

પ્રયોગશાળા માર્ગદર્શિકા

ભૌતિકવિજ્ઞાન

ધોરણ XI



પ્રતિજ્ઞાપત્ર

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



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



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

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

અનુવાદ

શ્રી પી. એમ. પટેલ
શ્રી કેયુર એચ. શાહ
શ્રી શૈલેષકુમાર એમ. પટેલ

સમીક્ષા

શ્રી કે. ડી. પટેલ
શ્રી મયુર એમ. રાવલ
શ્રી એ. જી. મોમીન
શ્રી આશિષ પી. પટેલ
ડૉ. રજની એચ. જોષી
કુ. જયોતી એલ. દેસાઈ

ભાષાશુદ્ધિ

ડૉ. મોના આર. દવે

સંયોજન

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

નિર્માણ-આયોજન

શ્રી આશિષ એચ. બોરીસાગર
(નાયબ નિયામક : શૈક્ષણિક)

મુદ્રણ-આયોજન

શ્રી હરેશ એસ. લીખાચીયા
(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 NCERT ના પાઠ્યપુસ્તકોનો સીધો જ અમલ કરવાનો નિર્ણય કરવામાં આવ્યો તેને અનુલક્ષીને NCERT, નવી દિલ્લી દ્વારા પ્રકાશિત ધોરણ XI ભૌતિકવિજ્ઞાન પ્રયોગશાળા માર્ગદર્શિકાનો ગુજરાતીમાં અનુવાદ કરીને વિદ્યાર્થીઓ સમક્ષ મૂકતાં ગુજરાત રાજ્ય શાળા પાઠ્યપુસ્તક મંડળ આનંદ અનુભવે છે.

આ પ્રયોગશાળા માર્ગદર્શિકાનો અનુવાદ તથા તેની સમીક્ષા નિષ્ણાત પ્રાધ્યાપકો અને શિક્ષકો પાસે કરાવવામાં આવ્યા છે અને સમીક્ષકોનાં સૂચનો અનુસાર હસ્તપ્રતમાં યોગ્ય સુધારા-વધારા કર્યા પછી આ પ્રયોગશાળા માર્ગદર્શિકા પ્રસિદ્ધ કરતાં પહેલા આ પ્રયોગશાળા માર્ગદર્શિકાની મંજૂરી માટે એક સ્ટેટ લેવલની કમિટીની રચના કરવામાં આવી. આ કમિટીની સાથે NCERTના પ્રતિનિધિ તરીકે RIE, ભોપાલથી ઉપસ્થિત રહેલા નિષ્ણાતોની એક ત્રિદિવસીય કાર્યશિબીરનું આયોજન કરવામાં આવ્યું અને પ્રયોગશાળા માર્ગદર્શિકાને અંતિમ સ્વરૂપ આપવામાં આવ્યું. જેમાં, ડૉ. એસ. કે. મકવાણા (RIE, ભોપાલ), ડૉ. કલ્પના મસ્કી (RIE, ભોપાલ), ડૉ. પી. એન. ગજજર, ડૉ. એન. કે ભટ્ટ, ડૉ. જી. એમ. સુતરિયા અને શ્રી પી. એમ. પટેલ ઉપસ્થિત રહી પોતાના કીમતી સૂચનો અને માર્ગદર્શન પૂરા પાડ્યા છે.

પ્રસ્તુત પ્રયોગશાળા માર્ગદર્શિકાને રસપ્રદ, ઉપયોગી અને ક્ષતિરહિત બનાવવા માટે માન.અગ્રસચિવશ્રી (શિક્ષણ) દ્વારા અંગત રસ લઈને જરૂરી માર્ગદર્શન આપવામાં આવ્યું છે. આ પ્રયોગશાળા માર્ગદર્શિકાની ચકાસણી શિક્ષણ વિભાગના વર્ગ 1 અને વર્ગ 2ના જેન્તે વિષય જાણતા અધિકારીશ્રીઓ દ્વારા પણ કરાવવામાં આવી છે. 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.

ડૉ. એમ. આઈ. જોષી

નિયામક

તા.

ડૉ. નીતિન પેથાણી

કાર્યવાહક પ્રમુખ

ગાંધીનગર

પ્રથમ આવૃત્તિ :

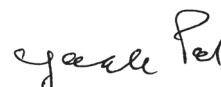
પ્રકાશક : ગુજરાત રાજ્ય શાળા પાઠ્યપુસ્તક મંડળ, 'વિદ્યાયન', સેક્ટર 10-એ, ગાંધીનગર વતી ડૉ. એમ. આઈ. જોષી,
નિયામક

મુદ્રક :

FOREWORD

The National Council of Educational Research and Training (NCERT) is the apex body concerning all aspects of refinement of School Education. It has recently developed textual material in Physics for Higher Secondary stage which is based on the National Curriculum Framework (NCF)–2005. NCF recommends that children’s experience in school education must be linked to the life outside school so that learning experience is joyful and fills the gap between the experience at home and in community. It recommends to diffuse the sharp boundaries between different subjects and discourages rote learning. The recent development of syllabi and textual material is an attempt to implement this basic idea. The present Laboratory Manual will be complementary to the textbook of Physics for Class XI. It is in continuation to the NCERT’s efforts to improve upon comprehension of concepts and practical skills among students. The purpose of this manual is not only to convey the approach and philosophy of the practical course to students and teachers but to provide them appropriate guidance for carrying out experiments in the laboratory. The manual is supposed to encourage children to reflect on their own learning and to pursue further activities and questions. Of course, the success of this effort also depends on the initiatives to be taken by the principals and teachers to encourage children to carry out experiments in the laboratory and develop their thinking and nurture creativity.

The methods adopted for performing the practicals and their evaluation will determine how effective this practical book will prove to make the children’s life at school a happy experience, rather than a source of stress and boredom. The practical book attempts to provide space to opportunities for contemplation and wondering, discussion in small groups, and activities requiring hands-on experience. It is hoped that the material provided in this manual will help students in carrying out laboratory work effectively and will encourage teachers to introduce some open-ended experiments at the school level.


21.5.08

PROFESSOR YASH PAL

Chairperson

National Steering Committee

National Council of Educational
Research and Training



PREFACE

The development of the present laboratory manual is in continuation to the NCERT's efforts to support comprehension of concepts of science and also facilitate inculcation of process skills of science. This manual is complementary to the *Physics Textbook for Class XI* published by NCERT in 2006 following the guidelines enumerated in National Curriculum Framework (NCF)-2005. One of the basic criteria for validating a science curriculum recommended in NCF-2005, is that 'it should engage the learner in acquiring the methods and processes that lead to the generation and validation of scientific knowledge and nurture the natural curiosity and creativity of the child in science'. The broad objective of this laboratory manual is to help the students in performing laboratory based exercises in an appropriate manner so as to develop a spirit of enquiry in them. It is envisaged that students would be given all possible opportunities to raise questions and seek their answers from various sources.

The physics practical work in this manual has been presented under four sections (i) experiments (ii) activities (iii) projects and (iv) demonstrations. A write-up on major skills to be developed through practical work in physics has been given in the beginning which includes discussion on objectives of practical work, experimental errors, logarithm, plotting of graphs and general instructions for recording experiments.

Experiments and activities prescribed in the NCERT syllabus (covering CBSE syllabus also) of Class XI are discussed in detail. Guidelines for conducting each experiment has been presented under the headings (i) apparatus and material required (ii) principle (iii) procedure (iv) observations (v) calculations (vi) result (vii) precautions (viii) sources of error. Some important experimental aspects that may lead to better understanding of result are also highlighted in the discussion. Some questions related to the concepts involved have been raised so as to help the learners in self assessment. Additional experiments/activities related to a given experiment are put forth under suggested additional experiments/activities at the end.

A number of project ideas, including guidelines are suggested so as to cover all types of topics that may interest young learners at higher secondary level.

A large number of demonstration experiments have also been suggested for the teachers to help them in classroom transaction. Teachers should encourage participation of the students in setting up and improvising apparatus, in discussions and give them opportunity to analyse the experimental data to arrive at conclusions.

Appendices have been included with a view to try some innovative experiments using improvised apparatus. Data section at the end of the book enlists a number of useful Tables of physical constants.

Each experiment, activity, project and demonstration suggested in this manual have been tried out by the experts and teachers before incorporating them. We sincerely hope that students and teachers will get motivated to perform these experiments supporting various concepts of physics thereby enriching teaching learning process and experiences.

It may be recalled that NCERT brought out laboratory manual in physics for senior secondary classes earlier in 1989. The write-ups on activities, projects, demonstrations and appendices included in physics manual published by NCERT in 1989 have been extensively used in the development of the present manual.

We are grateful to the teachers and subject experts who participated in the workshops organised for the review and refinement of the manuscript of this laboratory manual.

I acknowledge the valuable contributions of Prof. B.K. Sharma and other team members who contributed and helped in finalising this manuscript. I also acknowledge with thanks the dedicated efforts of Sri R. Joshi who looked after the coordinatorship after superannuation of Professor B.K. Sharma in June, 2008.

We warmly welcome comments and suggestions from our valued readers for further improvement of this manual.

HUKUM SINGH
Professor and Head
Department of Education in
Science and Mathematics

DEVELOPMENT TEAM

MEMBERS

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

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

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

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

Shashi Prabha, *Senior Lecturer*, DESM, NCERT, New Delhi

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

MEMBER-COORDINATORS

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

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

ACKNOWLEDGEMENT

The National Council of Educational Research and Training (NCERT) acknowledges the valuable contributions of the individuals and the organisations involved in the development of Laboratory Manual of Physics for Class XI. The Council also acknowledges the valuable contributions of the following academics for the reviewing, refining and editing the manuscript of this manual : A.K. Das, *PGT*, St. Xavier's Senior Secondary School, Raj Niwas Marg, Delhi; A.K. Ghatak, *Professor (Retired)*, IIT, New Delhi; A.W. Joshi, *Hon. Visiting Scientist*, NCRA, Pune; Anil Kumar, *Principal*, R.P.V.V., BT-Block, Shalimar Bagh, New Delhi; Anuradha Mathur, *PGT*, Modern School Vasant Vihar, New Delhi; Bharthi Kukkal, *PGT*, Kendriya Vidyalaya, Pushp Vihar, New Delhi; C.B. Verma, *Principal (Retired)*, D.C. Arya Senior Secondary School, Lodhi Road, New Delhi; Chitra Goel, *PGT*, R.P.V.V., Tyagraj Nagar, New Delhi; Daljeet Kaur Bhandari, *Vice Principal*, G.H.P.S., Vasant Vihar, New Delhi; Girija Shankar, *PGT*, R.P.V.V., Surajmal Vihar, New Delhi; H.C. Jain, *Principal (Retired)*, Regional Institute of Education (NCERT), Ajmer; K.S. Upadhyay, *Principal*, Jawahar Navodaya Vidyalaya, Farrukhabad, U.P.; M.N. Bapat, *Reader*, Regional Institute of Education (NCERT), Bhopal; Maneesha Pachori, Maharaja Agrasen College, University of Delhi, New Delhi; P.C. Agarwal, *Reader*, Regional Institute of Education (NCERT), Ajmer; P.C. Jain, *Professor (Retired)*, University of Delhi, Delhi; P.K. Chadha, *Principal*, St. Soldier Public School, Paschim Vihar, New Delhi; Pragya Nopany, *PGT*, Birla Vidya Niketan, Pushp Vihar-IV, New Delhi; Pushpa Tyagi, *PGT*, Sanskriti School, Chanakyapuri, New Delhi; R.P. Sharma, *Education Officer (Science)*, CBSE, New Delhi; R.S. Dass, *Vice Principal (Retired)*, Balwant Ray Mehta Vidya Bhawan, Lajpat Nagar, New Delhi; Rabinder Nath Kakarya, *PGT*, Darbari Lal, DAVMS, Pitampura, New Delhi; Rachna Garg, *Lecturer (Senior Scale)*, CIET, NCERT; Rajesh Kumar, *Principal*, District Institute of Educational Research and Training, Pitampura, New Delhi; Rajeshwari Prasad Mathur, *Professor*, Aligarh Muslim University, Aligarh; Rakesh Bhardwaj, *PGT*, Maharaja Agrasen Model School, CD-Block, Pitampura, New Delhi; Ramneek Kapoor, *PGT*, Jaspal Kaur Public School, Shalimar Bagh, New Delhi; Rashmi Bargoti, *PGT*, S.L.S. D.A.V. Public School, Mausam Vihar, New Delhi; S.N. Prabhakara, *PGT*, Demonstration Multipurpose School, Mysore; S.R. Choudhury, *Raja Ramanna Fellow*, Centre for Theoretical Physics, Jamia Millia Islamia, New Delhi; S.S. Islam, *Professor*, Jamia Millia Islamia, New Delhi; Sher Singh, *PGT*, Navyug School, Lodhi Road, New Delhi; Shirish R. Pathare, *Scientific Officer*, Homi Bhabha Centre for Science Education (TIFR), Mumbai; Subhash Chandra Samanta, *Reader (Retired)*, Midnapur College, Midnapur

(W.B.); Sucharita Basu Kasturi, *PGT*, Sardar Patel Vidyalaya, New Delhi; Surajit Chakrabarti, *Reader*, Maharaja Manindra Chandra College, Kolkata; Suresh Kumar, *PGT*, Delhi Public School, Dwarka, New Delhi; V.K. Gautam, *Education Officer (Science)*, Kendriya Vidyalaya Sangathan, Shaheed Jeet Singh Marg, New Delhi; Ved Ratna, *Professor (Retired)*, DESM, NCERT, New Delhi; Vijay H. Raybagkar, *Reader*, N. Wadia College, Pune; Vishwajeet D. Kulkarni, Smt. Parvatibai Chowgule College, Margo, Goa; Y.K. Vijay, CDPE University of Rajasthan, Jaipur, Rajasthan; Yashu Kumar, *PGT*, Kulachi Hansraj Model School, New Delhi. We are thankful to all of them. Special thanks are due to Hukum Singh, *Professor and Head*, DESM, NCERT for providing all academic and administrative support.

The Council also acknowledges the support provided by the APC Office and administrative staff of DESM, Deepak Kapoor, *Incharge*, Computer Station; Bipin Srivastva, Rohit Verma and Mohammad Jabir Hussain, *DTP Operators* for typing the manuscript, preparing CRC and refining and drawing some of the illustrations; Dr. K. T. Chitrlekha, *Copy Editor*; Abhimanu Mohanty, *Proof Reader*. The efforts of the Publication Department are also highly appreciated.



અનુક્રમણિકા

ભૌતિકવિજ્ઞાન પ્રાયોગિક કાર્યના મહત્વના કૌશલ્યો

1.1.1	પ્રસ્તાવના	1
1.1.2	પ્રાયોગિક કાર્યના હેતુઓ	2
1.1.3	પ્રાયોગિક કાર્યના વિશિષ્ટ હેતુઓ	4
1.1.4	પ્રાયોગિક ત્રુટિઓ	5
1.1.5	લઘુગણક	10
1.1.6	ત્રિકોણમિતિય વિધેય sine અને cosine ટેબલ	14
1.1.7	આલેખ દોરવા	14
1.1.8	પ્રયોગ કરવા માટેની સામાન્ય સૂચનાઓ	19
1.1.9	પ્રાયોગિક બુક (રેકૉર્ડ બુક)માં અવલોકન નોંધવા માટેની સામાન્ય સૂચનાઓ.	20

પ્રયોગો

E 1	વર્નિયર કેલીપર્સનો ઉપયોગ કરી	23
	(i) નાના ગોળાકાર અથવા નળાકાર પદાર્થનો વ્યાસ માપવો.	
	(ii) જ્ઞાત દ્રવ્યમાન ધરાવતા નિયમિત આકારના પદાર્થના પરિમાણોનું માપન કરી તેની ઘનતા શોધવી.	
	(iii) બીકર/ગ્લાસ/કેલોરીમીટર જેવા આપેલ નળાકારીય પદાર્થ માટે આંતરિક વ્યાસ અને ઊંડાઈ માપવી અને તેની મદદથી તેનું કદ ગણવું.	
E 2	સ્ક્રૂ ગેજનો ઉપયોગ કરી	33
	(a) આપેલ તારનો વ્યાસ માપો.	
	(b) આપેલ પતરાની જાડાઈ માપો.	
	(c) અનિયમિત સીટ (લેમીના)નું કદ નક્કી કરો.	
E 3	સ્ફેરોમીટરનો ઉપયોગ કરી આપેલ ગોળીય સપાટીની વક્રતાત્રિજ્યા નક્કી કરો.	42
E 4	બીમ બેલેન્સનો ઉપયોગ કરી બે જુદા જુદા પદાર્થના દ્રવ્યમાન માપવા.	48
E 5	સદિશ સરવાળા માટેના સમાંતરબાજુ ચતુષ્કોણના નિયમની મદદથી આપેલા પદાર્થ (લાકડાના બ્લોક)નું વજન માપવું.	55
E 6	સાદા લોલક ની મદદથી $L - T$ અને $L - T^2$ ના આલેખ દોરો અને યોગ્ય આલેખનો ઉપયોગ કરી સેકન્ડ લોલકની અસરકારક લંબાઈ શોધો.	60
E 7	સીમાંત ઘર્ષણ અને લંબ પ્રતિક્રિયાબળ વચ્ચેના સંબંધનો અભ્યાસ કરવો તથા ગતિ કરતા પદાર્થની સપાટી અને સમક્ષિતિજ સપાટી વચ્ચેનો ઘર્ષણાંક શોધવો.	68

E 8	ઢાળની સપાટી પર રહેલા રોલર પર ગુરુત્વાકર્ષણને લીધે અધોદિશામાં લાગતું બળ શોધવું અને ઢાળના ખૂણાનો તેની સાથેના સંબંધનો અભ્યાસ, બળ અને $\sin \theta$ ના આલેખની મદદથી કરવો.	74
E 9	સર્લના સાધનની મદદથી આપેલા તારના દૈર્ઘ્યનો યંગ મોડ્યુલસ નક્કી કરવો.	78
E 10	દોલનોની રીતનો ઉપયોગ કરી હેલીકલ સ્પ્રિંગ માટે $T^2 - m$ નો આલેખ દોરી તેનો બળ અચળાંક અને અસરકારક દ્રવ્યમાન શોધવું.	83
E 11	નિયત તાપમાને નિશ્ચિત હવાના જથ્થા માટે દબાણ (P) સાથે કદ (V)માં થતા ફેરફારનો અભ્યાસ P અને V તથા P અને $\frac{1}{V}$ ના આલેખની મદદથી કરવો.	89
E 12	કેશાકર્ષણની રીતથી પાણીનું પૃષ્ઠતાણ શોધવું.	95
E 13	આપેલા પ્રવાહીમાં ગોળાકાર પદાર્થના ટર્મિનલ (અંતિમ) વેગ માપી તે પ્રવાહીનો શ્યાનતા નક્કી કરવો	99
E 14	ગરમ પદાર્થના તાપમાન અને સમય વચ્ચેના સંબંધનો અભ્યાસ શીતન વક્ર (cooling curve) દોરીને કરવો.	104
E 15	(i) અચળ તણાવની અસર હેઠળ આપેલા સોનોમીટરના તારની આવૃત્તિ અને લંબાઈ વચ્ચેના સંબંધ નો અભ્યાસ કરવો. (ii) અચળ આવૃત્તિ એ આપેલા તારની લંબાઈ અને તણાવ વચ્ચેના સંબંધનો અભ્યાસ સોનોમીટરની મદદથી કરવો.	109
E 16	અનુનાદ નળીનો ઉપયોગ કરી ઓરડાના તાપમાને હવામાં ધ્વનિનો વેગ નક્કી કરવો.	114
E 17	મિશ્રણની પદ્ધતિથી આપેલા (i) ઘન અને (ii) પ્રવાહીની વિશિષ્ટ ઉષ્મા-ક્ષમતા નક્કી કરવી.	119

પ્રવૃત્તિ

A1	(a) 0.2 cm અને (b) 0.5 cm લઘુત્તમ માપ વાળી પેપરની સ્કેલ બનાવવી.	125
A2	ચાક્રમાત્રાના સિદ્ધાંતનો ઉપયોગ કરી મીટરપટ્ટી વડે આપેલ પદાર્થનું દ્રવ્યમાન નક્કી કરવું.	128
A3	યોગ્ય પ્રમાણમાપ પસંદ કરીને આપેલી માહિતીના સમૂહનો આલેખ દોરવો અને સાધનની ચોક્કસાઈના કારણે મળતા ત્રુટિના સ્તંભ દર્શાવવા.	132
A4	સમક્ષિતિજ સપાટી પર રોલર (લાકડાના બ્લોક) માટે સીમાંત રોલીંગ ઘર્ષણબળ શોધવું.	137
A5	પ્રક્ષિપ્ત કોણ બદલવાથી પાણીની ધારની (jet of water) અવધિમાં થતા ફેરફારનો અભ્યાસ કરવો.	140
A6	ઢોળાવવાળા સમતલ પરથી ગબડતા દડા માટે ઊર્જા સંરક્ષણનો અભ્યાસ કરવો. (બે ઢોળાવવાળા સમતલનો ઉપયોગ કરી.)	144
A7	સમય સાથે સાદા લોલકની ઊર્જાના વ્યયનો અભ્યાસ કરવો.	148
A8	પીગળેલા મીણ માટે અવસ્થાનો ફેરફારનો અભ્યાસ કરી, શીત-વક્ર દોરવા	152
A9	દ્વિ-ધાત્વીય (bi-metallic) પટ્ટી પર તાપમાનની અસરનું અવલોકન કરવું અને સમજાવવું.	155

A10	પાત્રમાં રહેલા પ્રવાહીની સપાટીની ઊંચાઈ (level) પર તાપમાનની અસરનો અભ્યાસ કરવો અને અવલોકનોનું અર્થઘટન કરવું.	158
A11	પાણીના પૃષ્ઠતાણ પર ડીટર્જન્ટની અસરનો અભ્યાસ કેશાકર્ષણની મદદથી કરવો.	160
A12	પ્રવાહી વડે ગુમાવાતી ઉષ્માના દર પર અસર કરતાં પરિબળોનો અભ્યાસ કરવો.	163
A13	જડીત કરેલી માપપટ્ટી (cantilever) પર (i) અંત્યભાગમાં (ii) મધ્યભાગમાં વજન લટકાવવાથી થતા વંકનની અસરનો અભ્યાસ કરવો.	167

પ્રોજેક્ટ

P1	સાદા લોલકની ઊર્જાનું સંરક્ષણ થાય છે કે કેમ તે તપાસવું.	173
P2	મીટરપટ્ટીનો પટ્ટીલોલક (bar pendulum) તરીકે ઉપયોગ કરી તેના દ્રવ્યમાનકેન્દ્રને અનુલક્ષીને ચક્રાવર્તનની ત્રિજ્યા શોધવી.	181
P3	અચળ બળની અસર હેઠળ પદાર્થના વેગમાં થતો ફેરફાર તપાસવો અને તેનો પ્રવેગ શોધવો.	186
P4	જુદા જુદા પદાર્થોની ઉષ્મીય અવાહક તરીકેની અસરકારકતાની સરખામણી કરવી.	190
P5	જુદા જુદા દ્રવ્યોની ધ્વનિશોષક તરીકેની અસરકારકતાની સરખામણી કરવી.	193
P6	રબરના જુદા જુદા નમુનાની સ્થિતિસ્થાપકતાના યંગ મોડ્યુલસની સરખામણી કરવી અને તેમના સ્થિતિસ્થાપક હિસ્ટેરીસીસ વક્રોની સરખામણી કરવી.	197
P7	દ્વિપરિમાણમાં બે ગોળાના સંઘાતનો અભ્યાસ કરવો.	200
P8	ફોર્ટીનના બેરોમીટરનો અભ્યાસ કરવો અને તેના વડે વાતાવરણનું દબાણ માપવું.	204
P9	સર્પિલ (helical) સ્પ્રિંગ નીચે લટકાવેલા વજન વિરુદ્ધ લંબાઈમાં થતા વધારાનો આલેખ દોરવો અને તે આલેખ પરથી સ્પ્રિંગ અચળાંકનો અભ્યાસ કરવો.	208
P10	વિકિરણના ઉત્સર્જન અને શોષણ પર સપાટીની પ્રકૃતિની અસરનો અભ્યાસ કરવો.	213
P11	0.2 લોલકની મદદથી ઊર્જા સંરક્ષણનો અભ્યાસ કરવો.	216

નિદર્શનો

D1	સુરેખ પથ પર નિયમિત ગતિનું નિદર્શન કરવું.	219
D2	ઢોળાવવાળા રસ્તા પર દડાની ગતિનું નિદર્શન કરવું.	223
D3	વર્તુળાકાર પથ પર અચળ વેગથી ગતિ કરવા માટે કેન્દ્રગામી બળ જરૂરી હોય છે અને આ બળનું મૂલ્ય કોણીય વેગના વધારા સાથે વધે છે તેવું નિદર્શન કરવું :	224
D4	કેન્દ્રત્યાગી સિદ્ધાંતનું નિદર્શન કરવું.	226
D5	સ્થિતિઊર્જા અને ગતિઊર્જાના આંતરપરિવર્તન (પરસ્પર રૂપાંતરણ)નું નિદર્શન કરવું	227
D6	વેગમાનના સંરક્ષણનું નિદર્શન કરવું.	228
D7	પ્રક્ષિપ્તકોણની પ્રક્ષિપ્ત પદાર્થની અવધિ પરની અસરનું નિદર્શન	229

D8	સળિયા પર લગાવેલ બે સમાન વજનના સ્થાનના ફેરફાર સાથે સળિયાની જડત્વની ચાકમાત્રામાં ફેરફારનું નિદર્શન :	230
D9	કાયની બે પટ્ટીઓ વચ્ચે ફાયર (Wedge) આકારની જગ્યામાં કેશાકર્ષણના આકારનું નિદર્શન કરવું.	232
D10	વરાળને કારીને મળતા અંશતઃ શૂન્યાવકાશમાં વાતાવરણના દબાણની અસરનું નિદર્શન	233
D11	ડોક્ટરની સીરીજનો ઉપયોગ કરી અચળ તાપમાને વાયુના દબાણ સાથે તેના કદમાં થતા ફેરફારોનું નિદર્શન કરવું.	235
D12	સાદા ઉદાહરણની મદદથી બર્નુલીના પ્રમેયનું નિદર્શન કરવું	237
D13	ગરમ કરવાથી ધાતુના તારમાં થતાં વિસ્તરણનું નિદર્શન	240
D14	સમાન દ્રવ્યમાનવાળા ઍલ્યુમિનિયમ, લોખંડ, તાંબા અને બીડની ઉષ્માધારિતા અસમાન હોય તેવું નિદર્શન	241
D15	જુદા જુદા દોલકતંત્રોના મુક્ત દોલનોનું નિદર્શન કરવું.	243
D16	યુગ્મીત દોલકોના સેટના અનુનાદનું નિદર્શન કરવું	247
D17	માધ્યમના અવરોધના કારણે લોલકના અવમંદનનું નિદર્શન કરવું	248
D18	લંબગત અને સંગત તરંગોનું નિદર્શન કરવું.	249
D19	બે જુદા જુદા માધ્યમોની સીમા પરથી તરંગોના પરાવર્તન અને પ્રસરણનું નિદર્શન કરવું	251
D20	થોડીક જુદી આવૃત્તિ ધરાવતા બે સ્વરકાંટા વડે ઉત્પન્ન થતા તરંગોના સંપાતપણાને લીધે મળતી સ્પંદની ઘટનાનું નિદર્શન કરવું	253
D21	સ્પ્રિંગ વડે સ્થિત તરંગોનું નિદર્શન કરવું.	254

પરિશિષ્ટો (A-1થી A-14)	256-263
બાઈબલોગ્રાફી (ગ્રંથસૂચિ, સંદર્ભ ગ્રંથ)	264-265
ડેટા વિભાગ	266-275

I ભૌતિકવિજ્ઞાનના

પ્રાયોગિક કાર્યના મહત્વના કૌશલ્યો

I 1.1 પ્રસ્તાવના

શાળાકીય અભ્યાસમાં ઉચ્ચતર માધ્યમિક વિભાગ એ ખૂબ જ નિર્ણાયક અને પડકારરૂપ તબક્કો છે, કારણકે આ તબક્કે સામાન્ય રીતે અવિભાજિત અભ્યાસક્રમ શાખા આધારિત વિષયવસ્તુ ક્ષેત્ર અભિગમમાં રૂપાંતરિત થાય છે. આ તબક્કે વિદ્યાર્થીઓ ભૌતિકશાસ્ત્ર ને એક શાખા તરીકે, ભવિષ્યની કારકિર્દીના ઉજ્જવળ હેતુ સાથે મૂળભૂત વિજ્ઞાન અથવા વિજ્ઞાન આધારિત વ્યવસાયિક અભ્યાસક્રમો જેવા કે એન્જિનિયરીંગ, મેડિકલ, ઇન્ફોર્મેશન ટેકનોલોજી વગેરે તરીકે લે છે.

ભૌતિકવિજ્ઞાન દ્રવ્ય અને ઊર્જા સાથે જોડાયેલા નિર્જીવ અને સજીવ વિશ્વના અભ્યાસ સાથે સંકળાયેલ છે. જો કે વિજ્ઞાનની બધી જ શાખાઓમાં પ્રાયોગિક કાર્ય જરૂરી છે. પ્રયોગ શાળામાં નિયંત્રિત પ્રયોગો એ ભૌતિકવિજ્ઞાનમાં પાયાનું મહત્વ ધરાવે છે. ભૌતિકવિજ્ઞાનમાં પ્રયોગશાળામાં પ્રયોગ કરવાનો પાયાનો હેતુ, સામાન્યતઃ સિદ્ધાંતો, નિયમો અને અધિર્તક સાથે સંકળાયેલ ભૌતિક ઘટનાઓ ચકાસવી અને તેની સત્યાર્થતા મેળવવી છે. ફક્ત આટલું કરવાથી શીખાઉ પોતે સ્વતંત્ર વિચારસરણીવાળા કે સંશોધન કરી શકે તેવા બની જતા નથી. આ બાબતે પ્રાયોગિક કાર્ય એ ખૂબ જ જરૂરી અને જુદા જુદા રસ્તે પ્રેરણારૂપ બને છે. અહીં માત્ર પ્રયોગ જ કરવાનો નથી; પરંતુ પ્રયોગ કરવાની સાથે સંકળાયેલ અન્ય પાસાઓનાં સંશોધનનો પણ સમાવેશ થાય છે. ઘણી પ્રવૃત્તિઓ અને પ્રોજેક્ટ કાર્ય વિદ્યાર્થીઓના પ્રયોગને લગતા સંશોધનથી થયેલ પ્રથમદર્શી અનુભવો વધારે સુદૃઢ બને છે. તેમ છતાં, વિદ્યાર્થીઓ પ્રાયોગિક કાર્યનું ઉચ્ચતર માધ્યમિક તબક્કે વાતાવરણમાંથી મેળવેલ સૈદ્ધાંતિક જ્ઞાન સાથે સંકલન કરવા સક્ષમ બને છે.

વિજ્ઞાનનો ઇતિહાસ તપાસતાં માલૂમ પડે છે કે ઘણીખરી મહત્વની શોધો પ્રયોગ કરતાં હોય તે દરમિયાન થયેલ છે. ભૌતિકવિજ્ઞાનના વિકાસમાં, ઘટનાના સૈદ્ધાંતિક અર્થઘટન જેટલી જ અગત્યતા પ્રાયોગિક કાર્યની છે. કોઈ વ્યક્તિ દ્વારા પોતાની જાતે પ્રયોગશાળામાં પ્રયોગ કરવાથી તેનામાં જ્ઞાન પેદા કરવાની પ્રક્રિયામાં સીધો સંકળાયેલ હોય તેવી અનુભૂતિ મેળવે છે. પ્રયોગશાળામાં જાતે પ્રયોગ કરવાથી અને મેળવેલ માહિતીનું વિશ્લેષણ કરવાથી તેનામાં વૈજ્ઞાનિક અભિગમ, તાર્કિક વિચારસરણી, સામાન્ય દેખાવ, આત્મવિશ્વાસની સમજ, છૂટું પાડવાની ક્ષમતા, વૈકલ્પિક સહકારનો અભિગમ, ધીરજ, ખંત, સ્વયં જવાબદારી જેવા ગુણોનો વિકાસ થાય છે. પ્રયોગ કરવાથી ગોઠવણ કરવાની, અવલોકન કરવાની અને અહેવાલ લખવાના કૌશલ્યોનો પણ વિકાસ થાય છે.

નેશનલ ક્યુરિકુલમ ફ્રેમ વર્ક (NCF-2005) અને માધ્યમિક અને ઉચ્ચતર માધ્યમિક કક્ષાએ અભ્યાસક્રમ (NCERT-2006) માં શીખવવા-શીખવાની પ્રક્રિયા સંકલનમાં પ્રાયોગિક કાર્યને ખૂબ જ મહત્વ આપેલ છે.

NCERT એ નવા અભ્યાસક્રમ પર આધારિત ભૌતિકવિજ્ઞાન ધોરણ - ૧૨ માટે પાઠ્યપુસ્તક પ્રકાશિત કરેલ છે. તેના પૂરકમાં વિભાવનાઓને સમજવા તેમજ ભૌતિકવિજ્ઞાન પ્રયોગશાળામાં તેનું સંકલન કરવા તથા ભૌતિકવિજ્ઞાનના અભ્યાસક્રમમાં આવતી વિષયવસ્તુ માટે આ પ્રાયોગિક પુસ્તક વિકસાવવામાં આવ્યું છે. પ્રાયોગિક ભૌતિકવિજ્ઞાન પુસ્તકનો મુખ્ય આશય વિદ્યાર્થીઓને ‘પ્રક્રિયા અભિગમિત દેખાવ’માં (ઉત્પાદિત અથવા પરિણામ અભિગમિત દેખાવ) ગોઠવીને તથા શાળાકીય કાર્યમાં પ્રયોગ પ્રત્યે પ્રોત્સાહિત કરવાનો છે. શાળાના પ્રાયોગિક કાર્ય દરમિયાન રહેલા ભયસ્થાનોને સમજવા માટે આ પ્રાયોગિક પુસ્તક મદદરૂપ અને મૂલ્યવાન સાબિત થશે તેવી આશા રાખું છું.

I 1.2 પ્રાયોગિક કાર્યના હેતુઓ

ભૌતિકવિજ્ઞાન કુદરતી ઘટનાઓને સમજવા સાથે સંકળાયેલ છે અને આ ઘટનાઓની સમજણનો ઉપયોગ ટેકનોલોજી અને સમાજની સુધારણા માટે કરવામાં આવે છે. ભૌતિકવિજ્ઞાન પ્રયોગિક કાર્ય ‘કામ (પ્રયત્ન) કરતાં શીખો’ને સાંકળે (સમાવિષ્ટ) કરે છે. તે વિભાવનાને સ્પષ્ટ કરે છે અને તપાસના બીજ રોપે છે.

પ્રયોગ અથવા પ્રવૃત્તિ દરમિયાન કાળજીપૂર્વક અને તબક્કાવાર અવલોકનોની શ્રેણી વ્યક્તિગત અથવા નાના ગ્રુપ અથવા સંયુક્ત સંશોધન શીખવાની સગવડતા પૂરી પાડે છે.

પ્રાયોગિક ભૌતિક વિજ્ઞાનના અભ્યાસક્રમથી વિદ્યાર્થી મૂળભૂત નિયમો અને સિદ્ધાંતો આધારિત પ્રયોગ કરવા અને જુદા જુદા માપનના સાધનોના ઉપયોગથી અનુભવ મેળવવા સશક્ત બને છે. પ્રાયોગિક કાર્ય શીખવાના મૂળભૂત કૌશલ્યનો વિકાસ કરે છે. ભૌતિકવિજ્ઞાનના પ્રાયોગિક કાર્યથી વિકાસ પામતા મુખ્ય કૌશલ્યોની નીચે ચર્ચા કરેલ છે.

I 1.2.1 ગોઠવણ (પ્રયોગિક સાધનો) કૌશલ્ય

જો અધ્યેતા (શીખનાર) નીચે જણાવેલ બાબતો ધ્યાનમાં લેશે તો તેનામાં પ્રાયોગિક કાર્યમાં ગોઠવણ કૌશલ્યનો વિકાસ થશે.

- સૈદ્ધાંતિક અને પ્રયોગના હેતુઓ વચ્ચેનો સંબંધ સમજે.
- પ્રયોગ કરવાની પદ્ધતિ વિશે કલ્પના કરે.
- સાધનોની યોગ્ય ક્રમમાં ગોઠવણ કરે.
- સાધનો, સામગ્રી, યંત્ર વગેરેની કાર્ય પદ્ધતિ અને સિદ્ધાંતની યોગ્યતા ચકાસે.
- માપનના સાધનની મર્યાદા જાણે અને તેનું લઘુત્તમ માપ, ત્રુટિ વગેરે શોધે.
- સાધન કે તેને વ્યક્તિગત નુકસાન નિવારવા કાળજીપૂર્વક અને ધ્યાનપૂર્વક સાધનનો ઉપયોગ કરે.

- (vii) પદ્ધતિસર પ્રયોગ કરે.
- (viii) ચોકસાઈપૂર્વક અવલોકન કરે અને નોંધે.
- (ix) સૂત્રમાં યોગ્ય માહિતી મૂકે અને યોગ્ય SI એકમો ધ્યાનમાં રાખે.
- (x) પરિણામની ચોકસાઈથી ગણતરી કરે અને તેની યોગ્ય સાર્થક અંક સહિતની રજૂઆત કરે અને સાધનની ચોકસાઈના અંશ નક્કી કરે.
- (xi) પરિણામનું અર્થઘટન કરે, સિદ્ધાંતને ચકાસે અને તારણ લખે અને
- (xii) સાદા સાધનોનો ભવિષ્યના સંશોધન માટે યોગ્ય સાધન તંત્ર, યંત્ર, દ્રવ્યમાં જરૂરી સુધારા કરે.

I 1.2.2 અવલોકનકીય કૌશલ્ય

જો અધ્યેતા (શીખનાર) નીચે જણાવેલ બાબતો ધ્યાનમાં લેશે તો તેનામાં પ્રાયોગિક કાર્યના અવલોકનકીય કૌશલ્યનો વિકાસ થશે.

- (i) સાધન વિશે વાંચે અને લઘુત્તમ માપને ધ્યાનમાં રાખીને ભૌતિકરાશિનું માપન કરે.
- (ii) અવલોકન નોંધતી વખતે સાચો ક્રમબદ્ધ અનુસરે.
- (iii) પદ્ધતિસર શિષ્ટાચારમાં સાવચેતીપૂર્વક અવલોકન નોંધે.
- (iv) દરેક અવલોકન સ્વતંત્ર રીતે વધારે વખત પુનરાવર્તિત કરવાથી અવલોકનમાં આવતી અમુક ત્રુટિ ઘટાડી શકાય છે.

I 1.2.3 ચિત્ર કૌશલ્ય

જો અધ્યેતા (શીખનાર) નીચે જણાવેલ બાબતો ધ્યાનમાં લેશે તો તેનામાં ચિત્ર કૌશલ્યનો વિકાસ થશે.

- (i) પ્રયોગના સાધનનું પ્રમાણસર રેખાચિત્ર બનાવે.
- (ii) કિરણોની રચનાવાળું સાચું રેખાચિત્ર, સાચો વિદ્યુત પરિપથ અને તેમને નામનિર્દેશન કરી દોરે.
- (iii) બળ, તણાવ, વિદ્યુતપ્રવાહ, પ્રકાશના કિરણની દિશા યોગ્ય રેખા અને તીર દ્વારા દર્શાવે અને
- (iv) સાચો આલેખ દોરે અને યોગ્ય પ્રમાણમાપનો ઉપયોગ અને યોગ્ય પ્રમાણમાપની પસંદગીથી સ્વચ્છ આલેખ દોરે.

I 1.2.4 અહેવાલ કૌશલ્ય

જો અધ્યેતા (શીખનાર) નીચે જણાવેલ બાબતો ધ્યાનમાં લેશે તો તેનામાં અહેવાલ કૌશલ્યનો વિકાસ થશે.

- (i) પ્રયોગ માટેના હેતુ, સાધનો, ઉપયોગમાં લીધેલ સૂત્ર, સિદ્ધાંત, અવલોકન કોઠો, ગણતરી અને પરિણામની યોગ્ય રજૂઆત.

- (ii) નામ નિર્દેશનવાળી રેખાકૃતિમાં ઘટકોની યોગ્ય સંજ્ઞા સહિત રજૂઆત.
 - (iii) પદ્ધતિસર અવલોકનોની નોંધ અને જરૂર જણાય ત્યાં અવલોકન કોઠામાં યોગ્ય એકમોની નોંધ.
 - (iv) કિરણ પ્રકાશશાસ્ત્રના પ્રયોગમાં માપનની નોંધ વખતે યોગ્ય સંજ્ઞા પદ્ધતિને અનુસરે.
 - (v) આપેલ પ્રયોગની ગણતરી/પરિણામની યોગ્ય સાર્થક અંક, યોગ્ય સંજ્ઞાઓ, એકમો, ચોકસાઈનું પ્રમાણ સહિત રજૂઆત કરે.
 - (vi) પરિણામમાં ત્રુટિની ગણતરી કરે.
 - (vii) સાધનની મર્યાદાઓની રજૂઆત કરે.
 - (viii) અધિતર્કનો સ્વીકાર કે અસ્વીકાર કરવામાં આવ્યો તેનો સારાંશ.
 - (ix) નોંધેલ અવલોકનો, માહિતી અથવા દોરેલ આલેખનું યોગ્ય અર્થઘટન કરી તારણ મેળવે અને
 - (x) કરેલ કામગીરીમાં ભવિષ્યમાં સંશોધનના શોધને અવકાશ દર્શાવે.
- તેમ છતાં, વધુ મહત્વના એવા સર્જનાત્મકતાનો વિકાસ અને સંશોધનની કળા જેવા કૌશલ્યો ખીલે.

I 1.3 પ્રાયોગિક કાર્યના વિશિષ્ટ હેતુઓ

પ્રાયોગિક કાર્યના વિશિષ્ટ હેતુઓ તરીકે પ્રક્રિયા અભિગમિત દેખાવ કૌશલ્ય અને ઉત્પાદિત અભિગમિત દેખાવ કૌશલ્ય વર્ગીકૃત કરી શકાય છે.

I 1.3.1 પ્રક્રિયા અભિગમિત દેખાવ કૌશલ્ય

અધ્યેતા (શીખનાર)માં પ્રાયોગિક કાર્યમાં પ્રક્રિયા અભિગમિત દેખાવ કૌશલ્યનો વિકાસ કરી શકાય, જો તે નીચેની બાબતો માટે સક્ષમ હોય.

- (i) જો તે યોગ્ય યંત્રો, સાધનો, સામગ્રી, રસાયણોની પસંદગી કરે અને તેને યોગ્ય રીતે જાળવે.
- (ii) સાધન સાથે યોગ્ય રીતે કામ કરે.
- (iii) સાધનની ત્રુટિ અને તેની મર્યાદાઓને શોધે અને તેનું નિરાકરણ કરે.
- (iv) પ્રયોગમાં ઉપયોગમાં લીધેલ સિદ્ધાંત/સૂત્ર લખે.
- (v) અવલોકન લેવા માટે વ્યવસ્થિત નકશો તૈયાર કરવો.
- (vi) જ્યાં જરૂર પડે ત્યાં સાધન/કિરણ રેખાકૃતિ/વિદ્યુત પરિપથની સ્વચ્છ અને નામનિર્દેશનવાળી આકૃતિ દોરે.
- (vii) પ્રયોગ કરવા સાધનની યોગ્ય ગોઠવણી કરે.

- (viii) સાધન, રસાયણો અને સામગ્રીનો કાળજીપૂર્વક ઉપયોગ કરે.
- (ix) અવલોકનો પર અસર કરી શકે તેવા પરિબળોને ઓળખે અને તેની અસરોને ઘટાડવા માટે યોગ્ય માપનો કરે.
- (x) ફાળવેલ સમયમાં યોગ્ય ઝડપ, ચોકસાઈ અને ચીવટતાપૂર્વક પ્રયોગ પૂર્ણ કરે.
- (xi) મેળવેલ માહિતીને આલેખમાં રજૂ કરે અને યોગ્ય પ્રમાણમાપ પસંદ કરી યોગ્ય પ્રમાણમાપનો ઉપયોગ કરી આલેખ દોરે.
- (xii) નોંધેલ માહિતી, અવલોકનો, ગણતરી અને દોરેલ આલેખના અર્થઘટન પરથી તારણ મેળવે.
- (xiii) પ્રયોગ દરમિયાન સંકળાયેલ સિદ્ધાંત, પદ્ધતિ અને સાવચેતીઓનો યોગ્ય રીતે અહેવાલ કરે.
- (xiv) સાધનોને અલગ કરીને તેની પુનઃગોઠવણ કરે.
- (xv) પ્રયોગશાળાની કાર્યપદ્ધતિ માટેની પ્રમાણભૂત માર્ગદર્શિકાને અનુસરે.

I 1.3.2 ઉત્પાદક-અભિગમિત રજૂઆત કૌશલ્ય

અધ્યેતા (શીખનાર)માં પ્રાયોગિક કાર્યમાં ઉત્પાદક-અભિગમિત રજૂઆત કૌશલ્યનો વિકાસ કરી શકાય, જો તે નીચેની બાબતો માટે સક્ષમ હોય.

- (i) પ્રયોગમાં વપરાયેલ સાધન અને સામગ્રીના જુદા જુદા ભાગને ઓળખે.
- (ii) પ્રયોગની રૂપરેખા અનુસાર સાધનોને ગોઠવે.
- (iii) અવલોકનો નોંધે અને પદ્ધતિસર માહિતીને નોંધે અને આલેખકીય અથવા સાંખ્યિક વિશ્લેષણની સુવિધા પૂરી પાડે.
- (iv) આલેખ, ગણતરી વગેરેનો ઉપયોગ કરીને અવલોકનોને પદ્ધતિસર રજૂ કરે અને નોંધેલ અવલોકનોને અસરકર્તા પરિબળ રજૂ કરે.
- (v) નોંધેલ અવલોકનોને વર્ગીકૃત અને અર્થઘટન કરી પરિણામને અંતિમ સ્વરૂપ આપે અને
- (vi) પ્રયોગના સંશોધન પર આધારિત અધિકૃત સ્વીકારે કે અસ્વીકાર કરે.

I 1.4 પ્રાયોગિક ત્રુટિઓ

દરેક પ્રયોગનો અંતિમ ઉદ્દેશ સીધો કે આડકતરી રીતે કેટલીક ભૌતિકરાશિના મૂલ્યને માપવા માટેનો છે. ઘણી પ્રક્રિયાઓ માપનના મૂલ્યમાં કેટલીક અનિશ્ચિતતાઓ લાવે છે. ત્રુટિ વિનાનું કોઈ માપન હોઈ શકે નહિ. કેટલાક પ્રયોગો દ્વારા માપેલ ભૌતિકરાશિનું આ પ્રાયોગિક મૂલ્ય તેના પ્રમાણિત કે સાચા મૂલ્ય કરતાં કદાચ અલગ હોઈ શકે. ધારો કે કોઈ ભૌતિકરાશિનું પ્રાયોગિક અવલોકન કરેલ મૂલ્ય 'd' અને તેનું સાચું મૂલ્ય a_0 છે. તફાવત $(a - a_0) = e$ ને માપનમાં આવેલ ત્રુટિ કહે છે. a_0 સાચું મૂલ્ય

મોટાભાગે જાણીતું હોતું નથી અને આથી ત્રુટિ e નું નિરપેક્ષ મૂલ્ય જ્ઞાત કરવું શક્ય નથી તેમ છતાં e ના લગભગ મૂલ્યનો અંદાજ મેળવવો શક્ય છે. ત્રુટિના અંદાજિત મૂલ્યને પ્રાયોગિક ત્રુટિ કહે છે. માપનના સાધનનું લઘુત્તમ માપ અથવા લઘુત્તમ માપના ગાણિતિક સૂત્રમાં આવતા ચલને લીધે ત્રુટિ ઉદભવે છે. પ્રયોગની ગુણવત્તાને આધારે પરિણામમાં આવતી પ્રાયોગિક અનિશ્ચિતતા નક્કી કરી શકાય છે. અનિશ્ચિતતાનું નાનું મૂલ્ય એ પ્રાયોગિક રીતે માપેલ મૂલ્યને સાચા મૂલ્યની નજીક લઈ જાય છે. ચોક્કસાઈ એ પ્રાયોગિક મૂલ્યથી સાચા મૂલ્યની નજીકતાનું માપ દર્શાવે છે. બીજી બાજુ, જો કોઈ ભૌતિકરાશિનું એકના એક પ્રયોગમાં ફરી ફરીને પુનરાવર્તિત રીતે માપવામાં આવે તો, મેળવેલ મૂલ્યો એકબીજાથી અલગ હોઈ શકે. આ ફેલાવો અથવા પ્રાયોગિક માહિતીનો વિસ્તાર એ પ્રયોગ અથવા સાધનની ચોક્કસતાનું માપ દર્શાવે છે. નાના વિસ્તારમાં પ્રાયોગિક મૂલ્યનો ફેલાવો એટલે વધારે ચોક્કસાઈ સાથેનો પ્રયોગ. આમ, સાચાપણું અને ચોક્કસાઈ બે અલગ ખ્યાલ (વિભાવના) છે. સાચાપણું એ સાચા મૂલ્યની નજીકનું માપ જ્યારે ચોક્કસાઈ એ પ્રાયોગિક માહિતીના ફેલાવાનું માપ દર્શાવે છે. એવું પણ શક્ય બની શકે કે ચોક્કસાઈથી મેળવેલ પ્રાયોગિક માહિતી કદાચ સાચી ન પણ હોય. (જો ત્યાં ઘણી બધી વ્યવસ્થિત ત્રુટિઓ હાજર હોય તો) મહત્તમ ફેલાવાનો લગભગ અંદાજ તે સાધનના લઘુત્તમ માપ સાથે જોડાયેલો છે.

પ્રાયોગિક ત્રુટિઓને બે પ્રકારમાં વર્ગીકૃત કરી શકાય. (a) વ્યવસ્થિત (b) અવ્યવસ્થિત. વ્યવસ્થિત ત્રુટિઓ ઉદભવવાના કારણો (i) ખામીયુક્ત સાધન (જેવી કે વર્નિયર કેલીપર્સની શૂન્ય ત્રુટિ) (ii) પ્રયોગ કરવાની ખોટી પદ્ધતિ અને (iii) પ્રયોગ કરનાર વ્યક્તિની વ્યક્તિગત ખામી. વ્યવસ્થિત ત્રુટિઓ એવી ત્રુટિઓ છે કે જેમાં સુધારો લાગુ પાડી શકાય છે અને સિદ્ધાંતની રીતે તેને દૂર કરી શકાય છે. કેટલીક સામાન્ય વ્યવસ્થિત ત્રુટિઓ. (i) માઈક્રોમીટર સ્કૂ અને વર્નિયર કેલીપર્સમાં શૂન્ય ત્રુટિ (ii) ‘તીવ્ર નકારાત્મક’ (backlash) ત્રુટિ. જ્યારે માઈક્રોસ્કોપના સ્કૂને પ્રથમ એક દિશામાં અને પછી મૂળ દિશામાં ફેરવીને અવલોકન લેવામાં આવે ત્યારે નોંધેલ અવલોકન ખરેખર સ્કૂના ફેરવવાથી મળતા અંતર કરતાં ઓછું હોય છે. આ ત્રુટિ નિવારવા સ્કૂને એક જ દિશામાં ફેરવીને અવલોકન નોંધવામાં આવે. (iii) બેન્ય ત્રુટિ અથવા ઈન્ડેક્સ સુધારણાને પ્રકાશીય બેન્યની માપપટ્ટી પર જ્યારે અંતર માપવામાં આવતા હોય ત્યારે પ્રકાશીય સાધનો વચ્ચે સાચું અંતર મળતું નથી સાચું મૂલ્ય મેળવવા તેનાં તફાવતનો ઉમેરો કે બાદબાકી જરૂરી છે. (iv) જો સંબંધ સુરેખ હોય અને વ્યવસ્થિત ત્રુટિ અચળ રહેતી હોય, ઢાળ અચળ રહે તે રીતે સુરેખ આલેખ ખસે છે. પરંતુ અંતઃખંડ વ્યવસ્થિત ત્રુટિયુક્ત બને છે.

કેટલાક પ્રયોગોના પરિણામોમાં વ્યવસ્થિત ત્રુટિ છે કે નહિ તે શોધવા માટે એક જ ભૌતિક રાશિ જુદી જુદી રીતથી માપવામાં આવે. જો એક જ ભૌતિકરાશિના મૂલ્ય બે જુદી જુદી રીતથી મેળવેલ હોય તેમાં ખૂબ મોટો તફાવત હોય, તો તેમાં વ્યવસ્થિત ત્રુટિ હોવાની સંભાવના છે. પ્રાયોગિક મૂલ્ય વ્યવસ્થિત ત્રુટિના સુધારા પછી પણ ત્રુટિ ધરાવે છે. આવી વધેલી (બાકી રહેલી) ત્રુટિઓ કે જેમના ઉદગમો છૂટાં પાડી શકાતા નથી તેમને અવ્યવસ્થિત ત્રુટિ કહે છે. અવ્યવસ્થિત ત્રુટિને નિવારી શકાતી નથી

અને અવ્યવસ્થિત ત્રુટિનું ચોક્કસ મૂલ્ય મેળવવાની કોઈ રીત નથી. તેમ છતાં તેની માત્રા એક જ ભૌતિક રાશિનું એક જ પદ્ધતિથી ફરીને ફરી (વારંવાર) અવલોકન લઈ કદાચ ઘટાડી શકાય છે અને માપેલ કિંમતોનું સરેરાશ મૂલ્ય લેવામાં આવે છે. (વધારે વિગત માટે Physics textbook for class-XI part-I, chapter-2 NCERT, 2006 જુઓ.)

પ્રયોગશાળામાં પ્રયોગ કરતી વખતે જુદા જુદા લઘુત્તમ માપવાળા જુદા જુદા સાધનોની મદદથી જુદી જુદી ભૌતિકરાશિઓનું માપન કરવામાં આવે છે. જે સાધન વડે માપન કરવામાં આવ્યું હોય, તેના લઘુત્તમ માપ કરતાં માપેલ મૂલ્યમાં ત્રુટિ વધારે ન હોય તેવું વ્યાજબીપણે ધારી લેવામાં આવે છે. સાધન વડે સીધે સીધી મપાતી એવી સાદી રાશિમાં સામાન્ય રીતે સાધનના લઘુત્તમ માપને મહત્તમ ત્રુટિ તરીકે લેવામાં આવે છે. જો રાશિનું સાચું મૂલ્ય A_0 હોય અને તેને a જેટલા લઘુત્તમ માપવાળા સાધન વડે માપતાં મળતું મૂલ્ય A હોય તો,

$$A = (A_0 \pm a)$$

$$= A_0 \left(1 \pm \frac{a}{A_0} \right)$$

$$= A_0 (1 \pm f_a)$$

જ્યાં f_a ને A ની મહત્તમ સાપેક્ષ ત્રુટિ કહેવામાં આવે છે. તેવી જ રીતે, બીજી માપેલ રાશિ B માટે, આપણી પાસે

$$B = B_0 (1 \pm f_b)$$

હવે, કોઈ રાશિ, ધારો કે Z , નીચેના સૂત્ર દ્વારા A અને B ના માપેલ મૂલ્ય પરથી ગણતરી કરી શકાય તો,

$$Z = A.B$$

હવે આપણે ગણતરી કરેલ Z ના મૂલ્યમાં ઉદ્ભવતી કુલ અનિશ્ચિતતા (અથવા મહત્તમ ત્રુટિ)ની ગણતરી કરીએ. આપણે લખી શકીએ કે,

$$Z = A.B$$

$$= A_0 (1 \pm f_a).B_0 (1 \pm f_b)$$

$$= A_0 B_0 (1 \pm f_a \pm f_b \pm f_a f_b)$$

$= A_0 B_0 [1 \pm (f_a \pm f_b)]$ [જો f_a અને f_b ઘણી નાની રાશિઓ હોય તો તેમનો ગુણાકાર $f_a f_b$ અવગણી શકાય]

$$\text{અથવા } Z \approx Z_0 (1 \pm f_z)$$

જ્યાં Z નાં મૂલ્યમાં ઉદ્ભવતી આંશિકત્રુટિ f_z નું મહત્તમ મૂલ્ય $|f_a + f_b|$ જેટલું હોઈ શકે.

બીજી બાજુ, જો રાશિ Y નીચેની રીતે ગણી શકાય, તો

$$\begin{aligned} Y &= \frac{A}{B} = \frac{A_0(1 \pm f_a)}{B_0(1 \pm f_b)} \\ &= Y_0 (1 \pm f_a) (1 \pm f_b)^{-1} \quad \left(\because Y_0 = \frac{A_0}{B_0} \right) \\ &= Y_0 (1 \pm f_a) (1 \pm f_b + f_b^2) \\ &= Y_0 (1 \pm f_a) (1 \pm f_b) \\ &\sim Y_0 [1 \pm (f_a + f_b)] \end{aligned}$$

અથવા $Y = Y_0 (1 \pm f_y)$ જ્યાં $f_y = f_a + f_b$,

જ્યાં Y ની ગણતરીમાં મહત્તમ આંશિક અનિશ્ચિતતા f_y એ $|f_a + f_b|$ જ થશે. અહીં નોંધો કે મહત્તમ આંશિક અનિશ્ચિતતા હંમેશા ઉમેરાય છે.

વધારે વ્યાપક કિસ્સામાં જો રાશિ P અન્ય રાશિઓ x, y, z વગેરે પરથી સૂત્ર $P = x^a y^b z^c$ પરથી ગણી શકાય તો P ની ગણતરીમાં આવતી મહત્તમ સાપેક્ષ ત્રુટિ f_p નીચેના સૂત્ર દ્વારા આપી શકાય.

$$f_p = |a| f_x + |b| f_y + |c| f_z$$

આ ઉપરથી જોઈ શકાય છે કે રાશિ P માં ઉદ્ભવતી એકંદર સાપેક્ષ ત્રુટિ f_p નું મૂલ્ય માપેલી દરેક ભૌતિક રાશિની સાપેક્ષ ત્રુટિ f_x, f_y, f_z વગેરે તથા તેમની ઘાત a, b, c વગેરે પર પણ આધારિત છે. સૂત્રમાં જે ભૌતિક રાશિની ઘાત સૌથી વધારે હોય, તે ભૌતિકરાશિના માપનમાં સાપેક્ષ ત્રુટિ લઘુત્તમ હોવી જોઈએ. આથી તેનો ફાળો $|a| f_x + |b| f_y + |c| f_z$ અનુસાર એકંદર સાપેક્ષ ત્રુટિ f_p માં સમાનક્રમના મૂલ્યનો જળવાઈ રહે.

હવે આપણે રાશિમાં અંદાજિત અચોક્કસાઈ (અથવા પ્રાયોગિક ત્રુટિ)ની ગણતરી કરીએ કે જેના સૂત્રમાં ઘણા ભૌતિક પ્રાયલોનું માપન કરેલ હોય તેનો સમાવેશ થતો હોય.

સ્થિતિસ્થાપકતા અંક યંગ મોડ્યુલસ Y નીચેના સૂત્ર દ્વારા ગણી શકાય.

$$Y = \frac{MgL^3}{4bd^3 \delta}$$

જ્યાં M દ્રવ્યમાન, g ગુરુત્વપ્રવેગ, L એ લંબચોરસ આડછેદ ધરાવતા ધાતુના સળિયાની લંબાઈ કે જેની પહોળાઈ b અને જાડાઈ d છે અને δ એ સળિયામાં સમક્ષિતિજ દિશામાંથી વંકન (અથવા ઝોલ) કે જે બે છેડા પર આધાર પર ટેકવીને મધ્યમાન બિંદુ પર M દ્રવ્યમાન લટકાવતાં મળે છે. (આકૃતિ 1.1)

હવે ખરેખર પ્રયોગમાં દ્રવ્યમાન M લગભગ 1 kg લેવામાં આવે છે. સામાન્ય રીતે દ્રવ્યમાનમાં અચોક્કસાઈ 1 g કરતાં વધારે ન હોઈ શકે. તેનો અર્થ એ થાય કે દ્રવ્યમાન માપવા માટેના સામાન્ય

તુલાનું લઘુત્તમ માપ 1 g છે. આથી, આંશિક ત્રુટિ $f_M, \frac{1\text{g}}{1\text{kg}}$ અથવા $f_M = 1 \times 10^{-3}$ છે.

ધારો કે ગુરુત્વપ્રવેગનું મૂલ્ય $g = 9.8 \text{ m s}^{-2}$ છે અને તે કોઈ નોંધપાત્ર ત્રુટિ ધરાવતું નથી. આથી g માં આંશિક ત્રુટિ ન હોય. એટલે કે $f_g = 0$, વધુમાં સળિયાની લંબાઈ L , 1 m હો અને તે $1 \text{ mm} = 0.001 \text{ m}$ નું લઘુત્તમ માપ ધરાવતી સામાન્ય માપપટ્ટીની મદદથી માપવામાં આવી છે. આથી લંબાઈ L માં આવતી આંશિક ત્રુટિ f_L ,

$$f_L = \frac{0.001 \text{ m}}{1 \text{ m}} = 1 \times 10^{-3}$$

પછી સળિયાની પહોળાઈ b ધારો કે 5 cm છે. જે 0.01 cm લઘુત્તમ માપ ધરાવતા વર્નિયર કેલીપર્સની મદદથી માપવામાં આવે છે. તેથી, આંશિક ત્રુટિ f_b ,

$$f_b = \frac{0.01 \text{ cm}}{5 \text{ cm}} = 0.002 = 2 \times 10^{-3}$$

તે જ રીતે, સળિયાની જાડાઈ d માટે 0.001 cm લઘુત્તમ માપવાળા સ્ક્રૂગેજનો ઉપયોગ કરેલ છે. જો સળિયાની જાડાઈ 0.2 cm લેવામાં આવે તો,

$$f_d = \frac{0.001 \text{ cm}}{0.2 \text{ cm}} = 0.005 = 5 \times 10^{-3}$$

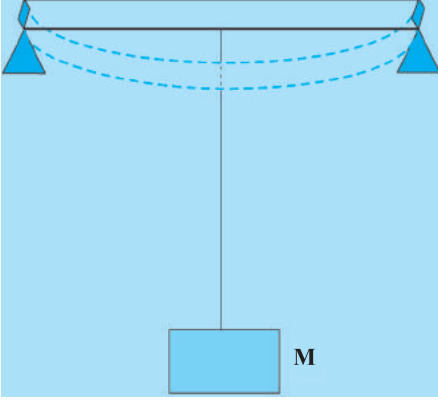
અંતમાં, વંકન δ જે 0.001 cm લઘુત્તમ માપવાળા સ્ફેરોમીટરની મદદથી માપવામાં આવે છે. જે 5 mm હોય, તો

$$f_\delta = \frac{0.001 \text{ cm}}{0.5 \text{ cm}} = 0.002 = 2 \times 10^{-3}$$

દરેક ભૌતિક રાશિઓમાં સાપેક્ષ ત્રુટિઓની ગણતરી બાદ, હવે આપણે Y માં સાપેક્ષ ત્રુટિની ગણતરી કરીએ તો,

$$\begin{aligned} f_y &= (1) f_M + (1) f_g + (3) f_L + (1) f_b + (3) f_d + (1) f_\delta \\ &= 1 \times (1 \times 10^{-3}) + 1 \times 0 + 3 \times (1 \times 10^{-3}) + 1 \times (2 \times 10^{-3}) + 3 \times (5 \times 10^{-3}) \\ &\quad + 1 \times (2 \times 10^{-3}) \\ &= 1 \times 10^{-3} + 3 \times 10^{-3} + 2 \times 10^{-3} + 15 \times 10^{-3} + 2 \times 10^{-3} \\ \text{અથવા } f_y &= 22 \times 10^{-3} = 0.022 \end{aligned}$$

આથી શક્ય સાપેક્ષ ત્રુટિ (અથવા અચોક્કસાઈ) $f_y \times 100 = 0.022 \times 100 = 2.2 \%$ છે. અત્રે નોંધો કે સારા પ્રયોગ માટે, Y ના ગણતરી કરીને મેળવેલ મૂલ્યમાં મહત્તમ સાપેક્ષ ત્રુટિ f_y માં જુદા જુદા પદોનો એટલે કે f_M , $3f_L$, f_b , $3f_d$ અને f_δ નો ફાળાની અસર સમાન મૂલ્યના ક્રમની હોવી જોઈએ. એવું ન બનવું જોઈએ કે જેથી આમાંની કોઈ રાશિ ખૂબ જ મોટી બની જાય અને f_y નું મૂલ્ય માત્ર તે પદ (અવયવ)ને આધારે નક્કી થાય. જો આવું બને તો બીજી રાશિઓનું માપન નજીવું બની જાય. આ કારણથી જ લંબાઈ L નું માપન મોટા લઘુત્તમ માપ (0.1 cm)વાળી માપપટ્ટી વડે જ્યારે નાની રાશિઓ d અને δ નું માપન અનુક્રમે સ્ક્રૂગેજ અને સ્ફેરોમીટર વડે માપવામાં આવે છે. કે જેમનું લઘુત્તમ માપ (0.001 cm) છે તથા જે ભૌતિક રાશિઓની સૂત્રમાં ઘાત



આકૃતિ 1.1 : બંને છેડે આધાર પર ટેકવેલ ધાતુના સળિયામાં M દળ લટકાવતાં

વધારે હોય તેવી ભૌતિક રાશિઓ જેવી કે d અને L વધારે કાળજીપૂર્વક ઓછા લઘુત્તમ માપવાળા સાધનની મદદથી માપવી જોઈએ.

મોટાભાગના પ્રયોગોનું કેટલીક ભૌતિક રાશિઓના માપનનું અંતિમ પરિણામ જ હોય છે. આ માપેલ મૂલ્ય એ સામાન્ય રીતે પ્રયોગનું પરિણામ કહેવાય છે. પરિણામને રજૂ કરવાના ક્રમમાં મુખ્યત્વે ત્રણ બાબતો જરૂરી છે. તેઓ માપેલું મૂલ્ય, પરિણામમાં અંદાજિત અચોક્કસાઈ (અથવા પ્રાયોગિક ત્રુટિ) અને તે એકમ કે જેમાં રાશિ રજૂ કરેલ છે. આ રીતે **માપેલ મૂલ્ય** ત્રુટિ અને તેના યોગ્ય એકમ સહિત, મૂલ્ય \pm ત્રુટિ (એકમ) સ્વરૂપે રજૂ કરવામાં આવે છે. ધારો કે પરિણામ $A \pm a$ (એકમ) સ્વરૂપે દર્શાવાય છે.

આ દર્શાવે છે કે મૂલ્ય A માં અંદાજિત અચોક્કસાઈ $\frac{A}{a}$ માં એક ભાગ હોય છે, જ્યાં A અને a બંને અંકો છે. સામાન્ય રજૂઆતમાં આ સંખ્યાના બધા અંક સમાવવા જોઈએ કે જેમની વિશ્વસનીયતા જાણીતી છે કે જેમાં પ્રથમ અંક કે જે અચોક્કસ છે. આમ,

બધા જ વિશ્વસનીય અંકો સહિત પ્રથમ અનિશ્ચિત અંક ભેગા થઈને **સાર્થક સંખ્યા** કહેવાય છે. માપેલ મૂલ્યના સાર્થક અંકો ત્રુટિ સાથે બંધ બેસતા હોવા જોઈએ. સ્થિતિસ્થાપકતાના યંગ મોડ્યુલસના પ્રસ્તુત ઉદાહરણમાં $Y = 18.2 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ (મહેરબાની કરીને આપેલી માહિતીને આધારે Y ની ગણતરી

$$\text{કરી આ મૂલ્ય તપાસો) અને ત્રુટિ } \frac{\Delta Y}{Y} = f_y,$$

$$\therefore \Delta Y = f_y \cdot Y$$

$$= 0.022 \times 18.2 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$$

$$= 0.39 \times 10^{10} \text{ N/m}^2 \text{ જ્યાં } \Delta Y \text{ પ્રાયોગિક ત્રુટિ છે.}$$

આથી Y નું રજૂ કરેલનું મૂલ્ય $(18.2 \pm 0.4) \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ હોવું જોઈએ.

I 1.5 લઘુગણક

આપેલ આધાર પર સંખ્યાના લોગેરિધમ (લઘુગણક) એ ઘાતની સંખ્યા છે કે જેના આધારે તે સંખ્યાને તેટલી ઘાત તરીકે રજૂ કરે છે.

જો $a^x = N$ હોય, તો x ને a ના આધારમાં N નો લઘુગણક (લોગેરિધમ) કહે છે અને તેને $\log_a N$ રીતે રજૂ કરાય (log N , a ના આધાર પર એમ વંચાય) દાખલા તરીકે $2^4 = 16$. આથી, 16નો 2ના આધાર પર log 4 થાય અથવા $\log_2 16 = 4$.

સામાન્ય રીતે, આપણે 10ના આધારમાં આપેલી સંખ્યાના લઘુગણક (લોગેરિધમ) ઉપયોગમાં લઈએ છીએ. અહીં $\log 10 = 1$, $\log 100 = \log 10^2$ અને તે મુજબ 10ના આધારમાં લઘુગણક (લોગેરિધમ) સામાન્ય રીતે log વડે લખાય છે.

(i) સામાન્ય લઘુગણક (લોગેરિધમ)

સંખ્યાના લઘુગણક (લોગેરિધમ)માં બે ભાગ હોય છે.

- (i) પૂર્ણાંશ (Characteristic) : આ પૂર્ણાંક ભાગ છે. (સમગ્ર કુદરતી સંખ્યા)
- (ii) અપૂર્ણાંશ (Mantissa) : આ અપૂર્ણાંક ભાગ છે. સામાન્ય રીતે દશાંશ પદ્ધતિમાં દર્શાવવામાં આવે છે. (અપૂર્ણાંશ ભાગ હંમેશાં ધન હોય છે.)

(ii) સંખ્યાનો પૂર્ણાંશ (Characteristic) ભાગ કેવી રીતે નક્કી કરવો ?

પૂર્ણાંશ ભાગ સંખ્યાના મૂલ્ય પર આધાર રાખે છે અને તે દશાંશ ચિહ્નના સ્થાનના આધારે નક્કી કરવામાં આવે છે. એક કરતાં મોટી સંખ્યા માટે, પૂર્ણાંશ ચિહ્ન અને દશાંશ ચિહ્નની ડાબી બાજુ આવેલા અંકોની સંખ્યા કરતાં એક ઓછો હોય છે.

એક કરતાં નાની સંખ્યા માટે (એટલે કે દશાંશ અપૂર્ણાંક), પૂર્ણાંશ ઋણ હોય છે અને દશાંશ ચિહ્ન અને પ્રથમ અંક વચ્ચેના શૂન્યોની સંખ્યા કરતાં એક વધારે હોય છે. દાખલા તરીકે, સંખ્યાના પૂર્ણાંશ.

430700 માટે 5, 4307 માટે 3, 43.07 માટે 1
4.307 માટે 0, 0.4307 માટે -1, 0.04307 માટે -2
0.0004307 માટે -4, 0.00004307 માટે -5,

ઋણ પૂર્ણાંશ સામાન્ય રીતે $\bar{1}$, $\bar{2}$, $\bar{4}$, $\bar{5}$ રીતે લખાય છે અને બાર 1, બાર 2 વગેરે રીતે વંચાય છે.

I 1.5.1 અપૂર્ણાંશ (Mantissa) ભાગ કેવી રીતે નક્કી કરશો ?

અપૂર્ણાંશ ભાગનું મૂલ્ય અંક અને તેના ક્રમ પર આધાર રાખે છે અને દશાંશ ચિહ્નના સ્થાનથી સ્વતંત્ર હોય છે. જો અંક અને તેનો ક્રમ સમાન હોય તો અપૂર્ણાંશ ભાગ સમાન હોય છે, પછી ભલે દશાંશ ચિહ્નનું સ્થાન ગમે તે હોય.

લઘુગણક (લોગેરિધમ) કોષ્ટક 1 અને 2 પાના નં. 266-269 ફક્ત અપૂર્ણાંશ ભાગ આપે છે. તે સામાન્ય રીતે ચાર અંકો ધરાવતી સંખ્યાઓ માટે છે અને જો સંખ્યામાં ચાર અંક કરતાં વધારે અંક ધરાવતી હોય, તો તેનો પૂર્ણાંશ ભાગ નક્કી કર્યા બાદ તેને ચાર આંકડા સુધી રાઉન્ડ ઓફ કરવામાં આવે છે. અપૂર્ણાંશ ભાગ નક્કી કરવા, ટેબલનો ઉપયોગ નીચેના સ્વરૂપે વાપરી શકાય.

- (i) આપેલી સંખ્યાના પ્રથમ બે સાર્થક અંકો ટેબલના સૌથી ડાબી બાજુના સ્તંભમાં કે જેમાં 10 અને 99 વચ્ચેના અંક છે તેમાં શોધવાના 10 કરતાં નાની સંખ્યા માટે અપૂર્ણાંશ ભાગ મેળવવા સંખ્યાને 10 વડે ગુણીને મેળવવામાં આવે છે.

(ii) સમક્ષિતિજ રેખાના સૌથી ઉપરના સ્તંભમાં નીચે મુજબ સંખ્યાઓ આપેલ છે.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

જે આપેલ સંખ્યાના ત્રીજા સાર્થક અંકને અનુરૂપ છે.

(iii) હવે જમણી બાજુના સ્તંભમાં ચોથા સાર્થક અંકને અનુરૂપ સંખ્યાઓ નીચે મુજબ આપેલ છે.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

ઉદાહરણ 1 : 278.6નો લઘુગણક મેળવો.

જવાબ : સંખ્યામાં દશાંશ ચિહ્નની ડાબી બાજુ 3 અંકો છે. આથી, તેનો પૂર્ણાંશ 2 છે. અપૂર્ણાંશ નક્કી કરવા માટે, દશાંશ ચિહ્નને અવગણો અને પ્રથમ ઊભા સ્તંભમાં 27 જુઓ. 8 માટે વચ્ચેના સૌથી ઉપરના ભાગમાં જુઓ. 27 થી સમક્ષિતિજ રીતે જમણી બાજુ અને 8થી શિરોલંબ દિશામાં નીચે તરફ આગળ વધતા જાવ. બંને રેખાઓ જ્યાં મળે છે તે બિંદુ પાસે 4440 લખેલા છે. આ 278 માટેનો અપૂર્ણાંશ છે. હજુ વધુ સમક્ષિતિજ દિશામાં આગળ વધે અને તફાવતના કોલમમાં 6ની શિરોલંબ કોલમમાં નીચે જુઓ. તમને 9નો અંક મળશે. આથી 2786 માટે અપૂર્ણાંશ ભાગ $4440 + 9 = 4449$ થશે.

આથી 278.6નો લઘુગણક 2.4449 (અથવા $\log 278.6 = 2.4449$).

ઉદાહરણ 2 : 278600નો લઘુગણક મેળવો.

જવાબ : આ સંખ્યાનો પૂર્ણાંશ 5 અને અપૂર્ણાંશ ભાગ ઉદાહરણ –1 મુજબ સમાન જ થશે. આપણે પ્રથમ ચાર સાર્થક અંકોનો અપૂર્ણાંશ ભાગ શોધવાનો છે. આથી, આપણે છેલ્લા બે શૂન્ય અવગણી શકીએ.

$$\therefore \log 278600 = 5.4449$$

ઉદાહરણ 3 : 0.00278633નો લઘુગણક મેળવો.

જવાબ : આ સંખ્યાનો પૂર્ણાંશ $\bar{3}$ છે. કેમકે દશાંશ ચિહ્ન પછી બે શૂન્યો છે. આપણે ફક્ત પ્રથમ ચાર સાર્થક અંકો માટે અપૂર્ણાંક ભાગ શોધી શકાય. આથી, આપણે છેલ્લા બે અંક (33)ને અવગણી શકાય અને 2786 માટે અપૂર્ણાંશ ભાગ 4449 છે.

$$\therefore \log 0.00278633 = \bar{3}.4449$$

જ્યારે સંખ્યા 4 સાર્થક અંક કરતાં વધારે અંક ધરાવતી હોય ત્યારે સંખ્યાનો છેલ્લો અંક 5 જેટલો અથવા 5થી મોટો હોય તો, તે અંકની ડાબી બાજુનો તરતનો અંક એક વધારી દેવાનો અને તે જ રીતે છેવટે ફક્ત ચાર સાર્થક અંક બાકી વધે ત્યાં સુધી આગળ વધવું અને જો છેલ્લો અંક 5 કરતાં નાનો હોય તો તેને અવગણો. જેવી રીતે ઉપરના ઉદાહરણમાં અવગણેલ છે.

જો આપણી પાસે સંખ્યા 2786.58 હોય, તો છેલ્લો અંક 8 છે. આથી આપણે તેની તરત ડાબી બાજુનો અંક વધારીને 6 કરવો પડે અને 6 એ 5 કરતાં મોટો હોવાથી આપણે તે પહેલાંનો અંક 6થી 7 કરવો પડે અને 2787નો લઘુગણક શોધવો પડે.

I 1.5.2 પ્રતિલઘુગણક (એન્ટીલોગેરિધમ)

સંખ્યા કે જેનો લઘુગણક x હોય તો તે સંખ્યા પ્રતિલઘુગણક (એન્ટીલોગેરિધમ) કહેવાય અને તેને $\text{antilog } x$ વડે દર્શાવાય. આમ, જેવી રીતે $\log 2 = 0.3010$ તેવી રીતે $\text{antilog } 0.3010 = 2$.

ઉદાહરણ 1 : જે સંખ્યાનો લઘુગણક 1.8088 હોય તે સંખ્યા શોધો.

જવાબ 1 : આ હેતુ માટે આપણે પ્રતિલઘુગણકનો ઉપયોગ કરી શકીએ કે જેનો ઉપયોગ અપૂર્ણાંશ ભાગ માટે થાય છે.

- ઉદાહરણ 1માં અપૂર્ણાંશ ભાગ 0.8088 છે. ડાબી બાજુથી પ્રથમ બે અંક 0.80, ત્રીજો અંક 8 અને ચોથો અંક ફરીથી 8 છે.
- પ્રતિલઘુગણક (એન્ટીલોગેરિધમ)ના ટેબલમાં પહેલા શિરોલંબ કોલમમાં 0.80 જુઓ. તેની આ સમક્ષિતિજ રેખામાં 8 ઉપર હોય, તેવા કોલમની હરોળમાં ભેગા મળે ત્યાં આપણને 6427 મળે છે. તેનો અર્થ એ થયો કે 0.808 અપૂર્ણાંશ માટે સંખ્યા 6427 છે.
- આગળ વધતાં આ સમક્ષિતિજ હરોળમાં mean differenceના ખાનામાં જમણી બાજુના 8 ની નીચે, જ્યાં બંને છેદે ત્યાં 12નો અંક મળે છે. આ 12ને 6427માં ઉમેરતાં આપણને 6439 મળે. હવે 0.8088 અપૂર્ણાંશ ભાગ માટે 6439 સંખ્યા મળે છે.
- પૂર્ણાંશ 1 છે. આ અંક કરતાં એક વધારે જેટલા અંક જરૂરી સંખ્યાના પૂર્ણાંક ભાગમાં રજૂ કરવું. આથી, જરૂરી સંખ્યામાં પૂર્ણાંક ભાગમાં અંકોની સંખ્યા = $1 + 1 = 2$. આથી જરૂરી સંખ્યા 64.39 એટલે કે $\text{antilog } 1.8088 = 64.39$.

ઉદાહરણ 2 : $\bar{2}.8088$ નો એન્ટીલોગ (પ્રતિલઘુગણક) શોધો.

જવાબ : પૂર્ણાંક સંખ્યા $\bar{2}$ હોવાથી, દશાંશચિહ્નની જમણી બાજુ એક શૂન્ય હોવું જોઈએ.

આથી, $\text{Antilog } \bar{2}.8088 = 0.06439$

લઘુગણક (લોગેરિધમ)ના ગુણધર્મો :

$$(i) \log_a mn = \log_a m + \log_a n$$

$$(ii) \log_a m/n = \log_a m - \log_a n$$

$$(iii) \log_a m^n = n \log_a m$$

લઘુગણકની વ્યાખ્યા :

$$\log_a 1 = 0 \quad (\text{આથી } a^0 = 1)$$

1 નો કોઈ પણ આધાર પર \log શૂન્ય મળે અને $\log_a a = 1$ (આથી, આધારનો પોતાનો જ \log 1 મળે $a^1 = a$).

I 1.6 Natural sine/cosine કોષ્ટક :

કોઈ ખૂણાનું sine કે cosine મૂલ્ય શોધવા માટે આપણે ત્રિકોણમિતિય વિધેયના કોષ્ટકનો ઉપયોગ કરવો પડે છે. Natural sine અને cosine કોષ્ટક ડેટા વિભાગમાં (ટેબલ 3 અને 4, પાના નં. 270-273) પર આપેલ છે. ખૂણાઓ સામાન્ય રીતે ડિગ્રી અને મિનિટ (કળા)માં આપેલા હોય છે.

I 1.6.1 Natural sine કોષ્ટકમાં અવલોકન

ધારોકે આપણે $\sin 35^\circ 10'$ નું મૂલ્ય જાણવું છે. આથી, નીચે મુજબ આગળ વધી શકાય.

- Natural sine કોષ્ટક ખોલો.
- પ્રથમ કોલમમાં જુઓ અને 35° શોધો. સમક્ષિતિજ દિશામાં તપાસ કરો. 0.5736ના મૂલ્યથી જમણી બાજુ જાવ અને જ્યાં $6'$ લખેલ છે તે કોલમમાં જુઓ. તમારે 0.5750 પાસે ઊભા રહેવું પડશે.
- પરંતુ $10'$ માટે જરૂરી કિંમત મેળવવાની છે.
 $10'$ અને $6'$ વચ્ચેનો તફાવત $4'$ છે. આથી, આપણે mean differenceના કોલમમાં $4'$ ની નીચેના ખાનામાં જોવું પડે તેને અનુરૂપ કિંમત 10 છે. આ 10 છેલ્લે મેળવેલ 0.5750માં ઉમેરો . આથી, આપણને 0.5760 મળશે.

$$\text{આમ, } \sin(35^\circ 10') = 0.5760$$

I 1.6.2 Natural cosine કોષ્ટકમાં અવલોકન

Natural cosine ટેબલનો ઉપયોગ સમાન રીતે જ કરવામાં આવે છે. તેમ છતાં, જેમ θ વધે તેમ $\cos \theta$ ઘટે છે તે હકીકતને આધારે mean difference બાદ કરવામાં આવે છે. ઉદાહરણ તરીકે $\cos 25^\circ = 0.9063$. $25^\circ 40'$ ના ખૂણાનું cosine મેળવવા માટે, એટલે કે $\cos 25^\circ 40'$, $\cos 25^\circ 36' = 0.9018$ મેળવી શકાય અને $4'$ માટેનો mean difference 5 મળે. જે મેળવેલ સંખ્યા 0.9018ના છેલ્લા અંકમાંથી બાદ કરતાં 0.9013 મળે છે. આમ, $\cos 25^\circ 40' = 0.9013$.

I 1.6.3 Natural tangent કોષ્ટકમાં અવલોકન

Natural tangent ટેબલ, Natural sine ટેબલની જેમ જ ઉપયોગ લેવાય છે.

I 1.7 આલેખ દોરવા

આલેખ એ બે ચલ રાશિઓ વચ્ચેના સંબંધની ચિત્રાત્મક રજૂઆત છે. તે આપણને પ્રાયોગિક માહિતીને પ્રથમ દ્રષ્ટિએ તાદૃશ્ય કરવામાં મદદરૂપ થાય છે અને બે રાશિઓ વચ્ચેનો સંબંધ દર્શાવે છે. જો કોઈ બે ભૌતિક રાશિ a અને b માંથી આપણે a માં ફેરફાર કરીએ અને તેના પરિણામ સ્વરૂપ b માં પણ ફેરફાર થાય તો a ને સ્વતંત્ર ચલ અને b ને આધારિત ચલ કહેવામાં આવે છે. દા.ત. જ્યારે તમે લોલકની લંબાઈ

બદલો ત્યારે આવર્તકાળ બદલાય છે. અહીં લંબાઈ એ સ્વતંત્ર ચલ જ્યારે આવર્તકાળ આધારિત ચલ છે. ગ્રાફ એ ફક્ત બે ચલ રાશિઓના સંબંધની ચિત્રાત્મક રજૂઆત કરે છે તેવું નથી, તે ચોક્કસ નિયમોની ચકાસણી કરવા પણ સક્ષમ છે. (જેવા કે બોઈલનો નિયમ) ઘણી મોટી સંખ્યાના અવલોકનોમાંથી સરેરાશ કિંમત મેળવવા, પ્રયોગના અવલોકનોની ક્ષમતાની બહાર અમુક રાશિઓમાં અંતઃવેશન/ બહિર્વેશનના મૂલ્યો, માપન માટેના આપેલ સાધનનું અંકીકરણ અથવા માપકરણ અને આધારિત ચલની મહત્તમ અને લઘુત્તમ કિંમત શોધી શકાય છે.

સામાન્ય રીતે આલેખપેપર પર આલેખ દોરાય કે જેમાં મીલીમીટર/સેન્ટીમીટરના ચોરસ દોરલા હોય છે. આલેખ દોરવા માટે નીચેના પગલાં ધ્યાને આવશે.

- સ્વતંત્ર અને આધારિત ચલ નક્કી કરો. સ્વતંત્ર ચલને x -અક્ષ પર અને આધારિત ચલને y -અક્ષ પર રજૂ કરો.
- દરેક ચલનો વિસ્તાર નક્કી કરો અને તેને રજૂ કરવાની અક્ષ પર કેટલા મોટા ચોરસ પ્રાપ્ય છે તે ગણો.
- આલેખ દોરવા માટે પ્રમાણમાપ પસંદ કરવું જટિલ કાર્ય છે. આદર્શ રીતે, આલેખ પરનું નાનામાં નાનો ભાગ એ માપનનું લઘુત્તમ માપ અથવા જે ચોક્કસ પરિણામો જાણીતા છે કે તેની ચોક્કસાઈ જેટલું હોવું જોઈએ. ઘણી વખતે, આલેખની વધારે સ્પષ્ટતા માટે લઘુત્તમ માપનો યોગ્ય ભાગ (અપૂર્ણાંક)એ આલેખ પેપરના નાનામાં નાના ભાગ જેટલું લેવામાં આવે છે.
- ઉગમબિંદુની પસંદગી એ બીજો સમજદારીથી કરવો પડે તેવો મુદ્દો છે. સામાન્ય રીતે, $(0, 0)$ એ ઉગમબિંદુ તરીકે સેવા આપે છે. પરંતુ આ પસંદગી સામાન્ય રીતે જ્યારે ચલ વચ્ચેનો સંબંધ શૂન્યથી શરૂ થતો હોય અથવા કોઈ એક ચલ માટે શૂન્ય સ્થિતિ શોધવાની હોય ત્યારે સ્વીકારેલી છે. જો તેનું સાચું મૂલ્યાંકન શક્ય ન હોય. તેમ છતાં બીજા બધા કિસ્સામાં ઉગમબિંદુ આપેલા ચલને અનુરૂપ શૂન્ય રજૂ કરે તે જરૂરી નથી. તેમ છતાં તે આપેલા ચલને અનુરૂપ નાનામાં નાના મૂલ્ય કરતાં નજીકની નાની રાઉન્ડ સંખ્યાને રજૂ કરે તો અનુકૂળ રહે છે. દરેક અક્ષ પર ચલના મૂલ્યો માત્ર રાઉન્ડ સંખ્યામાં જ લખો.
- x -અક્ષ અને y -અક્ષ પર પ્રમાણમાપના ચિહ્નોથી ગીચ ન થવી જોઈએ. અક્ષ પર દરેક 5 cm અંતરે સંખ્યા લખવી જોઈએ. જે રાશિ લીધેલ હોય તેના એકમ પણ લખો. આંકડાઓને વૈજ્ઞાનિક પદ્ધતિ મુજબ રજૂ કરો. એટલે કે સંખ્યામાં પ્રથમ અંક પછી દશાંશ ચિહ્ન મૂકો અને તેને 10ની યોગ્ય ઘાત વડે ગુણો. આલેખ પેપરની ઉપર જમણી અથવા ડાબી બાજુ ખૂણામાં પ્રમાણમાપ પરિવર્તન પણ લખો.
- દોરેલા આલેખની નીચે યોગ્ય શીર્ષક અને આલેખ સાથે સંકળાયેલ ભૌતિક રાશિઓના નામ અથવા તેની સંજ્ઞા લખવી જોઈએ. આલેખ પેપર ઉપર બંને અક્ષ પર લીધેલ પ્રમાણમાપ પણ દર્શાવવું જોઈએ.

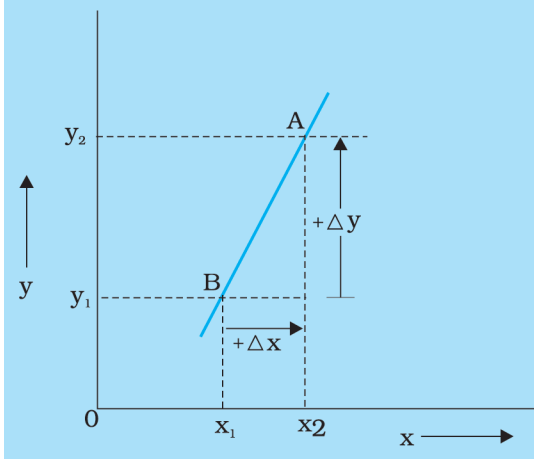
- (vii) જ્યારે આલેખ સુરેખ મળવાનો અંદાજ હોય, ત્યારે સામાન્ય રીતે 6થી 7 અવલોકનથી ચાલી શકે. ઘણા બધા અવલોકનો લેવામાં વધારે સમય બગાડવાની જરૂર નથી. અવલોકનો શક્ય એવા બધા જ વિસ્તાર સુધી લેવા પડે.
- (viii) જો આલેખ વક્ર હોય તો, સ્વતંત્ર ચલની સમગ્ર શ્રેણી તે 6થી 7 ભાગમાં ગોઠવી દો. પછી અનુમાન કરો કે વક્રમાં કયા વક્રાકાર ભાગ પાસે તીક્ષ્ણ ફેરફાર જોવા મળશે. આ વિસ્તારમાં (વિભાગમાં) વધારે અવલોકન લો. દાખલા તરીકે જ્યારે મહત્તમ અથવા લઘુત્તમ કિંમત મેળવવાની હોય ત્યારે મહત્તમ કે લઘુત્તમનું ચોક્કસ બિંદુ મેળવવા ત્યાં વધારે અવલોકન લેવા પડે, જેમકે લઘુત્તમ વિચલનકોણ (δm) શોધવા માટે તમારે δm ની આસપાસ વધારે અવલોકન લેવા પડે.
- (ix) “માહિતી”ના બિંદુઓની રજૂઆતનો પણ યોગ્ય અર્થ હોય છે. મૂકેલ બિંદુના વિસ્તારનું પરિણામ એ તે માહિતીની ચોક્કસાઈને અનુરૂપ હોવું જોઈએ. આપણે એક ઉદાહરણ લઈએ કે જેમાં મૂકેલ બિંદુને \odot સ્વરૂપે, બિંદુની આસપાસ વર્તુળ સ્વરૂપે રજૂ કરેલ છે. કેન્દ્રિય ટપકું માપેલ માહિતીનું મૂલ્ય છે. વર્તુળની ‘x’ અને ‘y’ દિશામાં ત્રિજ્યા એ અચોક્કસાઈનું માપ દર્શાવે છે. જો વર્તુળની ત્રિજ્યા મોટી હોય તો તેનો અર્થ માહિતીમાં અચોક્કસાઈ વધારે છે. વધુમાં આ પ્રકારની રજૂઆત એવું દર્શાવે છે કે x અને y અક્ષ પર ચોક્કસાઈ એકસમાન છે. બીજી ઉપયોગમાં લેવાથી અન્ય સંજ્ઞાઓ કે જે ઉપર જેવો સમાન અર્થ ધરાવે છે તે \square , \triangle , \blacksquare , \blacktriangle , \times , વગેરે છે. જો x-અક્ષ અને y-અક્ષ પર અનિશ્ચિતતા જુદી જુદી હોય તેવા કિસ્સામાં વપરાતી કેટલીક સંજ્ઞાઓ $+$ (x-અક્ષ પર ચોક્કસાઈનું માપ y-અક્ષ પર કરતાં વધારે છે.) $+$ (x-અક્ષ પર ચોક્કસાઈનું માપ y-અક્ષ કરતાં ઓછું છે.), \oplus , \otimes , \odot , \ominus , \boxplus જેવી છે. તમે તમારી જાતે નવી ડીઝાઈન કરી શકો.
- (x) બધા માહિતીના બિંદુઓ મૂકાઈ જાય પછી, રૂઢિગત રીતે હાથથી સરળ વક્ર દોરવો કે જેથી મોટાભાગના બિંદુઓ તેની પર કે તેની નજીક અને બાકીના બધા તેની આજુબાજુ સમાન રીતે વહેંચાઈ જાય. હવેના સમયમાં આપેલ માહિતીનો આલેખ દોરવા કમ્પ્યુટરનો ઉપયોગ થાય છે.

I 1.7.1 સુરેખ આલેખનો ઢાળ :

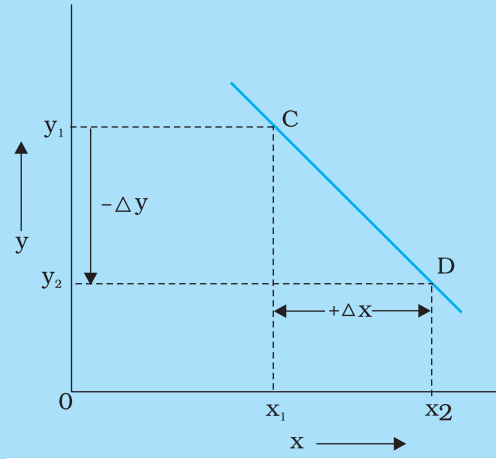
સુરેખ આલેખનો ઢાળ m નીચેની રીતે વ્યાખ્યાયિત થાય છે.

$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

જ્યાં Δy એ y-અક્ષ પર લીધેલ ભૌતિક રાશિમાં થતો ફેરફાર છે અને તેને અનુરૂપ x-અક્ષ પર લીધેલ ભૌતિક રાશિમાં થતો ફેરફાર Δx છે. આકૃતિ I 1.2માં દર્શાવ્યા અનુસાર Δx અને Δy બંનેની નિશાની સમાન હશે ત્યારે ઢાળ m ની નિશાની ધન હશે. બીજી બાજુ, જો Δy ની નિશાની Δx ની નિશાની કરતાં વિરુદ્ધ હોય (એટલે કે જ્યારે x વધે તેમ y ઘટે) તો ઢાળનું મૂલ્ય ઋણ હશે. જે આકૃતિ I 1.3માં દર્શાવેલ છે.

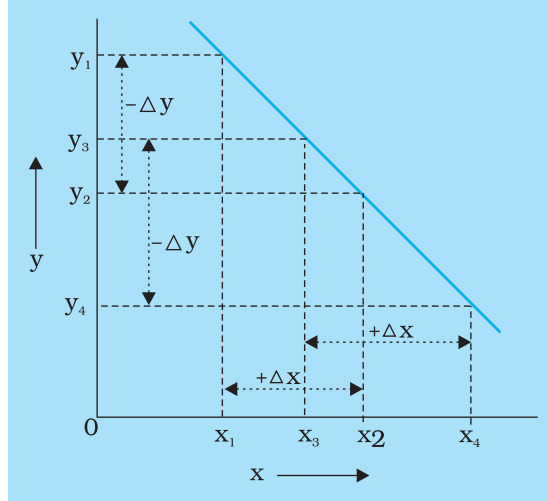


આકૃતિ 1.2 : ઢાળનું મૂલ્ય ધન



આકૃતિ 1.3 : ઢાળનું મૂલ્ય ઋણ

વધુમાં આપેલ સુરેખાનો ઢાળ રેખા પરના બધાં જ બિંદુઓ માટે સમાન મૂલ્ય ધરાવે છે. આનું કારણ આકૃતિ I 1.4માં દર્શાવ્યા મુજબ રેખા પરના દરેક બિંદુ માટે x ના સમાન ફેરફાર માટે y ના ફેરફાર સમાન મળે છે. આમ, આપેલી રેખા માટે ઢાળ અચળ રહે છે.



આકૃતિ 1.4 : આપેલ સુરેખા માટે ઢાળ અચળ હોય છે.

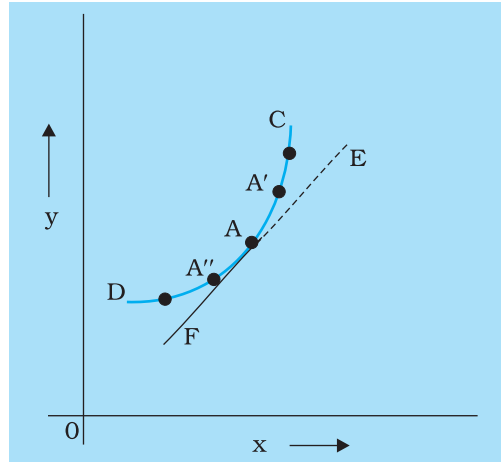
જ્યારે ઢાળની ગણતરી કરતાં હોય ત્યારે, x -અક્ષ પરનો ભાગ પૂરતી લંબાઈનો રાખો અને તે ચલની રાઉન્ડ કિંમત રજૂ કરે તેનું ધ્યાન રાખો. તેને અનુરૂપ y -અક્ષ પરના ચલનો અંતરાલ (ભાગ) માપો અને ઢાળની ગણતરી કરો. સામાન્ય રીતે, ઢાળની કિંમતમાં બેથી વધારે સાર્થક અંક ન હોવા જોઈએ. ઢાળની કિંમત અને જો હોય તો અક્ષ પરના અંતઃખંડ, આલેખ પેપર પર જરૂર લખો.

ઢાળને $\tan \theta$ સ્વરૂપે ન દર્શાવો. જ્યારે બંને અક્ષ પર સમાન પ્રમાણમાપ હોય ત્યારે જ ઢાળ $\tan \theta$ જેટલો હોય છે. એ પણ ધ્યાનમાં રાખો કે આલેખ એ ભૌતિક સાર્થકતા છે, ભૌમિતિક નહિ.

ઘણી વખત સુરેખ આલેખ કે જે ઉગમબિંદુમાંથી પસાર થવા જોઈએ તેને બદલે કંઈક અંતઃખંડ આપે છે. તેથી જ્યારે સુરેખ સંબંધ ઈચ્છિત હોય ત્યાં સૂત્રમાં બે ભૌતિકરાશિના ગુણોત્તરને બદલે ઢાળનો ઉપયોગ કરી શકાય.

I 1.7.2 વક્ર આલેખનો આપેલ બિંદુએ ઢાળ :

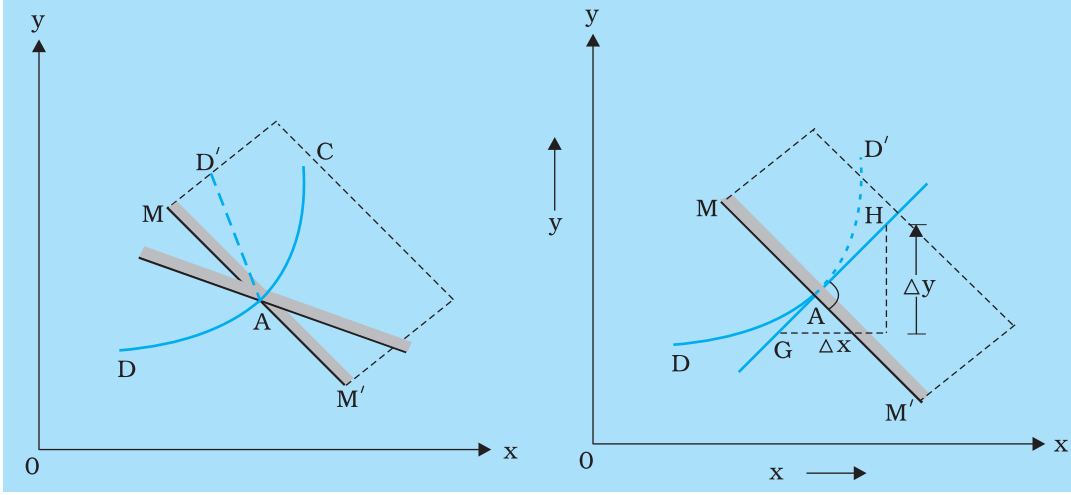
ઉપરના મુદ્દામાં દર્શાવ્યું છે તે મુજબ સુરેખ આલેખનો ઢાળ દરેક બિંદુ પાસે સમાન મૂલ્ય ધરાવે છે. જ્યારે આ બાબત વક્ર માટે સાચી નથી. આકૃતિ I 1.5માં દર્શાવ્યા અનુસાર, વક્ર CDના ઢાળનું મૂલ્યબિંદુ A', A, A'' વગેરે બિંદુ પાસે જુદુ જુદુ હશે.



આકૃતિ I 1.5 : બિંદુ A પાસે સ્પર્શક

તેથી સુરેખ ન હોય તેવા વક્રના કિસ્સામાં, આપણે ચોક્કસ બિંદુ પાસેના ઢાળની વાત કરવી પડે. વક્રના કોઈ ચોક્કસ બિંદુ પાસેનો ઢાળ જેમકે આકૃતિ I 1.5માં A બિંદુ પાસે વક્રને દોરેલ સ્પર્શક EFનો ઢાળ એ બિંદુ A પાસેનો ઢાળ દર્શાવે છે. તે જ રીતે વક્ર ઉપર આપેલા બિંદુ પાસે ઢાળ શોધવા માટે, ઈચ્છિત બિંદુ પાસે વક્રને સ્પર્શક દોરવો જોઈએ.

આપેલ વક્રના આપેલ બિંદુએ સ્પર્શક દોરવા માટે, લાકડાના બ્લોક પર જડિત સમતલ અરીસાપટ્ટીનો ઉપયોગ કરી શકાય અને તે જે કાગળ પર વક્ર દોરેલ હોય તેના પર લંબરૂપે મૂકી શકાય. આ બાબત આકૃતિ I 1.6 (a) અને I 1.6 (b)માં ઉદાહરણ તરીકે દર્શાવેલ છે. સમતલ અરીસાની પટ્ટી MM' ઈચ્છિત બિંદુ A પાસે એવી રીતે મૂકો કે જેથી વક્રના ભાગ DAનું પ્રતિબિંબ D'A અરીસાની પટ્ટીમાં DA સાથે સતત દેખાય. સામાન્ય રીતે, પ્રતિબિંબ D'A વક્રના DA ભાગ સાથે આકૃતિ I 1.6 (a)માં દર્શાવ્યા મુજબ સહેલાઈથી જોડાય તે રીતે દેખાશે નહિ.



આકૃતિ 1.6 (a), (b) : સમતલ અરીસાનો ઉપયોગ કરી બિંદુ A પાસે સ્પર્શક દોરવો

પછી અરીસાની પટ્ટી MM' ને, બિંદુ A પાસે તેની સ્થિતિ સમાન રહે તે રીતે પરિભ્રમણ કરાવો. અરીસામાં પ્રતિબિંબ D'A પણ પરિભ્રમણ પામશે. હવે MM' ની સ્થિતિ એવી રીતે ગોઠવો કે જેથી DAD', આકૃતિ I 1.6 (b) માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે સળંગ, સરળ વક્ર દેખાય. આ ગોઠવણ માટે અરીસાની ધારને અનુલક્ષીને MAM' રેખા દોરો. પછી, કોણમાપકનો ઉપયોગ કરીને, બિંદુ A પાસે MAM' રેખાને લંબ GH દોરો.

GAH રેખા એ DAC વક્ર ઉપર બિંદુ A પાસેનો જરૂરી સ્પર્શક છે. સ્પર્શકનો ઢાળ (એટલે કે $\Delta y / \Delta x$) એ CAD વક્રનો બિંદુ A પાસેનો ઢાળ દર્શાવે છે. ઉપરની પદ્ધતિનો ઉપયોગ કોઈ પણ વક્રના કોઈ પણ બિંદુએ ઢાળ શોધવા માટે કરી શકાય.

I 1.8 પ્રયોગ કરવા માટેની સામાન્ય સૂચનાઓ

- (1) વિદ્યાર્થીઓ પ્રયોગના સિદ્ધાંતને સંપૂર્ણપણે સમજે. ખરેખર પ્રયોગ કરતાં પહેલાં તે પ્રયોગના હેતુ અને તેને અનુરૂપ પદ્ધતિથી તે સ્પષ્ટ થઈ જવો જોઈએ.
- (2) સાધનો યોગ્ય ક્રમમાં ગોઠવવા જોઈએ. કોઈ નુકસાન ન થાય તે માટે બધા સાધનોને કાળજીપૂર્વક અને સાવચેતીથી ઉપયોગમાં લેવા જોઈએ. સાધનનું કોઈ આકસ્મિક નુકસાન અથવા તૂટફૂટ થાય તો તરત જ જવાબદાર શિક્ષકના ધ્યાન પર લાવો.

- (3) દરેક પ્રયોગમાં, પ્રયોગ કરતી વખતે રાખવાની તકેદારીઓનું ચુસ્તપણે પાલન કરો.
- (4) દરેક અવલોકન, સમાનમૂલ્ય મળે તો પણ, દરેક વખતે અવલોકન ફરીથી લો. વિદ્યાર્થીએ અવલોકન નોંધવા માટેનું ચોક્કસ આયોજન ધ્યાનમાં રાખવું. મોટા ભાગના પ્રયોગમાં અવલોકનો અવલોકન કોઠાના સ્વરૂપમાં હોવા જરૂરી છે.
- (5) ગણતરી સ્પષ્ટ દર્શાવો. (જ્યાં જરૂર હોય, ત્યાં લઘુગણક logarithmsનો ઉપયોગ કરીને). દરેક રાશિના માપનની ચોક્કસાઈનું પરિમાણ હંમેશા ધ્યાનમાં રાખો. આથી, અંતિમ પરિણામમાં કોઈ કલ્પિત ચોક્કસાઈ પ્રતિબિંબિત ન થાય. મેળવેલ પરિણામને યોગ્ય રીતે રાઉન્ડ ઓફ કરવું.
- (6) જ્યાં શક્ય હોય ત્યાં અવલોકનોને આલેખ સાથે દર્શાવો.
- (7) પરિમાણ હંમેશા યોગ્ય SI એકમ સહિત દર્શાવો અને જો પ્રાયોગિક ત્રુટિ હોય તો તે પણ દર્શાવો.

I 1.9 પ્રયોગ દરમિયાન અવલોકન નોંધવા માટેની સામાન્ય સૂચનાઓ

પ્રયોગના અવલોકનોની સ્પષ્ટ અને પદ્ધતિસરની પ્રાયોગિક ફાઈલ (રેકૉર્ડબુક નોટબુક)માં નોંધ એ પ્રાયોગિક સંશોધનોના પરિણામની યોગ્ય રજૂઆત માટે ખૂબ જ ઉપયોગી છે. અહેવાલ તૈયાર કરવા સામાન્ય રીતે નીચે મુજબના મથાળાનો ઉપયોગ થાય છે.

તારીખ

પ્રયોગ નં.

પાના નંબર

હેતુ

જે પ્રયોગ કરવાનો હોય તે પ્રયોગના હેતુઓ સ્પષ્ટપણે અને ચોક્કસાઈપૂર્વક દર્શાવવો.

સાધનો અને જરૂરી સામગ્રીઓ

પ્રયોગ કરવા માટે ઉપયોગમાં લીધેલ સાધન અને સામગ્રી જણાવો.

માપન માટેના સાધનો અને ઉપકરણોનું વર્ગીકરણ (વૈકલ્પિક)

પ્રયોગમાં ઉપયોગમાં લીધેલ સાધન અને માપન માટેના જુદા જુદા સાધનોનું વર્ગીકરણ દર્શાવો.

પદ અને વ્યાખ્યાઓ અથવા વિભાવનાઓ (ખ્યાલ)

જુદા જુદા ઉપયોગી પદ અને વ્યાખ્યાઓ અને પ્રયોગમાં વપરાયેલ વિભાવનાઓ સ્પષ્ટપણે લખવી.

સિદ્ધાંત/સૈદ્ધાંતિક

પ્રયોગને અંતર્ગત સિદ્ધાંત રજૂ કરો અને ઉપયોગમાં લીધેલ સૂત્ર લખો, સંકળાયેલી સંજ્ઞાઓ સ્પષ્ટપણે સમજાવો. (તારવણી જરૂરી નથી.) વિદ્યુતશાસ્ત્રને લગતા પ્રયોગ/પ્રવૃત્તિ માટે સ્પષ્ટ વિદ્યુત પરિપથ અને પ્રકાશ માટે કિરણ રેખાકૃતિ દોરો.

પદ્ધતિ (પૂર્વનિર્ધારિત સાવચેતીઓ સાથે)

પ્રયોગના સાધનની ગોઠવણી દરમિયાન ખરેખર ધ્યાનમાં આવેલ પૂર્વનિર્ધારિત સાવચેતીઓ સહિત જુદા જુદા પગલાં અને શ્રેણીબદ્ધ તબક્કામાં લેવાતાં માપન જણાવો.

અવલોકનો

શક્ય હોય ત્યાં અવલોકનોની નોંધણી કોષ્ટકીય રીતે સ્પષ્ટ અને છેકછાક વિના નોંધો. અવલોકન કોઠાની ઉપર, વાપરેલ માપનના સાધનોનું લઘુત્તમ માપ અને તેમનો વિસ્તાર સ્પષ્ટપણે દર્શાવો.

તેમ છતાં, જો પ્રયોગનું પરિણામ ચોક્કસ પરિસ્થિતિ જેવા કે તાપમાન, દબાણ વગેરે પર આધારિત હોય તો તે પરિબલોના મૂલ્યો જણાવો.

ગણતરી અને આલેખ દોરવો

જુદી જુદી રાશિઓની માપેલી કિંમતો સૂત્રમાં મૂકો અને પદ્ધતિસર ગણતરી કરો અને લઘુગણક (લોગેરિધમ) ટેબલનો ઉપયોગ કરી સ્પષ્ટ દર્શાવો. પ્રાયોગિક ત્રુટિની ગણતરી કરો.

જ્યાં શક્ય હોય, ત્યાં પરિણામ મેળવવા આલેખની રીતનો ઉપયોગ કરો.

પરિણામ

પ્રાયોગિક પરિણામોને આધારે તારણ રજૂ કરો. (ભૌતિક ગુણવત્તા સહિત સાંખ્યિક પરિણામને યોગ્ય સાર્થક અંક અને યોગ્ય SI એકમ તથા શક્ય ત્રુટિ સહિત રજૂ કરો.). વળી, જો પરિણામ ભૌતિક પરિસ્થિતિ પર આધારિત હોય, તો તે ભૌતિક પરિસ્થિતિ જેવી કે તાપમાન, દબાણ વગેરેનો ઉલ્લેખ કરો.

સાવચેતીઓ

પ્રયોગ/પ્રવૃત્તિ જ્યારે કરતા હોય ત્યારે ખરેખર ધ્યાનમાં આવેલ સાવચેતીઓનો ઉલ્લેખ કરો.

ત્રુટિના ઉદ્ગમ

પ્રયોગ કરતા હોય તે દરમિયાન ઉદ્ભવતી અને વ્યક્તિગત રીતે નિયંત્રિત ન થઈ શકે તેવી ત્રુટિઓના શક્ય ઉદ્ગમો દર્શાવો અને તેની પરિણામ પર અસર પરીણામ પર આવે તેવી ત્રુટિઓનો ઉલ્લેખ કરો.

ચર્ચા

પ્રયોગ ગોઠવણી માટેના ખાસ કારણો વગેરે આ શીર્ષક હેઠળ ઉલ્લેખવામાં આવે છે. વળી, પ્રયોગ દરમિયાન અવલોકનમાંથી કોઈ ખાસ તારવણી અથવા નડતી કોઈ ખાસ મુશ્કેલીઓનો ઉલ્લેખ કરવો. આમાં પ્રયોગમાં ચોક્કસાઈ વધારવા માટેના મુદ્દાઓ, તકેદારીઓ અને સામાન્યતઃ પ્રયોગના પાયાના સિદ્ધાંતને સારી રીતે સમજવા થિયરી સાથે જોડાયેલા મુદ્દા ઉમેરાય.

પ્રયોગો

EXPERIMENTS

પ્રયોગ 1

હેતુ :

વર્નિયર કેલીપર્સનો ઉપયોગ કરી

- નાના ગોળાકાર અને નળાકાર પદાર્થનો વ્યાસ માપવો.
- જ્ઞાત દ્રવ્યમાન ધરાવતા નિયમિત પદાર્થના પરિમાણોનું માપન કરી તેની મદદથી તેની ઘનતા શોધવી અને
- બીકર/ગ્લાસ/કેલોરીમીટર જેવા આપેલ નળાકારીય પદાર્થ માટે આંતરિક વ્યાસ અને ઊંડાઈ માપવી અને તેની મદદથી તેનું કદ ગણવું.

સાધનો અને જરૂરી સામગ્રી :

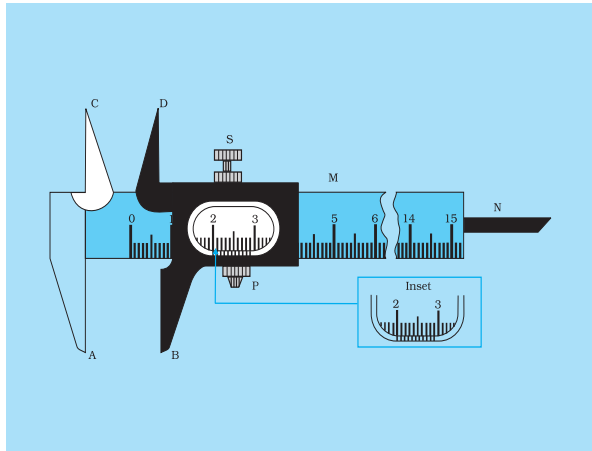
વર્નિયર કેલીપર્સ, ગોળાકાર પદાર્થ જેવા કે લોલકનો ગોળો અથવા કાયની લખોટી, જ્ઞાત દ્રવ્યમાન ધરાવતો લંબઘન બ્લોક અને બીકર / ગ્લાસ / કેલોરીમીટર જેવો નળાકારીય પદાર્થ.

માપનના સાધનનું વર્ણન :

1. વર્નિયર કેલીપર્સમાં બે માપપટ્ટી હોય છે. એક મુખ્ય માપપટ્ટી અને બીજી વર્નિયર માપપટ્ટી કે જે મુખ્ય માપપટ્ટી પર સરકી શકે છે. મુખ્ય માપક્રમ અને વર્નિયર માપક્રમ જુદા જુદા મૂલ્યના નાના વિભાગોમાં વિભાજિત થયેલ હોય છે.

મુખ્ય માપપટ્ટી સેમી અને મીમીમાં અંશાક્તિ કરેલ હોય છે. તેને બે જડિત જડબા, A અને C માપપટ્ટી સાથે કાટખૂણે ગોઠવાયેલ હોય છે. સરકતી વર્નિયર માપપટ્ટીના જડબા (B, D) તેને અને મુખ્ય માપપટ્ટી તથા ધાતુની પટ્ટી Nને પણ કાટખૂણે હોય છે. જ્યારે જડબા એકબીજાને અડકેલાં હોય, ત્યારે મુખ્ય માપપટ્ટી અને વર્નિયર માપપટ્ટીના શૂન્યો એકબીજા સાથે સુસંગત થાય છે. જડબા અને ધાતુની પટ્ટી વસ્તુનો વ્યાસ / અંતર માપવા યોજનાબદ્ધ કરેલ હોય છે. હાથા Pનો ઉપયોગ વર્નિયર માપપટ્ટીને મુખ્ય માપપટ્ટી પર સરકાવવા થાય છે. સ્ક્રૂ Sનો ઉપયોગ વર્નિયર માપપટ્ટીને ઇચ્છિત સ્થાને સ્થિર કરવા થાય છે.

2. વ્યવહારમાં વપરાતી માપપટ્ટીનું લઘુત્તમ માપ 1mm છે. આ માપપટ્ટીનું લઘુત્તમ માપ સુધારવા (વધારવા) તેનાં વધારે પેટા વિભાગ કરવા મુશ્કેલ છે. વર્નિયર માપપટ્ટી આને પ્રાપ્ત કરવા સક્ષમ બનાવે છે.



આકૃતિ E 1.1 : વર્નિયર કેલીપર્સ

સિદ્ધાંત :

મુખ્ય માપના એક વિભાગના મૂલ્ય (M.S.D.) અને વર્નિયર માપક્રમના એક વિભાગના મૂલ્ય (V.S.D.) ના તફાવતને સાધનનું લઘુત્તમ માપ કહે છે. જે સાધન વડે માપી શકાતું નાનામાં નાનું માપ દર્શાવે છે.

$$nV.S.D. = (n - 1) M.S.D.$$

ઉપયોગમાં લીધેલ સૂત્રો :

(a) વર્નિયર કેલીપર્સનું લઘુત્તમ માપ

$$= \frac{\text{મુખ્ય માપક્રમના સૌથી નાના વિભાગનું મૂલ્ય}}{\text{વર્નિયર માપક્રમ પરના વિભાગની કુલ સંખ્યા}}$$

(b) લંબઘન પદાર્થની ઘનતા $= \frac{દળ}{કદ} = \frac{m}{V} = \frac{m}{l.b.h}$ જ્યાં m એ તેનું દ્રવ્યમાન, l તેની લંબાઈ, b તેની પહોળાઈ અને h તેની ઊંચાઈ છે.

(c) નળાકાર (પોલા) વસ્તુનું કદ $V = \pi r^2 h' = \frac{\pi D'^2}{4} \cdot h'$ જ્યાં h' એ આંતરિક ઊંડાઈ છે, D' એ તેનો આંતરિક વ્યાસ અને r એ તેની આંતરિક ત્રિજ્યા છે.

પદ્ધતિ :

(a) નાની ગોળાકાર અથવા નળાકારીય વસ્તુના વ્યાસનું માપન :

1. વર્નિયર કેલીપર્સના જડબાં બંધ રાખો. મુખ્ય માપના શૂન્યના અંકનું અવલોકન કરો. તે વર્નિયર માપપટ્ટીના શૂન્ય સાથે સંપૂર્ણપણે સુસંગત થવો જોઈએ. જો આ ન હોય તો, પાના નં. 26-27 પર સમજાવ્યા મુજબ સાધનનો ઉપયોગ કરીને જ્યારે અવલોકન લેતા હોય ત્યારે બધા અવલોકન માટે શૂન્ય ત્રુટિને ધ્યાનમાં લો.
2. વર્નિયર કેલીપર્સનો જે વિભાગ મુખ્ય માપના કોઈ વિભાગ સાથે સુસંગત થાય છે તે જુઓ. જો પ્રાપ્ય હોય તો બિલોરી કાયનો ઉપયોગ કરો અને વર્નિયર માપક્રમનો કયા નંબરનો વિભાગ મુખ્ય માપક્રમના કોઈ એક વિભાગ સાથે સુસંગત થાય છે તે નોંધો. દૃષ્ટિ સ્થાનભેદની ત્રુટિ નિવારવા માટે તમારી આંખની સ્થિતિ, નોંધેલ વિભાગ પર લંબ રાખો.
3. ગતિ કરી શકે તેવા જડબાને મુક્ત કરવા સ્કૂને હળવાશથી ઢીલો કરો. નીચેના જડબા AB ની વચ્ચે ગોળો / નળાકાર પદાર્થ હળવાશથી (કોઈપણ બિન જરૂરી દબાણ સિવાય) પકડી શકાય ત્યાં સુધી તેને સરકાવો. જડબા પદાર્થના વ્યાસને સંપૂર્ણપણે લંબ હોવા જોઈએ. હવે, હળવાશથી સ્કૂને સજ્જડ કરો કે જેથી આ સ્થિતિમાં પદાર્થ સાધનમાં જકડાઈ રહે.
4. વર્નિયર સ્કેલના શૂન્યના કાપાનું સ્થાન મુખ્ય માપના સામે કાળજીપૂર્વક નોંધો. સામાન્ય રીતે, તે મુખ્ય માપક્રમના કોઈ નાના વિભાગ સાથે સંપૂર્ણપણે સુસંગત થતો નથી. વર્નિયર માપક્રમના શૂન્યના કાપાની તરત ડાબી બાજુના મુખ્ય માપના વિભાગનું મૂલ્ય નોંધો.

5. વર્નિયર માપક્રમનો ચોક્કસ ક્યો વિભાગ મુખ્ય માપક્રમના કોઈ વિભાગ સાથે ચોક્કસાઈથી સુસંગત થાય છે તે વર્નિયર માપક્રમની બારીમાં ડાબા છેડા (શૂન્ય)થી જમણી બાજુ જોવાનું શરૂ કરો. આ અંક (ધારો કે) N કાળજીપૂર્વક નોંધો.
6. 'N'ને સાધનના લઘુત્તમ માપ વડે ગુણો અને પરિણામને પદ-4માં નોંધેલ મુખ્ય માપક્રમમાં ઉમેરો. વ્યાજબી સરવાળા માટે ગુણાકારને યોગ્ય એકમોમાં (સામાન્ય રીતે cm માં) ફેરવવાની ખાત્રી રાખો.
7. પદાર્થની વકસપાટીના વ્યાસના માપન માટે જુદા જુદા સ્થાન માટે પદ 3-6 પુનરાવર્તિત કરો. દરેક કિસ્સામાં અવલોકનના ત્રણ સેટ લો.
8. અવલોકનો કોઠામાં (કોષ્ટક E 1.1(a)) યોગ્ય એકમ સહિત નોંધો. જો જરૂર જણાય તો શૂન્ય સુધારો લાગુ પાડો.
9. પદાર્થના વ્યાસના સુધારેલા અવલોકનોની સાંખ્યિક સરેરાશ શોધો. પરિણામને યોગ્ય એકમ, યોગ્ય સાર્થક અંક સહિત દર્શાવો.

(b) નિયમિત લંબઘન પદાર્થની ઘનતા શોધવા તેના પરિમાણોનું માપન કરવું.

1. લંબઘન બ્લોકની લંબાઈ (જો વિસ્તૃત જડબાંની મર્યાદાની બહાર હોય તો) યોગ્ય માપપટ્ટીનો ઉપયોગ કરીને માપો અન્યથા વિભાગ (a) માં વર્ણવ્યા મુજબ વર્નિયર કેલીપર્સના જડબા વચ્ચે લંબાઈને અનુલક્ષીને બ્લોકને જકડીને પદ 3-6 પુનરાવર્તિત કરો.
2. લંબઘન પદાર્થને યોગ્ય સ્થિતિમાં જકડીને તેના અન્ય પરિમાણો (પહોળાઈ b અને ઊંચાઈ h) નક્કી કરવા (a) માં રજૂ કરેલ પદ 3 - 6 પુનરાવર્તિત કરો.
3. લંબઘન બ્લોક માટે લંબાઈ, પહોળાઈ અને ઊંચાઈ માટેના અવલોકનો અવલોકન કોઠો (કોષ્ટક E 1.1(b)) માં યોગ્ય એકમ અને સાર્થક અંકો સહિત નોંધો. જ્યાં જરૂર હોય, ત્યાં શૂન્ય સુધારો લાગુ પડો.
4. લંબાઈ, પહોળાઈ અને ઊંચાઈ માટે લીધેલા અવલોકનોની અલગ અલગ સાંખ્યિક સરેરાશ શોધો.

(C) આપેલા બીકર (અથવા તેના જેવા નળાકારીય પદાર્થ) માટે તેનું આંતરિક કદ માપવા માટે, આંતરિક વ્યાસ અને ઊંડાઈનું માપન :

1. વર્નિયર કેલીપર્સના ઉપરના જડબા CD એવી રીતે ગોઠવો કે જેથી તે બીકરની અંદરની દિવાલને વધારાના બિનજરૂરી દબાણ વિના સ્પર્શે. વર્નિયર કેલીપર્સને આ સ્થિતિમાં રાખવા સ્ક્રૂને હળવાશથી સજજડ કરો.
2. બીકર / કેલોરીમીટરનો અંદરનો વ્યાસ મેળવવા વિભાગ (a)માં ના 3 - 6 પદ પુનરાવર્તિત કરો. બીકરની બે જુદી જુદી (કોણીય) સ્થિતિ માટે આ પ્રમાણે કરો.

3. બીકરની ઊંડાઈ માપવા માટે, વર્નિયર કેલીપર્સની મુખ્ય માપકમની ધાર બીકરની વર્તુળાકાર ધાર પર રાખો. આ ગોઠવણ એવી રીતે કરો કે જેથી પટ્ટીની ટોચ બીકરની ઊંડાઈને અનુલક્ષીને મુક્ત રીતે અંદર જઈ શકે.
4. વર્નિયર કેલીપર્સના ગતિ કરી શકે તેવા જડબાને એટલે સુધી સરકતું રાખો કે જેથી પટ્ટી બીકરના તળિયાને સ્પર્શે. આ ગોઠવણ કરતાં હોય ત્યારે કાળજી રાખો કે પટ્ટી તળિયાની સપાટીને સંપૂર્ણપણે લંબ રહેવી જોઈએ. હવે, વર્નિયર કેલીપર્સના સ્કૂને સજજડ કરો.
5. આપેલા બીકરની ઊંડાઈ મેળવવા પ્રયોગના ભાગ (a)ના પદ 4 થી 6 પુનરાવર્તિત કરો. બીકરની જુદી જુદી સ્થિતિ માટે ઊંડાઈના અવલોકનો લો.
6. અવલોકન કોઠામાં [કોષ્ટક E 1.1 (c)] અવલોકનો યોગ્ય એકમ અને સાર્થક અંક સહિત નોંધો. જરૂર જણાય તો શૂન્ય સુધારો લાગુ પાડો.
7. આપેલ બીકરના આંતરિક વ્યાસ અને ઊંડાઈના સુધારેલા અવલોકનોની સરેરાશ શોધો. પરિણામને યોગ્ય એકમો અને યોગ્ય સાર્થક અંક સહિત દર્શાવો.

અવલોકનો

(i) વર્નિયર કેલીપર્સનું લઘુત્તમ માપ (વર્નિયર અચળાંક)

મુખ્ય સ્કેલના 1 વિભાગનું મૂલ્ય (MSD) = 1 mm = 0.1 cm

વર્નિયર સ્કેલ પર વિભાગની સંખ્યા N = 10

વર્નિયર માપકમના 10 વિભાગ = મુખ્ય માપકમના 9 વિભાગ

∴ વર્નિયર માપકમનો 1 વિભાગ = મુખ્ય માપકમના 0.9 વિભાગ

વર્નિયર અચળાંક = મુખ્ય માપકમનો 1 વિભાગ - વર્નિયર માપકમનો 1 વિભાગ

$$= (1 - 0.9) \text{ મુખ્ય માપકમના વિભાગ}$$

$$= 0.1 \text{ મુખ્ય માપકમનો વિભાગ}$$

∴ વર્નિયર અચળાંક $V_c = 0.1 \text{ mm} = 0.01 \text{ cm}$

બીજી રીત :

$$\text{વર્નિયર અચળાંક} = \frac{1 \text{ MSD}}{N} = \frac{1 \text{ mm}}{10}$$

∴ વર્નિયર અચળાંક (V_c) = 0.1 mm = 0.01 cm.

(ii) શૂન્ય ત્રુટિ અને તેનો સુધારો :

જ્યારે જડબા A અને B એકબીજાને સ્પર્શે ત્યારે વર્નિયર માપકમનો શૂન્ય, મુખ્ય માપકમના શૂન્ય સાથે સુસંગત થાય. જો આવું ન થાય, તો સાધન શૂન્ય ત્રુટિ (e) ધરાવે છે તેમ કહેવાય. વર્નિયર માપકમનો શૂન્ય એ મુખ્ય માપકમના શૂન્યની જમણી કે ડાબી બાજુ રહેલ છે તેને આધારે