ડાયોડ ફોરવર્ડ બાયસ થાય છે અને વિદ્યુતવહન થવા દે છે. જ્યારે A ઋણ બને ત્યારે ડાયોડ રિવર્સ બાયસ થાય છે અને વિદ્યુતવહન થવા દેતો નથી. ડાયોડ માટે રિવર્સ સંતૃપ્ત (સેચ્યુરેશન) પ્રવાહ અવગણી શકાય તેટલો હોય છે અને વ્યાવહારિક હેતુઓ માટે તેને શૂન્ય ગણી શકાય છે. (ટ્રાન્સફોર્મરના સેકન્ડરી ગૂંચળા પર મળતા મહત્તમ એસી વોલ્ટેજ કરતાં ડાયોડનો રિવર્સ બ્રેકડાઉન વોલ્ટેજ પૂરતો મોટો હોવો જોઈએ કે જેથી ડાયોડ રિવર્સ બ્રેકડાઉનમાં જતો અટકે).



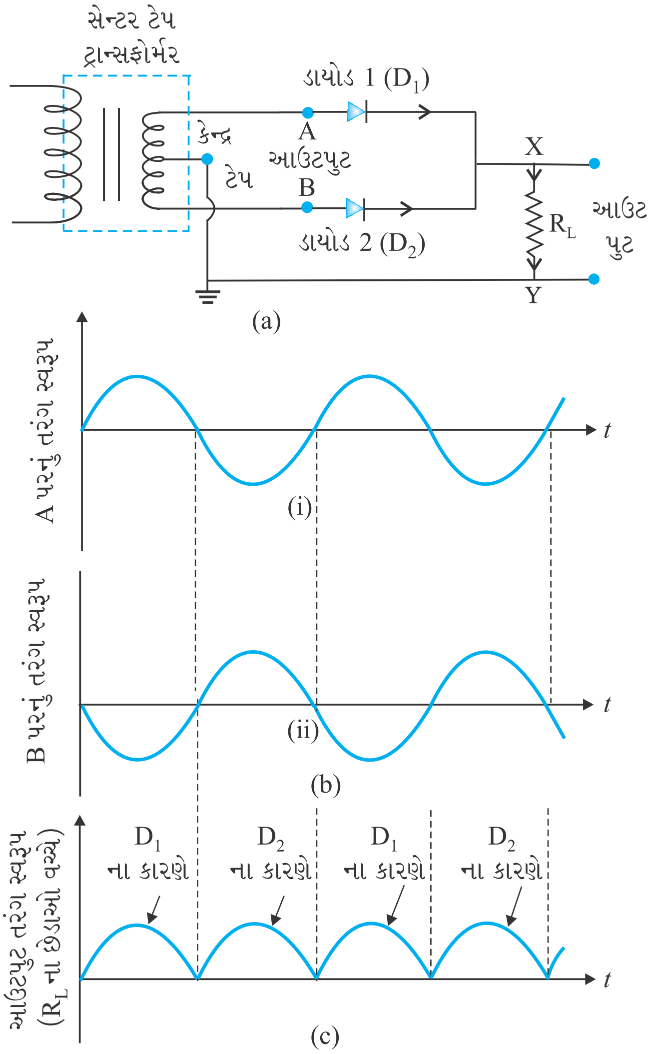
આકૃતિ 14.18 (a) અર્ધતરંગ રેક્ટિફાયર પરિપથ (b) રેક્ટિફાયર પરિપથ માટે આપેલ (Input) એસી વોલ્ટેજ અને મળેલ (c) વોલ્ટેજ તરંગ સ્વરૂપો.

આમ, આકૃતિ 14.18(b)માં દર્શાવ્યા મુજબ, એસીના ધન *અર્ધ ચક્ર* દરમિયાન લોડ અવરોધ R_L માંથી વિદ્યુતપ્રવાહ વહે છે અને આપણને આઉટપુટ વોલ્ટેજ મળે છે, જ્યારે ઋણ અર્ધ ચક્ર દરમિયાન કોઈ પ્રવાહ વહેતો નથી. ત્યાર પછીના બીજા ધન અર્ધચક્ર દરમિયાન, ફરીથી આપણને આઉટપુટ વોલ્ટેજ મળે છે. આમ, હજીય બદલાતો હોવા છતાં આઉટપુટ વોલ્ટેજ ફક્ત *એક જ દિશા* પુરતો સીમીત છે અને તે *રેક્ટિફાય* થયો છે તેમ કહેવાય છે. આ પરિપથ માટે ફક્ત અડધા એસી ઈનપુટ તરંગ માટે રેક્ટિફાય થયેલો આઉટપુટ મળતો હોવાથી તેને *અર્ધ-તરંગ રેક્ટિફાયર* કહેવાય છે.

આકૃતિ 14.19(a)માં દર્શાવેલ બે ડાયોડવાળો પરિપથ, એસી ચક્રના ધન અને ઋણ બંને અર્ધચક્ર દરમિયાન રેક્ટિફાય થયેલો આઉપુટ આપે છે. આથી, તેને *પૂર્ણ તરંગ રેક્ટિફાયર* કહે છે. અહીંયા બંને ડાયોડની p-પ્રકારની બાજુઓ ટ્રાન્સફોર્મરના ગૌણ (સેકન્ડરી) ગૂંચળાના છેડાઓ સાથે જોડેલી છે. બંને ડાયોડની n-પ્રકારની બાજુઓ એકબીજા સાથે જોડેલ છે અને આ બે ડાયોડના સામાન્ય બિંદુ અને ટ્રાન્સફોર્મરના ગૌણ ગૂંચળા (સેકન્ડરી)ના મધ્ય (કેન્દ્ર) બિંદુ વચ્ચે આઉટપુટ લેવામાં આવે છે. આથી, પૂર્ણ તરંગ રેક્ટિફાયર માટે ટ્રાન્સફોર્મરના ગૌણ (સેકન્ડરી) ગૂંચળાના કેન્દ્ર બિંદુમાંથી છેડો કાઢવામાં આવે છે, જેથી તેને *સેન્ટર ટેપ ટ્રાન્સફોર્મર* કહે છે. આકૃતિ 14.19(c) પરથી જોઈ શકાય કે દરેક ડાયોડ વડે રેક્ટિફાય થયેલો વોલ્ટેજ સેકન્ડરીના કુલ વોલ્ટેજનો અડધો હોય છે. દરેક ડાયોડ ફક્ત અર્ધચક્ર દરમિયાન જ રેક્ટિફાય કરે છે, પરંતુ બંને (ડાયોડ) વારાફરતી આવતા ચક્ર માટે આમ કરે છે. આથી, તેમના (ડાયોડના) સામાન્ય બિંદુ અને ટ્રાન્સફોર્મરના સેન્ટર ટેપ (મધ્યબિંદુ) વચ્ચે મળતો આઉટપુટ વોલ્ટેજ પૂર્ણ તરંગ રેક્ટિફાયર આઉટપુટ બને છે. (નોંધો કે પૂર્ણ તરંગ રેક્ટિફાયર માટે બીજો પરિપથ પણ છે જેમાં

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com



આકૃતિ 14.19 (a) પૂર્ણ તરંગ રેક્ટિફાયર પરિપથ (b) ડાયોડ D_1 ને A અને ડાયોડ D_2 ને B પાસે આપેલ ઈનપુટ તરંગ-સ્વરૂપો, (c) પૂર્ણતરંગ રેક્ટિફાયર પરિપથમાં જોડેલ R_Lના બે છેડાઓ વચ્ચે મળતું આઉટપુટ તરંગ-સ્વરૂપ.

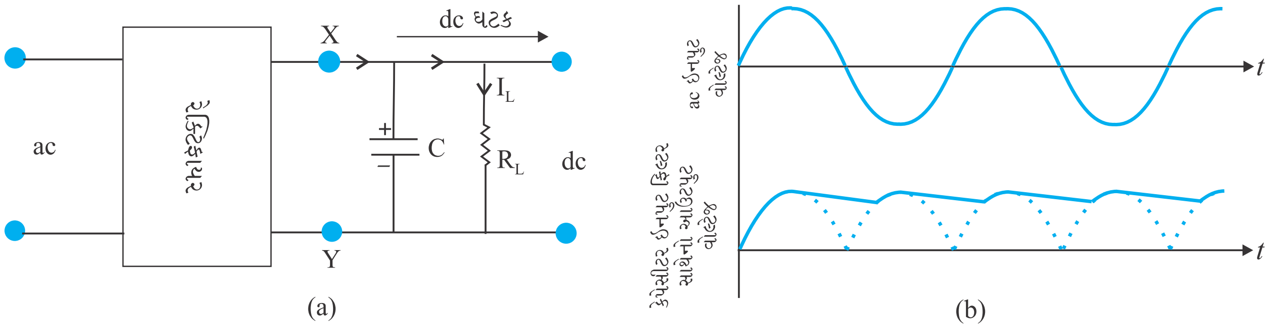
સેન્ટર ટેપ ટ્રાન્સફોર્મરની જરૂર પડતી નથી, પરંતુ તેમાં ચાર ડાયોડની જરૂર પડે છે). ધારોકે કોઈ ક્ષણે સેન્ટર ટેપની સાપેક્ષે B પાસેનો ઈનપુટ વોલ્ટેજ ધન છે. આકૃતિ 14.19(b)માં દર્શાવ્યા મુજબ એ સ્પષ્ટ છે કે B પાસેનો વોલ્ટેજ વિરૂદ્ધ કળા ધરાવતો હોવાથી તે ઋણ છે. આથી ડાયોડ D_1 ફોરવર્ડ બાયસ થાય છે અને તેથી વહન થવા દે છે (જ્યારે D_2 રિવર્સ બાયસ થતો હોવાથી તે વહન થવા દેતો નથી). આથી, આકૃતિ 14.19(c)માં દર્શાવ્યા મુજબ ધન અર્ધ ચક્ર દરમિયાન આપણને આઉટપુટ પ્રવાહ મળે છે (અને લોડ અવરોધ R_Lના છેડાઓ વચ્ચે આઉટપુટ વોલ્ટેજ મળે છે). એસી ચક્ર દરમિયાન જ્યારે A પાસેનો વોલ્ટેજ સેન્ટર ટેપની સાપેક્ષે ઋણ બને ત્યારે B પરના વોલ્ટેજ ધન હોય છે. એસી ઈનપુટના આ ચક્ર દરમિયાન ડાયોડ D_1 વહન કરતો નથી, જ્યારે ડાયોડ D_2 વહન કરે છે, જેથી એસી ઈનપુટના ઋણ ચક્ર દરમિયાન આઉટપુટ પ્રવાહ અને તેથી (R_Lના છેડાઓ વચ્ચે) આઉટપુટ વોલ્ટેજ મળે છે. આમ, આપણને ચક્રના ધન અને ઋણ બંને અર્ધ-ચક્ર દરમિયાન આઉટપુટ વોલ્ટેજ મળે છે. દેખીતું છે કે અર્ધતરંગ રેક્ટિફાયરની સરખામણીમાં રેક્ટિફાઈડ વોલ્ટેજ કે પ્રવાહ મેળવવા માટે આ વધુ કાર્યક્ષમ પરિપથ છે.

રેક્ટિફાય થયેલો આઉટપુટ અર્ધ સાઈન (sine, જ્યાવર્તી) વક્રના આકારના પલ્સના રૂપમાં હોય છે. તે એક દિશામાં હોવા છતાં તેનું મૂલ્ય સ્થાયી હોતું નથી. આવા ત્રુટક (પલ્સ ધરાવતા) વોલ્ટેજમાંથી સ્થાયી ડીસી આઉટપૂટ મેળવવા માટે સામાન્ય રીતે આઉટપુટના છેડાઓ વચ્ચે (લોડ અવરોધ R_Lને સમાંતર) એક કેપેસીટર જોડવામાં આવે છે. આ હેતુ માટે આપણે R_Lની શ્રેણીમાં ઈન્ડક્ટર પણ જોડી શકીએ. વધારાના આ પરિપથો *એસી રીપલ* (*Ripple*)ને *ફિલ્ટર* કરીને (રોકીને) *ચોખ્ખો* (*Pure*) *ડીસી વૉલ્ટેજ* આપતા હોવાથી તેમને *ફિલ્ટર* (પરિપથો) કહે છે.

હવે આપણે ફિલ્ટરની પ્રક્રિયા માટે કેપેસીટરનું કાર્ય સમજીશું. જ્યારે કેપેસીટરના છેડાઓ વચ્ચે વોલ્ટેજ વધતો હોય ત્યારે કેપેસીટર વિદ્યુતભારિત (ચાર્જ) થાય છે. જો કોઈ બાહ્ય લોડ અવરોધ ન જોડેલ હોય, તો તે રેક્ટિફાઈડ આઉટપુટના મહત્તમ (Peak) વોલ્ટેજ સુધી ચાર્જ થયેલો રહે છે. જ્યારે લોડ હાજર હોય ત્યારે, તે લોડમાં થઈને વિદ્યુતવિભારિત (ડીસ્ચાર્જ) થવા લાગે છે અને તેના છેડાઓ વચ્ચેનો વોલ્ટેજ ઘટવા લાગે છે. રેક્ટિફાઈડ આઉટપુટના બીજા અર્ધચક્ર દરમિયાન તે ફરીથી મહત્તમ મૂલ્ય સુધી ચાર્જ થાય છે (આકૃતિ 14.20). કેપેસીટરના બે છેડાઓ વચ્ચે વૉલ્ટેજના ઘટાડાનો દર પરિપથમાં જોડેલા કેપેસીટર C અને અસરકારક અવરોધ R_Lના ગુણાકારના વ્યસ્ત મૂલ્ય પર આધાર રાખે છે અને તેને (RC ને) *સમય અચળાંક* (*Time Constant*) કહે છે. સમય અચળાંક મોટો કરવા Cનું મૂલ્ય મોટું હોવું જોઈએ. આથી, કેપેસીટર ઈનપુટ ફિલ્ટર (પરિપથો)માં મોટા કેપેસીટર વપરાય છે. કેપેસીટર ઈનપુટ ફિલ્ટરનો ઉપયોગ કરીને મેળવેલો *આઉટપુટ વોલ્ટેજ* રેક્ટિફાઈડ વોલ્ટેજના *મહત્તમ* (*Peak*) મૂલ્યની નજીક હોય છે. પાવર સપ્લાયમાં મોટાભાગે આ પ્રકારનું ફિલ્ટર વપરાય છે.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com



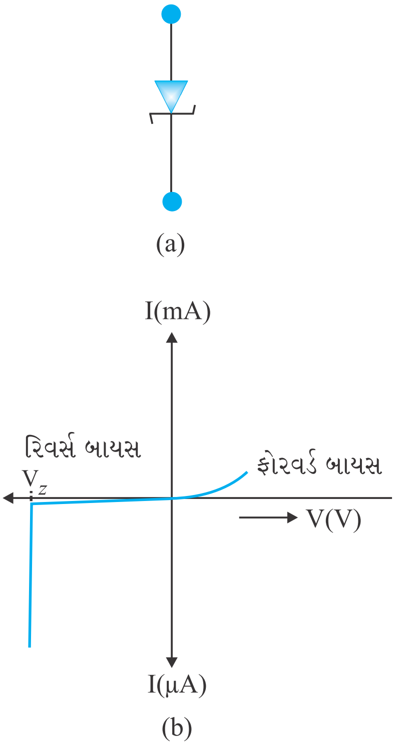
આકૃતિ 14.20 (a) કેપેસીટર ફિલ્ટર સાથે પૂર્ણતરંગ રેક્ટિફાયર, (b) (a) માં દર્શાવેલા રેક્ટિફાયરના ઇનપુટ અને આઉટપુટ વોલ્ટેજ

14.8 કેટલાક વિશિષ્ટ હેતુ માટેના *p-n* જંક્શન ડાયોડ (Special Purpose *p-n* Junction Diodes)

આ પરિચ્છેદમાં, આપણે કેટલાક સાધનોનો અભ્યાસ કરીશું જે મૂળભૂત રીતે તો જંક્શન ડાયોડ છે, પરંતુ જુદા પ્રકારના ઉપયોગો માટે વિકસાવવામાં આવ્યા છે.

14.8.1 ઝેનર ડાયોડ (Zener Diode)

તે વિશિષ્ટ હેતુ માટેનો અર્ધવાહક (સેમિકન્ડક્ટર) ડાયોડ છે, જેને તેના શોધક C. Zener ના કારણે તે નામ આપવામાં આવ્યું છે. તેને રિવર્સ બાયસ હેઠળ બ્રેકડાઉન વિસ્તારમાં ઉપયોગ માટે વિકસાવવામાં આવ્યો છે અને તેનો ઉપયોગ વોલ્ટેજ રેગ્યુલેટર તરીકે થાય છે. ઝેનર ડાયોડની સંજ્ઞા આકૃતિ 14.21(a)માં દર્શાવી છે.



આકૃતિ 14.21 ઝેનર ડાયોડ, (a) સંજ્ઞા, (b) I–V લાક્ષણિકતા

જંક્શનની બંને બાજુ *p* અને *n*ને અતિશય પ્રમાણમાં ડોપિંગ કરીને ઝેનર ડાયોડ બનાવવામાં આવે છે. આના કારણે, રચાતો ડીપ્લેશન વિસ્તાર ઘણો સાંકડો ($< 10^{-6}$m) હોય છે અને લગભગ 5 V જેટલા ઘણાં ઓછા રિવર્સ બાયસ વોલ્ટેજ માટે પણ જંક્શનનું વિદ્યુતક્ષેત્ર ખૂબ તીવ્ર ($\sim 5 \times 10^6$ V/m) જેટલું હોય છે. ઝેનર ડાયોડની I–V લાક્ષણિકતા આકૃતિ 14.21(b)માં દર્શાવી છે. એ જોઈ શકાય છે કે જ્યારે આપેલ રિવર્સ બાયસ વોલ્ટેજ (V), ઝેનર ડાયોડના બ્રેકડાઉન વોલ્ટેજ (V_z) જેટલો થાય ત્યારે વિદ્યુતપ્રવાહમાં ઘણો મોટો ફેરફાર (વધારો) થાય છે. નોંધો કે બ્રેકડાઉન વોલ્ટેજ V_z પછી, રિવર્સ બાયસ વોલ્ટેજમાં નજીવો ફેરફાર કરીને પણ વિદ્યુતપ્રવાહમાં ઘણો મોટો ફેરફાર કરી શકાય છે. બીજા શબ્દોમાં, ઝેનરમાંથી પસાર થતો વિદ્યુતપ્રવાહ ઘણો બધો બદલાય તો પણ ઝેનર વોલ્ટેજ અચળ રહે છે. ઝેનર ડાયોડના આ ગુણધર્મનો ઉપયોગ સપ્લાય વોલ્ટેજને (અચળ રાખવા) રેગ્યુલેટ કરવા માટે થાય છે કે જેથી તે અચળ રહે.

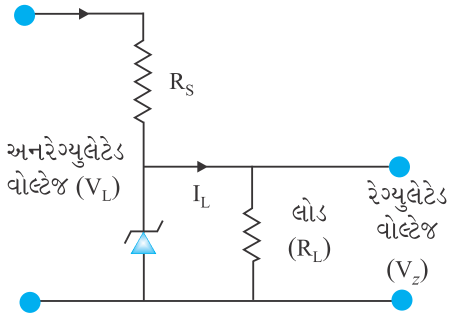
બ્રેકડાઉન વોલ્ટેજ પાસે રિવર્સ વિદ્યુતપ્રવાહ કેમ ઝડપથી વધે છે તે સમજીએ. આપણે જાણીએ છીએ કે $p \rightarrow n$ સુધી ઇલેક્ટ્રૉન (માઇનોરિટી વાહકો) અને $n \rightarrow p$ સુધી હોલના પ્રવાહના કારણે રિવર્સ પ્રવાહ વહે છે. જેમ રિવર્સ બાયસ વોલ્ટેજ વધારીએ તેમ જંક્શન પરનું વિદ્યુતક્ષેત્ર નોંધપાત્ર બને છે. જ્યારે રિવર્સ બાયસ વોલ્ટેજ $V = V_z$ થાય, ત્યારે (જંક્શનના છેડાઓ વચ્ચે) વિદ્યુતક્ષેત્રની તીવ્રતા એટલી વધી જાય છે કે જે *p*-બાજુના યજમાન (Host) પરમાણુઓમાંથી વેલેન્સ ઇલેક્ટ્રૉનન ખેંચી લે છે, જે *n*-વિસ્તાર તરફ પ્રવેગિત થાય છે. આ ઇલેક્ટ્રૉનના કારણે બ્રેકડાઉન વખતે ઊંચો વિદ્યુતપ્રવાહ મળે છે. ઊંચા વિદ્યુતક્ષેત્રના કારણે યજમાન પરમાણુઓમાંથી ઇલેક્ટ્રૉન મુક્ત થવાની ઘટનાને આંતરિક ક્ષેત્ર ઉત્સર્જન (Internal Field Emission) કે ક્ષેત્ર આયનીકરણ (Field ionisation) કહે છે. ક્ષેત્ર આયનીકરણ માટે જરૂરી વિદ્યુતક્ષેત્ર 10^6 V/mના ક્રમનું હોય છે.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

વોલ્ટેજ નિયંત્રક (રેગ્યુલેટર) તરીકે ઝેનર ડાયોડ (Zener Diode as a Voltage Regulator)

આપણે જાણીએ છીએ કે જ્યારે રેક્ટિફાયરનો એસી ઈનપુટ વોલ્ટેજ બદલાતો હોય, ત્યારે તેનો રેક્ટિફાઈડ આઉટપુટ પણ બદલાય છે. રેક્ટિફાયરના અનરેગ્યુલેટેડ ડીસી આઉટપુટમાંથી અચળ ડીસી વોલ્ટેજ મેળવવા માટે આપણે ઝેનર ડાયોડનો ઉપયોગ કરીએ છીએ. ઝેનર ડાયોડનો ઉપયોગ કરીને વોલ્ટેજ રેગ્યુલેશન માટેનો પરિપથ આકૃતિ 14.22માં દર્શાવ્યો છે.



આકૃતિ 14.22 ડીસી વોલ્ટેજ રેગ્યુલેટર તરીકે ઝેનર ડાયોડ

અનરેગ્યુલેટેડ ડીસી વોલ્ટેજ (રેક્ટિફાયરનો ફિલ્ટર થયેલો આઉટપુટ)ને ઝેનર ડાયોડ સાથે શ્રેણી અવરોધ R_s વડે એ રીતે જોડવામાં આવે છે કે જેથી ઝેનર ડાયોડ રીવર્સ બાયસ થાય. જો ઈનપુટ વોલ્ટેજ વધે, તો R_s અને ઝેનર ડાયોડમાંથી પસાર થતો પ્રવાહ પણ વધે છે. આથી, ઝેનર ડાયોડના બે છેડાઓ વચ્ચે વોલ્ટેજના કોઈ ફેરફાર વગર R_sના છેડાઓ વચ્ચે વોલ્ટેજ તફાવત વધે છે. આનું કારણ એ છે કે બ્રેકડાઉન વિસ્તારમાં, ઝેનર ડાયોડમાંથી વહેતો પ્રવાહ બદલાય તો પણ ઝેનર વોલ્ટેજ અચળ રહે છે. તે જ રીતે જો ઈનપુટ વોલ્ટેજ ઘટે, તો R_s અને ઝેનર ડાયોડમાંથી વિદ્યુતપ્રવાહ પણ ઘટે છે. ઝેનર ડાયોડના છેડાઓ વચ્ચે વોલ્ટેજના કોઈ ફેરફાર વગર R_sના છેડાઓ વચ્ચે વોલ્ટેજ તફાવત ઘટે છે. આમ, ઈનપુટ વોલ્ટેજમાં કોઈ પણ વધારો/ઘટાડો થતા, ઝેનર ડાયોડના છેડાઓ વચ્ચે વોલ્ટેજના કોઈપણ ફેરફાર વગર R_sના છેડાઓ વચ્ચે વોલ્ટેજ તફાવતના વધારા/ઘટાડામાં પરિણમે છે. આમ, ઝેનર ડાયોડ વોલ્ટેજ (નિયંત્રક) રેગ્યુલેટર તરીકે કાર્ય કરે છે. જરૂરી આઉટપુટ વોલ્ટેજને અનુરૂપ આપણે ઝેનર ડાયોડ અને શ્રેણી અવરોધ R_s પસંદ કરવો જોઈએ.

ઉદાહરણ 14.5

ઉદાહરણ 14.5 એક ઝેનર રેગ્યુલેટેડ પાવર સપ્લાયમાં $V_z = 6.0$ Vનો ઝેનર ડાયોડ રેગ્યુલેશન માટે ઉપયોગમાં લીધેલ છે. જરૂરી લોડ પ્રવાહ 4.0 mA અને અનરેગ્યુલેટેડ ઈનપુટ 10.0 V છે. શ્રેણી અવરોધ R_sનું મૂલ્ય કેટલું હોવું જોઈએ ?

ઉકેલ R_sનું મૂલ્ય એટલું હોવું જોઈએ કે જેથી ઝેનરમાંથી પસાર થતો પ્રવાહ લોડ પ્રવાહ કરતાં ઘણો મોટો હોય. સારા રેગ્યુલેશન માટે આ જરૂરી છે. લોડ પ્રવાહ કરતાં પાંચ ગણો ઝેનર પ્રવાહ પસંદ કરો, એટલે કે $I_z = 20$ mA. આથી, R_sમાંથી પસાર થતો કુલ વિદ્યુતપ્રવાહ 24 mA. R_sના છેડાઓ વચ્ચે વોલ્ટેજનો તફાવત $10.0 - 6.0 = 4.0$ V છે. આથી, $R_s = 4.0\ \text{V} / (24 \times 10^{-3})\text{A} = 167\ \Omega$.

આની નજીકનું કાર્બન અવરોધનું મૂલ્ય 150 Ω છે. આમ, 150 Ωનો શ્રેણી અવરોધ યોગ્ય છે. નોંધો કે અવરોધના મૂલ્યમાં નજીવો ફેરફાર અગત્યનો નથી, અગત્યનું એ છે કે પ્રવાહ I_zનું મૂલ્ય I_L કરતાં ઘણું મોટું હોવું જોઈએ.

14.8.2 ઓપ્ટોઈલેક્ટ્રૉનિક જંકશન ડિવાઈસીસ (ઉપકરણો) (Optoelectronic Junction Devices)

અત્યાર સુધી આપણે એ જોયું કે આપેલ ઈલેક્ટ્રીક (વિદ્યુત) ઈનપુટ માટે અર્ધવાહક (સેમીકન્ડક્ટર) ડાયોડ કેવી રીતે વર્તે છે. આ પરિચ્છેદમાં આપણે એવા અર્ધવાહક (સેમીકન્ડક્ટર) ડાયોડ વિષે શીખીશું કે જેમાં ફોટોન (ફોટો-ઉત્તેજન)ના કારણે વાહકો ઉત્પન્ન થાય છે. આ બધા સાધનોને *ઓપ્ટોઈલેક્ટ્રૉનિક ડિવાઈસીસ* કહે છે. આપણે નીચેના ઓપ્ટોઈલેક્ટ્રોનિક ડિવાઈસીસનાં કાર્ય સમજીશું.

(i) ઓપ્ટીકલ (પ્રકાશના) સિગ્નલને પરખવા (Detect) માટે *ફોટોડાયોડ્સ* (ફોટો ડીટેક્ટર્સ).

(ii) *લાઈટ ઍમિટીંગ ડાયોડ* (LED) જે વિદ્યુતઊર્જાનું પ્રકાશમાં રૂપાંતર કરે છે.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

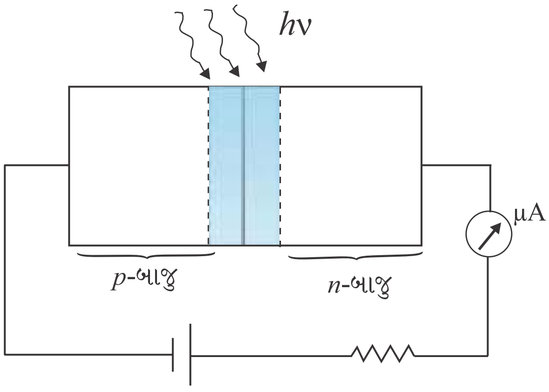
Downloaded from https:// www.studiestoday.com

(iii) *ફોટોવોલ્ટીક ડિવાઈસીસ* જે ઓપ્ટિકલ (લાઈટ)ના વિકિરણને વિદ્યુતઊર્જામાં રૂપાંતરીત કરે (*સોલર સેલ*) છે.

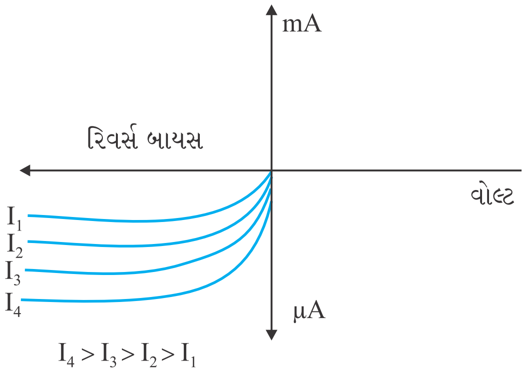
(i) *ફોટોડાયોડ (Photodiode)*

ફોટોડાયોડ એક વિશેષ હેતુ માટેનો p-n જંક્શન ડાયોડ છે. તે પારદર્શક બારી ધરાવે છે જેમાંથી પ્રકાશ ડાયોડ પર પડી શકે. તેને રિવર્સ બાયસમાં કાર્યાન્વિત કરાય છે. જ્યારે ફોટોડાયોડ પર, સેમીકન્ડક્ટરના ઊર્જા તફાવત (E_g) કરતા વધુ ઊર્જા ધરાવતા ($h\nu$) ઊર્જાના પ્રકાશ ફોટોન આપાત કરવામાં આવે ત્યારે આ ફોટોનના શોષણના કારણે ઈલેક્ટ્રૉન-હોલ (e–h) જોડકાં ઉત્પન્ન થાય છે. ડાયોડ એવી રીતે બનાવવામાં આવે છે કે જેથી e–h જોડકાંઓ ડાયોડના ડેપ્લેશન સ્તરની નજીક ઉત્પન્ન થાય. જંક્શનના વિદ્યુતક્ષેત્રના કારણે, ઈલેક્ટ્રૉન અને હોલ ફરીથી સંયોજાય તે પહેલાં જુદા પડે છે. વિદ્યુતક્ષેત્રની દિશા એવી હોય છે કે જેથી ઈલેક્ટ્રૉન n-બાજુ અને હોલ p-બાજુ પહોંચે. ઈલેક્ટ્રૉન n-બાજુ ભેગા થાય છે જ્યારે હોલ p-બાજુ ભેગા થાય છે, તેથી *emf* ઉદ્ભવે છે. જ્યારે બાહ્ય લોડ અવરોધ જોડવામાં આવે ત્યારે, વિદ્યુતપ્રવાહ વહે છે. ફોટો વિદ્યુતપ્રવાહનું મૂલ્ય આપાત પ્રકાશની તીવ્રતા પર આધાર રાખે છે (ફોટો વિદ્યુતપ્રવાહ આપાત પ્રકાશની તીવ્રતાના સમપ્રમાણમાં હોય છે).

જો રિવર્સ બાયસ આપવામાં આવ્યો હોય, તો પ્રકાશની તીવ્રતાના ફેરફાર સાથે વિદ્યુતપ્રવાહનો ફેરફાર જોવો સહેલો છે. આમ, પ્રકાશના સિગ્નલો (તરંગો)ની પરખ (ડિટેક્ટ) કરવા માટે ફોટોડાયોડનો ઉપયોગ ફોટોડિટેક્ટર તરીકે કરી શકાય છે. ફોટોડાયોડની I–V લાક્ષણિકતાઓ મેળવવા માટેનો પરિપથ આકૃતિ 14.23(a)માં અને તેની ચોક્કસ I–V લાક્ષણિકતાઓ આકૃતિ 14.23(b)માં દર્શાવેલ છે.



(a)



(b)

આકૃતિ 14.23 (a) રિવર્સ બાયસમાં પ્રકાશિત કરેલ ફોટો ડાયોડ, (b) જુદી જુદી આપાત પ્રકાશની તીવ્રતાઓ $I_4 > I_3 > I_2 > I_1$ માટે ફોટો ડાયોડની I–V લાક્ષણિકતાઓ

ઉદાહરણ 14.6 રીવર્સ બાયસના પ્રવાહ (~μA)ની સરખામણીમાં ફોરવર્ડ બાયસનો પ્રવાહ વધુ (~mA) હોવાનું જાણીતું છે. તો પછી શા માટે ફોટોડાયોડનો ઉપયોગ રિવર્સ બાયસમાં કરવામાં આવે છે ?

ઉકેલ n-પ્રકારના અર્ધવાહકનો કિસ્સો ધ્યાનમાં લો. દેખીતું છે કે મેજોરિટી વિદ્યુતવાહક ઘનતા (n), માઈનોરિટી હોલ ઘનતા p કરતાં નોંધપાત્ર વધુ હોય (એટલે કે $n >> p$) છે. પ્રકાશ આપાત કરવાથી, ધારોકે વધારાના ઉત્પન્ન થયેલા ઈલેક્ટ્રૉન અને હોલ અનુક્રમે Δn અને Δp છે.

$$n' = n + \Delta n$$
$$p' = p + \Delta p$$

અહીંયા n' અને p' એ કોઈ એક આપાત પ્રકાશ-તીવ્રતા માટે ઈલેક્ટ્રૉન અને હોલની સંખ્યા ઘનતા* છે, તથા n અને p એ પ્રકાશની ગેરહાજરીમાં વાહક સંખ્યા ઘનતા છે. યાદ રહે કે

ઉદાહરણ 14.6

* નોંધો કે e–h જોડકું ઉત્પન્ન કરવા માટે આપણે ઊર્જા વાપરવી પડે છે [ફોટો ઉત્તેજન (Excitation), ઉષ્મીય ઉત્તેજન વગેરે]. આથી, જ્યારે ઈલેક્ટ્રૉન અને હોલ પુનઃસંયોજાય ત્યારે પ્રકાશના રૂપમાં (વિકિરણ દ્વારા પુનઃસંયોજન) અથવા ઉષ્માના રૂપમાં (વિકિરણ વગર પુનઃ સંયોજન) ઊર્જામુક્ત થાય છે. તેનો આધાર સેમીકન્ડક્ટર અને p-n જંક્શનની બનાવટ પર છે. LED બનાવવા માટે GaAs, GaAs – GaP જેવા સેમીકન્ડક્ટરોનો ઉપયોગ થાય છે. જેમાં વિકિરણ દ્વારા થતું પુનઃસંયોજન વધુ પ્રભાવી હોય છે.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

ઉદાહરણ 14.6

$\Delta n = \Delta p$ અને $n >> p$. આથી, બહુમતી વાહકોનો આંશિક ફેરફાર (એટલે કે $\Delta n/n$) એ માઈનોરિટી વાહકોના આવા ફેરફાર (એટલે કે $\Delta p/p$)ની સરખામણીમાં ઘણો ઓછો હશે. સામાન્ય રીતે, આપણે એમ કહી શકીએ કે ફોટો અસરના કારણે રિવર્સ બાયસ દરમિયાન *માઈનોરિટી વાહકોનું પ્રભુત્વ ધરાવતો રિવર્સ બાયસ પ્રવાહ*માંનો આંશિક ફેરફાર ફોરવર્ડ બાયસ પ્રવાહના આંશિક ફેરફારની સરખામણીમાં સરળતાથી માપી શકાય છે. આથી, પ્રકાશની તીવ્રતા માપવા માટે ફોટોડાયોડને મોટેભાગે રીવર્સ બાયસમાં ઉપયોગમાં લેવામાં આવે છે.

(ii) *લાઈટ ઍમિટીંગ ડાયોડ* (*Light Emitting Diode*)

તે વધારે પ્રમાણમાં ડોપિંગ ધરાવતું *p-n* જંક્શન છે જે ફોરવર્ડ બાયસ દરમિયાન સ્વતઃ (આપમેળે) વિકિરણનું (Spontaneous) ઉત્સર્જન કરે છે. ડાયોડને પારદર્શક પડમાં (આવરણમાં) રાખવામાં આવે છે કે જેથી ઉત્સર્જિત પ્રકાશ બહાર નીકળી શકે.

જ્યારે ડાયોડને ફોરવર્ડ બાયસ આપવામાં આવે ત્યારે, ઇલેક્ટ્રૉન $n \rightarrow p$ તરફ જાય છે (જ્યાં, તેઓ માઈનોરિટી વાહકો બને છે) અને હોલ $p \rightarrow n$ તરફ જાય છે (જ્યાં, તેઓ પણ માઈનોરિટી વાહકો છે). જંક્શનની સીમા પાસે માઈનોરિટી વાહકોની સંખ્યા, સંતુલન વખતની સંખ્યા (એટલેકે બાયસ ના આપ્યો હોય ત્યારની) કરતાં વધી જાય છે. આમ, જંક્શનની સીમા પાસે બંને બાજુ વધારાના માઈનોરિટી વાહકો હોય છે. જેઓ જંક્શન પાસેના મેજોરિટી વાહકો સાથે પુનઃ સંયોજાય છે. આ પુનઃ સંયોજન થતાં ફોટોનના રૂપમાં ઊર્જાનું ઉત્સર્જન થાય છે. બૅન્ડ ગેપ (ઊર્જા તફાવત) જેટલી ઊર્જા કે તેનાથી સ્હેજ ઓછી ઊર્જા ધરાવતા ફોટોન ઉત્સર્જન પામે છે. જ્યારે ડાયોડનો ફોરવર્ડ વિદ્યુતપ્રવાહ ઓછો હોય ત્યારે ઉત્સર્જિત પ્રકાશની તીવ્રતા પણ ઓછી હોય છે. જેમ ફોરવર્ડ પ્રવાહ વધે તેમ પ્રકાશની તીવ્રતા વધે છે અને એક મહત્તમ મૂલ્ય સુધી પહોંચે છે. ફોરવર્ડ પ્રવાહને હજી પણ વધારતાં પ્રકાશની તીવ્રતા ઘટે છે. LEDને એટલો બાયસ આપવામાં આવે છે કે જેથી પ્રકાશ ઉત્સર્જન ક્ષમતા મહત્તમ મળે.

LEDની V–I લાક્ષણિકતા *Si* જંક્શન ડાયોડ જેવી જ છે. પરંતુ તેમના થ્રેશોલ્ડ વોલ્ટેજ વધુ હોય છે અને દરેક રંગ માટે જુદા જુદા હોય છે. આ LEDના રિવર્સ બ્રેકડાઉન વોલ્ટેજ ઘણા ઓછા હોય છે, જે લગભગ 5 V ની આસપાસ હોય છે. આથી કાળજી રાખવી જોઈએ કે તેમના છેડાઓ વચ્ચે ઊંચા રિવર્સ વોલ્ટેજ ના મળે.

લાલ, પીળો, નારંગી, લીલો અને વાદળી પ્રકાશ ઉત્સર્જિત કરતી LED બજારમાં મળી રહે છે. દૃશ્ય પ્રકાશ આપે તેવી LEDની રચના માટે વપરાતા સેમીકન્ડક્ટરની બૅન્ડ ગેપ (ઊર્જા તફાવત) ઓછામાં ઓછી 1.8 *e*V હોવી જોઈએ (દૃશ્યપ્રકાશની તરંગ લંબાઈ 0.4 μm થી 0.7 μm જેટલી હોય છે, એટલે કે 3 *e*V થી 1.8 *e*V). ગેલિયમ આર્સેનાઈડ ફોસ્ફાઈડ ($GaAs_{1-x}P_x$)નું સેમીકન્ડક્ટર સંયોજન જુદા જુદા રંગ માટેની LED બનાવવા વપરાય છે. $GaAs_{0.6}P_{0.4}$ ($E_g \sim 1.9$ *e*V)નો ઉપયોગ લાલ LED માટે થાય છે. GaAs ($E_c \sim 1.4$ *e*V)નો ઉપયોગ ઈન્ફ્રારેડ LED બનાવવા માટે થાય છે. આ LEDનો ઉપયોગ રીમોટ કન્ટ્રોલમાં, બર્ગલર (ચોરી રોકવા માટે)ના એલાર્મ તંત્રમાં, પ્રકાશીય (Optical) સંચાર વ્યવસ્થા વગેરેમાં થાય છે. સફેદ પ્રકાશ ઉત્સર્જિત કરતી LED બનાવવા માટે ખૂબ સંશોધન થઈ રહ્યું છે જેથી ઈન્કેન્ડેસન્ટ (ફિલામેન્ટવાળા) લેમ્પની જગ્યાએ ઉપયોગ થઈ શકે.

રોજિંદા વપરાશમાં લેવાતા ઓછા પાવરના ઈન્કેન્ડેસન્ટ લેમ્પની સરખામણીમાં LEDના ફાયદા આ મુજબ છે :

(i) ઓછા કાર્યકારી વોલ્ટેજ અને ઓછો પાવર.

(ii) ઝડપી કાર્ય અને ગરમ થવા માટે સમય નથી જોઈતો.

(iii) ઉત્સર્જિત પ્રકાશની બૅન્ડ વીડ્થ 100 Å થી 500 Å જેટલી છે, બીજા શબ્દોમાં તે લગભગ (પણ ચોક્કસ નહિ) એકરંગી (Monocrometic) છે.

(iv) લાંબુ આયુષ્ય અને મજબૂત.

(v) ઝડપી ચાલુ-બંધ થવાની ક્ષમતા.

(iii) *સોલર સેલ* (*Solar Cell*)

સોલર સેલ એ મૂળભૂત રીતે *p-n* જંક્શન છે, જેના પર સૂર્યપ્રકાશ પડે ત્યારે તે *emf* (વોલ્ટેજ)

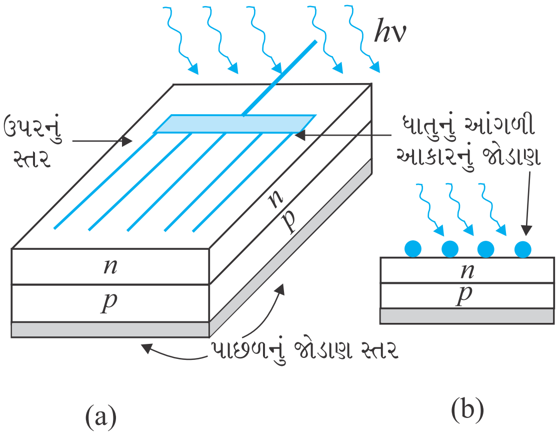
Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

ઉત્પન્ન કરે છે. તે પણ ફોટો ડાયોડના સિદ્ધાંત (Photovolatic Effect ફોટોવોલ્ટીક અસર) પર કાર્ય કરે છે, ફરક એટલો કે કોઈ બાહ્ય બાયસ આપવામાં આવતો નથી અને સૂર્યપ્રકાશ આપાત થાય તે માટે જંક્શનનું ક્ષેત્રફળ (સપાટી) ઘણું મોટું રાખવામાં આવે છે કારણ કે આપણને વધુ પાવર જોઈએ છીએ.

એક સાદો *p-n* જંક્શન સોલર સેલ આકૃતિ 14.24માં દર્શાવ્યો છે.

એક *p*-પ્રકારની Si તકતી (વેફર), લગભગ 300 μm જાડી લેવામાં આવે છે જેના પર (~ 0.3 μm)નું *n*-પ્રકાશના Siનું પાતળું સ્તર એક તરફ ડીફ્યુઝનની પ્રક્રિયા દ્વારા તૈયાર કરવામાં આવે છે. *p*-Siની બીજી બાજુને ધાતુ (પાછળનું જોડાણ માટે)નું પડ ચઢાવવામાં આવે છે. *n*-Si સ્તરની ઉપર ધાતુની જાળીદાર નકશી (જોડાણ માટે)નું પડ ચઢાવવામાં આવે છે. તે આગળના જોડાણ (Contact) તરીકે કાર્ય કરે છે. ધાતુની જાળીદાર નકશી સોલરસેલના ઘણા નાના વિસ્તાર (<15%)ને આવરે છે જેથી સેલ પર પ્રકાશ ઉપરથી આપાત કરી શકાય.



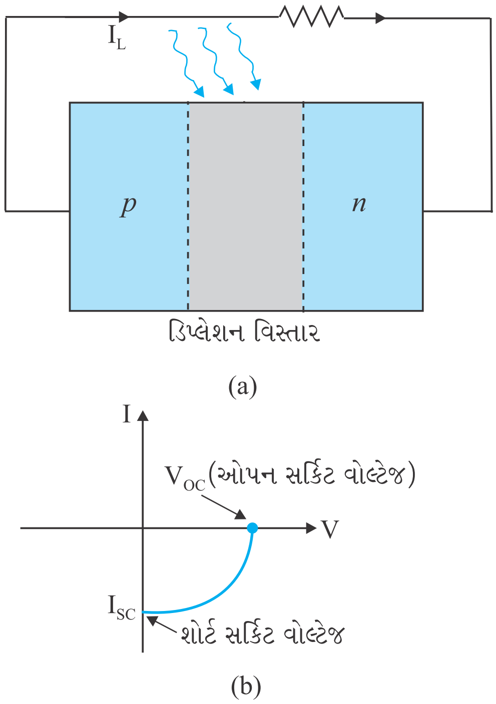
આકૃતિ 14.24 (a) એક ચોક્કસ *p-n* જંક્શન સોલર સેલ, (b) તેનો આડછેદનો દેખાવ

જ્યારે સોલરસેલ પર પ્રકાશ આપાત થાય ત્યારે *emf*ની ઉત્પત્તિ નીચેની ત્રણ મૂળભૂત પ્રક્રિયાઓના કારણે થાય છે : (ઇલેક્ટ્રૉન હોલ જોડકાની) ઉત્પત્તિ, છુટા પડવું અને ભેગા થવું : (i) જંક્શનની આસપાસ પ્રકાશ ($h\nu > E_g$)ના કારણે *e-h* જોડકાંની ઉત્પત્તિ, (ii) ડેપ્લેશન સ્તરના વિદ્યુતક્ષેત્રના કારણે ઇલેક્ટ્રૉન અને હોલનું છુટા પડવું, ઇલેક્ટ્રૉન *n*-વિસ્તાર તરફ અને હોલ *p*-વિસ્તાર તરફ ધકેલાય છે. (iii) *n*-વિસ્તાર તરફ જતા ઇલેક્ટ્રૉન ઉપરના છેડા પર ભેગા થાય છે અને *p*-વિસ્તાર તરફ જતા હોલ પાછળના (ધાતુના) જોડાણ પર ભેગા થાય છે. આમ, *p*-વિસ્તાર ધન અને *n*-વિસ્તાર ઋણ બને છે, જેથી તે *ફોટો વોલ્ટેજ* આપે છે.

આકૃતિ 14.25(a)માં દર્શાવ્યા મુજબ જ્યારે બાહ્ય લોડ અવરોધ જોડવામાં આવે છે, ત્યારે ફોટોપ્રવાહ I_L, લોડ અવરોધમાંથી વહે છે. સોલરસેલની એક લાક્ષણિક I–V લાક્ષણિકતા આકૃતિ 14.25(b)માં દર્શાવી છે.

નોંધો કે સોલરસેલની I–V લાક્ષણિકતા યામ પદ્ધતિના ચોથા ચરણમાં દોરવામાં આવે છે. આનું કારણ એ છે કે સોલરસેલ વિદ્યુતપ્રવાહ મેળવતો નથી પણ તે લોડ અવરોધને વિદ્યુતપ્રવાહ પૂરો પાડે છે.

Si (E_g = 1.1 *e*V), GaAs (E_g = 1.43 *e*V), CdTe (E_g = 1.45 *e*V), $CuInSe_2$(E_g = 1.04 *e*V) વગેરે જેવા, 1.5 *e*Vની નજીકની બૅન્ડ ગેપ (ઊર્જા તફાવત) ધરાવતા સેમીકન્ડક્ટર, સોલરસેલ બનાવવા માટેના આદર્શ દ્રવ્યો છે. સેમીકન્ડક્ટરમાંથી સોલરસેલ બને છે. સોલરસેલ બનાવવા માટે યોગ્ય પદાર્થની પસંદગી કરવા માટેના અગત્યના માપદંડો આ મુજબ છે : (i) બૅન્ડ ગેપ (E_g ~ 1.0 *e*V થી 1.8 *e*V), (ii) ઊંચું પ્રકાશીય શોષણ (Optical Absorption) (~ 10^{-4} cm^{-1}), (iii) વિદ્યુત વાહકતા, (iv) કાચો પદાર્થ મળતો હોવો જોઈએ, (v) કિંમત. નોંધો કે સોલરસેલ માટે સૂર્ય પ્રકાશ જ હોવો જરૂરી નથી. *કોઈ પણ* પ્રકાશ કે જેના ફોટોનની ઊર્જા બૅન્ડ ગેપ કરતાં વધુ હોય તે ચાલી શકે. સોલર સેલનો ઉપયોગ ઉપગ્રહોને તથા અવકાશી વાહનોને પાવર પૂરો પાડવા અને કેટલાંક કેલ્ક્યુલેટરોમાં પાવર સપ્લાય તરીકે થાય છે. ઓછી કિંમતના ફોટોવોલ્ટીક સેલનો ઉપયોગ કરી મોટા પ્રમાણમાં સૂર્યની ઊર્જા મેળવવી એ એક સંશોધનનો વિષય છે.



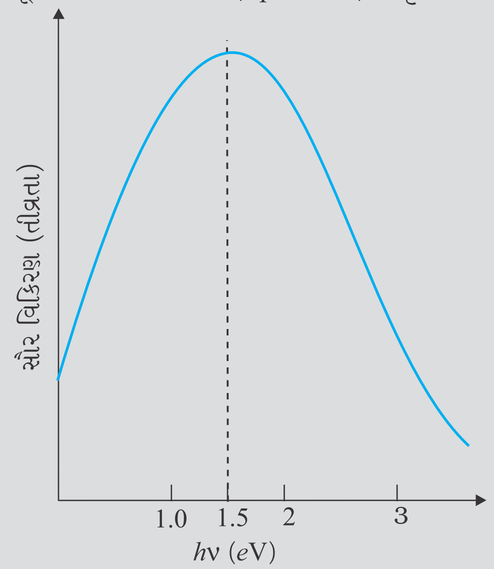
આકૃતિ 14.25 (a) એક પ્રકાશિત સોલરસેલ (b) સોલરસેલની I–V લાક્ષણિકતા

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

ઉદાહરણ 14.7 સોલરસેલમાં શા માટે Si અને GaAs પસંદ કરવામાં આવે છે ?

ઉકેલ આપણને મળતા સૂર્ય વિકિરણનો વર્ણપટ (Spectrum) આકૃતિ 14.26માં દર્શાવ્યો છે.



આકૃતિ 14.26

1.5 *eV* પાસે તે મહત્તમ છે. ફોટોન વડે ઉત્તેજિત કરવા માટે $h\nu > E_g$ હોવું જોઈએ. આથી જે સોલર સેલ માટે બૅન્ડ ગેપ ~ 1.5 *eV* કે તેથી ઓછી હોય તે સૂર્ય ઊર્જાના રૂપાંતર માટે મહત્તમ ક્ષમતાથી કાર્ય કરે. સિલિકોન માટે E_g ~ 1.1 *eV* છે જ્યારે GaAs માટે ~ 1.53 *eV* છે. હકીકતમાં Si કરતાં GaAs વધુ સારું છે (વધુ ઊંચી બૅન્ડ ગેપ હોવા છતાં) કારણ કે તેનો શોષણાંક પ્રમાણમાં મોટો છે. જો આપણે CdS કે CdSe (E_g ~ 2.4 *eV*) જેવા પદાર્થોનો ઉપયોગ કરીએ તો આપણે સૂર્ય ઊર્જાના ઊંચી ઊર્જા ધરાવતા ભાગનો જ ઉપયોગ ફોટો-રૂપાંતરણ માટે કરી શકીએ અને ઊર્જાનો નોંધપાત્ર ભાગ ઉપયોગમાં ન આવે.

પ્રશ્ન એ થાય કે : શા માટે આપણે PbS (E_g ~ 0.4 *eV*) જેવા પદાર્થનો ઉપયોગ ન કરી શકીએ, જે સૂર્ય ઊર્જાના વર્ણપટમાં મહત્તમને અનુરૂપ ν માટે $h\nu > E_g$ની શરતનું પાલન કરે છે ? જો આપણે આમ કરીએ તો મોટાભાગનાં સૂર્ય વિકિરણ સોલર સેલના *ઉપરના સ્તર*માં શોષાઈ જાય અને તે ડેપ્લેશન સ્તરની અંદર અથવા નજીક પહોંચી જ ન શકે. ઇલેક્ટ્રૉન હોલના કાર્યક્ષમ રીતે છુટા પડવા માટે, જંક્શનના વિદ્યુતક્ષેત્રના કારણે, ફોટો-જનરેશન, જંક્શનની નજીકના વિસ્તારમાં થવું જોઈએ.

ઉદાહરણ 14.7

14.9 ડિજિટલ ઇલેક્ટ્રૉનિક્સ અને લૉજિક ગેટ (Digital Electronics and Logic Gates)

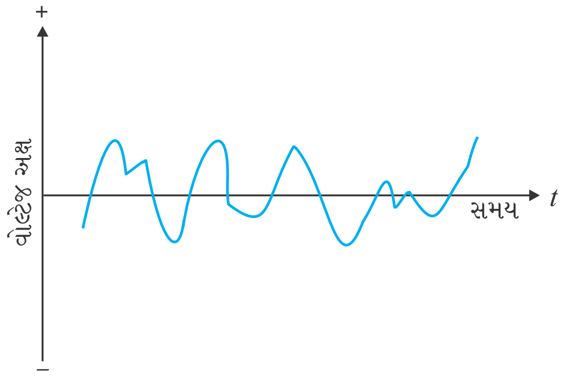
આગળના વિભાગોમાં દર્શાવેલ ઇલેક્ટ્રૉનિક પરિપથો જેવાં કે એમ્પ્લિફાયર, ઓસિલેટર વગેરેમાં સિગ્નલ (પ્રવાહ કે વૉલ્ટેજ) સતત સમય સાથે બદલાતા વોલ્ટેજ કે પ્રવાહના રૂપમાં હતો, આવા સિગ્નલને સતત કે *એનાલૉગ સિગ્નલ* કહે છે. આકૃતિ 14.27(a)માં કોઈ એક એનાલૉગ સિગ્નલ દર્શાવ્યો છે. આકૃતિ 14.27(b)માં *સ્પંદ (Pulse) તરંગસ્વરૂપ (Waveform)* દર્શાવ્યું છે. જેમાં, વોલ્ટેજના છુટક મૂલ્યો જ શક્ય છે. આવા સિગ્નલને દર્શાવવા માટે બાઈનરી નંબર (દ્વિગુણી સંખ્યાઓ) સગવડ રૂપ છે. બાયનરી સંખ્યાને ફક્ત બે અંકો હોય છે, ‘0’ (ધારોકે 0 V) અને ‘1’ (ધારોકે 5 V). આકૃતિ 14.27(b)માં દર્શાવ્યા મુજબ, ડિજિટલ ઇલેક્ટ્રૉનિક્સમાં આપણે વોલ્ટેજના ફક્ત આ બે સ્તરો (મૂલ્યો)નો ઉપયોગ કરીએ છીએ. આવા સિગ્નલને *ડિજિટલ સિગ્નલ* કહેવાય છે. ડિજિટલ પરિપથોમાં ફક્ત બે મૂલ્યો (0 અને 1 વડે દર્શાવેલ) ઈનપુટ અને આઉટપુટ વોલ્ટેજ માટે માન્ય છે.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

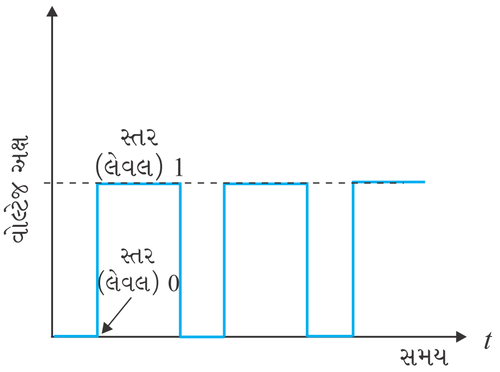
Downloaded from https:// www.studiestoday.com

આ પરિચ્છેદનો હેતુ ડિજિટલ ઇલેક્ટ્રૉનિક્સની સમજૂતીમાં પ્રથમ સોપાન પુરું પાડવાનો છે. આપણે અત્યારે ડિજિટલ ઈલેક્ટ્રોનિક્સના બંધારણીય એકમો (*લૉજીક ગેટ્સ*) પુરતો જ અભ્યાસ કરીશું જે ડિજિટલ સિગ્નલ પર ચોક્કસ પ્રક્રિયાઓ કરે છે. લૉજિક ગેટનો ઉપયોગ કેલ્ક્યુલેટર, ડિજિટલ ઘડિયાળો, કોમ્પ્યુટર, રોબોટ, ઔદ્યોગિક નિયંત્રક પ્રણાલિઓ અને ટેલિકોમ્યુનિકેશનમાં થાય છે.

તમારા ઘરમાં વપરાતી લાઈટની સ્વિચને ડિજિટલ પરિપથના ઉદાહરણ તરીકે ગણી શકાય. સ્વિચની સ્થિતિના આધારે લાઈટ 'ઑન' કે 'ઑફ' હોઈ શકે. જ્યારે લાઈટ 'ઓન' હોય ત્યારે આઉટપુટનું મૂલ્ય 1 હોય છે. જયારે લાઈટ 'ઑફ' હોય ત્યારે આઉટપુટનું મૂલ્ય '0' હોય છે. લાઈટ સ્વિચની સ્થિતિઓ ઈનપુટ દર્શાવે છે. લાઈટને ચાલુ બંધ કરવા, સ્વિચને ઑન કે ઑફ સ્થિતિમાં મૂકવામાં આવે છે.



(a)

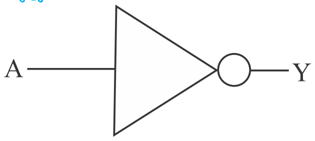


(b)

આકૃતિ 14.27 (a) એનાલોગ સિગ્નલ, (b) ડિજિટલ સિગ્નલ

14.9.1 લૉજિક ગેટ (Logic Gates)

ગેટ એક ડિજિટલ પરિપથ છે જે તેના ઇનપુટ અને આઉટપુટ વોલ્ટેજ વચ્ચેના ચોક્કસ *લૉજિકલ સંબંધો*નું પાલન કરે છે. આથી, તેમને સામાન્ય રીતે *લૉજિક ગેટ* કહે છે. ગેટ એટલા માટે કે તે માહિતીના પ્રસરણનું નિયમન કરે છે. જે પાંચ સામાન્ય લૉજિક ગેટ ઉપયોગમાં લેવાય છે, તે NOT, AND, OR, NAND, NOR છે. દરેક લૉજિક ગેટને યોગ્ય સંજ્ઞા વડે દર્શાવાય છે તથા તેનું કાર્ય તેના *ટ્રુથ ટેબલ* (*સત્યાર્થ સારણી*) વડે વ્યાખ્યાયિત થાય છે જેમાં શક્ય એટલા ઈનપુટના લૉજિક લેવલનાં શક્ય સંયોજનો (Combinations) અને તેમને અનુરૂપ આઉટપુટ લૉજિક લેવલ દર્શાવેલા હોય છે. લૉજિક ગેટનું કાર્ય સમજવા માટે ટ્રુથ ટેબલ ઉપયોગી છે. સેમિકન્ડક્ટર રચનાઓનો ઉપયોગ કરીને આ લૉજિક ગેટ બનાવી શકાય છે.



(a)

ઈનપુટ	આઉટપુટ
A	B
0	1
1	0

(b)

આકૃતિ 14.28 (a) લૉજિક સંજ્ઞા, (b) NOT ગેટનું ટ્રુથ ટેબલ

(i) *NOT ગેટ*

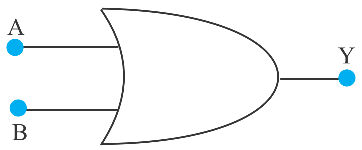
આ સૌથી પ્રાથમિક (મૂળભૂત) ગેટ છે. જેમાં એક ઈનપુટ અને એક આઉટપુટ હોય છે. તેનો ઈનપુટ '0' હોય તો તે આઉટપુટમાં '1' આપે છે અને તેથી ઉલટુ પણ. એટલે કે, તેના આઉટપુટમાં ઈનપુટનું ઉલટું આપે છે. આથી, તેને *ઈનવર્ટર* પણ કહે છે. આકૃતિ 14.28માં આ ગેટની સામાન્ય રીતે ઉપયોગમાં લેવાતી સંજ્ઞા અને તેનું ટ્રુથ ટેબલ દર્શાવેલ છે.

(ii) *OR ગેટ*

OR ગેટને બે કે વધુ ઈનપુટ અને એક આઉટપુટ હોય છે. આકૃતિ 14.29માં તેની લૉજિક સંજ્ઞા અને ટ્રુથ ટેબલ દર્શાવ્યાં છે. જો ઈનપુટ A *અથવા* ઈનપુટ B *અથવા* બંને 1 હોય તો આઉટપુટ Y, 1 હોય છે, એટલે કે જો એક પણ ઈનપુટ ઉચ્ચ (High) (1) હોય તો આઉટપુટ 1 મળે છે.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com



(a)

ઈનપુટ		આઉટપુટ
A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

(b)

આકૃતિ 14.29 OR ગેટ માટે (a) લોજિક સંજ્ઞા, (b) ટ્રુથ ટેબલ

ઉપરનું ગાણિતિક કાર્ય કરવા ઉપરાંત, આ ગેટનો ઉપયોગ નીચેના ઉદાહરણમાં દર્શાવ્યા મુજબ પલ્સના તરંગ સ્વરૂપમાં ફેરફાર કરવા માટે પણ થાય છે.

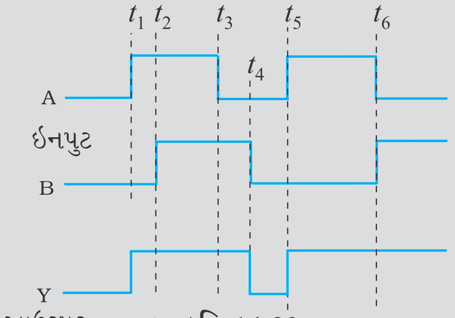
ઉદાહરણ 14.8

ઉદાહરણ 14.8 આકૃતિ 14.30માં દર્શાવ્યા મુજબ આપેલા ઈનપુટ A અને B માટે મળતા OR ગેટના આઉટપુટ (તરંગ સ્વરૂપ) (Y)ની સત્યતા ચકાસો.

ઉકેલ : નીચે મુજબ નોંધ કરો :

- $t < t_1$ માટે, $A = 0, B = 0$; આથી $Y = 0$
- t_1 થી t_2 માટે, $A = 1, B = 0$; આથી $Y = 1$
- t_2 થી t_3 માટે, $A = 1, B = 1$; આથી $Y = 1$
- t_3 થી t_4 માટે, $A = 0, B = 1$; આથી $Y = 1$
- t_4 થી t_5 માટે, $A = 0, B = 0$; આથી $Y = 0$
- t_5 થી t_6 માટે, $A = 1, B = 0$; આથી $Y = 1$
- $t > t_6$ માટે, $A = 0, B = 1$; આથી $Y = 1$

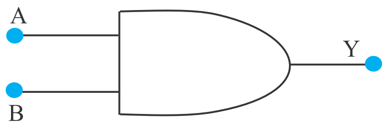
આથી, તરંગ સ્વરૂપ Y આકૃતિ 14.30માં દર્શાવ્યા મુજબ મળશે.



આકૃતિ 14.30

(iii) *AND ગેટ*

AND ગેટને બે કે વધુ ઈનપુટ અને એક આઉટપુટ હોય છે. જ્યારે ઈનપુટ A અને ઈનપુટ B બંને 1 હોય ત્યારે જ AND ગેટનો આઉટપુટ Y, 1 મળે છે. આ ગેટની લોજિક સંજ્ઞા અને ટ્રુથ ટેબલ આકૃતિ 14.31માં દર્શાવ્યા છે.



(a)

ઈનપુટ		આઉટપુટ
A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

(b)

આકૃતિ 14.31 AND ગેટ માટે (a) લોજિક સંજ્ઞા, (b) ટ્રુથ ટેબલ

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

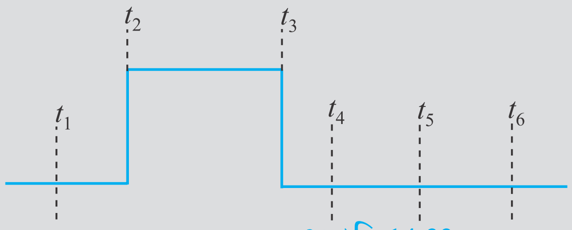
Downloaded from https:// www.studiestoday.com

ઉદાહરણ 14.9 ઉદાહરણ 14.8 પ્રમાણે A અને B ઈનપુટ તરંગ સ્વરૂપ લો. AND ગેટની મદદથી મળતું આઉટપુટ તરંગ સ્વરૂપ દોરો.

ઉકેલ

- $t \le t_1$ માટે, $A=0, B=0$; આથી $Y=0$
- t_1 થી t_2 માટે, $A=1, B=0$; આથી $Y=0$
- t_2 થી t_3 માટે, $A=1, B=1$; આથી $Y=1$
- t_3 થી t_4 માટે, $A=0, B=1$; આથી $Y=0$
- t_4 થી t_5 માટે, $A=0, B=0$; આથી $Y=0$
- t_5 થી t_6 માટે, $A=1, B=0$; આથી $Y=0$
- $t > t_6$ માટે, $A=0, B=1$; આથી $Y=0$

આપેલ મૂલ્યો પરથી, AND ગેટ માટે આઉટપુટ તરંગ સ્વરૂપ, નીચે મુજબ દોરી શકાય.



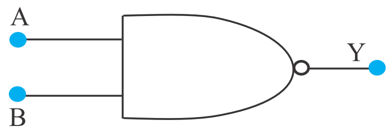
આકૃતિ 14.32

ઉદાહરણ 14.9

(iv) *NAND ગેટ*

AND ગેટના આઉટપુટને NOT ગેટના ઈનપુટમાં આપવાથી આ ગેટ મળે છે. જો ઈનપુટ A *અને* B બંને '1' હોય તો 'Y' આઉટપુટ 1 *નથી* મળતો. આ ગેટનું નામ NOT AND પ્રકારની વર્તણૂકથી પડ્યું છે. આકૃતિ 14.33માં NAND ગેટની સંજ્ઞા અને ટ્રુથ ટેબલ દર્શાવ્યા છે.

NAND ગેટની મદદથી મૂળભૂત લોજિક ગેટ OR, AND, NOT (સ્વાધ્યાય 14.12 અને 14.13) તૈયાર કરી શકાતા હોવાથી NAND ગેટને *સાર્વત્રિક* (*યુનિવર્સલ*) ગેટ પણ કહે છે.



(a)

ઈનપુટ		આઉટપુટ
A	**B**	**Y**
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

(b)

આકૃતિ 14.33 NAND ગેટ માટે (a) લોજિક સંજ્ઞા, (b) ટ્રુથ ટેબલ

ઉદાહરણ 14.10 આપેલ ઈનપુટ A અને B માટે NAND ગેટના આઉટપુટ Y માટે આકૃતિ દોરો.

ઉકેલ

- $t < t_1$ માટે, $A=1, B=1$; આથી $Y=0$
- t_1 થી t_2 માટે, $A=0, B=0$; આથી $Y=1$
- t_2 થી t_3 માટે, $A=0, B=1$; આથી $Y=1$
- t_3 થી t_4 માટે, $A=1, B=0$; આથી $Y=1$

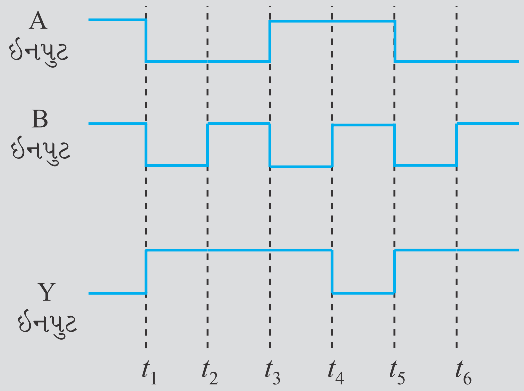
ઉદાહરણ 14.10

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

ઉદાહરણ 14.10

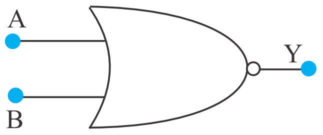
- t_4 થી t_5 માટે, A = 1, B = 1; આથી Y = 0
- t_5 થી t_6 માટે, A = 0, B = 0; આથી Y = 1
- $t > t_6$ માટે, A = 1, B = 1; આથી Y = 1



આકૃતિ 14.34

(v) *NOR ગેટ*

તેને બે કે વધારે ઈનપુટ અને એક આઉટપુટ હોય છે. OR ગેટના આઉટપુટને NOT ગેટના ઈનપુટમાં આપવાથી NOT-OR ગેટ (એટલે કે NOR ગેટ) મળે છે. જો તેના બંને ઈનપુટ A અને B '0' હોય ત્યારે જ તેનો Y આઉટપુટ 1 મળે છે, એટલે કે કોઈ એક અથવા બીજો ઈનપુટ 1 નથી. આકૃતિ 14.35માં NOR ગેટની સંજ્ઞા અને તેનું ટ્રુથ ટેબલ દર્શાવેલ છે.



(a)

ઈનપુટ		આઉટપુટ
A	B	Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

(b)

આકૃતિ 14.35 NOR ગેટ માટે (a) લૉજિક સંજ્ઞા, (b) ટ્રુથ ટેબલ

માત્ર, NOR ગેટનો ઉપયોગ કરીને AND, OR, NOT જેવા મૂળભૂત લૉજિક ગેટ તૈયાર કરી શકતા હોવાથી (સ્વાધ્યાય 14.14 અને 14.15) NOR ગેટને સાર્વત્રિક (યુનિવર્સલ) ગેટ પણ કહે છે.

ઝડપી અને નાનું : કોમ્પ્યુટર ટેક્નોલૉજીનું ભવિષ્ય (FASTER AND SMALLER : THE FUTURE OF COMPUTER TECHNOLOGY)

ઈન્ટિગ્રેટેડ ચીપ (*IC*) એ દરેક કોમ્પ્યુટરનું હૃદય ગણી શકાય. હકીકતમાં તો IC લગભગ બધા વિદ્યુત ઉપકરણોમાં જોવા મળે છે. જેમકે, કાર, ટેલિવિઝન, CD પ્લેયર, સેલ ફોન વગેરે. અર્વાચીન મોડર્ન વ્યક્તિગત કોમ્પ્યુટરનું નાનું કદ IC વગર શક્ય ન હતું. IC એવા વિદ્યુત ઉપકરણો છે કે જે એક જ પેકેજમાં ઘણાં બધા ટ્રાન્ઝિસ્ટર, અવરોધ, કેપેસીટર અને તેમને જોડતાં તાર સમાવે છે. તમે

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

સેમિકન્ડક્ટર ઈલેક્ટ્રૉનિક્સ : દ્રવ્યો, રચનાઓ અને સાદા પરિપથો

*માઈક્રો પ્રોસેસર*નું નામ તો સાંભળ્યું જ હશે. માઈક્રો પ્રોસેસર એવી IC છે કે જે કોમ્પ્યુટરમાં દરેક માહિતી પર પ્રક્રિયા કરે છે, જેમકે કઈ કળો દબાવવામાં આવી છે તેનું ધ્યાન રાખવું, પ્રોગ્રામ ચલાવવા, રમતો (ગેઈમ) ચલાવવી વગેરે. ICની સૌ પ્રથમ શોધ 1958માં ટેક્સાસ ઈન્સ્ટ્રુમેન્ટ્સ ખાતે જેક કિલ્કીએ કરી હતી અને તેના માટે તેમને 2000માં નોબેલ પારિતોષિક એનાયત થયું હતું. સેમિકન્ડક્ટર સ્ફટિક (કે ચીપ)ના ટુકડા પર *ફોટોલિથોગ્રાફી* તરીકે ઓળખાતી પ્રક્રિયા દ્વારા IC બનાવવામાં આવે છે. આમ, સમગ્ર ઈન્ફર્મેશન ટેક્નોલૉજી (IT)ની ઈન્ડસ્ટ્રીઝ સેમીકન્ડક્ટર્સ પર આધારિત છે. વર્ષો જતાં, ICની જટિલતા વધી છે અને તેનું કદ ઘટતું ગયું છે. છેલ્લાં પાંચ દસકામાં, કોમ્પ્યુટર ટેક્નોલૉજીમાં અકલ્પનિય (Dramatic) લઘુકૃતિકરણ (Miniaturisation)ના કારણે અર્વાચિન કોમ્પ્યુટર્સ *ઝડપી અને નાના (કદના)* થયા છે. 1970માં INTELના સહસ્થાપક ગોર્ડન મૂરેએ દર્શાવ્યું હતું કે, IC (ચીપ)ની મેમરી ક્ષમતા દર દોઢ વર્ષે લગભગ બમણી થતી જાય છે. તે *મૂરેના નિયમ* તરીકે જાણીતું છે. ચીપ દીઠ ટ્રાન્ઝિસ્ટરોની સંખ્યા ચરઘાતાંકી રીતે (એક્ષ્પોનન્શીયલી) વધી છે અને દર વર્ષે કોમ્પ્યુટરો વધુ શક્તિશાળી (Powerful) છતાં આગલાં વર્ષ કરતાં સસ્તા બનતા જાય છે. અત્યારના વલણોને આધારે એવું માનવામાં આવે છે કે, 2020માં મળતા કોમ્પ્યુટરો 40 GHz (40,000 MHz) (આવૃત્તિએ) કાર્ય કરતા હશે અને તે ઘણા નાના, વધુ કાર્યક્ષમ અને અત્યારના કોમ્પ્યુટરો કરતાં ઘણાં સસ્તા હશે. સેમીકન્ડક્ટર અને કોમ્પ્યુટર ટેક્નોલૉજીની વિસ્ફોટક વૃદ્ધિને ખૂબ જાણીતા ગોર્ડન મૂરેના વાક્ય (વિધાન) વડે દર્શાવી શકાય : ''જો સેમીકન્ડક્ટર ઈન્ડસ્ટ્રી જેટલી ઝડપથી ઓટોઈન્ડસ્ટ્રીનો વિકાસ થાય તો, રોલ્સ રોય એક ગેલન દીઠ પચાસ લાખ માઈલ ચાલે અને તેને પાર્ક કરવા કરતાં ફેંકી દેવી સસ્તી પડે.''

સારાંશ

1. સેમિકન્ડક્ટર એ વર્તમાન સોલિડ સ્ટેટ ઈલેક્ટ્રૉનિક રચનાઓ (Divices) જેમકે, ડાયોડ, ટ્રાન્ઝિસ્ટર, IC વગેરેમાં વપરાતા પ્રાથમિક (પાયાના) દ્રવ્યો છે.
2. ઘટક તત્ત્વોના સ્ફટિક બંધારણ અને પરમાણ્વિક બંધારણ પરથી નક્કી થાય છે કે આપેલ દ્રવ્ય અવાહક, ધાતુ (વાહક) કે અર્ધવાહક (સેમિકન્ડક્ટર) હશે.
3. ધાતુઓની અવરોધકતા ઓછી હોય છે (10^{-2} થી 10^{-8} Ωm), અવાહકોની અવરોધકતા ઘણી વધુ હોય છે ($> 10^8$ Ωm), જ્યારે અર્ધવાહકોની (સેમિકન્ડક્ટરોની) અવરોધકતા આ બેની વચ્ચે હોય છે.
4. સેમિકન્ડક્ટર (Si, Ge) જેવા તત્ત્વોના તેમજ (GaAs, CdS વગેરે) સંયોજનોના બનેલા હોય છે.
5. શુદ્ધ સેમિકન્ડક્ટરને આંતરિક '(ઈન્ટ્રીન્ઝીક) સેમીકન્ડક્ટર્સ' કહેવાય છે. વિદ્યુતભાર વાહકો (ઈલેક્ટ્રૉન અને હોલ)ની હાજરી એ દ્રવ્યનો 'આંતરિક' ગુણધર્મ છે જે ઉષ્મીય ઉદ્દીપનના કારણે ઉદ્‌ભવે છે. શુદ્ધ અર્ધવાહકોમાં ઈલેક્ટ્રૉનની સંખ્યા (n_e) અને હોલની સંખ્યા (n_h) એક સરખી હોય છે. હોલ એ ખરેખર તો ઈલેક્ટ્રૉનની ખાલી જગ્યા છે જે અસરકારક ધન વિદ્યુતભાર ધરાવે છે.
6. શુદ્ધ સેમિકન્ડક્ટરોમાં યોગ્ય અશુદ્ધિનું 'ડોપિંગ' કરવાથી વિદ્યુત વાહકોની સંખ્યા બદલી શકાય છે. આવા સેમિકન્ડક્ટરોને એક્સ્ટ્રીન્ઝીક (અશુદ્ધ) સેમિકન્ડક્ટરો કહે છે. તે બે પ્રકારના હોય છે (n-પ્રકારના અને p-પ્રકારના).
7. n-પ્રકારના સેમિકન્ડક્ટરોમાં $n_e >> n_h$, જ્યારે p-પ્રકારના સેમિકન્ડક્ટરોમાં $n_h >> n_e$.
8. n-પ્રકારના Si કે Ge અર્ધવાહક મેળવવા માટે પેન્ટાવેલન્ટ પરમાણુઓ (ડોનર કે દાતા) જેમ કે, As, Sb, P વગેરેનું ડોપિંગ કરવામાં આવે છે, જ્યારે p-પ્રકારના Si કે Ge અર્ધવાહક મેળવવા માટે ટ્રાઈવેલન્ટ પરમાણુઓ (એક્સેપ્ટર કે ગ્રાહી) જેમ કે, B, Al, In વગેરેનું ડોપિંગ કરવામાં આવે છે.
9. દરેક કિસ્સામાં $n_e n_h = n_i^2$ તથા દ્રવ્ય *સમગ્રપણે વિદ્યુતભાર તટસ્થતા* ધરાવે છે.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

10. કોઈ પણ દ્રવ્યના ઇલેક્ટ્રૉનો બે અલગ ઊર્જા બૅન્ડ (જેમને વેલેન્સ બૅન્ડ અને કન્ડક્શન બૅન્ડ કહે છે)માંથી કોઈ એકમાં હોઈ શકે. કન્ડક્શન બૅન્ડ ઊર્જાઓની સરખામણીમાં વેલેન્સ બૅન્ડ ઊર્જા ઓછી હોય છે. વેલેન્સ બૅન્ડના બધાં ઊર્જા સ્તરો ભરાયેલા હોય છે જ્યારે કન્ડક્શન બૅન્ડના ઊર્જા સ્તરો સંપૂર્ણ ખાલી કે અધુરા ભરેલા હોઈ શકે. કન્ડક્શન બૅન્ડમાં રહેલાં ઇલેક્ટ્રૉન ઘન પદાર્થમાં ગતિ કરવા માટે મુક્ત હોય છે અને તે વાહકતા માટે જવાબદાર હોય છે. વાહકતાની માત્રા (પ્રમાણ), વેલેન્સ બૅન્ડ (E_V)ના મહત્તમ સ્તર અને કન્ડક્શન બૅન્ડના તળિયા (લઘુત્તમ) સ્તર E_C વચ્ચે ઊર્જા તફાવત (E_g બૅન્ડ ગેપ) પર આધાર રાખે છે. વેલેન્સ બૅન્ડમાં રહેલા ઇલેક્ટ્રૉનને ઉષ્મા, પ્રકાશ અને વિદ્યુતઊર્જા વડે ઉદ્દીપ્ત કરીને કન્ડક્શન બૅન્ડમાં મોકલી શકાય છે, જેથી સેમિકન્ડક્ટરમાં પસાર થતો પ્રવાહ બદલાય છે.
11. અવાહકો માટે $E_g > 3\ eV$, સેમિકન્ડક્ટરો માટે E_gનું મૂલ્ય 0.2થી 3 eV, જ્યારે ધાતુઓ માટે $E_g \approx 0$ હોય છે.
12. બધી અર્ધવાહક રચનાઓ માટે *p-n* જંક્શન મહત્વનું છે. જ્યારે આવું જંક્શન બને છે, ત્યારે ઇલેક્ટ્રૉન અને હોલ ગુમાવેલા હોય તેવું બિન-ગતિશીલ આયન-કેન્દ્રો ધરાવતું 'ડીપ્લેશન સ્તર' રચાય છે. તે જંક્શનના પોટેન્શિયલ બેરિયર માટે જવાબદાર છે.
13. આપેલ બાહ્ય વોલ્ટેજ બદલીને જંક્શન બેરીયર (ની ઊંચાઈ) બદલી શકાય છે. ફોરવર્ડ બાયસમાં (*n*-બાજુ બેટરીના ઋણ છેડા સાથે અને *p*-બાજુ ધન છેડા સાથે જોડેલી હોય છે). બેરીયર (ની ઊંચાઈ) ઘટે છે, જ્યારે રિવર્સ બાયસમાં બેરીયર વધે છે. આથી *p-n* જંક્શન ડાયોડમાં ફોરવર્ડ બાયસ પ્રવાહ વધુ (mA) હોય છે જ્યારે રિવર્સ બાયસમાં પ્રવાહ ઘણો ઓછો (μA) હોય છે.
14. એસી વોલ્ટેજને રેક્ટિફાય કરવા (જે એસી વોલ્ટેજને એક જ દિશામાં વહેવા દે છે) માટે ડાયોડનો ઉપયોગ થાય છે. કેપેસીટર કે યોગ્ય ફિલ્ટરનો ઉપયોગ કરીને ડીસી વોલ્ટેજ મેળવી શકાય છે.
15. કેટલાક વિશિષ્ટ હેતુ માટેના ડાયોડ પણ હોય છે.
16. ઝેનર ડાયોડ આવો જ એક વિશિષ્ટ હેતુ માટેનો ડાયોડ છે. રીવર્સ બાયસમાં, અમુક ચોક્કસ વોલ્ટેજ પછી, ઝેનર ડાયોડમાંથી પસાર થતો પ્રવાહ અચાનક વધે છે (બ્રેકડાઉન વોલ્ટેજ). આ ગુણધર્મનો ઉપયોગ *વોલ્ટેજ રેગ્યુલેશન*માં થાય છે.
17. *p-n* જંક્શનનો ઉપયોગ કેટલાક ફોટોનિક કે ઓપ્ટોઇલેક્ટ્રૉનિક ઉપકરણો બનાવવામાં પણ થાય છે, જેમાં ફોટોન ભાગ લે છે. (a) ફોટોડાયોડમાં ફોટોન વડે ઉદ્દીપન થતાં રિવર્સ સેચ્યુરેશન પ્રવાહ બદલાય છે, જેના પરથી પ્રકાશની તીવ્રતા માપી શકાય છે. (b) સોલર સેલ, ફોટોન ઊર્જાનું વિદ્યુતમાં રૂપાંતર કરે છે. (c) લાઇટ એમિટીંગ ડાયોડ અને લેસર ડાયોડમાં બાયસ વોલ્ટેજ વડે ઇલેક્ટ્રૉનનું ઉદ્દિપન થતાં પ્રકાશ ઉદ્ભવે છે.
18. એવા કેટલાક ચોક્કસ પ્રકારના પરિપથો છે, જે 0 અને 1 સ્તર ધરાવતા ડિજિટલ ડેટા સાથે કામ પાર પાડે છે. તે ડિજિટલ ઇલેક્ટ્રૉનિક્સના વિષયમાં આવે છે.
19. ચોક્કસ પ્રકારના લોજિક કાર્યો કરતા અગત્યના ડિજિટલ પરિપથોને લોજિક ગેટ કહે છે : તેઓ OR, AND, NOT, NAND અને NOR ગેટ છે.

ગહન વિચારણાના મુદ્દાઓ

1. સેમિકન્ડક્ટરોમાં ઊર્જા પટો (E_C અથવા E_V) પદાર્થમાં કોઈ ચોક્કસ સ્થાન પર ગોઠવાયેલા હોતા નથી. આ ઊર્જાઓ તેમના સમગ્રપણે સરેરાશ મૂલ્યો હોય છે. જ્યારે તમે ચિત્રમાં E_C કે E_Vને સીધી (આડી) રેખા તરીકે જુઓ ત્યારે તેમનો અર્થ એ સમજવો જોઈએ કે તે અનુક્રમે કન્ડક્શન બૅન્ડના ઊર્જા સ્તરોનું *તળિયું* કે વેલેન્સ બૅન્ડના ઊર્જા સ્તરોનું *ટોચનું* સ્તર છે.
2. તાત્વિક સેમિકન્ડક્ટર (Si કે Ge)માંથી *n*-પ્રકાર કે *p*-પ્રકારના સેમિકન્ડક્ટર મેળવવા તેમાં 'ડોપન્ટ'ને અશુદ્ધિ તરીકે ઉમેરવામાં આવે છે. સંયોજન સેમિકન્ડક્ટરમાં તેમના સાપેક્ષ પ્રમાણમાં ફેરફાર કરવાથી સેમિકન્ડક્ટરનો પ્રકાર બદલી શકાય છે. ઉદાહરણ તરીકે, આદર્શ

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

GaAsમાં Ga : Asનો ગુણોત્તર 1 : 1 છે પરંતુ Ga-Rich અથવા As-Richમાં તે પ્રમાણ અનુક્રમે $Ga_{1.1}As_{0.9}$ અથવા $Ga_{0.9}As_{1.1}$ હોઈ શકે. વ્યાપક રૂપે અશુદ્ધિઓનું પ્રમાણ, સેમીકન્ડક્ટરના ગુણધર્મો ઘણી રીતે બદલે છે.

3. વર્તમાન સમયના પરિપથમાં ઘણા લોજિક ગેટ કે પરિપથો એક જ 'ચીપ' પર રચવામાં આવે છે (ઇન્ટિગ્રેટ કરવામાં આવે છે). તેમને ઇન્ટિગ્રેટેડ સર્કિટ (IC) કહે છે.

સ્વાધ્યાય

14.1 *n*-પ્રકારના સિલિકોન માટે નીચેના વિધાનોમાંથી કયું સાચું છે ?
(a) ઇલેક્ટ્રૉન મેજોરિટી વાહકો છે અને ટ્રાઈવેલન્ટ પરમાણુઓ ડોપન્ટ છે.
(b) ઇલેક્ટ્રૉન માઇનોરિટી વાહકો છે અને પેન્ટાવેલન્ટ પરમાણુઓ ડોપન્ટ છે.
(c) હોલ્સ માઈનોરિટી વાહકો છે અને પેન્ટાવેલન્ટ પરમાણુઓ ડોપન્ટ છે.
(d) હોલ્સ મેજોરિટી વાહકો છે અને ટ્રાઈવેલન્ટ પરમાણુઓ ડોપન્ટ છે.

14.2 *p*-પ્રકારના સેમિકન્ડક્ટર માટે સ્વાધ્યાય 14.1માં આપેલ કયા વિધાન સત્ય છે ?

14.3 કાર્બન, સિલિકોન અને જર્મેનિયમ દરેકને ચાર વેલેન્સ ઇલેક્ટ્રૉન હોય છે. તેમને અનુક્રમે $(E_g)_C$, $(E_g)_{Si}$ અને $(E_g)_{Ge}$ જેટલા ઊર્જા બૅન્ડ ગેપ વડે છુટા પાડતા વેલેન્સ અને કન્ડક્શન બૅન્ડ વડે દર્શાવવામાં આવે છે. નીચેનામાંથી કયું વિધાન સત્ય છે ?
(a) $(E_g)_{Si} < (E_g)_{Ge} < (E_g)_C$
(b) $(E_g)_C < (E_g)_{Ge} > (E_g)_{Si}$
(c) $(E_g)_C > (E_g)_{Si} > (E_g)_{Ge}$
(d) $(E_g)_C = (E_g)_{Si} = (E_g)_{Ge}$

14.4 બાયસિંગ કર્યા વગરના *p-n* જંક્શનમાં, હોલ *p*-વિસ્તારમાંથી *n*-વિસ્તારમાં વિસરણ (Diffuse) પામે છે કારણ કે,
(a) *n*-વિસ્તારના મુક્ત ઇલેક્ટ્રૉન તેમને આકર્ષે છે.
(b) તેઓ સ્થિતિમાન તફાવતના કારણે જંક્શનમાં થઈને ગતિ કરે છે.
(c) *p*-વિસ્તારમાં હોલની સંખ્યા-ઘનતા *n*-વિસ્તાર કરતાં વધુ હોય છે.
(d) ઉપરના બધા.

14.5 જ્યારે *p-n* જંક્શનને ફોરવર્ડ બાયસ આપવામાં આવે, ત્યારે તે
(a) પોટેન્શિયલ બેરિયર (ની ઊંચાઈ) વધારે છે.
(b) બહુમતી વાહકોનો પ્રવાહ ઘટાડીને શૂન્ય કરે છે.
(c) પોટેન્શિયલ બેરિયલ (ની ઊંચાઈ) ઘટાડે છે.
(d) ઉપરનામાંથી એકપણ નહીં.

14.6 અર્ધ તરંગ રેક્ટિફિકેશનમાં ઈનપુટ આવૃત્તિ 50 Hz હોય તો આઉટપુટ આવૃત્તિ કેટલી હશે ? આ જ ઈનપુટ આવૃત્તિ માટે પૂર્ણ તરંગ રેક્ટિફાયરની આઉટપુટ આવૃત્તિ કેટલી હશે ?

14.7 2.8 *e*Vની બૅન્ડ ગેપ ધરાવતા સેમીકન્ડક્ટરમાંથી *p-n* ફોટો ડાયોડ બનાવેલ છે. શું તે 6000 nmની તરંગલંબાઈની પરખ (Detect) કરી શકશે ?

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

વધારાના સ્વાધ્યાય

14.8 એક m^3 દીઠ સિલિકોનના પરમાણુઓની સંખ્યા 5×10^{28} છે. તેને એક જ સમયે (એક સાથે) આર્સેનિકના 5×10^{22} પરમાણુ/m^3 અને ઈન્ડિયમના 5×10^{20} પરમાણુ/m^3 વડે ડોપિંગ કરવામાં આવે છે. ઇલેક્ટ્રૉન અને હોલની સંખ્યા ગણો. આપેલ છે કે $n_i = 1.5 \times 10^{16}/m^3$. આ દ્રવ્ય *n*-પ્રકારનું કે *p*-પ્રકારનું હશે ?

14.9 ઈન્ટ્રિન્ઝિક (શુદ્ધ) સેમીકન્ડક્ટરમાં ઊર્જા તફાવત $E_g = 1.2\ eV$ છે. તેની હોલ ગતિશીલતા, ઇલેક્ટ્રૉનની ગતિશીલતા (Mobility) કરતાં ઘણી ઓછી છે અને તે તાપમાન પર આધારિત નથી. તો 600 K અને 300 K તાપમાને તેની વાહકતાનો ગુણોત્તર કેટલો હશે ? શુદ્ધ (ઈન્ટ્રિન્ઝિક) વાહકની સંખ્યા ઘનતા *n*નો તાપમાન પરનો આધાર, સમીકરણ

$$n_i = n_0 \exp\left(-\frac{E_g}{2k_BT}\right)$$ વડે અપાય છે તેમ ધારો.

અહીંયા, n_o એ અચળાંક છે.

14.10 *p-n* જંકશન ડાયોડમાં, પ્રવાહ Iનું સમીકરણ આ મુજબ છે :

$$I = I_0 \exp\left(\frac{eV}{2k_BT} - 1\right)$$

જ્યાં, I_0ને રિવર્સ સેચ્યુરેશન પ્રવાહ કહે છે, V એ ડાયોડના છેડાઓ વચ્ચે લાગતો વોલ્ટેજ છે. જે ફોરવર્ડ બાયસ માટે ધન અને રિવર્સ બાયસ માટે ઋણ છે, તથા I એ ડાયોડમાંથી પસાર થતો પ્રવાહ, k_B બૉલ્ટ્ઝમાન અચળાંક (8.6×10^{-5} eV/K) અને T નિરપેક્ષ તાપમાન છે. જો આપેલ ડાયોડ માટે $I_0 = 5 \times 10^{-12}$ A અને T = 300 K હોય, તો

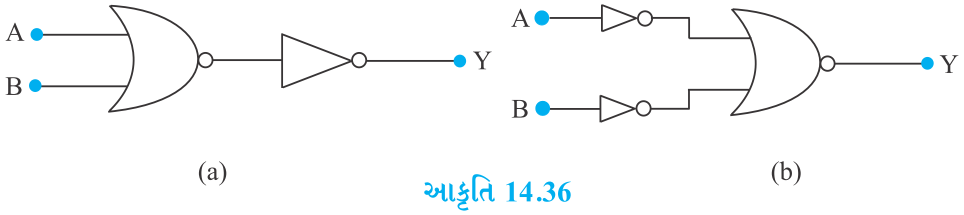
(*a*) 0.6 V જેટલા ફોરવર્ડ વોલ્ટેજ માટે ફોરવર્ડ પ્રવાહ કેટલો હશે ?

(*b*) જો ડાયોડ પરનો વોલ્ટેજ વધારીને 0.7 V કરવામાં આવે તો તેમાંથી પસાર થતાં પ્રવાહમાં કેટલો વધારો થશે ?

(*c*) ડાયનેમિક ચલ (Dynamic) અવરોધ કેટલો હશે ?

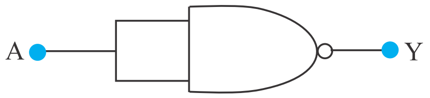
(*d*) જો રિવર્સ બાયસ વોલ્ટેજ 1 Vથી 2 V થાય તો પ્રવાહનું મૂલ્ય શોધો.

14.11 આકૃતિ 14.36માં દર્શાવ્યા મુજબ તમને બે પરિપથ આપવામાં આવ્યા છે. દર્શાવો કે પરિપથ (*a*) OR ગેટ તરીકે અને પરિપથ (*b*) AND ગેટ તરીકે કામ કરે છે.



આકૃતિ 14.36

14.12 આકૃતિ 14.37માં દર્શાવ્યા મુજબ જોડેલ NAND ગેટના પરિપથ માટે ટ્રુથ ટેબલ લખો.



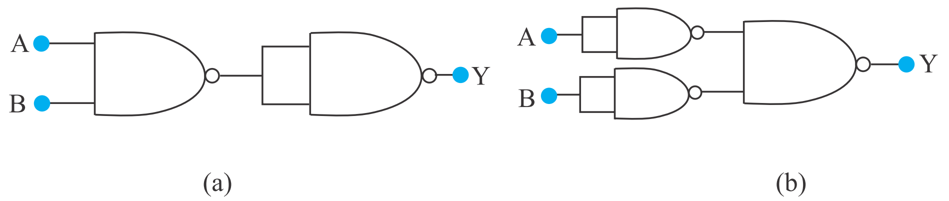
આકૃતિ 14.37

આ પરથી આ પરિપથ વડે થતું ચોક્કસ લોજિક કાર્ય (Operation) જણાવો.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

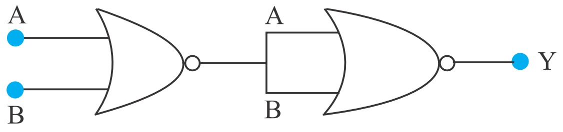
Downloaded from https:// www.studiestoday.com

14.13 આકૃતિ 14.38માં દર્શાવ્યા મુજબ તમને NAND ગેટના બનેલા બે પરિપથ આપવામાં આવ્યા છે. આ બંને પરિપથો વડે થતું લોજિક ઓપરેશન નક્કી કરો.



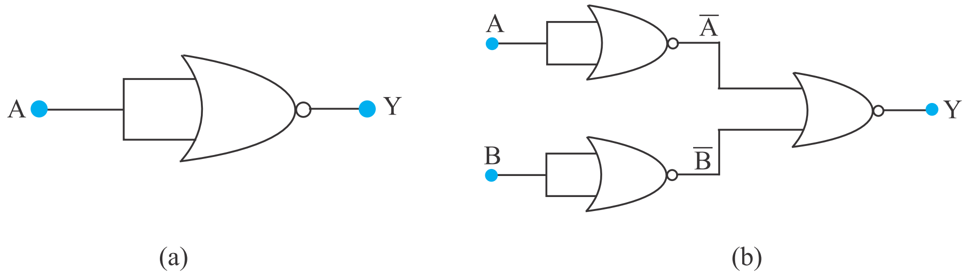
આકૃતિ 14.38

14.14 NOR ગેટનો ઉપયોગ કરીને બનેલા નીચેની આકૃતિ 14.39માં આપેલ પરિપથ માટે ટ્રુથ ટેબલ લખો અને આ પરિપથ કયું લોજિક ઓપરેશન (OR, AND, NOT) કરે છે તે નક્કી કરો. (Hint : જો A = 0, B = 1 તો બીજા NOR ગેટના A અને B ઈનપુટ 0 હશે અને તેથી Y = 1. તે જ રીતે A અને Bના બીજા મૂલ્યો માટે Yના મૂલ્યો શોધો. આ ટ્રુથ ટેબલને OR, AND, NOT ગેટના ટ્રુથ ટેબલ સાથે સરખાવો અને સાચો જવાબ શોધો).



આકૃતિ 14.39

14.15 માત્ર NOR ગેટનો ઉપયોગ કરીને આકૃતિ 14.40 મુજબ બનતા પરિપથો માટે ટ્રુથ ટેબલ લખો. આ પરિપથો વડે થતા લોજિક ઓપરેશન (OR, AND, NOT) નક્કી કરો.



આકૃતિ 14.40

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

પરિશિષ્ટ (APPENDICES)

પરિશિષ્ટ A 1
ગ્રીક આલ્ફાબેટ

આલ્ફા (Alpha)	A	α	ન્યુ (Nu)	N	ν
બીટા (Beta)	B	β	ક્ઝાઈ (Xi)	Ξ	ξ
ગામા (Gamma)	Γ	γ	ઓમિક્રોન (Omicron)	O	o
ડેલ્ટા (Delta)	Δ	δ	પાઈ (Pi)	Π	π
એપ્સિલોન (Epsilon)	E	ε	રહો (Rho)	P	ρ
ઝીટા (Zeta)	Z	ς	સિગ્મા (Sigma)	Σ	σ
ઈટા (Eta)	H	η	ટાઉ (Tau)	T	τ
થીટા (Theta)	Θ	θ	અપ્સિલોન (Upsilon)	Y	υ
આયોટા (Iota)	I	ι	ફાઈ (Phi)	Φ	ϕ, φ
કેપ્પા (Kappa)	K	κ	ઝાઈ (Chi)	X	χ
લૅમ્ડા (Lambda)	Λ	λ	સાઈ (Psi)	Ψ	ψ
મ્યુ (Mu)	M	μ	ઓમેગા (Omega)	Ω	ω

પરિશિષ્ટ A 2
ગુણકો અને અપૂર્ણાંક ગુણકો માટે સામાન્ય SI પૂર્વગો અને પ્રતિકો

અવયવ	પૂર્વગ	પ્રતિક	અવયવ	પૂર્વગ	પ્રતિક
10^{18}	એક્ઝા (Exa)	E	10^{-18}	ઍટો (atto)	a
10^{15}	પેટા (Peta)	P	10^{-15}	ફેમ્ટો (femto)	f
10^{12}	ટેરા (Tera)	T	10^{-12}	પિકો (pico)	p
10^{9}	ગિગા (Giga)	G	10^{-9}	નેનો (nano)	n
10^{6}	મેગા (Mega)	M	10^{-6}	માઈક્રો (micro)	μ
10^{3}	કિલો (kilo)	k	10^{-3}	મિલિ (milli)	m
10^{2}	હેક્ટો (Hecto)	h	10^{-2}	સેન્ટિ (centi)	c
10^{1}	ડેકા (Deca)	da	10^{-1}	ડેસિ (deci)	d

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

પરિશિષ્ટ A 3
કેટલાક અગત્યના અચળાંકો

નામ	પ્રતિક	મૂલ્ય
શૂન્યાવકાશમાં પ્રકાશની ઝડપ	c	2.9979×10^{8} m s^{-1}
ઇલેક્ટ્રૉનનો વિદ્યુતભાર	e	1.602×10^{-19} C
ગુરુત્વાકર્ષી અચળાંક	G	6.673×10^{-11} N m^{2} kg^{-2}
પ્લાન્ક અચળાંક	h	6.626×10^{-34} J s
બોલ્ટ્ઝમૅન અચળાંક	k	1.381×10^{-23} J K^{-1}
ઍવોગેડ્રો અંક	N_A	6.022×10^{23} mol^{-1}
સાર્વત્રિક વાયુ-અચળાંક	R	8.314 J mol^{-1}K^{-1}
ઇલેક્ટ્રૉનનું દળ	m_e	9.110×10^{-31} kg
ન્યુટ્રૉનનું દળ	m_n	1.675×10^{-27} kg
પ્રોટોનનું દળ	m_p	1.673×10^{-27} kg
ઇલેક્ટ્રૉનના વિદ્યુતભાર અને દળનો ગુણોત્તર	e/m_e	1.759×10^{11} C/kg
ફેરેડે અચળાંક	F	9.648×10^{4} C/mol
રીડબર્ગ અચળાંક	R	1.097×10^{7} m^{-1}
બોહ્ર ત્રિજ્યા	a_0	5.292×10^{-11} m
સ્ટીફન-બોલ્ટ્ઝમૅન અચળાંક	σ	5.670×10^{-8} W m^{-2}K^{-4}
વીનનો અચળાંક	b	2.898×10^{-3} m K
શૂન્યાવકાશનો પરાવૈદ્યુતાંક (પરમિટીવીટી)	ε_0 $1/4\pi\varepsilon_0$	8.854×10^{-12} C^{2}N^{-1}m^{-2} 8.987×10^{9} N m^{2}C^{-2}
શૂન્યાવકાશની પારગમ્યતા (પરમિએબીલીટી)	μ_0	$4\pi \times 10^{-7}$ T m A^{-1} $\cong 1.257 \times 10^{-6}$ Wb A^{-1}m^{-1}

બીજા ઉપયોગી અચળાંકો

નામ	પ્રતિક	મૂલ્ય
ઉષ્માનો યાંત્રિક તુલ્યાંક	J	4.186 J cal^{-1}
પ્રમાણભૂત વાતાવરણનું દબાણ	1 atm	1.013×10^{5} Pa
નિરપેક્ષ શૂન્ય	0 K	−273.15 °C
ઇલેક્ટ્રૉન વૉલ્ટ	1 eV	1.602×10^{-19} J
યુનિફાઇડ એટોમિક માસ યુનિટ	1 u	1.661×10^{-27} kg
ઇલેક્ટ્રૉનની સ્થિરઊર્જા	mc^2	0.511 MeV
I u ને સમતુલ્ય ઊર્જા	1 uc^2	931.5 MeV
આદર્શ વાયુનું કદ (0°C અને 1 વાતા.)	V	22.4 L mol^{-1}
ગુરુત્વપ્રવેગ (વિષુવવૃત્ત પાસે દરિયાની સપાટીએ)	g	9.78049 m s^{-2}

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

જવાબો (Answers)

પ્રકરણ 9

9.1 $\upsilon = -54$ cm પ્રતિબિંબ વાસ્તવિક, ઊંધુ અને મોટું. પ્રતિબિંબની ઊંચાઈ 0.5 cm, જો $u \rightarrow f$ તો $\upsilon \rightarrow \infty$, $u < f$ માટે પ્રતિબિંબ આભાસી

9.2 $\upsilon = 6.7$ cm, મોટવણી 5/9 એટલે કે પ્રતિબિંબનાં પરિમાણ 2.5 cm
જો $u \rightarrow \infty$, તો $\upsilon \rightarrow f$ (પરંતુ તેથી દૂર નહિ) અને $m \rightarrow 0$

9.3 1.33; 1.7 cm

9.4 $n_{ga} = 1.51$; $n_{wa} = 1.32$; $n_{gw} = 1.144$ જે પરથી,
$\sin r = 0.6181$ એટલે કે $r \cong 38^{\circ}$ મળે છે.

9.5 $r = 0.8 \times \tan i_c$ અને $\sin i_c = 1/1.33 \cong 0.75$ જ્યાં r, જ્યાંથી પ્રકાશ બહાર આવે છે તે મોટામાં મોટા વર્તુળની ત્રિજ્યા (m માં) છે. અને i_c પાણી-હવાની આંતર સપાટીએ ક્રાંતિકોણ છે, ક્ષેત્રફળ $= 2.6$ m^2

9.6 $n \cong 1.53$ અને પાણીમાં રહેલા પ્રિઝમ માટે $D_m \cong 10^{\circ}$

9.7 R = 22 cm

9.8 અહીં, વસ્તુ આભાસી અને પ્રતિબિંબ વાસ્તવિક છે. $u = +12$ cm (વસ્તુની જમણી બાજુએ છે, આભાસી)
(a) $f = 20$ cm, પ્રતિબિંબ વાસ્તવિક અને લેન્સથી 7.5 cm અંતરે તેની જમણી બાજુએ છે.
(b) $f = -16$ cm, પ્રતિબિંબ વાસ્તવિક અને લેન્સથી 48 cm અંતરે તેની જમણી બાજુએ છે.

9.9 $\upsilon = 8.4$ cm, પ્રતિબિંબ આભાસી અને સીધું (ચત્તું) છે. તેનાં પરિમાણ 1.8 cm સુધી ઘટેલા છે. જેમ $u \rightarrow \infty$, $\upsilon \rightarrow f$ (પરંતુ fની દૂર નહિ, જો કે $m \rightarrow 0$) નોંધો કે અંતર્ગોળ લેન્સનાં મુખ્યકેન્દ્ર (21 cm)પર મૂકતાં પ્રતિબિંબ 10.5 cm પર મળે છે. (કોઈ ભુલથી વિચારે કે અનંત અંતરે છે તેમ નહિ.)

9.10 60 cm કેન્દ્રલંબાઈવાળો અપસારી લેન્સ.

9.11 (a) $\upsilon_e = -25$ cm અને $f_e = 6.25$ cm પરથી $u_e = -5$ cm; $\upsilon_0 = (15 - 5)$cm $= 10$ cm;
$f_0 = u_0 = -2.5$ cm, મેગ્નિફાઈંગ પાવર = 20
(b) $u_0 = -2.59$ cm, મેગ્નિફાઈંગ પાવર = 13.5

9.12 25 cm અંતરે આવેલ પ્રતિબિંબ માટે નેત્ર કાચની કોણીય મોટવણી $= \frac{25}{2.5} + 1 = 11$;
$|u_e| = \frac{25}{11}$ cm $= 2.27$ cm; $\upsilon_0 = 7.2$ cm, અંતર $= 9.47$ cm, મેગ્નિફાઈંગ પાવર = 88

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

જવાબો (Answers)

9.13 24; 150 cm

9.14 (a) કોણીય મોટવણી = 1500

(b) પ્રતિબિંબનો વ્યાસ = 13.7 cm

9.15 આપેલ સ્થિતિ માટે ઈચ્છિત પરિણામો તારવવા અરીસાનું સૂત્ર લાગુ પાડતાં,

(a) $f < 0$ (અંતર્ગોળ અરીસો), $u < 0$ (વસ્તુ ડાબી બાજુએ)

(b) $f > 0, u < 0$

(c) $f > 0$ (બહિર્ગોળ અરીસો) અને $u < 0$

(d) $f < 0$ (અંતર્ગોળ અરીસો), $f < u < 0$

9.16 પીનની ઊંચાઈ 5 cm વધે છે. સ્પષ્ટ કિરણ રેખાકૃતિ દ્વારા જોઈ શકાય છે કે જવાબ ચોસલા (સ્લેબ)નાં સ્થાનથી સ્વતંત્ર છે (નાના આપાતકોણ માટે).

9.17 (a) $\sin i'_c = 1.44/1.68$ પરથી $i'_c = 59^\circ$ મળે છે. જ્યારે $i = 59^\circ$ અથવા $r < r_{\max} = 31^\circ$ હોય ત્યારે પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તન થાય છે. હવે $(\sin i_{max} / \sin r_{\max}) = 1.68$. જે પરથી $i_m \cong 60^\circ$. આમ, આપાત થતા બધા જ કિરણો કે જેનાં આપાતકોણનો વિસ્તાર $0 < i < 60^\circ$ છે, તે બધા જ પાઈપમાં પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તન પામશે. (પાઈપની લંબાઈ પરિમિત હોય (વ્યવહારમાં આવું હોય છે) તો i નું કંઈક લઘુત્તમ સિમાંત મૂલ્ય હોય છે, જે પાઈપનાં વ્યાસ અને લંબાઈનાં ગુણોત્તર દ્વારા મેળવી શકાય છે.)

(b) પાઈપનાં બહારના ભાગ પર કોઈ જ આવરણ ચઢાવેલ ન હોય; તો, $i'_c = \sin^{-1}(1/1.68) = 36.5^\circ$. હવે, $i = 90^\circ$ પરથી $r = 36.5^\circ$ અને $i' = 53.5^\circ$ જે i'_c કરતાં મોટું મૂલ્ય છે. આમ, બધા જ આપાત કિરણો (જેનાં આપાતકોણનો વિસ્તાર $53.5^\circ < i < 90^\circ$) પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તન અનુભવશે.

9.18 (a) સમતલ અથવા બહિર્ગોળ અરીસાની પાછળ કોઈ એક બિંદુએ અભિસારિત થતાં કિરણો અરીસાની સામે કે પડદા પર કોઈ એક બિંદુ પર પરાવર્તન પામે છે. બીજા શબ્દોમાં જો વસ્તુ આભાસી હોય તો સમતલ અથવા બહિર્ગોળ અરીસા વડે વાસ્તવિક પ્રતિબિંબ મેળવી શકાય. યોગ્ય કિરણ રેખાકૃતિ ,આ બાબત દોરી તમારી જાતે ખાતરી કરો.

(b) જ્યારે પરાવર્તિત અથવા વક્રીભૂત કિરણો અપસારી (એકબીજાથી દૂર જતા) હોય ત્યારે પ્રતિબિંબ આભાસી હોય છે. અપસારિત કિરણોને યોગ્ય અભિસારિત લેન્સ દ્વારા પડદા પર કેન્દ્રિત કરી શકાય છે. આંખનો બહિર્ગોળ લેન્સ આવું જ કરે છે. અહીં, આભાસી પ્રતિબિંબ લેન્સ માટે વસ્તુ તરીકે વર્તે છે, જેથી વાસ્તવિક પ્રતિબિંબ રચે છે. નોંધો કે અહીં આભાસી પ્રતિબિંબનાં સ્થાને પડદોરહેલ નથી. અહીં કોઈ વિરોધાભાસ નથી.

(c) ઊંચું.

(d) ત્રાંસી નજરે જોતાં મળતી આભાસી ઊંડાઈ, લંબની નજીકથી જોતાં મળતી ઊંચાઈ કરતાં ઓછી હોય છે. આ બાબતની તમે જાતે ચકાસણી અવલોકનકારની જુદી-જુદી સ્થિતિ માટેની કિરણ રેખાકૃતિ દોરીને કરી શકો છો.

(e) સામાન્ય કાચનાં વક્રીભવનાંક (1.5) કરતાં હીરાનો વક્રીભવનાંક (2.42) ઘણો વધુ છે. હીરા માટે ક્રાંતિકોણ (24°) કાચ માટેના ક્રાંતિકોણ કરતાં ઘણો ઓછો છે. કુશળ હીરાના કારીગરો (હીરામાં) આપાતકોણની વિશાળ શ્રેણી (24° થી 90°) તૈયાર કરે છે. જેથી હીરામાં પ્રવેશતો પ્રકાશ બહાર નીકળતાં પહેલાં ઘણી બધી સપાટીઓ પરથી પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તન અનુભવે છે. આમ, હીરો ઝગારા મારતી (sparkling) અસર દર્શાવે છે.

9.19 વસ્તુ અને પડદા વચ્ચેનાં નિશ્ચિત અંતર s માટે જો f નું મૂલ્ય $s/4$ કરતાં મોટું હોય તો લેન્સ સમીકરણ u અથવા v નો સાચો ઉકેલ આપી શકતું નથી. તેથી $f_{\max} = 0.75$ m

9.20 21.4 cm

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

9.21 (a) (i) ધારોકે ધારોકે પ્રથમ બહિર્ગોળ લેન્સ પર તેની ડાબી તરફથી સમાંતર કિરણ જૂથ આપાત થાય છે. $f_1 = 30$ cm અને $u_1 = -\infty$, $\upsilon_1 = 30$ cm. આ પ્રતિબિંબ બીજા લેન્સ માટે આભાસી વસ્તુ બને છે. $f_2 = -20$ cm, $u_2 = +(30 - 8)$ cm $= +22$ cm તે પરથી $\upsilon_2 = -220$ cm. બે લેન્સથી બનેલા તંત્રનાં કેન્દ્રથી 216 cm અંતરે આપાત સમાંતર કિરણ જૂથ અપસારિત (ફેલાતું) લાગે છે.

(ii) ધારો કે પ્રથમ અંતર્ગોળ લેન્સની ડાબી બાજુએથી તેનાં પર સમાંતર કિરણ જૂથ આપાત થાય છે.

$f_1 = -20$ cm, $u_1 = -\infty$ જે પરથી $\upsilon_1 = -30$ cm મળશે. આ પ્રતિબિંબ બીજા લેન્સ માટે વાસ્તવિક વસ્તુ બને છે, $f_2 = +30$ cm, $u_2 = -(20 + 8)$ cm $= -28$ cm, જે પરથી $\upsilon_2 = -420$ cm મળશે. બે લેન્સથી બનેલા તંત્રનાં કેન્દ્રથી ડાબી બાજુ 416 cm અંતરે આપાત સમાંતર કિરણ જૂથ અપસારિત (ફેલાતું) લાગે છે.

સ્પષ્ટ છે કે લેન્સથી બનેલા તંત્ર પર આપાત સમાંતર કિરણ જૂથ કઈ બાજુએથી આપાત થાય છે. તે પર જવાબનો આધાર છે. *વધુમાં આપણી પાસે તંત્રનાં ચોક્કસ અચળાંક (f_1, f_2 અને બે લેન્સ વચ્ચેનાં અંતર વડે નક્કી થતો અચળાંક)નાં પદમાં બધા જ u (અને υ) માટે સાચું હોય તેવું સરળ લેન્સ સમીકરણ નથી.* આ તંત્ર માટે અસરકારક કેન્દ્રલંબાઈનો ખ્યાલ અર્થસભર જણાતો નથી.

(b) $u_1 = -40$ cm, $f_1 = 30$ cm પરથી $\upsilon_2 = 120$ cm પ્રથમ (બહિર્ગોળ) લેન્સને કારણે મોટવણીનું માન 3 છે.

$u_2 = +(120 - 8)$ cm $= +112$ cm (વસ્તુ આભાસી);

$f_2 = -20$ cm જે પરથી $\upsilon_2 = \dfrac{-112 \times 20}{92}$ cm

બીજા (અંતર્ગોળ) લેન્સને કારણે મોટવણીનું માન = 20/92.

કુલ મોટવણીનું માન = 0.652

પ્રતિબિંબનું પરિમાણ = 0.98 cm

9.22 જો પ્રિઝમમાં વક્રીભવન પામતું કિરણ તેની બીજી સપાટી પર i_c જેટલા ક્રાંતિકોણે આપાત થતું હોય તો પ્રથમ સપાટીએ વક્રીભૂત કોણ $r = (60^\circ - i_c^\circ)$ હવે, $i_c = \sin^{-1}$ [1/1.524] $\simeq 41^\circ$ માટે $r = 19^\circ$, $\sin i = 0.4962$; $i \simeq 30^\circ$

9.23 (a) $\dfrac{1}{\upsilon} + \dfrac{1}{9} = \dfrac{1}{10}$ એટલેકે, $\upsilon = -90$ cm

મોટવણીનું માન = 90/9 = 10

આભાસી પ્રતિબિંબમાં દરેક ચોરસનું ક્ષેત્રફળ $= 10 \times 10 \times 1\ mm^2 = 100\ mm^2$ $= 1\ cm^2$

(b) મેગ્નિફાઈંગ પાવર = 25/9 = 2.8

(c) ના, પ્રકાશીય ઉપકરણો માટે લેન્સ વડે પ્રતિબિંબની મોટવણી અને કોણીય મોટવણી (અથવા મેગ્નિફાઈંગ પાવર) બે જુદી બાબતો છે. આમાંનું બીજું (કોણીય મોટવણી) એ વસ્તુનું કોણીય માપ (જે પ્રતિબિંબ વિવર્ધિત થયેલું હોય તો પણ પ્રતિબિંબના કોણીય માપ જેટલું છે) અને વસ્તુને નજીક બિંદુએ (25 cm) મૂકીએ ત્યારે વસ્તુનું કોણીય માપ એ બે નો ગુણોત્તર છે. આમ, મોટવણીનું માન $|(\upsilon/u)|$ છે અને મેગ્નિફાઈંગ પાવર $(25/|u|)$ છે. પ્રતિબિંબ જ્યારે નજીકબિંદુએ રચાતું હોય $|\upsilon| = 25$ cm, માત્ર એ સ્થિતિમાં જ બંને રાશિઓ સમાન હોય છે.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

9.24 (a) જ્યારે પ્રતિબિંબ નજીકતમ બિંદુ (25 cm) પર હોય ત્યારે મહત્તમ મેગ્નિફાઈંગ પાવર મળે છે. $u = -7.14$ cm

(b) મોટવણીનું માન = $(25/|u|) = 3.5$

(c) મેગ્નિફાઈંગ પાવર = 3.5

હા, મોટવણીનું માન અને મેગ્નિફાઈંગ પાવર (જ્યારે પ્રતિબિંબ 25 cm અંતરે રચાય ત્યારે) સમાન હોય છે.

9.25 મોટવણી $= \sqrt{6.25/1} = 2.5$

$\upsilon = +2.5\,u$

$$+\frac{1}{2.5u} - \frac{1}{u} = \frac{1}{10}$$

એટલે કે, $u = -6$ cm $|\upsilon| = 15$ cm

આભાસી પ્રતિબિંબ સામાન્ય નજીકતમ બિંદુ (25 cm)ની નજીક છે અને આંખ વડે સ્પષ્ટ રીતે જોઈ શકાશે નહિ.

9.26 (a) પ્રતિબિંબનું નિરપેક્ષ પરિમાણ વસ્તુનાં પરિમાણ કરતાં મોટું હોવા છતાં પ્રતિબિંબનું કોણીય પરિમાણ વસ્તુના કોણીય પરિમાણ જેટલું છે. મેગ્નિફાયર નીચે મુજબ મદદ કરે છે, તેના વગર વસ્તુને 25 cmની નજીક મુકી શકાશે નહિ. તેની મદદથી જ વસ્તુને ઘણી નજીક મુકી શકાશે. નજીક મુકેલી વસ્તુનું કોણીય માપ તે જ વસ્તુને 25 cm અંતરે મૂકતાં મળતાં કોણીય પરિમાણ કરતાં વધુ હશે. આ અર્થમાં કોણીય મોટવણી મેળવી શકાય છે.

(b) હા, તે થોડુંક ઘટશે. કારણકે લેન્સ સાથે આંતરાતાં ખૂણા કરતાં આંખ સાથે આંતરાતો ખૂણો થોડોક ઓછો હોય છે. જો પ્રતિબિંબ ખૂબ મોટા અંતરે રચાતું હોય તો આ અસરોને અવગણી શકાય છે. (*નોંધ* : જ્યારે લેન્સથી આંખ દૂર હોય ત્યારે પ્રથમ વસ્તુ વડે અને તેના પ્રતિબિંબ વડે આંખ સાથે આંતરાતા ખૂણા સમાન હોતા નથી.)

(c) નાની કેન્દ્રલંબાઈવાળા લેન્સનું સંયોજન સરળ નથી. વધુ અગત્યનું તે છે કે, જો તમે કેન્દ્રલંબાઈ ઘટાડો છો તો લેન્સની બંને ક્ષતિઓ (ગોળીય અને વર્ણની) વધુ પ્રબળ બને છે. તેથી વ્યવહારમાં સાદા બહિર્ગોળ લેન્સ સાથે મેગ્નિફાઈંગ પાવર 3 થી મોટો મેળવી શકાતો નથી. ક્ષતિઓ સુધારેલા લેન્સ તંત્રની મદદથી આ મર્યાદા 10 ગણી કે તેનાથી વધુ કરી શકાય છે.

(d) જો f_e નાની હોય તો નેત્રકાચની કોણીય મોટવણી $[(25/f_e) + 1]$ (f_e cmમાં) છે, તે f_e નાનું હોય તો વધે છે. વધુમાં ઓબ્જેક્ટીવની મોટવણી $\dfrac{\upsilon_0}{|u_0|} = \dfrac{1}{(|u_0|/f_0) - 1}$ વડે આપી શકાય છે.

જ્યારે f_0 કરતાં $|u_0|$ સ્હેજ મોટો હોય ત્યારે તે મોટી હોય છે. પાસપાસે રહેલી વસ્તુઓને જોવા માટે માઈક્રોસ્કોપનો ઉપયોગ થાય છે. તેથી $|u_0|$ નાનું છે અને તેથી f_0 પણ.

(e) આઈ-પિસમાં ઓબ્જેક્ટિવનું પ્રતિબિંબ આઈ-રીંગ તરીકે ઓળખાય છે. વસ્તુમાંથી આવતા તમામ કિરણો ઓબ્જેક્ટિવમાંથી વક્રીભવન પામી આઈ-રીંગમાંથી પસાર થાય છે. આથી, આંખ દ્વારા નિહાળવાનું આ એક આદર્શ સ્થાન છે. જો આપણે આપણી આંખો આઈ-પીસની ખૂબ નજીક રાખીએ છીએ તો આપણે વધુ પ્રકાશ મેળવી શકતા નથી અને જોવા માટેનું ક્ષેત્ર પણ ઘટે છે. જો આપણે આપણી આંખ આઈ-રીંગ પર અને આપણી આંખની

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

કીકીનું ક્ષેત્રફળ આઈરીંગ જેટલું કે તેનાથી મોટું રહે તેમ ગોઠવીએ તો ઓબ્જેક્ટિવ પરથી વક્રીભવન પામતા તમામ કિરણો આપણી આંખ મેળવે છે. ઓબ્જેક્ટિવ અને આઈ-પીસ વચ્ચેનાં અંતર પર આઈ-રીંગના સચોટ સ્થાનનો આધાર છે. જ્યારે માઈક્રોસ્કોપનાં એક છેડે તમે તમારી આંખ મૂકીને જુઓ છો ત્યારે આંખ અને આઈ-પીસ વચ્ચેનું આદર્શ અંતર સામાન્ય રીતે સાધન (માઈક્રોસ્કોપ)ની ડિઝાઈનમાં જ તૈયાર કરેલું હોય છે.

9.27 માઈક્રોસ્કોપ સામાન્ય ઉપયોગમાં છે તેમ ધારો, એટલે કે પ્રતિબિંબ 25 cm અંતરે છે.

આઈપીસની કોણીય મોટવણી $= \frac{25}{5} + 1 = 6$

ઓબ્જેક્ટિવની મોટવણી $= \frac{30}{6} = 5$

$\frac{1}{5u_0} - \frac{1}{u_0} = \frac{1}{1.25}$. તે પરથી,

$u_0 = -1.5$ cm, $\upsilon_0 = 7.5$ cm, $|u_e| = (25/6)$ cm $= 4.17$ cm મળે છે. ઓબ્જેક્ટિવ અને આઈ-પીસ વચ્ચેનું અંતર $(7.5 + 4.17)$ cm $= 11.67$ cm હોવું જોઈએ. ઉપરાંત ઈચ્છિત મોટવણી મેળવવા માટે વસ્તુને ઓબ્જેક્ટિવથી 1.5 cm અંતરે મૂકવી જોઈએ.

9.28 (a) $m = (f_0/f_e) = 28$

(b) $m = \frac{f_0}{f_e}\left[1 + \frac{f_0}{25}\right] = 33.6$

9.29 (a) $f_0 + f_e = 145$ cm

(b) ટાવર વડે આંતરાતો ખૂણો $= (100/3000) = (1/30)$ rad.

ઓબ્જેક્ટિવ વડે રચાતા પ્રતિબિંબ વડે આંતરાતો ખૂણો $= \frac{h}{f_0} = \frac{h}{140}$

બંને સમીકરણો સરખાવતાં $h = 4.7$ cm

(c) આઈ-પીસની મોટવણી (માન) = 6. અંતિમ પ્રતિબિંબની ઊંચાઈ (માન) = 2.8 cm

9.30 મોટા (અંતર્ગોળ) અરીસા વડે રચાતું પ્રતિબિંબ નાના (બહિર્ગોળ) અરીસા માટે આભાસી વસ્તુ તરીકે વર્તે છે. અનંત અંતરે રહેલી વસ્તુમાંથી આવતા સમાંતર કિરણો મોટા અરીસાથી 110 mm અંતરે કેન્દ્રિત થશે. નાના અરીસા માટે આભાસી વસ્તુનું અંતર $= (110 - 20) = 90$ mm. નાના અરીસાની કેન્દ્રલંબાઈ 70 mm છે. અરીસાનાં સૂત્રનો ઉપયોગ કરતાં નાના અરીસાથી 315 mm અંતરે પ્રતિબિંબ રચાય છે.

9.31 પરાવર્તિત કિરણ અરીસાનાં ભ્રમણ ખૂણા કરતાં બમણું વિચલન અનુભવે છે. માટે $d/1.5 = \tan 7^{\circ}$, જ્યાં $d = 18.4$ cm

9.32 $n = 1.33$

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

જવાબો (Answers)

પ્રકરણ 10

10.1 (a) પરાવર્તિત પ્રકાશ : (તરંગલંબાઈ, આવૃત્તિ, ઝડપ આપાત પ્રકાશ જેટલી જ)
$\lambda = 589$ nm, $\nu = 5.09 \times 10^{14}$ Hz, $c = 3.00 \times 10^{8}$ m s^{-1}
(b) વક્રીભૂત પ્રકાશ : (આપાત પ્રકાશ જેટલી જ આવૃત્તિ)
$\nu = 5.09 \times 10^{14}$ Hz
$\upsilon = (c/n) = 2.26 \times 10^{8}$ m s^{-1}, $\lambda = (\upsilon/\nu) = 444$ nm

10.2 (a) ગોળાકાર
(b) સમતલ
(c) સમતલ (ખૂબ જ મોટા ગોળાની સપાટી પરના નાના ક્ષેત્રફળને લગભગ સમતલ લઈ શકાય.)

10.3 (a) 2.0×10^{8} m s^{-1}
(b) ના. માધ્યમમાં વક્રીભવનાંક અને તેથી પ્રકાશની ઝડપ તરંગલંબાઈ ઉપર આધાર રાખે છે. (જ્યારે કોઈ ચોક્કસ તરંગલંબાઈ કે પ્રકાશનો રંગ દર્શાવેલ ના હોય તો આપણે વક્રીભવનાંક પીળા પ્રકાશ માટે આપેલ છે તેમ લઈ શકીએ.) આપણે જાણીએ છીએ કે કાચના પ્રિઝમમાં જાંબલી રંગનું વિચલન લાલ (રાતા) રંગ કરતાં વધુ થાય છે, એટલે કે $n_v > n_r$. તેથી સફેદ પ્રકાશનો જાંબલી ઘટક, રાતા (લાલ) ઘટક કરતા ઓછી ઝડપથી ગતિ કરે છે.

10.4 $\lambda = \dfrac{1.2\times10^{-2}\times0.28\times10^{-3}}{4\times1.4}$ m $= 600$ nm

10.5 K/4

10.6 (a) 1.17 mm (b) 1.56 mm

10.7 0.15°

10.8 $\tan^{-1}(1.5) \simeq 56.3^{\circ}$

10.9 5000 Å, 6×10^{14} Hz, 45°

10.10 40 m

10.11 $\lambda' - \lambda = \frac{\upsilon}{c}\lambda$ સૂત્રનો ઉપયોગ કરો.
એટલે કે, $\upsilon = \frac{c}{\lambda}(\lambda' - \lambda) = \dfrac{3\times10^{8}\times15}{6563} = 6.86 \times 10^{5}$ m s^{-1}

10.12 વક્રીભવનાંક માટેના કણવાદમાં, પાતળા માધ્યમમાંથી ઘટ્ટ માધ્યમમાં આપાત થતા પ્રકાશના કણો સપાટીને લંબ તરફ આકર્ષણબળ અનુભવે છે. આ વેગના લંબ ઘટકના વધારામાં પરિણમે છે, પરંતુ સપાટીને સમાંતર ઘટક બદલાતો નથી. આનો અર્થ એ થાય કે,
$c\sin i = \upsilon\sin r$ અથવા $\frac{\upsilon}{c} = \dfrac{\sin i}{\sin r} = n$. $n > 1$, હોવાથી $\upsilon > c$.
આ અનુમાન એ પ્રાયોગિક અવલોકનો ($\upsilon < c$)થી વિરૂદ્ધ છે. પ્રકાશનું તરંગ સ્વરૂપ એ પ્રયોગ સાથે સુસંગત છે.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

10.13 કેન્દ્ર આગળ બિંદુવત વસ્તુ લઈ અરીસાને સ્પર્શતું વર્તુળ દોરો. આ વસ્તુમાંથી નીકળતા અને અરીસા આગળ હમણાં જ પહોંચેલા ગોળાકાર તરંગઅગ્રનો સમતલીય ભાગ છે. પછી, આ જ તરંગઅગ્રનું અરીસાની હાજરીમાં અને અરીસાની ગેરહાજરીમાં t સમયબાદનું સ્થાન દોરો. તમને અરીસાની બંને બાજુ સંમિત રીતે રહેલ બે ચાપ (Arcs) મળશે. સરળ ભૂમિતિનો ઉપયોગ કરી, પરાવર્તિત તરંગઅગ્રનું કેન્દ્ર (વસ્તુનું પ્રતિબિંબ) વસ્તુ અરીસાથી જેટલા અંતરે છે તેટલા જ અંતરે જોવા મળે છે.

10.14 (a) શૂન્યાવકાશમાં પ્રકાશની ઝડપ અત્રે દર્શાવેલ બધા જ પરિબળો (મુદ્દાઓ) અને અન્ય કોઈ પણ બાબતથી સ્વતંત્ર એક સાર્વત્રિક અચળાંક છે. આશ્ચર્યચકિત કરતું સત્ય એ પણ છે કે તે ઉદ્‌ગમ અને અવલોકનકાર વચ્ચેની સાપેક્ષ ગતિથી પણ સ્વતંત્ર છે. આ હકીકત એ આઈન્સ્ટાઈનના વિશિષ્ટ સાપેક્ષતાવાદ (Special Theory of Relativity)ની મુખ્ય પૂર્વધારણા છે.

(b) માધ્યમમાં પ્રકાશની ઝડપનો આધાર :

(i) ઉદ્‌ગમના પ્રકાર ઉપર આધારિત નથી (તરંગ ઝડપ એ પ્રસરણ પામતા માધ્યમના ગુણધર્મોથી નક્કી થાય છે. આ બીજા પ્રકારના તરંગો માટે પણ સાચું છે, દા.ત., ધ્વનિતરંગો, પાણી પરનાં તરંગો, વગેરે)

(ii) *સમદિગ્‌ધર્મી* માધ્યમો માટે તે પ્રસરણ દિશાથી સ્વતંત્ર છે.

(iii) માધ્યમની સાપેક્ષે ઉદ્‌ગમની ગતિથી સ્વતંત્ર હોય છે, પરંતુ માધ્યમની સાપેક્ષે અવલોકનકારની ગતિ પર આધાર રાખે છે.

(iv) તરંગલંબાઈ ઉપર આધાર રાખે છે.

(v) તીવ્રતાથી સ્વતંત્ર છે. (ઊંચી તીવ્રતા ધરાવતા કિરણપુંજ માટે, સ્થિતિ ખૂબ જ જટીલ હોય છે અને અહીં તે આપણને લાગુ પડતી નથી.)

10.15 ધ્વનિતરંગોનું પ્રસરણ કરાવવા માધ્યમની જરૂર પડે છે. આમ, ભલે સ્થિતિ (i) અને (ii) સમાન સાપેક્ષ ગતિ (ઉદ્‌ગમ અને અવલોકનકાર વચ્ચે)ને આનુષંગિક હોય, પણ તે ભૌતિક રીતે સમાન નથી કારણ કે બંને સ્થિતિઓમાં *માધ્યમની સાપેક્ષે* અવલોકનકારની સાપેક્ષ ગતિ જુદી જુદી રીતે છે. તેથી, આપણે સ્થિતિ (i) અને (ii) માટે ધ્વનિ માટેના ડોપ્લર (અસરના) સૂત્રો સમાન હશે તેમ અપેક્ષા ના રાખી શકીએ. શૂન્યાવકાશમાં પ્રકાશ તરંગો માટે સ્પષ્ટ જ છે કે સ્થિતિ (i) અને (ii) વચ્ચે ભેદ પાડી ના શકાય. અહીં, ઉદ્‌ગમ અને અવલોકનકાર વચ્ચેની સાપેક્ષ ગતિ જ અગત્યની છે અને સાપેક્ષવાદીય (Relativistic) ડોપ્લર સૂત્ર બંને સ્થિતિઓ (i) અને (ii) માટે સમાન છે. પ્રકાશના માધ્યમમાં પ્રસરણ માટે ફરીવાર ધ્વનિ તરંગોની જેમ બંને પરિસ્થિતિઓ સમાન *નથી* અને આપણે બે પરિસ્થિતિઓ (i) અને (ii) માટે જુદા જુદા ડોપ્લર સૂત્રો હશે તેમ વિચારી શકીએ.

10.16 3.4×10^{-4} m

10.17 (a) સૂત્ર : પરિમાણ ~ λ/d મુજબ પરિમાણ અડધું થશે. તીવ્રતા ચારગણી વધશે.

(b) બે-સ્લિટની ગોઠવણીમાં વ્યતિકરણ શલાકાઓની તીવ્રતા એ દરેક સ્લિટથી મળતી વિવર્તન ભાતથી મૉડ્યુલેટ (Modulated) થયેલી હોય છે.

(c) વર્તુળાકાર અડચણની ધાર આગળથી વિવર્તન પામતા તરંગો, પ્રકાશિત કેન્દ્ર ધરાવતા પડછાયાના કેન્દ્ર આગળ સહાયક વ્યતિકરણ અનુભવે છે.

(d) અડચણો/છિદ્રો આગળથી મોટા કોણે વિવર્તન પામતા કે વળતા તરંગો માટે, અડચણો/છિદ્રોનું પરિમાણ તરંગલંબાઈ જેટલું હોવું જોઈએ. જો અડચણો/છિદ્રોનું પરિમાણ તરંગલંબાઈ કરતા ઘણું વધારે હોય તો વિવર્તન નાના કોણે થશે. અહીં, પરિમાણ એ અમુક મીટરના ક્રમનું હોય છે. પ્રકાશની તરંગલંબાઈ લગભગ 5×10^{-7} m છે, જ્યારે 1 kHz આવૃત્તિ ધરાવતાં ધ્વનિતરંગો માટે તરંગલંબાઈ લગભગ 0.3 m જેટલી હોય છે. આમ,

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

વિભાગ પાડતી દિવાલ (Partition)ને ફરતે ધ્વનિ તરંગો વળે છે જ્યારે પ્રકાશતરંગો વળી શકતા નથી.

(e) (d)માં દર્શાવેલ મુદ્દા અનુસાર વ્યાજબીપણું આપી શકાય. સામાન્ય વપરાશના પ્રકાશીય ઉપકરણો (Instruments)માં છિદ્રો (Aperture)ના પરિમાણ એ પ્રકાશની તરંગલંબાઈ કરતાં ઘણાં વધારે હોય છે.

10.18 12.5 cm

10.19 0.2 mm

10.20 (a) એન્ટીના દ્વારા ગ્રહણ થતા સીધા સિગ્નલ અને વિમાન પરથી પરાવર્તિત (નબળા) સિગ્નલ વચ્ચેનું વ્યતિકરણ.

(b) સંપાતીકરણનો સિદ્ધાંત એ તરંગ ગતિને દર્શાવતા (વિકલ) સમીકરણના રેખીયપણાના ગુણધર્મ પરથી મળે છે. જો તરંગ સમીકરણના બે ઉકેલો y_1 અને y_2 હોય તો y_1 અને y_2નું કોઈ પણ રેખીય સંયોજન પણ ઉકેલ બનશે. જ્યારે કંપવિસ્તાર મોટો હોય (દા.ત., ઊંચી તીવ્રતા ધરાવતું લેસર કિરણપુંજ) અને અ-રેખીય અસરો અગત્યની હોય ત્યારે પરિસ્થિતિ ખૂબ જ જટિલ હોય છે, જેની અત્રે આપણે ચિંતા કરવાની જરૂર નથી.

10.21 સ્લિટને $a' = a/n$ પહોળાઈ ધરાવતી નાની n સ્લિટોમાં વહેંચી દો. કોણ $\theta = n\lambda/a = \lambda/a'$ થશે. દરેક નાની સ્લિટો દિશામાં શૂન્ય તીવ્રતા મોકલશે. આ સંયોજન પણ શૂન્ય તીવ્રતા આપશે.

પ્રકરણ 11

11.1 (a) 7.24×10^{18} Hz, (b) 0.041 nm

11.2 (a) 0.34 eV = 0.54×10^{-19} J, (b) 0.34 V, (c) 344 km/s

11.3 1.5eV = 2.4×10^{-19} J

11.4 (a) 3.14×10^{-19} J, 1.05×10^{-27} kg m/s, (b) 3×10^{16} photons/s, (c) 0.63 m/s

11.5 4×10^{21} photons/m^{2}s

11.6 6.59×10^{-34} Js

11.7 (a) 3.38×10^{-19} J = 2.11 eV, (b) 3.0×10^{20} photons/s

11.8 2.0 V

11.9 ના, કારણ કે $\nu < \nu_0$

11.10 4.73×10^{14} Hz

11.11 2.16 eV = 3.46×10^{-19} J

11.12 (a) 4.04×10^{-24} kg m s^{-1}, (b) 0.164 nm

11.13 (a) 5.92×10^{-24} kg m s^{-1}, (b) 6.50×10^{6} m s^{-1}, (c) 0.112 nm

11.14 (a) 6.95×10^{-25} J = 4.34 μeV, (b) 3.78×10^{-28} J = 0.236 neV

11.15 (a) 1.7×10^{-35} m, (b) 1.1×10^{-32} m, (c) 3.0×10^{-23} m

11.16 (a) 6.63×10^{-25} kg m/s (બંને માટે), (b) 1.24 keV, (c) 1.51 eV

11.17 (a) 6.686×10^{-21} J = 4.174×10^{-2} eV, (b) 0.145 nm

11.18 $\lambda = h/p = h/(h\nu/c) = c/\nu$

11.19 0.028 nm

11.20 (a) $eV = (m\upsilon^2/2)$નો ઉપયોગ કરો, એટલે કે $\upsilon = [(2eV/m)]^{1/2}$, $\upsilon = 1.33 \times 10^7$ m s^{-1}

(b) જો આપણે V = 10^7 V માટે પણ આ જ સૂત્રનો ઉપયોગ કરીએ, તો આપણને $\upsilon = 1.88 \times 10^9$ m s^{-1} મળે. આ સ્પષ્ટ રીતે ખોટું છે, કારણ કે પ્રકાશની ઝડપ ($c = 3 \times 10^8$ m s^{-1}) કરતાં કંઈ પણ વધુ ઝડપથી ગતિ ન કરી શકે. ખરેખર તો ગતિઊર્જા

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

માટે ઉપરનું સમીકરણ ($m\,\upsilon^2/2$), જ્યારે (υ/c) << 1 હોય ત્યારે જ સાચું છે. ખૂબ ઊંચી ઝડપ માટે જ્યારે (υ/c) એ 1ની નજીક હોય (છતાં પણ હંમેશા 1 થી નાનું હોય) ત્યારે આપણે સાપેક્ષવાદની નજીક આવીએ છીએ. જ્યાં, નીચેનાં સમીકરણો લાગુ પડે છે :

સાપેક્ષ વેગમાન $p = m\upsilon$

કુલ ઊર્જા $E = m\,c^2$

ગતિઊર્જા $K = m\,c^2 - m_0c^2$

જ્યાં, સાપેક્ષ દ્રવ્યમાન 'm' આ મુજબ લખાય છે, $m = m_0\left[1-\frac{\upsilon^2}{c^2}\right]^{-1/2}$. m_0ને કણનું સ્થિર દ્રવ્યમાન (Rest Mass) કહે છે. આ સમીકરણો પરથી

$E = (p^2c^2 + m_0^2c^4)^{1/2}$

નોંધો કે સાપેક્ષ વાદના પ્રભાવક્ષેત્રમાં υ/c નું મૂલ્ય 1ની નજીક હોય છે. K અથવા ઊર્જા $\geq m_0c^2$ (સ્થિત દ્રવ્યમાન ઊર્જા – Rest Mass Energy). ઇલેક્ટ્રૉનની રેસ્ટ માસ ઊર્જા (સ્થિત દ્રવ્યમાન ઊર્જા) લગભગ 0.51 MeV છે. આમ, 10 MeV જેટલી ગતિઊર્જા ઇલેક્ટ્રૉનની સ્થિત દ્રવ્યમાન ઊર્જા કરતાં ઘણી વધુ હોય છે, જે સાપેક્ષવાદનું પ્રભાવક્ષેત્ર દર્શાવે છે. સાપેક્ષવાદના સમીકરણોનો ઉપયોગ કરતાં, (10 MeV ગતિઊર્જા માટે) $\upsilon = 0.999\,c$.

11.21 (a) 22.7 cm

(b) ના. ઉપર સમજાવ્યું તેમ, 20 MeVનો ઇલેક્ટ્રૉન સાપેક્ષવાદીય ઝડપથી ગતિ કરે છે. પરિણામે, અ-સાપેક્ષવાદીય સૂત્ર $R = (m_0\upsilon/eB)$ લાગુ પડતું નથી. સાપેક્ષવાદીય સૂત્ર

$R = p/eB = m\upsilon/eB$ અથવા $R = m_0\upsilon/(eB\sqrt{1-\upsilon^2/c^2})$ છે.

11.22 $eV = (m\,\upsilon^2/2)$ અને $R = (m\,\upsilon/e\,B)$ છે. જેના પરથી $(e/m) = (2V/R^2B^2)$, આપેલ વિગતો પરથી $(e/m) = 1.73\times10^{11}$ C kg^{-1}

11.23 (a) 27.6 keV, (b) 30 kVના ક્રમનું.

11.24 $\lambda = (hc/E)$માં $E = 5.1\times1.602\times10^{-10}$ J મૂકતાં, $\lambda = 2.43\times10^{-16}$ m મળે.

11.25 (a) $\lambda = 500$ m માટે, $E = (hc/\lambda) = 3.98\times10^{-28}$ J

એક સેકન્ડ દીઠ ઉત્સર્જાયેલા ફોટોન $= 10^4$ J s^{-1} / 3.98 $\times10^{-28}$ J $\simeq 3\times10^{31}$ s^{-1}

આપણે જોઈ શકીએ કે રેડીયો ફોટોનની ઊર્જા અતિશય ઓછી છે અને રેડીયો બીમમાં એક સેકન્ડ દીઠ ઉત્સર્જાયેલા ફોટોનની સંખ્યા અતિશય મોટી છે.

આથી, આપણે (ફોટોનની) લઘુત્તમ ક્વૉન્ટમ ઊર્જા અવગણીએ તથા રેડીયો તરંગની કુલ ઊર્જાને સતત ધારીએ તો અવગણ્ય ત્રુટી ઉદ્ભવે છે.

(b) $\nu = 6\times10^{14}$ Hz માટે $E \simeq 4\times10^{-19}$ J

લઘુત્તમ તીવ્રતાને અનુરૂપ ફોટોન ફ્લક્સ $= 10^{-10}$ Wm^{-2} / 4×10^{-19} J

$= 2.5\times10^8$ m^{-2} s^{-1}

આંખની કીકીમાં સેકન્ડ દીઠ દાખલ થતા ફોટોનની સંખ્યા $= 2.5\times10^8\times0.4\times10^{-4}$ s^{-1} $= 10^4$ s^{-1}. આ સંખ્યા (a)માં મળતી સંખ્યા જેટલી મોટી ન હોવા છતાં, આપણી આંખની ઈન્દ્રિય તેનો 'અહેસાસ' કે 'ગણતરી' કરી ન શકે તેટલી મોટી તો છે.

11.26 $\phi_0 = h\nu - eV_0 = 6.7\times10^{-19}$ J $= 4.2$ eV; $\nu_0 = \frac{\phi_0}{h} = 1.0\times10^{15}$ Hz; $\lambda = 6328$ Å

$\nu = 4.7\times10^{14}$ Hz $< \nu_0$ને અનુરૂપ છે.

લેસર પ્રકાશની તીવ્રતા ગમે તેટલી વધુ હોય તો પણ ફોટો સેલ તેને માટે પ્રતિભાવ આપશે નહીં.

11.27 બંને ઉદ્ગમ માટે $eV_0 = h\nu - \phi_0$નો ઉપયોગ કરો. પ્રથમ ઉદ્ગમની આપેલ વિગતો માટે $\phi_0 = 1.40$ eV, આ મૂલ્યનો ઉપયોગ કરતાં બીજા ઉદ્ગમ માટે $V_0 = 1.50$ V.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

11.28 V_0 વિરૂદ્ધ νનો આલેખ મેળવો. આલેખનો ઢાળ (h/e) છે અને તેનું ν-અક્ષ પરનું છેદનબિંદુ ν_0 છે. પ્રથમ ચાર બિંદુઓ લગભગ સીધી રેખામાં છે, જે ν-અક્ષને $\nu_0 = 5.0 \times 10^{14}$ Hz (થ્રેસોલ્ડ આવૃત્તિ) એ છેદે છે. પાંચમું બિંદુ $\nu < \nu_0$ ને અનુરૂપ છે, જ્યાં ફોટોઈલેક્ટ્રીક ઉત્સર્જન થતું નથી અને તેથી પ્રવાહને રોકવા માટે કોઈ સ્ટોપિંગ પોટેન્શિયલની જરૂર પડતી નથી. આ આલેખનો ઢાળ 4.15×10^{-15} V s જેટલો મળે છે. $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C, $h = 6.64 \times 10^{-34}$ J s (hનું પ્રમાણભૂત મૂલ્ય $= 6.626 \times 10^{-34}$ J s), $\phi_0 = h\nu_0 = 2.11$ eV.

11.29 એમ જાણવા મળે છે કે આપેલ આવૃત્તિ ν એ ν_0(Na) અને ν_0(K) કરતાં મોટી છે, પરંતુ ν_0(Mo) અને ν_0(Ni) કરતાં ઓછી છે. આથી, Mo અને Ni ફોટોઈલેક્ટ્રિક ઉત્સર્જન દર્શાવશે નહીં. જો લેસરને પાસે લાવીએ તો વિકિરણની તીવ્રતા વધે છે, પરંતુ Mo અને Niને લગતા પરિણામ પર કોઈ ફરક પડતો નથી. આમ છતાં, Na અને K માટે ફોટોઈલેક્ટ્રિક પ્રવાહ તીવ્રતાના સમપ્રમાણમાં વધશે.

11.30 એક પરમાણુ દીઠ એક વાહક ઈલેક્ટ્રૉન ધારો.

અસરકારક પરમાણ્વિક ક્ષેત્રફળ $\sim 10^{-20}$ m^2

5 સ્તરોમાં ઈલેક્ટ્રોનની સંખ્યા $= \dfrac{5 \times 2 \times 10^{-4}\,\text{m}^2}{10^{-20}\,\text{m}^2} = 10^{17}$

આપાત પાવર $= 10^{-5}$ Wm$^{-2} \times 2 \times 10^{-4}$ m$^2 = 2 \times 10^{-9}$ W

તરંગ સ્વરૂપમાં, આપાત પાવરનું બધાં જ ઈલેક્ટ્રોન દ્વારા નિયમિત શોષણ થાય છે. પરિણામે ઈલેક્ટ્રૉન દીઠ એક સેકન્ડમાં શોષાયેલી ઊર્જા $= 2 \times 10^{-9}/10^{17} = 2 \times 10^{-26}$ W

ફોટોઈલેક્ટ્રિક ઉત્સર્જન માટે જરૂરી સમય $= 2 \times 1.6 \times 10^{-19}$ J$/2 \times 10^{-26}$ W $= 1.6 \times 10^{7}$ s જે લગભગ 0.5 વર્ષ જેટલો છે.

સૂચિતાર્થ : પ્રાયોગિક રીતે, ફોટોઈલેક્ટ્રિક ઉત્સર્જન લગભગ તાત્ક્ષણિક ($\sim 10^{-9}$ s) હોય છે. આથી, તરંગ સ્વરૂપ પ્રયોગ સાથે સંમતિ દર્શાવતું નથી.

ફોટોન સ્વરૂપમાં, વિકિરણની ઊર્જા ઉપરના સ્તરોમાં રહેલા ઈલેક્ટ્રૉનો વચ્ચે સતત વહેંચાયેલી હોતી નથી. પરંતુ, ઊર્જા છુટક (ત્રુટક) જથ્થા (ક્વૉન્ટમ)ના રૂપમાં આવે છે અને ઊર્જાનું શોષણ ધીમે ધીમે થતું નથી. ઈલેક્ટ્રૉન વડે ફોટોન કાં તો તાત્ક્ષણિક શોષાતો નથી, અથવા શોષાય છે.

11.31 $\lambda = 1$ Å માટે, ઈલેક્ટ્રૉનની ઊર્જા $= 150$ eV, ફોટોનની ઊર્જા $= 12.4$ keV. આમ, એક સમાન તરંગલંબાઈ માટે, ફોટોનની ઊર્જા, ઈલેક્ટ્રૉન કરતાં ઘણી વધુ હોય છે.

11.32 (a) $\lambda = \dfrac{h}{p} = \dfrac{h}{\sqrt{2mK}}$ આમ, સમાન K માટે, m સાથે $(1/\sqrt{m})$ના સમપ્રમાણમાં λ ઘટે છે. હવે $(m_n/m_e) = 1838.6$. આથી, એક સમાન ઊર્જા માટે, સ્વાધ્યાય 11.31 મુજબ એક સમાન ઊર્જા (150 eV), માટે ન્યુટ્રોનની તરંગલંબાઈ $= (1/\sqrt{1838.6}) \times 10^{-10}$ m $= 2.33 \times 10^{-12}$ m. સાથે આંતર પરમાણ્વિક અંતર લગભગ સો ગણું વધુ હોય છે. આથી, 150 eVનું ન્યુટ્રોન બીમ વિવર્તનના પ્રયોગો માટે યોગ્ય નથી.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

(b) $\lambda = 1.45 \times 10^{-10}$ m [$\lambda = (h/\sqrt{3\,m\,k\,T})$ નો ઉપયોગ કરો.] જે સ્ફટિકના આંતર પરમાણ્વિક અંતર સાથે સરખાવી શકાય તેવું છે.
ઉપરના (a) અને (b) પરથી સ્પષ્ટ છે કે, વિવર્તનના પ્રયોગો તપાસકર્તા (probe, શોધક) માટે થર્મલ ન્યુટ્રોન યોગ્ય છે. આથી, ઊંચી ઊર્જાના ન્યુટ્રોન બીમનો વિવર્તન માટે ઉપયોગ કરતા પહેલાં તેને થર્મલ ન્યુટ્રોનમાં ફેરવવા જોઈએ.

11.33 $\lambda = 5.5 \times 10^{-12}$ m
λ (પીળા પ્રકાશ માટે) $= 5.9 \times 10^{-7}$ m
વિભેદન શક્તિ (Resolving Power–RP) તરંગલંબાઈના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં હોય છે. આથી, ઇલેક્ટ્રૉન માઈક્રોસ્કોપનો RP, દૃશ્યપ્રકાશ માઇક્રોસ્કોપ કરતાં 10^5 ગણો હોય છે. વ્યવહારમાં બીજા ઘટકોના તફાવતો (ભૌમિતિક) આ સરખામણી થોડીક બદલી શકે.

11.34 $p = \dfrac{h}{\lambda} = \dfrac{6.63 \times 10^{-34}\,\text{J s}}{10^{-15}\,\text{m}} = 6.63 \times 10^{-19}\ \text{kg m s}^{-1}$
ઊર્જા માટે સાપેક્ષવાદના સમીકરણનો ઉપયોગ કરો.
$E^2 = c^2p^2 + m_0^2c^4$
$= 9 \times (6.63)^2 \times 10^{-22} + (0.511 \times 1.6)^2 \times 10^{-26}$
$\simeq 9 \times (6.63)^2 \times 10^{-22}$
અહીંયા બીજું પદ (સ્થિર દ્રવ્યમાન ઊર્જા) અવગણી શકાય તેમ છે.
આથી, $E = 1.989 \times 10^{-10}$ J = 1.24 BeV
આથી, પ્રવેગકમાંથી મળતા ઈલેક્ટ્રૉનની ઊર્જા અમુક BeVના ક્રમની હોવી જોઈએ.

11.35 $\lambda = \dfrac{h}{\sqrt{3\,m\,k\,T}}$; $m_{He} = \dfrac{4 \times 10^3}{6 \times 10^{23}}$ kg
આ પરથી, $\lambda = 0.73 \times 10^{-10}$ m.
સરેરાશ અંતર $r = (V/N)^{1/3} = (kT/p)^{1/3}$
$T = 300$ K, $p = 1.01 \times 10^5$ Pa માટે, $r = 3.4 \times 10^{-9}$ m. આથી, $r >> \lambda$ મળે છે.

11.36 સ્વાધ્યાય 11.35 જેવા જ સૂત્રનો ઉપયોગ કરતાં, $\lambda = 6.2 \times 10^{-9}$ m મળે છે. જે ઈલેક્ટ્રૉન વચ્ચેના આંતરિક અંતરો કરતાં ઘણું વધુ છે.

11.37 (a) ક્વાર્ક્સ જાણે કે પ્રોટોન કે ન્યુટ્રોનમાં એવા બળો વડે બંધિત માનવામાં આવ્યા છે કે, જેમને જુદા કરવાનો પ્રયત્ન કરતાં આ બળ વધે છે. આથી, એમ લાગે છે કે અપૂર્ણાંક વિદ્યુતભારો કુદરતમાં હાજર હોવા છતાં અનુભવી શકાય એવા વિદ્યુતભારો eના પૂર્ણાંક ગુણાંકમાં હોય છે.

(b) વિદ્યુત અને ચુંબકીય ક્ષેત્રો માટેના બંને મૂળભૂત સમીકરણો અનુક્રમે $eV = (1/2)\,mv^2$ અથવા $eE = ma$ અને $eBv = mv^2/r$ દર્શાવે છે કે ઈલેક્ટ્રૉનનું ગતિશાસ્ત્ર ફક્ત e અને m વડે સ્વતંત્ર રીતે નહીં, પરંતુ e/m સંયોજન વડે નક્કી થાય છે.

(c) નીચા દબાણે આયનોને તેમના અનુરૂપ ઈલેક્ટ્રોડ સુધી પહોંચવાનો અને પ્રવાહ રચવાનો મોકો મળે છે. સામાન્ય દબાણે, વાયુના અણુઓ સાથેની અથડામણો અને સંયોજન થવાથી તેમને આમ કરવાનો મોકો મળતો નથી.

(d) કાર્યવિધેય, ધાતુમાં વાહક (conduction) બેન્ડના ઉચ્ચતમ સ્તરમાં રહેલા ઈલેક્ટ્રૉનને ધાતુમાંથી બહાર કાઢવા માટે જરૂરી લઘુત્તમ ઊર્જા દર્શાવે છે. ધાતુમાં બધા જ ઈલેક્ટ્રૉન આ ઉચ્ચતમ (ઊર્જા) સ્તરમાં હોતા નથી. તેઓ (ઊર્જા) સ્તરોના સતત પટ્ટા (band)માં હોય છે. પરિણામે આપેલ આપાત વિકિરણ માટે જુદા જુદા સ્તરોમાંથી બહાર નીકળેલા ઈલેક્ટ્રૉનોની ઊર્જા જુદી જુદી હોય છે.

(e) કોઈપણ કણની નિરપેક્ષ ઊર્જા E (પણ વેગમાન p નહીં)નું મૂલ્ય, કોઈ ઉમેરી શકાય તેવા અચળાંકની અંદર યાદચ્છિક હોય છે. આથી, λનું ભૌતિક મહત્વ હોવા છતાં ઈલેક્ટ્રૉનના દ્રવ્ય તરંગ માટે νનું નિરપેક્ષ મૂલ્ય પ્રત્યક્ષ રીતે કોઈ ભૌતિક મહત્વનું નથી. કળા ઝડપ $\nu\lambda$

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

પણ તે જ રીતે ભૌતિક મહત્વ નથી ધરાવતી. સમૂહ (ગ્રુપ) ઝડપનું ભૌતિક મહત્વ છે, જે આ મુજબ અપાય છે.

$$\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}(1/\lambda)} = \frac{\mathrm{dE}}{\mathrm{d}p} = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}p}\left(\frac{p^2}{2m}\right) = \frac{p}{m} \ .$$

પ્રકરણ 12

12.1 (a) થી જુદું નથી, (b) થોમસનનું મોડેલ, રધરફર્ડનું મોડેલ, (c) રધરફર્ડનું મોડેલ, (d) થોમસનનું મોડેલ, રધરફર્ડનું મોડેલ, (e) બંને મોડેલો

12.2 હાઈડ્રોજન પરમાણુનું ન્યુક્લિયસ પ્રોટોન છે. તેનું દળ 1.67×10^{-27} kg છે, જ્યારે આપાત થયેલા α-કણનું દળ 6.64×10^{-27} kg છે. પ્રકીર્ણન પામતો કણ લક્ષ્ય ન્યુક્લિયસો (પ્રોટોન) કરતાં વધુ દળદાર હોવાથી, α-કણ સન્મુખ સંઘાતમાં પણ પાછો ફેકાશે (Bounce Back) નહિ. આ એક ફૂટબોલ સ્થિર પડેલા ટેનિસ બોલ સાથે અથડાય તેના જેવું છે. આમ, મોટા કોણે પ્રકીર્ણન નહિ થાય.

12.3 820 nm

12.4 5.6×10^{14} Hz

12.5 13.6 eV, –27.2 eV

12.6 9.7×10^{-8} m, 3.1×10^{15} Hz

12.7 (a) 2.18×10^{6} m/s, 1.09×10^{6} m/s, 7.27×10^{5} m/s
(b) 1.52×10^{-16} s, 1.22×10^{-15} s, 4.11×10^{-15} s

12.8 2.12×10^{-10} m, 4.77×10^{-10} m

12.9 લાયમન શ્રેણી, 103 nm અને 122 nm ; બામર શ્રેણી, 656 nm

12.10 2.6×10^{74}

12.11 (a) લગભગ તેટલું જ
(b) ઘણું ઓછું
(c) તે સૂચવે છે કે પ્રકીર્ણન મોટે ભાગે એક અથડામણથી થયેલ છે, કારણ કે એક જ અથડામણની સંભાવના લક્ષ્ય પરમાણુઓની સંખ્યા સાથે સુરેખ રીતે વધુ છે અને તેથી જાડાઈ સાથે પણ સુરેખ રીતે વધે છે.
(d) થોમસનના મોડેલમાં એક જ અથડામણ બહુ ઓછું આવર્તન ઉપજાવે છે. અવલોકિત થયેલ સરેરાશ પ્રકીર્ણન કોણને ફક્ત ઘણાં પ્રકીર્ણન થયેલાં ગણીને જ સમજાવી શકાય છે. આથી, થોમસનના મોડેલમાં ઘણાં પ્રકીર્ણન થવાને અવગણવું એ ખોટું છે. રધરફર્ડના મોડેલમાં મોટાભાગનું પ્રકીર્ણન એક જ અથડામણથી મળે છે અને પ્રથમ સંનિકટતા તરીકે ઘણાં પ્રકીર્ણનને અવગણી શકાય છે.

12.12 બોહ્ર મોડેલમાં પ્રથમ કક્ષાની ત્રિજ્યા a_0 છે, જે $a_0 = \frac{4\pi\varepsilon_0 (h/2\pi)^2}{m_e e^2}$ પરથી મળે છે. જો આપણે પરમાણુને ગુરુત્વબળથી $(Gm_p m_e/r^2)$થી બંધિત થયેલો માનીએ તો આપણે $e^2/4\pi\varepsilon_0$ને સ્થાને $Gm_p m_e$ મૂકવું જોઈએ. એટલે કે પ્રથમ બોહ્ર કક્ષાના ત્રિજ્યા $a_0^G = \frac{(h/2\pi)^2}{Gm_p m_e^2} \cong 1.2 \times 10^{29}$ m.

આ મૂલ્ય સમગ્ર વિશ્વ (Universe)ના અંદાજિત પરિમાણ કરતાં ઘણું મોટું છે.
મોટાભાગનું પ્રકીર્ણન એક જ અથડામણથી મળે છે અને પ્રથમ સંનિકટતા તરીકે ઘણાં પ્રકીર્ણનને અવગણી શકાય છે.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

12.13 $\nu = \dfrac{me^4}{(4\pi)^3 \varepsilon_0^2 (h/2\pi)^3}\left[\dfrac{1}{(n-1)^2} - \dfrac{1}{n^2}\right] = \dfrac{me^4(2n-1)}{(4\pi)^3 \varepsilon_0^2 (h/2\pi)^3 n^2 (n-1)^2}$

nના મોટા મૂલ્ય માટે, $\nu \cong \dfrac{me^4}{32\pi^3 \varepsilon_0^2 (h/2\pi)^3 n^3}$

કક્ષીય આવૃત્તિ $\nu_c = (\upsilon/2\pi r)$, બોહ્‌ર મોડેલમાં $\upsilon = \dfrac{n(h/2\pi)}{mr}$ અને $r = \dfrac{4\pi\varepsilon_0 (h/2\pi)^2}{me^2} n^2$,

આ પરથી $\nu_c = \dfrac{n(h/2\pi)}{2\pi mr^2} = \dfrac{me^4}{32\pi^3 \varepsilon_0^2 (h/2\pi)^3 n^3}$, જે n માટેના ν જેટલું જ છે.

12.14 (a) $\left(\dfrac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 mc^2}\right)$ રાશિને લંબાઈના પરિમાણ છે. તેનું મૂલ્ય 2.82×10^{-15} m છે. જે લાક્ષણિક પારમાણ્વિક પરિમાણ કરતાં ઘણું નાનું છે.

(b) $\dfrac{4\pi\varepsilon_0 (h/2\pi)^2}{me^2}$ રાશિને લંબાઈના પરિમાણ છે. તેનું મૂલ્ય 0.53×10^{-10} m છે. જે પારમાણ્વિક પરિમાણના ક્રમનું છે. (એ નોંધો કે, પરિમાણોની દલીલો આપણને એમ કહી શકે નહિ કે સાચું પરિમાણ મેળવવા માટે આપણે hને સ્થાને $4\pi h/2\pi$ વાપરવાં જોઈએ.)

12.15 બોહ્‌રના મોડેલમાં $m\upsilon r = \dfrac{nh}{2\pi}$ અને $\dfrac{m\upsilon^2}{r} = \dfrac{Ze^2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$

આ પરથી $T = \dfrac{1}{2} m\upsilon^2 = \dfrac{Ze^2}{8\pi\varepsilon_0 r}$, $r = \dfrac{4\pi\varepsilon_0 h^2}{Ze^2 m} n^2$

આ સૂત્રોને સ્થિતિઊર્જાનું શૂન્ય ક્યાં લેવામાં આવે છે, તેની પસંદગી સાથે કોઈ સંબંધ નથી. અનંત અંતરે સ્થિતિઊર્જાનું શૂન્ય પસંદ કરતાં, આપણને $V = -(Ze^2/4\pi\varepsilon_0 r)$ મળે છે, આ પરથી $V = -2T$ અને $E = T + V = -T$ મળે.

(a) આપેલ મૂલ્ય $E = -3.4$ eV રૂઢિગત પસંદગી પર આધારિત છે, જેમાં સ્થિતિઊર્જાનું શૂન્ય અનંત અંતરે લેવાય છે. $E = -T$ પરથી આ અવસ્થામાં ઇલેક્ટ્રૉનની ગતિઊર્જા $+3.4$ eV છે.

(b) $V = -2T$નો ઉપયોગ કરતાં ઇલેક્ટ્રૉનની સ્થિતિઊર્જા $= -6.8$ eV.

(c) જો સ્થિતિઊર્જાનું શૂન્ય બીજી રીતે પસંદ કરીએ તો ગતિઊર્જા બદલાતી નથી. તેનું મૂલ્ય સ્થિતિઊર્જાના શૂન્યની પસંદગીથી સ્વતંત્ર $+3.4$ eV છે. અવસ્થાની સ્થિતિઊર્જા અને કુલ ઊર્જા બદલાશે, જો સ્થિતિઊર્જાનું શૂન્ય બીજે લેવામાં આવે તો.

12.16 ગ્રહોની ગતિ સાથે સંકળાયેલ કોણીય વેગમાનો hની સાપેક્ષે સરખામણી ન કરી શકાય તેટલાં મોટાં હોય છે. દાખલા તરીકે પૃથ્વીનું કોણીય વેગમાન લગભગ $10^{70}h$ના ક્રમનું છે. બોહ્‌રની ક્વૉન્ટમીકરણની સ્વીકૃતિના પદમાં આ n ના ખૂબ મોટા મૂલ્યને અનુરૂપ છે (10^{70}ના ક્રમનું). n નાં આવાં મોટાં મૂલ્યો માટે બોહ્‌ર મોડેલની ક્રમિક ક્વૉન્ટમીકૃત સ્તરોની ઊર્જાઓ અને કોણીય વેગમાનોના તફાવતો તે સ્તરોના ઊર્જા અને કોણીય વેગમાનના મૂલ્યોની સરખામણીએ એટલાં નાનાં હોય છે કે, બધા વ્યાવહારિક હેતુઓ માટે આપણે સ્તરોને સતત (સળંગ) ગણી શકીએ છીએ.

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

12.17 બોહ્ર મોડેલના સૂત્રોમાં m_eને સ્થાને m_μ મૂકવું જોઈએ. આપણે નોંધીએ કે બીજા પરિબળો અચળ રાખતાં $r \propto (1/m)$ અને $E \propto m$. જણાય છે. આથી,

$$r_\mu = \frac{r_e m_e}{m_\mu} = \frac{0.53 \times 10^{-10}}{207} = 2.56 \times 10^{-13}\ \text{m}$$

$$E_\mu = \frac{E_e m_\mu}{m_e} = -(13.6 \times 207)\ eV \cong -2.8\ keV$$

પ્રકરણ 13

13.1 (a) 6.941 u, (b) 19.9 %, 80.1 %

13.2 20.18 u

13.3 104.7 MeV

13.4 8.79 MeV, 7.84 MeV

13.5 1.584×10^{25} MeV અથવા 2.535×10^{12} J

13.6 (i) ${}^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{222}_{86}Rn + {}^{4}_{2}He$ (ii) ${}^{242}_{94}Pu \rightarrow {}^{238}_{92}U + {}^{4}_{2}He$

(iii) ${}^{32}_{15}P \rightarrow {}^{32}_{16}S + e^- + \bar{\nu}$ (iv) ${}^{210}_{83}B \rightarrow {}^{210}_{84}Po + e^- + \bar{\nu}$

(v) ${}^{11}_{6}C \rightarrow {}^{11}_{5}B + e^+ + \nu$ (vi) ${}^{97}_{43}Tc \rightarrow {}^{97}_{42}Mo + e^+ + \nu$

(vii) ${}^{120}_{54}Xe + e^- \rightarrow {}^{120}_{53}I + \nu$

13.7 (a) 5 T વર્ષ, (b) 6.65 T વર્ષ

13.8 4224 વર્ષ

13.9 7.126×10^{-6} g

13.10 7.877×10^{10} Bq અથવા 2.13 Ci

13.11 1.23

13.12 (a) Q = 4.93 MeV, E_α = 4.85 MeV, (b) Q = 6.41 MeV, E_α = 6.29 MeV

13.13 ${}^{11}_{6}C \rightarrow {}^{11}_{5}B + e^+ + \nu + Q$

$Q = [m_N({}^{11}_{6}C) - m_N({}^{11}_{5}B) - m_e]c^2$

જ્યાં, ઉપયોગમાં લીધેલ દળો પરમાણુઓના નહિ પણ ન્યુક્લિયસનાં છે. જો આપણે પરમાણુદળોનો ઉપયોગ કરીએ તો ${}^{11}_{6}C$ના ન્યુક્લિયસના દળ માટે તેના પરમાણુદળમાંથી $6m_e$ બાદ કરવું પડે અને ${}^{11}_{5}B$ના ન્યુક્લિયસના દળ માટે તેના પરમાણુદળમાંથી $5m_e$ બાદ કરવું પડે. આથી, $Q = [m({}^{11}_{6}C) - m({}^{11}_{5}B) - 2m_e]\,c^2$ (નોંધો કે અહીં m_eનું બમણું આવેલ છે.) આપેલ દળોનો ઉપયોગ કરતાં, Q = 0.961 MeV

$Q = E_d + E_e + E_\nu$.

જનિત ન્યુક્લિયસ, e^+ અને νની સરખામણીએ અતિ ભારે છે, તેથી તે અવગણ્ય ઊર્જા લઈ જાય છે. ($E_d \approx 0$). જો ન્યુટ્રીનો વડે લઈ જવાતી ઊર્જા લઘુત્તમ (એટલે કે શૂન્ય) હોય તો પોઝિટ્રોન મહત્તમ ઊર્જા લઈ જાય છે, જે વ્યવહારમાં બધી જ એટલે કે Q ઊર્જા લઈ જાય છે. આથી, મહત્તમ $E_e \approx Q$.

13.14 ${}^{23}_{10}Ne \rightarrow {}^{23}_{11}Na + e^- + \bar{\nu} + Q$; $Q = [m_N({}^{23}_{10}Ne) - m_N({}^{23}_{11}Na) - m_e]c^2$, જ્યાં સ્વાધ્યાય 13.13ની જેમ ઉપયોગમાં લીધેલ દળો પરમાણુના નહિ પણ ન્યુક્લિયસનાં છે. પરમાણુ દળોનો ઉપયોગ કરતાં, $Q = [m({}^{23}_{10}Ne) - m({}^{23}_{11}Na)]c^2$. નોંધો કે m_e નાબુદ થયેલ છે. આપેલ દળોનો

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

ઉપયોગ કરતાં, Q = 4.37 MeV. સ્વાધ્યાય 13.13ની જેમ ઇલેક્ટ્રૉનની મહત્તમ ગતિઊર્જા (મહત્તમ E_e) = Q = 4.37 MeV.

13.15 (i) Q = −4.03 MeV, ઉષ્માશોષક

(ii) Q = 4.62 MeV, ઉષ્માક્ષેપક

13.16 $Q = m(^{56}_{26}Fe) - 2m(^{28}_{13}Al) = 26.90$ MeV, શક્ય નથી.

13.17 4.536×10^{26} MeV

13.18 $^{235}_{92}$U ના દર ગ્રામ દીઠ ઉદ્ભવેલી ઊર્જા = $\dfrac{6\times10^{23}\times200\times1.6\times10^{-13}}{235}$ J g^{-1}, 80 % સમય સાથે 5*yr*માં વપરાતા $^{235}_{92}$U નો જથ્થો

$$= \frac{5\times0.8\times3.154\times10^{16}\times235}{1.2\times1.6\times10^{13}}\ g = 1544 \text{ kg}.$$

$^{235}_{92}$U નો પ્રારંભિક જથ્થો = 3088 kg.

13.19 લગભગ 4.9×10^{4} *yr*

13.20 360 *ke*V

13.22 સ્પર્ધા કરતી બંને પ્રક્રિયાઓ વિચારો :

$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + e^{+} + \nu_e + Q_1$ (પ્રોઝિટ્રૉન ઉત્સર્જન)

$e^{-} + {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + \nu_e + Q_2$ (ઇલેક્ટ્રૉન કેપ્ચર)

$Q_1 = [m_N(^{A}_{Z}X) - m_N(_{Z-1}^{A}Y) - m_e]c^2$

$= [m(^{A}_{Z}X) - Zm_e - m(_{Z-1}^{A}Y) + (Z-1)m_e - m_e]c^2$

$= [m(^{A}_{Z}X) - m(_{Z-1}^{A}Y) - 2m_e]c^2$

$Q_2 = [m_N(^{A}_{Z}X) + m_e - m_N(_{Z-1}^{A}Y)]c^2 = [m(^{A}_{Z}X) - m(_{Z-1}^{A}Y)]c^2$

આનો અર્થ એ કે $Q_1 > 0$ પરથી $Q_2 > 0$ હોય જ પણ $Q_2 > 0$ માટે $Q_1 > 0$ હોવું જરૂરી નથી.

આથી, માંગેલ પરિણામ મળે છે.

13.23 $^{25}_{12}$Mg : 9.3 %, $^{26}_{12}$Mg : 11.7 %

13.24 $^{A}_{Z}X$ ન્યુક્લિયસની ન્યુટ્રૉન વિયોગ ઊર્જા S_n

$S_n = [m_N(^{A-1}_{Z}X) + m_n - m_N(^{A}_{Z}X)]c^2$

આપેલ વિગતો પરથી $S_n(^{41}_{20}Ca) = 8.36$ MeV, $S_n(^{27}_{13}Al) = 13.06$ MeV

13.25 209 *d*

13.26 $^{14}_{6}$C ના ઉત્સર્જન માટે,

$Q = [m_N(^{223}_{88}Ra) + m_N(^{209}_{82}Pb) - m_N(^{14}_{6}C)]c^2$

$= [m(^{223}_{88}Ra) - m(^{209}_{82}Pb) - m(^{14}_{6}C)]c^2 = 31.85$ MeV

$^{4}_{2}$He ના ઉત્સર્જન માટે, $Q = [m(^{223}_{88}Ra) - m(^{219}_{86}Rn) - m(^{4}_{2}He)]c^2 = 5.98$ MeV

13.27 $Q = [m(^{238}_{92}U) + m_n - m(^{140}_{58}Ce) - m(^{99}_{44}Ru)]c^2 = 231.1$ MeV

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

13.28 (a) $Q=[m(^2_1H)+m(^3_1H)-m(^4_2He)-m_n]c^2=17.59$ MeV

(b) કુલંબ અપાકર્ષણને ઓળંગી જવા (પાર કરવા) માટે જરૂરી ગતિઊર્જા $=480.0\ keV$

$480.0\ keV = 7.68\times10^{-14}J = 3\ kT$

$$T = \frac{7.68\times10^{-14}}{3\times1.381\times10^{-23}} \quad (k=1.381\times10^{-23}\ JK^{-1} \text{ હોવાથી})$$

$= 1.85\times10^{9}$ K (જરૂરી તાપમાન)

13.29 $K_{max}(\beta_1^-)=0.284$ MeV, $K_{max}(\beta_2^-)=0.960$ MeV

$\nu(\gamma_1)=2.627\times10^{20}$ Hz, $\nu(\gamma_2)=0.995\times10^{20}$ Hz, $\nu(\gamma_3)=1.632\times10^{20}$ Hz

13.30 (a) નોંધો કે સૂર્યના અંતરિયાળ ભાગમાં ચાર ^1_1H ન્યુક્લિયસ સંયોજાઈને એક ^4_2He ન્યુક્લિયસ બનાવે છે અને દર ઘટના દીઠ લગભગ 26 MeV ઊર્જા વિમુક્ત કરે છે. 1 kg હાઈડ્રોજનના સંલયનમાં વિમુક્ત થતી ઊર્જા $=39\times10^{26}$ MeV.

(b) $^{235}_{92}U$ ના 1 kgના વિખંડનમાં વિમુક્ત થતી ઊર્જા $=5.1\times10^{26}$ MeV.

1 kg હાઈડ્રોજનના સંલયનમાં વિમુક્ત થતી ઊર્જા, 1 kg યુરેનિયમના વિખંડનમાં વિમુક્ત થતી ઊર્જાના લગભગ 8 ગણી છે.

13.31 3.076×10^{4} kg

પ્રકરણ 14

14.1 (c)

14.2 (d)

14.3 (c)

14.4 (c)

14.5 (c)

14.6 અર્ધતરંગ માટે 50 Hz, પૂર્ણ તરંગ માટે 100 Hz.

14.7 ના (E_g કરતાં $h\nu$ મોટું હોવું જોઈએ.)

14.8 $n_e \approx 4.95\times10^{22}$, $n_h=4.75\times10^{9}$. n-પ્રકારનો, કારણ કે $n_e >> n_h$.

વિદ્યુતભાર તટસ્થતા (ન્યુટ્રાલિટી) માટે $N_D-N_A = n_e-n_h$, $n_e.n_h = n_i^2$

આ સમીકરણો ઉકેલવાથી $n_e=\frac{1}{2}\left[(N_D-N_A)+\sqrt{(N_D-N_A)^2+4n_i^2}\right]$

14.9 લગભગ 1×10^{5}

14.10 (a) 0.0629 A, (b) 2.97 A, (c) 0.336 Ω

(d) બંને વૉલ્ટેજ માટે, પ્રવાહ I લગભગ I_0 જેટલો જ હશે, જે રિવર્સ બાયસ દરમિયાન લગભગ અનંત ડાયનેમિક અવરોધ દર્શાવે છે.

14.12 NOT :

A	Y
0	1
1	0

14.13 (a) AND, (b) OR

14.14 OR ગેટ

14.15 (a) NOT, (b) AND

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

BIBLIOGRAPHY

પાઠ્યપુસ્તકો

આ પુસ્તકમાં આવરી લેવાયેલ મુદ્દાઓ અંગેના વધારાનાં વાચન માટે નીચેનાં પુસ્તકોમાંથી એક કે વધુ પુસ્તકનું વાચન કરવાનું કદાચ તમને ગમશે. જોકે આમાંનાં કેટલાંક પુસ્તકો વધુ ઊંચાં સ્તરનાં છે અને આ પુસ્તકમાંના મુદ્દાઓ કરતાં ઘણા વધુ મુદ્દાઓ ધરાવતા હોઈ શકે.

1. **Ordinary Level Physics,** A.F. Abbott, Arnold-Heinemann (1984)
2. **Advanced Level Physics,** M. Nelkon and P. Parker, 6th Edition Arnold-Heinemann (1987)
3. **Advanced Physics,** Tom Duncan, John Murray (2000)
4. **Fundamentals of Physics,** David Halliday, Robert Resnick and Jearl Walker, 7th Edition John Wily (2004)
5. **University Physics,** H.D. Young, M.W. Zemansky and F.W. Sears, Narosa Pub. House (1982)
6. **Problems in Elementary Physics,** B. Bukhovtsa, V. Krivchenkov, G. Myakishev and V. Shalnov, MIR Publishers, (1971)
7. **Lectures on Physics (3 volumes),** R.P. Feynman, Addision – Wesley (1965)
8. **Berkeley Physics Course** (5 volumes) McGraw Hill (1965)
   a. Vol. 1 – Mechanics: (Kittel, Knight and Ruderman)
   b. Vol. 2 – Electricity and Magnetism (E.M. Purcell)
   c. Vol. 3 – Waves and Oscillations (Frank S. Craw-ford)
   d. Vol. 4 – Quantum Physics (Wichmann)
   e. Vol. 5 – Statistical Physics (F. Reif)
9. **Fundamental University Physics,** M. Alonso and E. J. Finn, Addison – Wesley (1967)
10. **College Physics,** R.L. Weber, K.V. Manning, M.W. White and G.A. Weygand, Tata McGraw Hill (1977)
11. **Physics : Foundations and Frontiers,** G. Gamow and J.M. Cleveland, Tata McGraw Hill (1978)
12. **Physics for the Inquiring Mind,** E.M. Rogers, Princeton University Press (1960)
13. **PSSC Physics Course,** DC Heath and Co. (1965) Indian Edition, NCERT (1967)
14. **Physics Advanced Level,** Jim Breithampt, Stanley Thornes Publishers (2000)
15. **Physics, Patrick Fullick,** Heinemann (2000)
16. **Conceptual Physics,** Paul G. Hewitt, Addision-Wesley (1998)
17. **College Physics,** Raymond A. Serway and Jerry S. Faughn, Harcourt Brace and Co. (1999)
18. **University Physics,** Harris Benson, John Wiley (1996)
19. **University Physics,** William P. Crummet and Arthur B. Western, Wm.C. Brown (1994)
20. **General Physics,** Morton M. Sternheim and Joseph W. Kane, John Wiley (1988)
21. **Physics,** Hans C. Ohanian, W.W. Norton (1989)
22. **Advanced Physics,** Keith Gibbs, Cambridge University Press(1996)

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

23. **Understanding Basic Mechanics,** F. Reif, John Wiley (1995)
24. **College Physics,** Jerry D. Wilson and Anthony J. Buffa, Prentice-Hall (1997)
25. **Senior Physics, Part – I,** I.K. Kikoin and A.K. Kikoin, Mir Publishers (1987)
26. **Senior Physics, Part – II,** B. Bekhovtsev, Mir Publishers (1988)
27. **Understanding Physics,** K. Cummings, Patrick J. Cooney, Priscilla W. Laws and Edward F. Redish, John Wiley (2005)
28. **Essentials of Physics,** John D. Cutnell and Kenneth W. Johnson, John Wiley (2005)

સામાન્ય પુસ્તકો

વિજ્ઞાન અને માહિતીપ્રદ તથા મનોરંજક વ્યાપક વાચન માટે તમને કદાચ નીચેનામાંથી કેટલાંક પુસ્તકો વાંચવાનું ગમશે. આમ છતાં યાદ રાખો કે આમાંનાં ઘણાં પુસ્તકો આ પુસ્તકના સ્તર કરતા ઘણા આગળના સ્તરે લખાયેલ છે.

1. **Mr. Tompkins** in paperback, G. Gamow, Cambridge University Press (1967)
2. **The Universe and Dr. Einstein,** C. Barnett, Time Inc. New York (1962)
3. **Thirty years that Shook Physics,** G. Gamow, Double Day, New York (1966)
4. **Surely You're Joking, Mr. Feynman,** R.P. Feynman, Bantam books (1986)
5. **One, Two, Three… Infinity,** G. Gamow, Viking Inc. (1961)
6. **The Meaning of Relativity**, A. Einstein, (Indian Edition) Oxford and IBH Pub. Co (1965)
7. **Atomic Theory and the Description of Nature**, Niels Bohr, Cambridge (1934)
8. **The Physical Principles of Quantum Theory,** W. Heisenberg, University of Chicago Press (1930)
9. **The Physics- Astronomy Frontier,** F. Hoyle and J.V. Narlikar, W.H. Freeman (1980)
10. **The Flying Circus of Physics with Answer,** J. Walker, John Wiley and Sons (1977)
11. **Physics for Everyone** (series), L.D. Landau and A.I. Kitaigorodski, MIR Publisher (1978)
    Book 1 : Physical Bodies
    Book 2 : Molecules
    Book 3 : Electrons
    Book 4 : Photons and Nuclei
12. **Physics can be Fun,** Y. Perelman, MIR Publishers (1986)
13. **Power of Ten,** Philip Morrison and Eames, W.H. Freeman (1985)
14. **Physics in your Kitchen Lab.,** I.K. Kikoin, MIR Publishers (1985)
15. **How Things Work : The Physics of Everyday Life,** Louis A. Bloomfield, John Wiley (2005)
16. **Physics Matters : An Introduction to Conceptual Physics,** James Trefil and Robert M. Hazen, John Wiley (2004)

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

પારિભાષિક શબ્દો

Absorption spectra	શોષણ વર્ણપટ
AC voltage	AC વોલ્ટેજ
Accelerators in India	ભારતમાં પ્રવેગકો
Additivity of charges	વિદ્યુતભારોનું ઉમેરાવું
Alpha decay	આલ્ફા ક્ષય
Alpha particle scattering	આલ્ફા કણનું પ્રકીર્ણન
Angle of deviation	વિચલન કોણ
Angle of incidence	આપાત કોણ
Angle of reflection	પરાવર્તન કોણ
Angle of refraction	વક્રિભૂત કોણ
Angular magnification	કોણીય મોટવણી
Apparent depth	આભાસી ઊંડાઈ
Area element vector	ક્ષેત્રફળ ખંડ સદિશ
Atomic mass unit	એટમીક માસ યુનિટ
Atomic number	પરમાણ્વીય ક્રમાંક
Atomic spectra	પરમાણુ વર્ણપટ
Aurora Boriolis	ઓરોરા બોરિઓલિસ
Band gap	બેન્ડ ગેપ
Bar magnet	ગજીયો ચુંબક
as solenoid	સેલેનોઈડ તરીકે
Barrier potential	બેરિયર સ્થિતિમાન
Beta decay	બીટા ક્ષય
Binding energy per nucleon	ન્યુક્લિયોન દીઠ બંધનઊર્જા
Bohr magneton	બોહ્ર મેગ્નેટોન
Bohr radius	બોહ્ર ત્રિજ્યા
Bohr's model of atom	બોહ્રનું પરમાણુ મોડેલ
Bohr's postulates	બોહ્ર અધિતર્ક
Capacitive circuit	કેપેસીટીવ પરિપથ
Capacitor	સંધારક (કેપેસીટર)
Cartesian sign convention	કાર્તેઝીય સંજ્ઞા પદ્ધતિ
Cells in parallel	સમાંતરમાં વિદ્યુતકોષો
Cells in series	શ્રેણીમાં વિદ્યુતકોષો
Chain reaction	શૃંખલા પ્રક્રિયા
Charging by induction	પ્રેરણ દ્વારા વિદ્યુતભારિત કરવું
Chromatic aberration	વર્ણ-વિપથનની ક્ષતિ
Coherent source	સુસંબદ્ધ ઉદ્‌ગમ
Combination of lenses	લેન્સનું સંયોજન
Combination of resistors	
series	અવરોધોનું શ્રેણી સંયોજન
parallel	અવરોધોનું સમાંતર સંયોજન
Composition of nucleus	ન્યુક્લિયસનું બંધારણ
Concave mirror	અંતર્ગોળ અરીસો
Conduction band	કન્ડકશન બેન્ડ
Conductivity	વાહકતા
Conductor	વાહકો
Conservation of charge	વિદ્યુતભારનું સંરક્ષણ
Conservative force	સંરક્ષી બળ
Control rods	નિયંત્રક સળિયા
Convex mirror	બહિર્ગોળ અરીસો
Critical angle	ક્રાંતિકોણ
Curie temperature	ક્યુરિ તાપમાન
Current density	પ્રવાહ ઘનતા
Current loop as a magnetic dipole	લૂપ ચુંબકીય ડાયપોલ તરીકે
Current sensitivity of galvanometer	ગેલ્વેનોમીટરની પ્રવાહ સંવેદિતા
Cut-off voltage/stopping potential	કટ-ઓફ વોલ્ટેજ/સ્ટોપીંગ પોટેન્શ્યલ
Cyclotron frequency	સાયક્લોટ્રોન આવૃત્તિ
Damping	વિદ્યુતચુંબકીય અવમંદન

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

પારિભાષિક શબ્દો

Decay constant - ક્ષય નિયંતાક
Diamagnetism - ડાયામેગ્નેટીઝમ
Dielectrics - ડાયઈલેક્ટ્રીક પારવિદ્યુત
Dielectric constant - ડાયઈલેક્ટ્રીક અચળાંક
Dielectrics strength - ડાયઈલેક્ટ્રીક સ્ટ્રેન્થ
Diffraction - વિવર્તન
  single slit - એક સ્લિટ વડે વિવર્તન
Dipole moment - ડાયપોલ મોમેન્ટ
Dipole moment vector - ડાયપોલ મોમેન્ટ સદિશ
Dipole in uniform electric field - સમાન વિદ્યુતક્ષેત્રમાં ડાયપોલ
Dispersion by a prism - પ્રિઝમ દ્વારા વિભાજન
Displacement current - સ્થાનાંતર પ્રવાહ
Drift velocity - ડ્રિફ્ટ વેગ
Earth's magnetism - પૃથ્વીનું ચુંબકત્વ
Earthing - ભૂયોજન
Eddy currents - ઘૂમરી પ્રવાહ
Electric charge - વિદ્યુતભાર
Electric current - વિદ્યુતપ્રવાહ
Electric dipole - વિદ્યુત ડાયપોલ
Electric displacemnt - વિદ્યુત સ્થાનાંતર
Electric field - વિદ્યુતક્ષેત્ર
Electric field lines - વિદ્યુતક્ષેત્ર રેખાઓ
Electric flux - વિદ્યુતફ્લક્સ
Electric susceptibility - ઈલેક્ટ્રીક સસેપ્ટીબિલીટી
Electrical energy - વિદ્યુતઊર્જા
Electromagnetic waves, - વિદ્યુતચુંબકીય તરંગો,
Electron emission - ઈલેક્ટ્રોન ઉત્સર્જન
Electrostatics of conductors - સુવાહકોનું સ્થિતવિદ્યુતશાસ્ત્ર
Electromotive force (emf) - ઈલેક્ટ્રોમોટીવ ફોર્સ(emf)
Emission spectra - ઉત્સર્જન વર્ણપટ
Energy bands - ઊર્જાસ્તરોનો પટ્ટો
  generation in stars - તારાઓમાં ઊર્જાની ઉત્પત્તિ
  levels - ઊર્જાસ્તર
  stored in capacitor - કેપેસીટરમાં સંગ્રહિત ઊર્જા
Equipotential surfaces - વિદ્યુત સમસ્થિતિમાન પૃષ્ઠો
Excited state - ઉત્તેજીત અવસ્થા
Extrinsic semiconductor - આંતરિક અર્ધવાહકો
Fast breeder reactor - ઝડપી સંવર્ધક રીએક્ટર
Ferro magnetism - ફેરોમેગ્નેટિઝમ (લોહચુંબકત્વ)
Field - ક્ષેત્ર
  due to infinite plane sheet - અનંત વિસ્તારવાળા સમતલને લીધે
  due to uniformly charged thin spherical shell - નિયમિત વિજભારને લીધે ધરાવતી પાતળી ગોલીય કવચના લીધે
Field emission - ક્ષેત્ર ઉત્સર્જન
Facal length - કેન્દ્રલંબાઈ
Force between two parallel currents - બે સમાંતર વિજપ્રવાહો લાગતું બળ
Fringe width - શલાકાની પહોળાઈ
Full-wave rectifier - પૂર્ણતરંગ રેક્ટીફાયર
Gamma
  rays - ગામા કિરણો
  decay - ગામા ક્ષય
Geographic meridian - ભૌગોલિક તલ
Gold leaf electroscope - સોનાનાં વરખ ધરાવતું ઈલેક્ટ્રોસ્કોપ
Ground state - ગ્રાઉન્ડ સ્ટેટ (ધરા અવસ્થા)
Half life - અર્ધ જીવનકાળ
Half - wave rectifier - અર્ધતરંગ રેક્ટીફાયર
Horizontal component of earth's magnetic field - પૃથ્વીના ચુંબકીય ક્ષેત્રનો સમક્ષિતિજ ઘટક
Impact parameter - સંઘાત પ્રાચલ
Impedence diagram - ઈમ્પેડન્સ આકૃતિ
Inductance
  mutual - અન્યોન્ય પ્રેરકત્વ
  self - આત્મ પ્રેરકત્વ

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

ભૌતિકવિજ્ઞાન

Induction of charge - વિદ્યુતભારનું પ્રેરણ
Inductive circuit - ઈન્ડક્ટીવ પરિપથ
reactance - ઈન્ડક્ટીવ રીએક્ટન્સ
Insulator - અવાહકો
Interference
constructive - સહાયક વ્યતિકરણ
destructive - વિનાશક વ્યતિકરણ
fringes - વ્યતિકરણ શલાકાઓ
Internal resistance - આંતરિક અવરોધ
Intrinsic semiconductor - શુદ્ધ અર્ધવાહક
Ionisation energy - આયનીકરણ ઊર્જા
Isobars - સમદળીય
Isotones - આઈસોટોન
Lateral shift - પાર્શ્વિક સ્થાનાંતર
Law
of radioactive decay - રેડિયોએક્ટીવ ક્ષયનો નિયમ
of reflection - પરાવર્તનનો નિયમ
of refraction - વક્રીભવનનો યિમ
L. C. Oscillatons - LC દોલનો
Linear
charge density - રેખીય વિદ્યુતભાર ઘનતા
magnification / magnifying power - રેખીય મોટવણી / મોટવશક્તિ
Magnetic declination - ચુંબકીય દિક્પાતકોણ (ડિક્લીનેશન)
Magnetic dipole - ચુંબકીય દ્વિ-ધ્રુવી (ડાયપોલ)
diole moment of a revolving electron - પરિભ્રમણ કરતા ઈલેક્ટ્રોનની ચુંબકીય ડાયપોલ મોમેન્ટ (ચાકમાત્રા)
field - ચુંબકીય ક્ષેત્ર
field lines - ચુંબકીય ક્ષેત્રરેખાઓ
field on the axix of circular current loop - વર્તુળાકાર પ્રવાહ લૂપની અક્ષ પર ચુંબકીય ક્ષેત્ર
flux - ચુંબકીય ફ્લક્સ
force on a current carrying conductor - પ્રવાહ ધારિત વાહક પરનું ચુંબકીય બળ
force - ચુંબકીય બળ
hysterisis - ચુંબકીય હિસ્ટરીસીસ
inclination - ચુંબકીય નમનકોણ
intensity - ચુંબકીય તીવ્રતા
meridian - ચુંબકીય ધ્રુવતળ
moment of a current loop - પ્રવાહ લૂપની ચુંબકીય ચાકમાત્રા
moment - ચુંબકીય ચાકમાત્રા
permeability - ચુંબકીય પારગમ્યતા (પર્મિએબીલીટી)
potential energy - ચુંબકીય સ્થિતિઊર્જા
susceptibility - ચુંબકીય સસેપ્ટીબીલીટી
Torque - ટોર્ક (બળ-યુગ્મ)
Magnetisation - મેગ્નેટાઈઝેશન
Majority carriers - મેજોરીટી વાહકો
Mass
defect - દળ-ક્ષતિ
number - દળાંક
Energy relation - દળ-ઊર્જા સંબંધ
Mean life - સરેરાશ જીવનકાળ
Microscope - માઈક્રોસ્કોપ
compound - સંયુક્ત માઈક્રોસ્કોપ
Microwaves - માઈક્રોવેવ્ઝ
Minority carriers - માઈનોરીટી વાહકો
Mirage - મૃગજળ, મરીચિકા
Mirror equation - અરીસાનું સમીકરણ
Mobility - મોબીલીટી (ગતિશીલતા)
Moderator - મોડરેટર
Motion in a magnetic field - ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં ગતિ
Motional emf - ગતિક emf
Moving coil galvanometer - ચલિત ગૂંચળાવાળું ગેલ્વેનોમીટર
Multiplication factor (fission) - ગુણક અંક (મલ્ટીપ્લીકેશન ફેક્ટર) (વિખંડન)

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Noise	-	ઘોંઘાટ
Non-polar molecules	-	અ-ધ્રુવીય અણુઓ
North pole	-	ઉત્તર ધ્રુવ
n-type semiconductro	-	n-પ્રકારનો અર્ધવાહક
Nuclear		
binding energy	-	ન્યુક્લિયર બંધન ઊર્જા
density	-	ન્યુક્લિયર ઘનતા
energy	-	ન્યુક્લિયર ઊર્જા
fission	-	ન્યુક્લિયર વિખંડન
force	-	ન્યક્લિયર બળ
fusion	-	ન્યુક્લિયર સંલયન
holocaust	-	ન્યુક્લિયર આફત
reactor	-	ન્યુક્લિયર રીએક્ટર
size	-	ન્યુક્લિયસનું માપ
winter	-	ન્યુક્લિયર શિયાળો
Numerical aperture	-	સંખ્યાત્મક દર્પણમુખ
Optical fibres	-	ઓપ્ટીકલ ફાઈબર
Orbital magnetic moment	-	કક્ષીય ચુંબકીય ચાકમાત્રા
Paramagnetism	-	પેરામેગ્નેટિઝમ (અનુચુંબકત્વ)
Permanent magnets	-	કાયમી ચુંબકો
Permeability of free space	-	મુક્ત અવકાશની પારગમ્યતા
Permittivity		
of free space	-	મુક્ત અવકાશનો પરાવૈદ્યુતાંક
of medium	-	માધ્યમનો પરાવૈદ્યુતાંક
Phasors diagram	-	ફેઝર આકૃતિ
Photoelectric emission	-	ફોટો ઇલેક્ટ્રીક ઉત્સર્જન
Photon	-	ફોટોન
Pith ball	-	બરુની ગોળી
Plane Polarised wave	-	સમતલ ધ્રુવીભૂત તરંગ
Point charge	-	બિંદુવત વિદ્યુતભાર
Polar molecules	-	ધ્રુવીય અણુઓ
Polarisation	-	ધ્રુવીભવન
by reflection	-	પરાવર્તન દ્વારા ધ્રુવીભવન
by scattering	-	પ્રકીર્ણન દ્વારા ધ્રુવીભવન
Polarity of charge	-	વિદ્યુતભારની ધ્રુવીયતા
Potential		
due to an electric dipole	-	વિદ્યુત ડાયપોલને લીધે સ્થિતિમાન
due to a point charge	-	બિંદુવત વિદ્યુતભારને લીધે સ્થિતિમાન
due to a system of charges	-	વિદ્યુતભારોના તંત્રને લીધે સ્થિતિમાન
energy difference	-	સ્થિતિઊર્જાનો તફાવત
energy for a system of charges	-	વિદ્યુતભારોના તંત્રની સ્થિતિઊર્જા
energy of a dipole	-	ડાયપોલની સ્થિતિઊર્જા
energy of a single charge	-	એકાકી વિદ્યુતભારની સ્થિતિઊર્જા
energy of a system of two charges	-	બે વિદ્યુતભારોના તંત્રની સ્થિતિઊર્જા
energy	-	સ્થિતિઊર્જા
Power (electrical)	-	પાવર (વિદ્યુત)
factor	-	પાવર ફેક્ટર
in ac circuit	-	ac પરિપથમાં પાવર
of lens	-	લેન્સનો પાવર
Pressurised heavy water reactors	-	પ્રેશરાઈઝ્ડ ભારે પાણી રીએક્ટરો
Primary coil	-	પ્રાથમિક ગૂંચળું
Principal focus	-	મુખ્યકેન્દ્ર
Principal quantum number	-	મુખ્ય ક્વોન્ટમ અંક
Prism formula	-	પ્રિઝમનું સૂત્ર
Properties of electric charge	-	વિદ્યુતભારના ગુણધર્મો
p-type semiconductor	-	p-પ્રકારનો અર્ધવાહક
Q-factor/quality factor	-	Q-ફેક્ટર/ગુણવત્તા અંક
Quanta of energy	-	ઊર્જાના ક્વોન્ટમ
Quantization of charge	-	વિદ્યુતભારનું ક્વોન્ટમીકરણ
Radio waves	-	રેડિયો તરંગો

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Downloaded from https:// www.studiestoday.com

Radioactivity	-	રેડિયો એક્ટીવીટી
Rainbow	-	મેઘધનુષ્ય
Ray optics,	-	કિરણ પ્રકાશશાસ્ત્ર
Rectifier	-	રેક્ટીફાયર
Red shift	-	રેડ શીફ્ટ
Reflection of light	-	પ્રકાશનું પરાવર્તન
Refraction of a plane wave	-	સમતલ તરંગનું વક્રીભવન
Refractive index	-	વક્રીભવનાંક
Relation between field and potential	-	ક્ષેત્ર અને સ્થિતિમાન વચ્ચેનો સંબંધ
Relaxation time	-	રીલેક્સેશન સમય
Retentivity	-	રીટેન્ટીવીટી (ધારણા-શીલતા, શેષચુંબકત્વ)
Resistance	-	અવરોધ
Resistivity of some materials	-	કેટલાંક દ્રવ્યોની અવરોધકતા
Resolving power of eye	-	આંખની વિભેદન શક્તિ
Resonance	-	અનુનાદ
sharpness	-	તીક્ષ્ણતા
Resonant frequency	-	અનુનાદીય આવૃત્તિ
Reverse bias	-	રિવર્સ બાયસ
Right hand rule	-	જમણા હાથનો નિયમ
Root mean square (rms) or effective	-	સરેરાશ વર્ગિતનું વર્ગમૂળ (rms)અથવા અસરકારક
current	-	પ્રવાહ
voltage	-	વોલ્ટેજ
Saturation current	-	સંતૃપ્ત પ્રવાહ
Scattering of light	-	પ્રકાશનું પ્રકીર્ણન
Secondary wavelet	-	ગૌણ તરંગો
Semiconductor		
diode	-	અર્ધવાહક ડાયોડ
elemental	-	તાત્વિક અર્ધવાહકો
compound	-	સંયોજન અર્ધવાહકો
Shunt resistance	-	શંટ અવરોધ
Solar cell	-	સૌર કોષ (સોલર સેલ)
South pole	-	દક્ષિણ ધ્રુવ
spectral series	-	વર્ણપટ શ્રેણીઓ
Spectrum of light	-	પ્રકાશનો વર્ણપટ
Spherical mirror	-	ગોલીય અરીસો
Spin magnetic moment	-	સ્પીન ચુંબકીય ચાકમાત્રા
Surface charge density	-	વિદ્યુતભારની પૃષ્ઠ ઘનતા
Telescope	-	દૂરબીન (ટેલીસ્કોપ)
Temperature dependence of resistivity	-	અવરોધકતાનું તાપમાન પરનું અવલંબન
Thermionic emission	-	ઉષ્માજનિત ઉત્સર્જન
Thermonuclear fusion	-	તાપન્યુક્લિય સંલયન
Thin lens formula	-	પાતળા લેન્સનું સૂત્ર
Threshold frequency	-	સીમાંત (થ્રેશોલ્ડ) આવૃત્તિ
Torque		
on a current loop	-	પ્રવાહ લૂપ પર લાગતું ટોર્ક
on a dipole	-	ડાયપોલ પર લાગતું ટોર્ક
Total internal reflection	-	પૂર્ણ આંતરિક પરાવર્તન
Transformer		
step-down	-	સ્ટેપ ડાઉન ટ્રાન્સફોર્મર
step-up	-	સ્ટેપ અપ ટ્રાન્સફોર્મર
Uncertainty principle	-	અનિશ્ચિતતાનો સિદ્ધાંત
Unpolarised wave	-	અધ્રુવીભૂત તરંગ
Ultraviolet rays	-	પારજાંબલી કિરણો (અલ્ટ્રાવાયોલેટ)
Valence band	-	વેલન્સ બેન્ડ
Velocity selector	-	વેગ પસંદગીકાર (સીલેક્ટર)
Visible rays	-	દૃશ્ય કિરણો
Voltage regulator	-	વોલ્ટેજ રેગ્યુલેટર
Voltage sensitivity of a galvanometer	-	ગેલ્વેનોમીટરની વોલ્ટેજ સંવેદિતા
Volume charge density	-	વિદ્યુતભારની કદ ઘનતા
Wavefront		
plane	-	સમતલ તરંગઅગ્ર
spherical	-	ગોળાકાર તરંગઅગ્ર

Downloaded from https:// www.studiestoday.com