

ભૌતિકવિજ્ઞાન

ભાગ I

ધોરણ XII

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

ભૌતિકવિજ્ઞાન

ભાગ I

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.

રાજ્ય સરકારની વિનામૂલ્યે યોજના હેઠળનું પુસ્તક



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



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

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

અનુવાદ

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

સમીક્ષા

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

ભાષાશુદ્ધિ

પ્રો. ડૉ. દીપક બી. ભટ્ટ

સંયોજન

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

નિર્માણ-સંયોજન

શ્રી હરેન શાહ
(નાયબ નિયામક : શૈક્ષણિક)

મુદ્રણ-આયોજન

શ્રી હરેશ એસ. લીમ્બાયીયા
(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 I) વિષયના પાઠ્યપુસ્તકનો ગુજરાતીમાં
અનુવાદ કરીને વિદ્યાર્થીઓ સમક્ષ મુક્તા ગુજરાત રાજ્ય શાળા પાઠ્યપુસ્તક મંડળ
આનંદ અનુભવે છે.

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

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

NCERT, નવી દિલ્લીના સહકાર બદલ તેમના આભારી છીએ.

અવંતિકા સિંઘ (IAS)

નિયામક
તા. 03-04-2019

કાર્યવાહક પ્રમુખ
ગાંધીનગર

પ્રથમ આવૃત્તિ : 2019

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

મુદ્રક :

FOREWORD

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

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

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

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

Director

New Delhi
20 December 2006

National Council of Educational
Research and Training

THE CONSTITUTION OF INDIA PREAMBLE

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

JUSTICE, social, economic and political;
LIBERTY of thought, expression, belief, faith and worship;

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

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

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

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

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

Constitution of India

Part IV A (Article 51 A)

Fundamental Duties

It shall be the duty of every citizen of India —

- (a) to abide by the Constitution and respect its ideals and institutions, the National Flag and the National Anthem;
- (b) to cherish and follow the noble ideals which inspired our national struggle for freedom;
- (c) to uphold and protect the sovereignty, unity and integrity of India;
- (d) to defend the country and render national service when called upon to do so;
- (e) to promote harmony and the spirit of common brotherhood amongst all the people of India transcending religious, linguistic and regional or sectional diversities; to renounce practices derogatory to the dignity of women;
- (f) to value and preserve the rich heritage of our composite culture;
- (g) to protect and improve the natural environment including forests, lakes, rivers, wildlife and to have compassion for living creatures;
- (h) to develop the scientific temper, humanism and the spirit of inquiry and reform;
- (i) to safeguard public property and to abjure violence;
- (j) to strive towards excellence in all spheres of individual and collective activity so that the nation constantly rises to higher levels of endeavour and achievement;
- *(k) who is a parent or guardian, to provide opportunities for education to his child or, as the case may be, ward between the age of six and fourteen years.

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

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



ACKNOWLEDGEMENTS

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

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

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

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

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

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

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

CONSTITUTION OF INDIA

Part III (Articles 12 – 35)

(Subject to certain conditions, some exceptions
and reasonable restrictions)

guarantees these

Fundamental Rights

Right to Equality

- before law and equal protection of laws;
- irrespective of religion, race, caste, sex or place of birth;
- of opportunity in public employment;
- by abolition of untouchability and titles.

Right to Freedom

- of expression, assembly, association, movement, residence and profession;
- of certain protections in respect of conviction for offences;
- of protection of life and personal liberty;
- of free and compulsory education for children between the age of six and fourteen years;
- of protection against arrest and detention in certain cases.

Right against Exploitation

- for prohibition of traffic in human beings and forced labour;
- for prohibition of employment of children in hazardous jobs.

Right to Freedom of Religion

- freedom of conscience and free profession, practice and propagation of religion;
- freedom to manage religious affairs;
- freedom as to payment of taxes for promotion of any particular religion;
- freedom as to attendance at religious instruction or religious worship in educational institutions wholly maintained by the State.

Cultural and Educational Rights

- for protection of interests of minorities to conserve their language, script and culture;
- for minorities to establish and administer educational institutions of their choice.

Right to Constitutional Remedies

- by issuance of directions or orders or writs by the Supreme Court and High Courts for enforcement of these Fundamental Rights.



PREFACE

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

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

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

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

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

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

For example, consider statements in a book, like 'A negatively charged electron is attracted by the positively charged plate', or 'In this experiment, light (or electron) behaves like a wave'. You will realise that it is not possible to answer 'why'. This question belongs to the domain of philosophy or metaphysics. But we can answer 'how', we can find the force acting,

we can find the wavelength of the photon (or electron), we can determine how things behave under different conditions, and we can develop instruments which will use these phenomena to our advantage.

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

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

A. W. JOSHI
Chief Advisor
Textbook Development Committee

અનુક્રમણિકા

FOREWORD	iv
PREFACE	x
શિક્ષકો માટે નોંધ	xii

પ્રકરણ 1

વિદ્યુતભારો અને ક્ષેત્રો (ELECTRIC CHARGES AND FIELDS)

1.1	પ્રસ્તાવના	1
1.2	વિદ્યુતભાર	1
1.3	વાહકો અને અવાહકો	5
1.4	પ્રેરણ દ્વારા વિદ્યુતભારિત કરવું	6
1.5	વિદ્યુતભારના મૂળભૂત ગુણધર્મો	8
1.6	કુલંબનો નિયમ	10
1.7	ઘણા વિદ્યુતભારો વચ્ચે બળો	15
1.8	વિદ્યુતક્ષેત્ર	18
1.9	વિદ્યુત ક્ષેત્ર રેખાઓ	23
1.10	વિદ્યુત ફ્લક્સ	25
1.11	વિદ્યુત ડાયપોલ (દ્વિ-ધ્રુવી)	27
1.12	સમાન બાહ્યક્ષેત્રમાં મૂકેલ ડાયપોલ (દ્વિ-ધ્રુવી)	31
1.13	સતત વિદ્યુતભાર વિતરણ	32
1.14	ગૌસનો નિયમ	33
1.15	ગૌસના નિયમના ઉપયોગો	37

પ્રકરણ 2

સ્થિતવિદ્યુત સ્થિતિમાન અને કેપેસિટન્સ (ELECTROSTATIC POTENTIAL AND CAPACITANCE)

2.1	પ્રસ્તાવના	51
2.2	સ્થિતવિદ્યુત સ્થિતિમાન	53
2.3	બિંદુવત્ વિદ્યુતભારને લીધે સ્થિતિમાન	54
2.4	વિદ્યુત ડાયપોલ (દ્વિ-ધ્રુવી)ને લીધે સ્થિતિમાન	55
2.5	વિદ્યુતભારોના તંત્રને લીધે સ્થિતિમાન	57
2.6	સમસ્થિતિમાન પૃષ્ઠો	60
2.7	વિદ્યુતભારોના તંત્રની સ્થિતિઊર્જા	61
2.8	બાહ્ય ક્ષેત્રમાં સ્થિતિઊર્જા	64
2.9	સુવાહકોનું સ્થિત વિદ્યુતશાસ્ત્ર	67

2.10	ડાયઇલેક્ટ્રીક અને ધ્રુવીભવન	71
2.11	કેપેસિટરો અને કેપેસિટન્સ	73
2.12	સમાંતર પ્લેટ કેપેસિટર	74
2.13	કેપેસિટન્સ પર ડાયઇલેક્ટ્રીકની અસર	75
2.14	કેપેસિટરોનું સંયોજન	78
2.15	કેપેસિટરમાં સંગ્રહિત ઊર્જા	80

પ્રકરણ 3

પ્રવાહ વિદ્યુત (CURRENT ELECTRICITY)

3.1	પ્રસ્તાવના	93
3.2	વિદ્યુતપ્રવાહ	93
3.3	સુવાહકોમાં વિદ્યુતપ્રવાહો	94
3.4	ઓહ્મનો નિયમ	95
3.5	ઇલેક્ટ્રોનની ડિફ્ટ ગતિ અને અવરોધકતાનું ઉદ્ભવ	97
3.6	ઓહ્મના નિયમની મર્યાદાઓ	101
3.7	જુદા-જુદા દ્રવ્યો માટે અવરોધકતા	101
3.8	અવરોધકતાનો તાપમાન પરનો આધાર	103
3.9	વિદ્યુત ઊર્જા અને પાવર (કાર્યત્વરા)	105
3.10	અવરોધકોનું સંયોજન-શ્રેણી અને સમાંતર	107
3.11	વિદ્યુતકોષ, emf , આંતરિક અવરોધ	110
3.12	કોષોના શ્રેણી અને સમાંતર જોડાણ	113
3.13	કિર્ચોફના નિયમો	115
3.14	વ્હીટસ્ટન બ્રિજ	118
3.15	મીટરબ્રિજ	120
3.16	પોટેન્શિયોમીટર	122

પ્રકરણ 4

ગતિમાન વિદ્યુતભારો અને ચુંબકત્વ (MOVING CHARGES AND MAGNETISM)

4.1	પ્રસ્તાવના	132
4.2	ચુંબકીયબળ	133
4.3	ચુંબકીયક્ષેત્રમાં ગતિ	137
4.4	સંયુક્ત એવા વિદ્યુત અને ચુંબકીયક્ષેત્રોમાં ગતિ	140
4.5	વિદ્યુતપ્રવાહ ખંડના કારણે મળતું ચુંબકીયક્ષેત્ર, બાયો-સાવરનો નિયમ	143
4.6	વિદ્યુતપ્રવાહ ધારિત વર્તુળાકાર પ્રવાહગાળાની અક્ષ પર ચુંબકીયક્ષેત્ર	145
4.7	એમ્પિયરનો સર્કિટલ (બંધ ગાળાનો) નિયમ	147
4.8	સોલેનોઇડ અને ટોરોઇડ	150
4.9	બે સમાંતર વિદ્યુતપ્રવાહ વચ્ચે લાગતું બળ, એમ્પિયર	154
4.10	વિદ્યુતપ્રવાહ ધારિત ગૂંચળા (પ્રવાહગાળા) પર લાગતું ટોર્ક, ચુંબકીય ડાઈપોલ	157
4.11	ચલિત ગૂંચળાવાળું ગેલ્વેનોમીટર	163

પ્રકરણ 5

ચુંબકત્વ અને દ્રવ્ય (MAGNETISM AND MATTER)

5.1	પ્રસ્તાવના	173
5.2	ગર્જિયો ચુંબક	174
5.3	ચુંબકત્વ અને ગોસનો નિયમ	181
5.4	પૃથ્વીનું ચુંબકત્વ	185
5.5	મેગ્નેટાઈઝેશન અને મેગ્નેટિક તીવ્રતા	189
5.6	દ્રવ્યોના ચુંબકીય ગુણધર્મો	191
5.7	કાયમી ચુંબકો અને વિદ્યુતચુંબકો	195

પ્રકરણ 6

વિદ્યુતચુંબકીય પ્રેરણ (ELECTROMAGNETIC INDUCTION)

6.1	પ્રસ્તાવના	204
6.2	ફેરેડે અને હેન્રીના પ્રયોગો	205
6.3	ચુંબકીય ફ્લક્સ	206
6.4	ફેરેડેનો પ્રેરણનો નિયમ	207
6.5	લેન્ઝનો નિયમ અને ઊર્જા સંરક્ષણ	210
6.6	ગતિકીય વિદ્યુતચાલક બળ	212
6.7	ઊર્જા વિચારણા : એક માત્રાત્મક અભ્યાસ	215
6.8	ઘૂમરી પ્રવાહો	218
6.9	પ્રેરકત્વ	219
6.10	AC જનરેટર	224

પ્રકરણ 7

પ્રત્યાવર્તી પ્રવાહ (ALTERNATING CURRENT)

7.1	પ્રસ્તાવના	233
7.2	અવરોધકને લાગુ પાડેલ AC વોલ્ટેજ	234
7.3	ઘૂમતા સદિશો (ફેઝર્સ) વડે AC પ્રવાહ અને વોલ્ટેજની રજૂઆત	237
7.4	ઇન્ડક્ટર (પ્રેરક ગૂંચળું)ને લાગુ પાડેલ AC વોલ્ટેજ	237
7.5	કેપેસિટર (સંધારક)ને લાગુ પાડેલ AC વોલ્ટેજ	241
7.6	LCR શ્રેણી પરિપથને લાગુ પાડેલ AC વોલ્ટેજ	244
7.7	AC પરિપથમાં પાવર : પાવર ફેક્ટર	252
7.8	LC દોલનો	255
7.9	ટ્રાન્સફોર્મર્સ	259

પ્રકરણ 8

વિદ્યુતચુંબકીય તરંગો (ELECTRO MAGNETIC WAVES)

8.1	પ્રસ્તાવના	269
8.2	સ્થાનાંતર પ્રવાહ	270
8.3	વિદ્યુતચુંબકીય તરંગો	274
8.4	વિદ્યુતચુંબકીય વર્ણપટ	280

જવાબો (ANSWERS)

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, Nov. 11-12/ May-June 2006, issue available at Department of Atomic Energy (DAE) website mentioned above.

પ્રકરણ એક

વિદ્યુતભારો અને ક્ષેત્રો

(ELECTRIC CHARGES AND FIELDS)

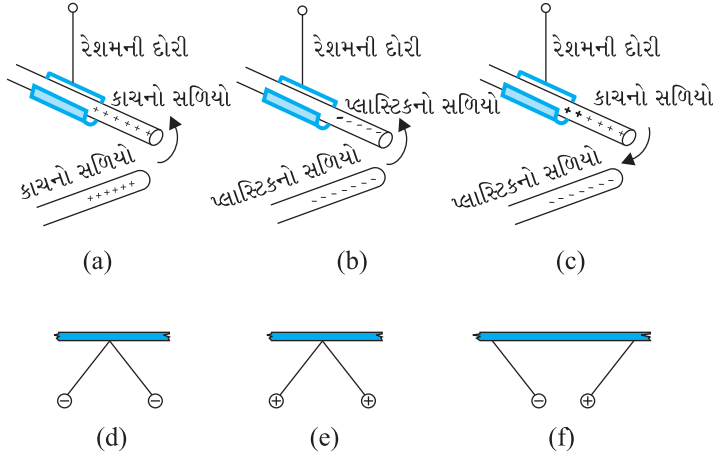


1.1 પ્રસ્તાવના (INTRODUCTION)

આપણે પહેરેલાં સિન્થેટીક કપડાં અથવા સ્વેટર ઉતારતી વખતે, ખાસ કરીને સૂકા હવામાનમાં આપણને સૌને તણખા જોવાનો અથવા તડતડ અવાજ સાંભળવાનો અનુભવ છે. પોલિયેસ્ટર સાડી જેવા મહિલાઓના કપડામાં તો આવું લગભગ અનિવાર્યપણે થતું જ હોય છે. તમે કદી આ ઘટનાની સમજૂતી મેળવવાનો પ્રયત્ન કર્યો છે ? વિદ્યુતવિભાર (Electric Discharge)નું બીજું સામાન્ય ઉદાહરણ એ મેઘગર્જના વખતે દેખાતી વીજળી છે. કારનો દરવાજો ખોલતાં કે બસમાં આપણી બેઠક પરથી લપસ્યા બાદ બસનો લોખંડનો સળિયો પકડતાં આપણને વિદ્યુત આંચકો (Shock) પણ લાગે છે. આવા અનુભવોનું કારણ આપણા શરીર મારફતે થતો વિદ્યુતવિભાર (વિદ્યુતભાર વિસર્જન) છે, જે અવાહક સપાટીઓના ઘસાવાથી એકત્રિત થયો હતો. તમે કદાચ એવું સાંભળ્યું પણ હશે કે સ્થિતવિદ્યુત ઉત્પન્ન થવાને લીધે આવું થાય છે. આપણે આ અને પછીના પ્રકરણમાં આ જ મુદ્દાની ચર્ચા કરવાના છીએ. સ્થિત એટલે એવું કંઈક કે જે ગતિ કરતું ન હોય કે સમય સાથે બદલાતું ન હોય. *સ્થિતવિદ્યુતશાસ્ત્રમાં સ્થિત વિદ્યુતભારોથી ઉદ્ભવતાં બળો, ક્ષેત્રો અને સ્થિતિમાનો વિશે અભ્યાસ કરીશું.*

1.2 વિદ્યુતભાર (ELECTRIC CHARGE)

ગ્રીક સાથે કે રેશમી કાપડ સાથે ઍબરને ઘસતાં તે હલકા પદાર્થોને આકર્ષે છે, એવી હકીકતની શોધનું માન ઐતિહાસિક રીતે ઈ. પૂ. 600માં ગ્રીસમાં આવેલા Thales of Miletusને જાય છે. વિદ્યુત (Electricity) એવું નામ ગ્રીક શબ્દ ઈલેક્ટ્રોન - જેનો અર્થ છે ઍબર-પરથી અપાયું છે. દ્રવ્યની ઘણી એવી જોડીઓ જાણવા મળી હતી કે જેમને ઘસવાથી તેઓ ઘાસના તણખલા,



આકૃતિ 1.1 સળિયાઓ અને બરુની ગોળીઓ : સજાતિય વિદ્યુતભારો એકબીજાને અપાકર્ષે છે અને વિજાતિય વિદ્યુતભારો આકર્ષે છે.

બરુની ગોળી (Pith Ball), કાગળના ટુકડા જેવા હલકા પદાર્થોને આકર્ષી શકતા હતા. આવી અસર અનુભવવા માટે તમે નીચેની પ્રવૃત્તિ ઘેર કરી શકો છો. સફેદ કાગળની લાંબી, પાતળી પટ્ટીઓ કાપીને હળવેથી તેમની ઈસ્ત્રી કરો. તેમને ટી.વી.ના પડદા અથવા કમ્પ્યુટરના મોનીટરની નજીક લાવો. તમે જોશો કે પટ્ટીઓ પડદા તરફ આકર્ષાય છે. હકીકતમાં તેઓ થોડીવાર પડદાને ચોંટીને રહે છે.

એવું અવલોકિત થયું હતું કે ઊન કે રેશમના કાપડ સાથે ઘસેલા કાયના બે સળિયા એકબીજાની નજીક લાવતાં તેઓ એકબીજાને અપાકર્ષે છે [આકૃતિ 1.1(a)]. ઊનના બે રેસાઓ કે રેશમી કાપડના બે ટુકડાઓ કે જેમની સાથે સળિયાઓને ઘસ્યા હતા તેઓ પણ એકબીજાને અપાકર્ષે છે. જો કે કાયનો સળિયો અને ઊન એકબીજાને

આકર્ષે છે. તે જ રીતે બિલાડીના ચામડા (ફર, Fur) સાથે ઘસેલા પ્લાસ્ટિકના બે સળિયા પણ એકબીજાને અપાકર્ષે છે [આકૃતિ 1.1(b)]. પણ ફરને આકર્ષે છે. બીજી તરફ પ્લાસ્ટિકનો સળિયો કાયના સળિયાને આકર્ષે છે [આકૃતિ 1.1(c)] અને રેશમ કે ઊન કે જેની સાથે કાયના સળિયાને ઘસેલા હતા તેને (રેશમ કે ઊનને) અપાકર્ષે છે. કાયનો સળિયો બિલાડીના ચામડાને અપાકર્ષે છે.

જો ફર સાથે ઘસેલો પ્લાસ્ટિકનો સળિયો, રેશમ કે નાયલોનની દોરી સાથે લટકાવેલ બે નાની બરુની ગોળીઓ (Pith Balls) (હાલના સમયમાં તો આપણે પોલીસ્ટીરીન બોલ્સ વાપરી શકીએ)ને અડકાડવામાં આવે તો ગોળીઓ એકબીજાને અપાકર્ષે છે [આકૃતિ 1.1(d)]. અને સળિયા સાથે પણ અપાકર્ષણ અનુભવે છે. જો બરુની ગોળીઓને રેશમ સાથે ઘસેલા કાયના સળિયાને અડકાડવામાં આવે તો આવી જ અસર જણાય છે [આકૃતિ 1.1(e)]. એક નાટકીય અવલોકન એવું મળે છે કે કાયના સળિયા સાથે અડકાડેલી બરુની ગોળી, પ્લાસ્ટિકના સળિયા સાથે અડકાડેલી બીજી બરુની ગોળીને આકર્ષે છે [આકૃતિ 1.1(f)].

આ દેખીતી રીતે સરળ લાગતી હકીકતો, વર્ષોનાં પ્રયત્નો અને કાળજીપૂર્વકના પ્રયોગો અને તેમના વિશ્લેષણ પરથી સ્થાપિત થયેલી હતી. જુદા જુદા વિજ્ઞાનીઓ દ્વારા ઘણા કાળજીપૂર્વકના અભ્યાસોને અંતે એવો નિષ્કર્ષ મેળવવામાં આવ્યો હતો કે જે અસ્તિત્વ (Entity)ને વિદ્યુતભાર કહેવામાં આવે છે તેના ફક્ત બે જ પ્રકાર છે. કાય કે પ્લાસ્ટિકનો સળિયો, રેશમ, ફર, બરુની ગોળી જેવા પદાર્થો વિદ્યુતભારિત (Electrified) થયેલા છે. ઘસવાની ક્રિયા દરમિયાન તેઓ વિદ્યુતભાર પ્રાપ્ત કરે છે. બરુની ગોળી પરના પ્રયોગો સૂચવે છે કે વિદ્યુતભારિત થવાની ક્રિયા (Electrification) બે પ્રકારની છે અને આપણને એમ જણાય છે કે (i) સજાતીય વિદ્યુતભારો એકબીજાને અપાકર્ષે છે અને (ii) વિજાતીય વિદ્યુતભારો એકબીજાને આકર્ષે છે. પ્રયોગોએ એ પણ દર્શાવ્યું કે બરુની ગોળીના સંપર્ક વખતે વિદ્યુતભાર સળિયા પરથી ગોળી પર સ્થાનાંતર પામે છે. આમ, બરુની ગોળીઓ સંપર્કથી વિદ્યુતભારિત થઈ છે એમ કહેવાય છે. બે પ્રકારના વિદ્યુતભારોને જુદા પાડતા ગુણધર્મને વિદ્યુતભારનું ધ્રુવત્વ (Polarity) કહે છે.

જ્યારે કાયનો સળિયો રેશમ સાથે ઘસવામાં આવે છે ત્યારે સળિયો એક પ્રકારનો વિદ્યુતભાર અને રેશમ બીજા પ્રકારનો વિદ્યુતભાર પ્રાપ્ત કરે છે. ઘસવાથી વિદ્યુતભારિત થતા બે પદાર્થોની કોઈપણ જોડ માટે આ સાચું છે. હવે જો વિદ્યુતભારિત સળિયો, જેની સાથે તેને ઘસેલો હતો તે રેશમના સંપર્કમાં લાવવામાં આવે તો તેઓ એકબીજાને આકર્ષતા નથી. અગાઉ જ્યારે વિદ્યુતભારિત થયા હતા ત્યારે જેમને આકર્ષતા કે અપાકર્ષકતા હતા તેવા હલકા પદાર્થોને પણ તેઓ હવે આકર્ષતા કે અપાકર્ષકતા નથી.

વિદ્યુતભારો અને ક્ષેત્રો

આમ, ઘસવાથી વિદ્યુતભાર પ્રાપ્ત કરેલો હોય તેવા વિદ્યુતભારિત પદાર્થોને એકબીજાના સંપર્કમાં લાવવામાં આવતાં પ્રાપ્ત કરેલ વિદ્યુતભાર ગુમાવી દે છે. આ અવલોકનો પરથી તમે શું નિષ્કર્ષ તારવશો ? તે આપણને એટલું જ જણાવે છે કે પદાર્થોએ પ્રાપ્ત કરેલા વિજાતીય વિદ્યુતભારો એકબીજાની અસરને નાબુદ કરે છે. આથી વિદ્યુતભારોને ધન અને ઋણ એવાં નામ અમેરિકન વિજ્ઞાની બેન્જામીન ફ્રેન્ક્લીન દ્વારા અપાયાં હતાં. આપણે જાણીએ છીએ કે જ્યારે એક ધન સંખ્યામાં તેટલું જ માન ધરાવતી ઋણ સંખ્યા ઉમેરવામાં આવે તો સરવાળો શૂન્ય થાય છે. વિદ્યુતભારોને ધન અને ઋણ એવાં નામ આપવામાં કદાચ આ તર્ક હશે. રૂઢિગત રીતે કાયના સળિયા અથવા બિલાડીના ફર પરનો વિદ્યુતભાર ધન અને પ્લાસ્ટિકના સળિયા અથવા રેશમ પરનો વિદ્યુતભાર ઋણ ગણવામાં આવે છે. જો કોઈ પદાર્થ વિદ્યુતભાર ધરાવતો હોય તો વિદ્યુતભારિત હોવાનું કહેવાય છે. જ્યારે તેની પાસે કોઈ વિદ્યુતભાર નથી હોતો ત્યારે તેને વિદ્યુત તટસ્થ હોવાનું કહેવાય છે.

વિદ્યુત અને ચુંબકત્વનું એકીકીકરણ

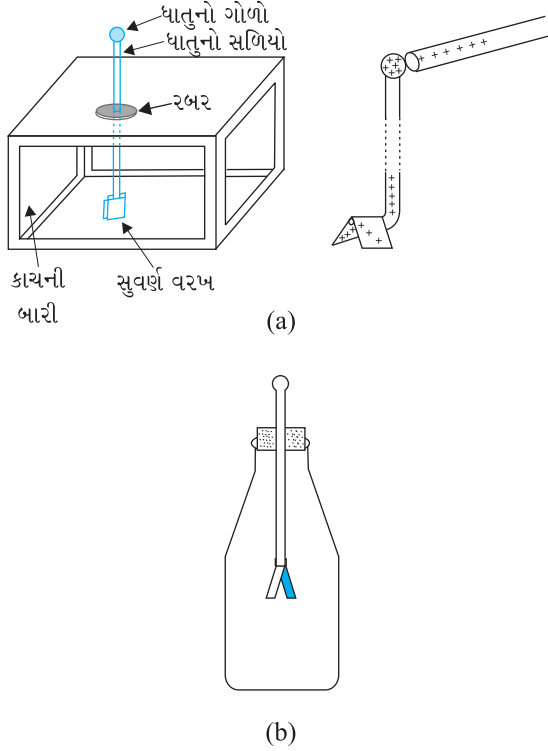
પ્રાચીન સમયમાં, વિદ્યુત અને ચુંબકત્વ બે જુદા વિષયો ગણાતા હતા. વિદ્યુત કાયના સળિયા, બિલાડીના ફર, બેટરીઓ, વીજળી એ બધામાં વિદ્યુતભારો અંગેની વાત કરતું જ્યારે ચુંબકત્વ ચુંબકની, લોખંડના ભૂકા, ચુંબકીય સોય વગેરે સાથેની આંતરક્રિયા વિષેની સમજૂતી આપતું હતું. 1820માં ડેન્માર્કના વિજ્ઞાની ઓર્સ્ટેડને જણાયું કે, ચુંબકીય સોયની નજીક (ઉપર કે નીચે) મૂકેલા તારમાંથી વિદ્યુતપ્રવાહનું વહન કરતાં ચુંબકીય સોયનું કોણાવર્તન થાય છે. એમ્પિયર અને ફેરેડેએ આ અવલોકનને એમ કહીને સમર્થન આપ્યું કે ગતિમાન વિદ્યુતભારો ચુંબકીયક્ષેત્ર ઉત્પન્ન કરે છે અને ગતિમાન ચુંબકો વિદ્યુત ઉત્પન્ન કરે છે. જ્યારે સ્કોટલેન્ડના ભૌતિકવિજ્ઞાની મેક્સવેલ અને ડચ ભૌતિકવિજ્ઞાની હોરેન્ડ્રે રજૂ કરેલ સિદ્ધાંતમાં તેમણે આ બે વિષયોનું એકબીજા પરનું અવલંબન (Dependence) દર્શાવ્યું ત્યારે એકીકીકરણ સિદ્ધ થયું હતું. આ ક્ષેત્રને વિદ્યુતચુંબકત્વ કહે છે. આપણી આસપાસ બનતી મોટાભાગની ઘટનાઓ વિદ્યુતચુંબકત્વ દ્વારા સમજાવી શકાય છે. આપણે વિચારી શકીએ તેવું દરેક બળ-જેમકે, ઘર્ષણ, દ્રવ્યને એકસાથે જકડી રાખનાર પરમાણુઓ વચ્ચેનું રાસાયણિક બળ અને સજીવોના કોષમાં આકાર લેતી પ્રક્રિયાઓને રજૂ કરતાં બળો-વિદ્યુતચુંબકીય બળમાંથી ઉદ્ભવે છે. વિદ્યુતચુંબકીય બળ એ કુદરતના મૂળભૂત બળોમાંનું એક છે.

યંત્રશાસ્ત્રમાં ન્યૂટનનાં ગતિનાં સમીકરણો અને ગુરુત્વાકર્ષણ જે ભાગ ભજવે છે તેવો જ ભાગ પ્રચલિત (Classical) વિદ્યુતચુંબકત્વમાં, મેક્સવેલે રજૂ કરેલાં ચાર સમીકરણો ભજવે છે. તેણે એવી પણ દલીલ કરી કે, પ્રકાશ વિદ્યુતચુંબકીય પ્રકૃતિ ધરાવે છે અને તેની ઝડપ, માત્ર વિદ્યુત અને ચુંબકીય માપનો પરથી મેળવી શકાય છે. તેણે જણાવ્યું કે, પ્રકાશનું વિજ્ઞાન વિદ્યુત અને ચુંબકત્વ સાથે ગાઢ રીતે સંકળાયેલું છે.

વિદ્યુત અને ચુંબકત્વનું વિજ્ઞાન આધુનિક સંસ્કૃતિનો પાયો છે. વિદ્યુતપાવર, દૂરસંચાર, રેડિયો અને ટેલિવિઝન અને બીજાં આપણા રોજિંદા જીવનમાં વપરાતાં અનેક ઉપકરણો આ વિજ્ઞાનના સિદ્ધાંતો પર રચાયેલાં છે. ગતિમાં રહેલા વિદ્યુતભારિત કણો વિદ્યુત અને ચુંબકીય બંને બળો લગાડે છે, તેમ છતાં જે નિર્દેશ ફેમમાં બધાં વિદ્યુતભારો સ્થિર છે તેમાં બળો માત્ર વિદ્યુતિય હોય છે. તમે જાણો છો કે ગુરુત્વબળ એ ગુરુ-અવધિ (Long Range) બળ છે. જ્યારે કણો વચ્ચેનું અંતર ખૂબ મોટું હોય ત્યારે પણ તેની અસર જણાય છે, કારણ કે આ બળ આંતરક્રિયા કરનારા પદાર્થો વચ્ચેના અંતરના વર્ગના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં ઘટે છે. આ પ્રકરણમાં આપણે શીખીશું કે વિદ્યુતબળ પણ એટલું જ સર્વવ્યાપી અને ગુરુત્વબળ કરતાં માનના કેટલાય કમ જેટલું વધુ પ્રબળ છે. (સંદર્ભ : પ્રકરણ-1, ધોરણ XI, ભૌતિકવિજ્ઞાન પાઠ્યપુસ્તક)

પદાર્થ પરના વિદ્યુતભારની પરખ કરવા માટેનું એક સાદું ઉપકરણ એ સુવર્ણ-વરખ વિદ્યુતદર્શક (Gold-leaf Electroscope) છે [આકૃતિ 1.2(a)]. તે એક બોક્સમાં રાખેલા ધાતુના ઉર્ધ્વ સળિયાના નીચેના છેડે પાતળા સુવર્ણ વરખ ધરાવતી રચના છે. જ્યારે વિદ્યુતભારિત પદાર્થ ટોચ પરના ધાતુના ગોળાને સ્પર્શે છે, ત્યારે વિદ્યુતભાર વહન પામીને વરખો પર જાય છે અને તેઓ એકબીજાથી દૂર જાય છે (ફંટાય છે). દૂર જવાનું પ્રમાણ વિદ્યુતભારના જથ્થાનું સૂચક છે.

ભૌતિકવિજ્ઞાન



આકૃતિ 1.2 વિદ્યુતદર્શક (a) સુવર્ણ-વરખવાળું વિદ્યુતદર્શક (b) સાદા વિદ્યુતદર્શકની સંજ્ઞાત્મક આકૃતિ

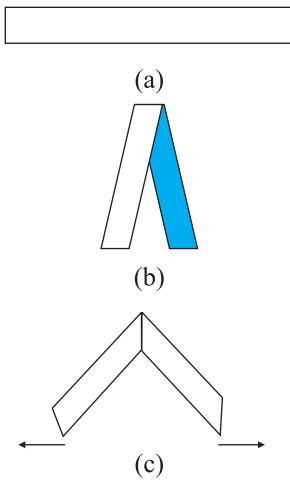
વિદ્યાર્થીઓ નીચે પ્રમાણે સાદું વિદ્યુતદર્શક બનાવી શકે છે (આકૃતિ 1.2(b)). પડદા માટેનો એલ્યુમિનિયમનો એક પાતળો સળિયો લો, જેના છેડે પડદા લગાડવાના ગોળા લગાડેલા હોય. લગભગ 20 cm લંબાઈનો ટુકડો કાપો, તેના એક છેડે ગોળો હોય અને કાપેલા છેડાને સપાટ (ચપટો) બનાવો. આ સળિયાને રાખી શકે તેવી મોટી બાટલી અને તેના ખુલ્લા છેડામાં ચુસ્ત બેસે તેવો બૂચ લો. પડદાના સળિયાને સહેલાઈથી પકડી રાખે તેવું છિદ્ર બૂચમાં પાડો. બૂચમાં થઈ સળિયાને, કાપેલો ભાગ નીચે તરફ રહે અને ગોળાવાળો છેડો બૂચની બહાર રહે તેમ સરકાવો. એલ્યુમિનિયમનો પાતળો વરખ (લગભગ 6 cm લંબાઈનો) લઈ તેને મધ્યમાંથી વાળી સળિયાના સપાટ છેડા સાથે સેલ્યુલોઝ ટેપથી જોડો. આ તમારા વિદ્યુતદર્શકના વરખો છે. સળિયાની લગભગ 5 cm લંબાઈ બૂચની બહાર રહે તેમ બૂચને બાટલી પર લગાડો. અંતર માપવા માટે બાટલીમાં અગાઉથી કાગળનો સ્કેલ મૂકી શકાય. વરખો વચ્ચેનું અંતર એ વિદ્યુતભારના જથ્થાનું આશરે માપ છે.

વિદ્યુતદર્શક કેવી રીતે કાર્ય કરે છે તે સમજવા વિદ્યુતભારિત પદાર્થો વચ્ચેનું આકર્ષણ જોવા માટે આપણે વાપરી હતી તે કાગળની પટ્ટીઓ લો. તેમને મધ્યમાંથી વાળો, જેથી વળવાના સ્થાને નિશાની થશે. પટ્ટીને ખોલી, હળવેથી ઈસ્ત્રી કરી, આકૃતિ 1.3માં દર્શાવ્યા મુજબ વળાંકની નિશાની ઉપર રહે તેમ રાખો. પટ્ટીને એવી રીતે પકડો કે વળાંક ચપટીમાં આવે. તમે જોઈ શકશો કે બંને ભાગ એકબીજાથી દૂર જાય છે. આ દર્શાવે છે કે ઈસ્ત્રી કરવાથી પટ્ટીને વિદ્યુતભાર પ્રાપ્ત થયો છે. જ્યારે તમે અડધેથી વાળો છો

ત્યારે બંને અડધા ભાગો પર સમાન વિદ્યુતભાર હોય છે. તેથી તેઓ એકબીજાને અપાકર્ષે છે. આવી જ અસર વરખવાળા વિદ્યુતદર્શકમાં જોવા મળે છે. વિદ્યુતભારિત પદાર્થને સળિયાના છેડે ગોળા સાથે સ્પર્શ કરાવતાં વિદ્યુતભાર સળિયા પર અને તેની સાથે જોડેલા એલ્યુમિનિયમના વરખો પર સ્થાનાંતર પામે છે. વરખના બંને અડધા ભાગો પર સજાતિય (Similar) વિદ્યુતભાર આવે છે અને તેથી તેઓ અપાકર્ષે છે. વરખોનું છૂટા પડવાનું પ્રમાણ તેમના પરના વિદ્યુતભારના જથ્થા પર આધારિત છે. આપણે પ્રથમ તો એ સમજાવે કે દ્રવ્ય પદાર્થો વિદ્યુતભાર કેમ પ્રાપ્ત કરે છે.

તમે જાણો છો કે બધું દ્રવ્ય પરમાણુ અને/અથવા અણુઓનું બનેલું છે. સામાન્યતઃ દ્રવ્યો વિદ્યુતીય રીતે તટસ્થ હોવા છતાં તેઓ વિદ્યુતભાર ધરાવે છે, પરંતુ તેમના વિદ્યુતભારો બરાબર સમતોલિત થયેલ છે. ઘન પદાર્થમાં અણુઓને એકબીજા સાથે જકડી રાખનારાં બળો, પરમાણુઓને એકબીજા સાથે જકડી રાખનારાં બળો, ગુંદરનું આસક્તિ (Adhesive) બળ, પૃષ્ઠતાણ સાથે સંકળાયેલાં બળો એ બધાં મૂળભૂત રીતે વિદ્યુત પ્રકારનાં છે, જે વિદ્યુતભારો વચ્ચેનાં બળોથી ઉદ્ભવેલાં છે. આમ, વિદ્યુતબળ સર્વવ્યાપી છે અને આપણા જીવન સાથે સંકળાયેલ દરેક ક્ષેત્રને ઘેરી વળેલું છે. આથી, એ જરૂરી છે કે આપણે આ બળ વિશે વધુ જાણીએ.

કોઈ તટસ્થ પદાર્થને વિદ્યુતભારિત કરવા માટે આપણે એક પ્રકારનો વિદ્યુતભાર ઉમેરવાની કે દૂર કરવાની જરૂર પડે છે. જ્યારે આપણે એમ કહીએ કે પદાર્થ વિદ્યુતભારિત થયેલો છે ત્યારે આપણે આ વધારાના અથવા ખૂટતા વિદ્યુતભારની વાત કરીએ છીએ. ઘન પદાર્થોમાં, પરમાણુ સાથે ઓછી પ્રબળતાથી બંધિત હોય, તેમાંના કેટલાંક ઈલેક્ટ્રોન, એકથી બીજા પદાર્થ પર સ્થાનાંતર પામતા વિદ્યુતભાર છે. આમ, પદાર્થ કેટલાક ઈલેક્ટ્રોનને ગુમાવીને ઘન વિદ્યુતભારિત બને છે. તેવી જ રીતે પદાર્થ ઈલેક્ટ્રોનને પ્રાપ્ત કરીને ઋણ વિદ્યુતભારિત બને છે. જ્યારે આપણે કાચના સળિયાને રેશમ સાથે



આકૃતિ 1.3 કાગળની પટ્ટીનો પ્રયોગ

ઘસીએ છીએ ત્યારે સળિયામાંથી કેટલાક ઇલેક્ટ્રોન રેશમ પર સ્થાનાંતર પામે છે. આમ, સળિયો ધન વિદ્યુતભારિત અને રેશમ ઋણ વિદ્યુતભારિત બને છે. ઘસવાની ક્રિયામાં કોઈ નવો વિદ્યુતભાર ઉત્પન્ન થતો નથી. વળી, સ્થાનાંતર પામતા ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા, પદાર્થની અંદરના ઇલેક્ટ્રોનની કુલ સંખ્યાનો એક ઘણો નાનો ભાગ છે. આ ઉપરાંત દ્રવ્યમાં ઓછી પ્રબળતાથી બંધિત હોય તેવા ઇલેક્ટ્રોન જ ઘસવાની ક્રિયામાં પદાર્થમાંથી સ્થાનાંતર પામે છે. આથી જ્યારે એક પદાર્થને બીજા પદાર્થ સાથે ઘસવામાં આવે છે ત્યારે પદાર્થો વિદ્યુતભારિત થાય છે, આ કારણથી ઘસીને પદાર્થોને વિદ્યુતભારિત થયેલા નોંધવા માટે આપણે કેટલીક જોડ (Pairs)ને જ વળગી રહેવું પડે છે.

1.3 વાહકો અને અવાહકો (CONDUCTORS AND INSULATORS)

ધાતુના એક સળિયાને હાથમાં રાખી ઊન સાથે ઘસતાં વિદ્યુતભારિત થયો હોવાનો કોઈ સંકેત જણાતો નથી. જોકે, લાકડાના કે પ્લાસ્ટિકના હેન્ડલ (હાથા)વાળો ધાતુનો સળિયો તેના ધાતુના ભાગને સ્પર્શ્યા સિવાય ઘસવામાં આવે તો તે વિદ્યુતભારિત થયો હોવાનો સંકેત આપે છે. ધારો કે આપણે તાંબાના એક તારને તટસ્થ બરુની ગોળી (Pith Ball) સાથે જોડીએ અને બીજા છેડાને ઋણ વિદ્યુતભારિત પ્લાસ્ટિકના સળિયા સાથે જોડીએ તો આપણને જણાશે કે બરુની ગોળી ઋણ વિદ્યુતભાર પ્રાપ્ત કરે છે. જો આવો જ પ્રયોગ (તાંબાના તારને સ્થાને) નાયલોન દોરી અથવા રબર-બેન્ડ સાથે કરવામાં આવે તો પ્લાસ્ટિકના સળિયા પરથી બરુની ગોળી તરફ કોઈ વિદ્યુતભારનું સ્થાનાંતર થતું નથી. સળિયાથી ગોળી તરફ વિદ્યુતભારનું સ્થાનાંતર કેમ થતું નથી ?

કેટલાંક દ્રવ્યો વિદ્યુતને તેમનામાંથી સહેલાઈથી પસાર થવા દે છે, બીજા થવા દેતા નથી. જેઓ તેમનામાંથી વિદ્યુતને સહેલાઈથી પસાર થવા દે છે તેમને *સુવાહકો/અથવા વાહકો (Conductors)* કહે છે. તેમની પાસે વિદ્યુતભારો (ઇલેક્ટ્રોન) એવા હોય છે કે જે દ્રવ્યમાં ગતિ કરવા માટે લગભગ મુક્ત હોય છે. ધાતુઓ, માનવ તથા પ્રાણી શરીરો અને પૃથ્વી વાહકો છે. કાચ, પોર્સેલીન, પ્લાસ્ટિક, નાયલોન, લાકડું જેવી મોટાભાગની અધાતુઓ તેમનામાંથી વિદ્યુતના પસાર થવાને મોટો અવરોધ દાખવે છે. તેમને *અવાહકો (Insulators)* કહે છે. મોટાભાગના પદાર્થો ઉપર* જણાવેલ બેમાંથી એક વર્ગમાં આવે છે.

જ્યારે કોઈ વિદ્યુતભાર સ્થાનાંતરિત થઈને સુવાહક પર જાય છે ત્યારે તે તરત જ સુવાહકની સમગ્ર સપાટી પર વિતરિત થઈ જાય છે. એથી ઉલટું, જ્યારે અવાહક પર કોઈ વિદ્યુતભાર મૂકવામાં આવે ત્યારે તે, તે જ સ્થાને રહે છે. આવું કેમ થાય છે તે તમે હવે પછીના પ્રકરણમાં શીખશો.

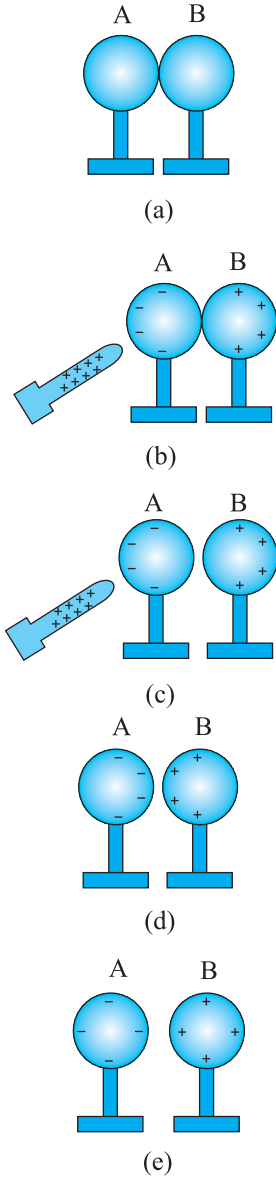
દ્રવ્યોનો આ ગુણધર્મ આપણને એ જણાવે છે કે શાથી નાયલોન કે પ્લાસ્ટિકના કાંસકા વડે સૂકા વાળ ઓળતાં અથવા ઘસવાને કારણે તેઓ વિદ્યુતભારિત થાય છે, પણ ચમચી જેવો ધાતુનો પદાર્થ વિદ્યુતભારિત થતો નથી. ધાતુ પરનો વિદ્યુતભાર આપણા શરીર મારફતે જમીનમાં સ્ખલન પામે છે (જતો રહે છે, Leak થાય છે), કારણ કે બંને વિદ્યુતનાં સુવાહક છે.

જ્યારે આપણે એક વિદ્યુતભારિત પદાર્થને પૃથ્વીના સંપર્કમાં લાવીએ ત્યારે પદાર્થ પરનો બધો વધારાનો વિદ્યુતભાર ક્ષણિક પ્રવાહ રચી, સંપર્ક કરાવતા સુવાહક (આપણા શરીર જેવા) મારફતે જમીનમાં પસાર થઈ જાય છે. વિદ્યુતભારોની પૃથ્વી સાથે વહેંચણીની આ પ્રક્રિયાને *ગ્રાઉન્ડીંગ (Grounding)* અથવા *અર્થિંગ* કહે છે. અર્થિંગ (Earthing) વિદ્યુત પરિપથો અને ઉપકરણોને એક સલામતી પુરી પાડે છે. એક ધાતુની જાડી પ્લેટ જમીનમાં ઊંડે દાટીને, તે પ્લેટમાંથી જાડા ધાતુના તાર બહાર કાઢી તેમને મકાનોમાં (વિદ્યુતના) મુખ્ય સપ્લાય પાસે અર્થિંગના હેતુ માટે રાખવામાં આવે છે.

* *અર્ધવાહકો (Semi Conductors)* તરીકે ઓળખાતો એક ત્રીજો વર્ગ પણ છે. તેઓ વિદ્યુતભારોની ગતિને જે અવરોધ દાખવે છે તે સુવાહકો અને અવાહકોના વચ્ચેના ગાળામાં હોય છે.

આપણા મકાનોમાં વિદ્યુતના વાયરોમાં ત્રણ તાર હોય છે : જીવંત (Live), તટસ્થ (Neutral) અને અર્થ (Earth). પ્રથમ બે તાર પાવર-સ્ટેશનથી વિદ્યુત લાવે છે અને ત્રીજો તાર દાટેલી પ્લેટ સાથે જોડીને અર્થ કરી દીધેલ (Earthed) હોય છે. વિદ્યુત ઈસ્ત્રી, રેફ્રીજરેટર, T.V. જેવાં ઉપકરણોની ધાતુના આવરણ (Body)ને અર્થ કરેલ તાર સાથે જોડાય છે. જ્યારે કંઈક ખામી સર્જાય અથવા જીવંત તાર ધાતુના આવરણને સ્પર્શે ત્યારે વિદ્યુતભાર, ઉપકરણને નુકસાન કર્યા સિવાય અને માનવોને હાનિ પહોંચાડ્યા સિવાય, જમીનમાં વહી જાય છે, નહિ તો માનવ શરીર સુવાહક છે તેથી હાનિ નિવારી શકાય નહીં.

1.4 પ્રેરણ દ્વારા વિદ્યુતભારિત કરવું (CHARGING BY INDUCTION)



આકૃતિ 1.4 પ્રેરણ દ્વારા વિદ્યુતભારિત કરવું

જ્યારે આપણે બરુની ગોળી (Pith Ball)ને વિદ્યુતભારિત પ્લાસ્ટીકના સળિયાનો સ્પર્શ કરાવીએ ત્યારે, સળિયા પરના કેટલાક ઋણ વિદ્યુતભારો બરુની ગોળી પર સ્થાનાંતરિત થાય છે અને તે પણ વિદ્યુતભારિત બને છે. આમ, બરુની ગોળી સંપર્કથી વિદ્યુતભારિત થાય છે. હવે પછી તે પ્લાસ્ટીકના સળિયા દ્વારા અપાકર્ષણ પામે છે પણ કાયનો સળિયો કે જે વિરુદ્ધ પ્રકારે વિદ્યુતભારિત છે તેના દ્વારા આકર્ષણ પામે છે. આમ છતાં, વિદ્યુતભારિત સળિયો શા માટે હલકા પદાર્થોને આકર્ષે છે એ એવો પ્રશ્ન છે કે જેનો હજી આપણે જવાબ આપવાનો બાકી છે. આપણે નીચેનો પ્રયોગ કરીને શું થતું હશે તે સમજવાનો પ્રયત્ન કરીએ.

- આકૃતિ 1.4(a)માં દર્શાવ્યા મુજબ અવાહક સ્ટેન્ડ પર ટેકવેલા બે ધાતુના ગોળાઓ A અને B ને સંપર્કમાં લાવો.
- એક ધન વિદ્યુતભારિત સળિયાને કોઈ એક ગોળા દા.ત., A ની નજીક તેને સ્પર્શે નહિ તેનું ધ્યાન રાખીને, લાવો. ગોળામાંના મુક્ત ઇલેક્ટ્રોન સળિયા તરફ આકર્ષાય છે. આને લીધે ગોળા B ની દૂરની સપાટી પર વધારાનો ધન વિદ્યુતભાર ઉત્પન્ન થાય છે. બંને પ્રકારના વિદ્યુતભારો ધાતુના ગોળાઓમાં બંધિત છે અને તેથી છટકી (Escape) શકતા નથી. તેથી તેઓ આકૃતિ 1.2(b)માં દર્શાવ્યા મુજબ સપાટી પર રહે છે. A ગોળાની ડાબી સપાટી પર વધારાનો ઋણ વિદ્યુતભાર અને B ગોળાની જમણી સપાટી પર વધારાનો ધન વિદ્યુતભાર છે. આમ છતાં ગોળાઓમાંના બધા ઇલેક્ટ્રોન A ની ડાબી સપાટી પર એકઠા થયા નથી. જેમ જેમ A ની ડાબી સપાટી પર ઋણ વિદ્યુતભાર જમા થવાનું શરૂ થાય ત્યારે બીજા ઇલેક્ટ્રોન આ જમા થયેલા ઇલેક્ટ્રોન દ્વારા અપાકર્ષણ અનુભવે છે. થોડા સમયમાં, સળિયાના આકર્ષણના બળની અસર અને જમા થયેલા વિદ્યુતભારોને લીધે થતા અપાકર્ષણ બળની અસર હેઠળ, સંતુલન રચાય છે. આકૃતિ 1.4(b) સંતુલન સ્થિતિ દર્શાવે છે. આ પ્રક્રિયાને વિદ્યુતભારનું પ્રેરણ (Induction) કહે છે અને લગભગ તત્ક્ષણ (તરત જ) બને છે. જ્યાં સુધી કાયનો સળિયો ગોળા નજીક રાખેલ હોય ત્યાં સુધી એકઠો થયેલો વિદ્યુતભાર સપાટી પર રહે છે. જો સળિયાને દૂર કરવામાં આવે તો વિદ્યુતભારો પર કોઈ બાહ્યબળ લાગતું નથી અને તેઓ તેમની મૂળ તટસ્થ અવસ્થામાં પુનઃ વિતરિત થાય છે.
- આકૃતિ 1.4(c)માં દર્શાવ્યા મુજબ, A ગોળાની નજીક કાયના સળિયાને હજી પકડી રાખીને બે ગોળાઓને થોડા અંતરે અલગ કરો. બે ગોળાઓ વિરુદ્ધ પ્રકારે (વિજાતીય રીતે) વિદ્યુતભારિત થયેલા જણાય છે અને એકબીજાને આકર્ષે છે.
- સળિયાને દૂર કરો. આકૃતિ 1.4(d)માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે ગોળા પરના વિદ્યુતભાર પુનઃ ગોઠવણી પામે છે. હવે ગોળાઓને સારા એવા દૂર કરો. તેમની ઉપરના વિદ્યુતભારો તેમની સપાટી પર નિયમિત રીતે વિતરીત થાય છે, આકૃતિ 1.4(e).

આ પ્રક્રિયામાં ધાતુના દરેક ગોળા સમાન અને વિજાતીય રીતે (વિરુદ્ધ પ્રકારે) વિદ્યુતભારિત થાય છે. આ પ્રેરણ દ્વારા વિદ્યુતભારિત કરવાની ક્રિયા છે. ધન વિદ્યુતભારિત કાયનો સળિયો તેનો કોઈ વિદ્યુતભાર ગુમાવતો નથી, જે સંપર્ક દ્વારા વિદ્યુતભારિત કરવાની ક્રિયા કરતાં અલગ છે.

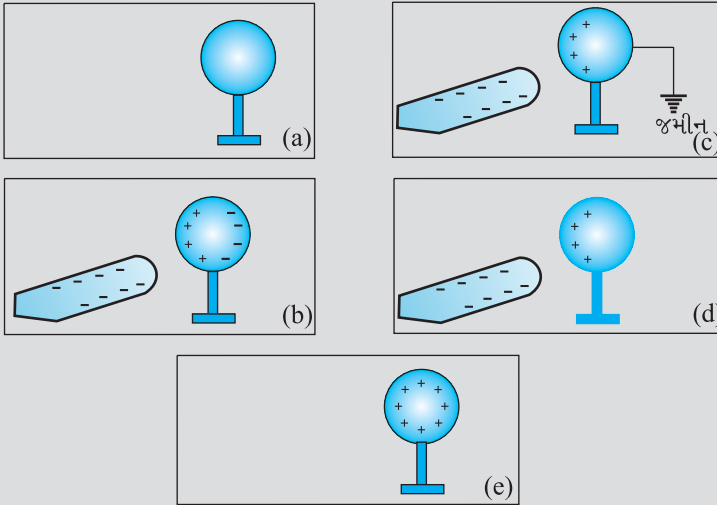
જ્યારે વિદ્યુતભારિત સળિયા, હલકા પદાર્થોની નજીક લાવવામાં આવે ત્યારે આવી અસર થાય છે. સળિયો પદાર્થ પર નજીકની સપાટી પર વિજાતીય વિદ્યુતભાર પ્રેરિત કરે છે અને સજાતીય વિદ્યુતભાર

વિદ્યુતભારો અને ક્ષેત્રો

પદાર્થની દૂરની સપાટી પર જાય છે. [જ્યારે હલકો પદાર્થ વાહક ન હોય ત્યારે પણ આવું થાય છે. આવું કેવી રીતે થાય છે તેની ક્રિયા હવે પછીના પરિચ્છેદ 1.10 અને 2.10માં સમજાવી છે.] બે પ્રકારના વિદ્યુતભારોના કેન્દ્રો સ્થેજ અલગ થાય છે. આપણે જાણીએ છીએ કે વિરુદ્ધ (વિજાતીય) વિદ્યુતભારો આકર્ષે છે અને સજાતીય વિદ્યુતભારો અપાકર્ષે છે. આમ છતાં, બળનું માન વિદ્યુતભારો વચ્ચેના અંતર પર આધારિત છે, અને આ કિસ્સામાં આકર્ષણ બળ અપાકર્ષણ બળ કરતાં વધુ છે. પરિણામે, કાગળના ટુકડા કે ભરુની ગોળી જેવા પદાર્થો હલકા હોવાથી સળિયા તરફ ખેંચાય છે.

ઉદાહરણ 1.1 એક ધાતુના ગોળાને સ્પર્શ્યા વિના તમે તેને કેવી રીતે ધન વિદ્યુતભારિત કરી શકશો ?

ઉકેલ આકૃતિ 1.5(a) અવાહક સ્ટેન્ડ પર એક વિદ્યુતભારિત ન હોય તેવો ધાતુનો ગોળો દર્શાવે છે. એક ઋણ વિદ્યુતભારિત સળિયો ધાતુના ગોળા પાસે આકૃતિ 1.5(b)માં દર્શાવ્યા મુજબ લાવો. સળિયો ગોળાની નજીક લાવતાં, ગોળામાંના મુક્ત ઇલેક્ટ્રોન અપાકર્ષણને લીધે દૂર જાય છે અને દૂરના છેડે એકઠા થવા માંડે છે. નજીકનો છેડો ઇલેક્ટ્રોનની ઉણપને લીધે ધન વિદ્યુતભારિત બને છે. જ્યારે ધાતુની અંદર મુક્ત ઇલેક્ટ્રોન પરનું ચોખ્ખું (Net) બળ શૂન્ય થાય છે ત્યારે વિદ્યુતભારોની વહેંચણી અટકી જાય છે. ગોળાને વાહક તાર વડે જમીન સાથે જોડો. આકૃતિ 1.5(c)માં દર્શાવ્યા મુજબ ઇલેક્ટ્રોન જમીનમાં વહી જશે અને નજીકના છેડે ધન વિદ્યુતભારો, સળિયા પરના ઋણ વિદ્યુતભારોના આકર્ષણ બળને લીધે ત્યાં ને ત્યાં જ જકડાયેલા રહેશે. ગોળાને જમીનથી અલગ કરો. ધન વિદ્યુતભાર નજીકના છેડે હજી જકડાયેલો જ રહે છે [આકૃતિ 1.5(d)]. વિદ્યુતભારિત સળિયાને દૂર કરો. આકૃતિ 1.5(e)માં દર્શાવ્યા મુજબ ધન વિદ્યુતભાર ગોળા પર નિયમિત રીતે ફેલાઈ જશે.



આકૃતિ 1.5

આ પ્રયોગમાં, ધાતુનો ગોળો પ્રેરણની ઘટના દ્વારા વિદ્યુતભારિત થાય છે અને સળિયો તેનો કોઈ વિદ્યુતભાર ગુમાવતો નથી.

આવાં જ પગલાં દ્વારા ધાતુના ગોળા પાસે ધન વિદ્યુતભારિત સળિયો લાવી, ગોળાને ઋણ વિદ્યુતભારિત કરી શકાય છે. આ કિસ્સામાં જ્યારે ગોળાને તાર મારફતે જમીન સાથે જોડીએ ત્યારે જમીનમાંથી ઇલેક્ટ્રોન ગોળા પર વહન પામશે. આવું કેમ એ તમે સમજાવી શકશો ?



Interactive animation on charging a two-sphere system by induction :
<http://www.physicsclassroom.com/mmedia/estatics/estatic/ifsr.cfm>



1.5 વિદ્યુતભારના મૂળભૂત ગુણધર્મો (BASIC PROPERTIES OF ELECTRIC CHARGE)

આપણે જોયું છે કે બે પ્રકારના વિદ્યુતભારો હોય છે, ધન અને ઋણ અને તેમની અસરો એકબીજાને નાબુદ કરે છે. હવે આપણે વિદ્યુતભારના બીજા કેટલાક ગુણધર્મો રજૂ કરીશું.

જો વિદ્યુતભારિત પદાર્થોનાં પરિમાણ (Size) તેમની વચ્ચેનાં અંતરની સરખામણીએ ખૂબ નાનાં હોય તો આપણે તેમને બિંદુવત્ વિદ્યુતભાર ગણીશું. આવા પદાર્થના વિદ્યુતભારનો બધો જથ્થો અવકાશમાં એક બિંદુએ કેન્દ્રિત થયેલો ધારવામાં આવે છે.

1.5.1 વિદ્યુતભારનો સરવાળો થાય છે (Additivity of Charges)

હજી આપણે વિદ્યુતભારની માત્રાત્મક વ્યાખ્યા આપી નથી, આપણે તે હવે પછીના પરિચ્છેદમાં આપીશું. હાલ પૂરતું આપણે એમ ધારી લઈશું કે તે કરી શકાય છે અને હવે ત્યાંથી આગળ જઈશું. જો કોઈ તંત્ર બે વિદ્યુતભારો q_1 અને q_2 ધરાવતું હોય તો તંત્રનો કુલ વિદ્યુતભાર q_1 અને q_2 નો માત્ર ભૌજિક સરવાળો કરીને મેળવી શકાય, એટલે કે વિદ્યુતભારોનો વાસ્તવિક સંખ્યાની જેમ સરવાળો થાય છે, અથવા તેઓ પદાર્થના દળની જેમ અદિશ છે. જો તંત્ર n -વિદ્યુતભારો, $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$ ધરાવતું હોય તો તંત્રનો કુલ વિદ્યુતભાર $q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n$ છે. વિદ્યુતભારને દળની જેમ માન હોય છે, પણ દળની જેમ જ તેને પણ દિશા હોતી નથી. આમ છતાં દળ અને વિદ્યુતભાર વચ્ચે એક તફાવત છે. દળ હંમેશાં ધન જ હોય છે જ્યારે વિદ્યુતભાર ધન કે ઋણ હોઈ શકે છે. તંત્રમાંના વિદ્યુતભારોનો સરવાળો કરતી વખતે યોગ્ય ચિહ્નો વાપરવાં પડે છે. દાખલા તરીકે કોઈ યાદચ્છિક એકમમાં $+1, +2, -3, +4$ અને -5 વિદ્યુતભારો ધરાવતા તંત્રનો કુલ વિદ્યુતભાર તે એકમમાં $(+1) + (+2) + (-3) + (+4) + (-5) = -1$ છે.

1.5.2 વિદ્યુતભારનું સંરક્ષણ થાય છે (Charge is Conserved)

આપણે એ હકીકત પ્રત્યે ઈશારો કરી દીધેલ છે કે જ્યારે પદાર્થોને ઘસીને વિદ્યુતભારિત કરવામાં આવે છે ત્યારે, એક પદાર્થમાંથી ઇલેક્ટ્રોન બીજા પદાર્થમાં સ્થાનાંતરિત (સ્થાન બદલો) થાય છે પરંતુ કોઈ નવો વિદ્યુતભાર ઉત્પન્ન થતો કે નાશ પામતો નથી. વિદ્યુતભારના કણોનું ચિત્ર આપણને વિદ્યુતભારના સંરક્ષણનો ખ્યાલ સમજવા માટે મદદરૂપ છે. જ્યારે આપણે બે પદાર્થોને ઘસીએ છીએ, ત્યારે એક પદાર્થ જેટલો વિદ્યુતભાર મેળવે છે તેટલો જ વિદ્યુતભાર બીજો પદાર્થ ગુમાવે છે. ઘણા વિદ્યુતભારિત પદાર્થોના અલગ કરેલા (Isolated) તંત્રમાં, પદાર્થો વચ્ચેની આંતરક્રિયાને લીધે વિદ્યુતભારોનું પુનઃ વિતરણ (redistribution) થાય છે પરંતુ એવું જણાયું છે કે અલગ કરેલા તંત્રના કુલ વિદ્યુતભારનું સંરક્ષણ થાય છે. વિદ્યુતભારનું સંરક્ષણ પ્રાયોગિક રીતે સ્થાપિત થઈ ચુક્યું છે.

વિદ્યુતભાર ધરાવતા કણો કોઈ પ્રક્રિયામાં ઉત્પન્ન કે નાશ પામી શકે છે પણ કોઈ પણ અલગ કરેલા તંત્ર વડે ધરાવાતો કુલ (Net) વિદ્યુતભાર ઉત્પન્ન કે નાશ કરવાનું શક્ય નથી. કેટલીકવાર કુદરત વિદ્યુતભારિત પદાર્થો ઉત્પન્ન કરે છે : એક ન્યુટ્રોન, પ્રોટોન અને ઇલેક્ટ્રોનમાં રૂપાંતરિત થાય છે. આ રીતે ઉત્પન્ન થયેલા પ્રોટોન અને ઇલેક્ટ્રોન સમાન અને વિરુદ્ધ પ્રકારનો વિદ્યુતભાર ધરાવે છે અને તેમના સર્જન અગાઉ અને પછી એમ બંને સ્થિતિમાં કુલ વિદ્યુતભાર શૂન્ય છે.

1.5.3 વિદ્યુતભારનું ક્વોન્ટીકરણ (Quantisation of Charge)

પ્રાયોગિક રીતે એવું સ્થાપિત થયું છે કે બધા મુક્ત વિદ્યુતભારો e વડે દર્શાવાતા વિદ્યુતભારના મૂળભૂત એકમના પૂર્ણાંક ગુણાંક જેટલા જ હોય છે. આમ, પદાર્થ પરનો વિદ્યુતભાર q હંમેશાં નીચે મુજબ રજૂ કરાય છે -

$$q = ne$$

વિદ્યુતભારો અને ક્ષેત્રો

જ્યાં, n એ કોઈ પણ ધન કે ઋણ પૂર્ણાંક છે. વિદ્યુતભારનો આ મૂળભૂત એકમ એ ઇલેક્ટ્રોન અથવા પ્રોટોનનો વિદ્યુતભાર છે. પ્રણાલિકા મુજબ ઇલેક્ટ્રોન પરના વિદ્યુતભારને ઋણ ગણવામાં આવે છે, તેથી ઇલેક્ટ્રોન પરના વિદ્યુતભારને $-e$ તરીકે અને પ્રોટોન પરના વિદ્યુતભારને $+e$ તરીકે લખવામાં આવે છે.

વિદ્યુતભાર હંમેશાં e નો પૂર્ણાંક ગુણાંક જ હોય છે તે હકીકતને વિદ્યુતભારનું ક્વોન્ટમીકરણ કહે છે. ભૌતિકવિજ્ઞાનમાં એવી ઘણીય પરિસ્થિતિઓ હોય છે કે જેમાં અમુક ભૌતિક રાશિઓનું ક્વોન્ટમીકરણ થતું હોય છે. વિદ્યુતભારના ક્વોન્ટમીકરણનું સૌપ્રથમવાર સૂચન, ઈંગ્લીશ પ્રયોગકર્તા ફેરેડેએ તેણે શોધેલા વિદ્યુત વિભાજન (Electrolysis)ના પ્રાયોગિક નિયમો દ્વારા કર્યું હતું. તેને 1912માં મિલિકને પ્રાયોગિક રીતે દર્શાવ્યું હતું.

એકમોની International System (SI)માં, વિદ્યુતભારના એકમને કુલંબ (coulomb) કહે છે અને તેને સંજ્ઞા C દ્વારા દર્શાવાય છે. કુલંબની વ્યાખ્યા વિદ્યુતપ્રવાહના એકમના પદમાં અપાય છે જે તમે આગળ આવનારા પ્રકરણમાં શીખશો. આ વ્યાખ્યાના પદમાં 1 coulomb, એ કોઈ તારમાંથી 1 A (ampere) વિદ્યુતપ્રવાહ વહેતો હોય તો 1 s માં વહન પામતો વિદ્યુતભાર છે. (જુઓ પ્રકરણ-2, ધોરણ XI, ભૌતિકવિજ્ઞાન પાઠ્યપુસ્તક, ભાગ-1) આ પદ્ધતિમાં વિદ્યુતભારના મૂળભૂત એકમનું મૂલ્ય

$$e = 1.602192 \times 10^{-19} \text{ C છે.}$$

આમ, -1 C વિદ્યુતભારમાં લગભગ 6×10^{18} ઇલેક્ટ્રોન હોય છે.

સ્થિત વિદ્યુતશાસ્ત્રમાં, આટલા મોટા માન ધરાવતા વિદ્યુતભારો સાથે ભાગ્યે જ પનારો પડે છે / કામ પાડવાનું હોય છે અને તેથી આપણે નાના એકમો $1 \mu\text{C}$ (micro coulomb) $= 10^{-6} \text{ C}$ અથવા 1 mC (milli coulomb) $= 10^{-3} \text{ C}$ વાપરીએ છીએ.

જો વિશ્વમાં માત્ર પ્રોટોન અને ઇલેક્ટ્રોન મૂળભૂત વિદ્યુતભારો હોય તો જોવા મળતા અન્ય સઘળા વિદ્યુતભારો e ના પૂર્ણાંક ગુણક જ હોવા જોઈએ. આમ જો કોઈ પદાર્થ n_1 ઇલેક્ટ્રોન અને n_2 પ્રોટોન ધરાવતો હોય તો, પદાર્થ પર વિદ્યુતભારનો કુલ જથ્થો $n_2 \times e + n_1 \times (-e) = (n_2 - n_1)e$ છે. n_1 અને n_2 પૂર્ણાંકો છે તેથી તેમનો તફાવત પણ પૂર્ણાંક છે. આમ, કોઈ પણ પદાર્થ પરનો વિદ્યુતભાર હંમેશાં e નો પૂર્ણાંક ગુણાંક જ હોય છે અને તેમાં વધારો કે ઘટાડો પણ e ના પદમાં (કદમમાં, stepમાં) જ થઈ શકે છે.

પદનું માપ (step size) e ખૂબ નાનું છે કારણ કે સ્થૂળ (Macroscopic) સ્તરે આપણે કેટલાક μC વિદ્યુતભારો સાથે કામ કરવાનું હોય છે. આ માપક્રમ પર, પદાર્થ પરનો વિદ્યુતભાર e ના એકમોમાં જ વધારી કે ઘટાડી શકાય છે, તેવી હકીકત જોઈ શકાતી નથી. વિદ્યુતભારનું કણ (દાણા) જેવું સ્વરૂપ અદૃશ્ય થઈને ફક્ત સતત સ્વરૂપમાં જણાય છે.

આ પરિસ્થિતિને બિંદુઓ અને રેખાના ભૌમિતિક ખ્યાલો સાથે સરખાવી શકાય છે. એક ત્રુટક રેખા (ટપકાં ટપકાંવાળી રેખા) દૂરથી જોતાં આપણને સળંગ (સતત) દેખાય છે પણ વાસ્તવમાં તે સળંગ નથી. એકબીજાની ખૂબ નજીક રહેલા ઘણાં બિંદુઓ સામાન્યતઃ સળંગ રેખાની છાપ ઊભી કરે છે તેમ નાના નાના ઘણા વિદ્યુતભારો એક સાથે લેતાં સતત વિદ્યુતભાર વિતરણ તરીકે જણાય છે.

સ્થૂળ સ્તરે આપણે વિદ્યુતભાર e ના માનની સરખામણીએ પ્રચંડ વિદ્યુતભારો સાથે કામ કરવાનું હોય છે. $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ હોવાથી, $1 \mu\text{C}$ જેટલો વિદ્યુતભાર ઇલેક્ટ્રોન પરના વિદ્યુતભાર કરતાં લગભગ 10^{13} ગણો છે. આ માપક્રમ પર વિદ્યુતભાર માત્ર e ના એકમોમાં જ વધી કે ઘટી શકે છે તે હકીકત, વિદ્યુતભાર સતત મૂલ્યો ધારણ કરી શકે તેમ કહેવા કરતાં ખાસ કંઈ અલગ નથી. આમ સ્થૂળ સ્તરે, વિદ્યુતભારના ક્વોન્ટમીકરણનું કોઈ વ્યવહારિક પરિણામ નથી અને તેને અવગણી શકીએ છીએ. સૂક્ષ્મ સ્તરે (Microscopic Level), જ્યાં વિદ્યુતભારો e ના કેટલાંક દશકો કે શતકો ગણા હોય, એટલે કે,

તેમને ગણી શકાય તેવા હોય તો તેઓ અલગ-અલગ જથ્થાઓમાં જણાય છે અને વિદ્યુતભારના ક્વોન્ટમીકરણને અવગણી શકાતું નથી. સંકળાયેલો માપક્રમ કયો છે તે મહત્વનું છે.

ઉદાહરણ 1.2

ઉદાહરણ 1.2 એક પદાર્થમાંથી બીજા પદાર્થમાં દર સેકન્ડે 10^9 ઇલેક્ટ્રોન જતા હોય તો બીજા પદાર્થ પર કુલ 1 C વિદ્યુતભાર થવા માટે કેટલો સમય લાગશે ?

ઉકેલ એક સેકન્ડમાં 10^9 ઇલેક્ટ્રોન પદાર્થમાંથી બહાર જાય છે. તેથી એક સેકન્ડમાં બહાર જતો વિદ્યુતભાર $1.6 \times 10^{-19} \times 10^9 \text{ C} = 1.6 \times 10^{-10} \text{ C}$. 1C વિદ્યુતભાર જમા થવા માટે લાગતો સમય $1 \text{ C} \div (1.6 \times 10^{-10} \text{ C/s}) = 6.25 \times 10^9 \text{ s} = 6.25 \times 10^9 \div (365 \times 24 \times 3600) = 198 \text{ years}$. આમ, જે પદાર્થમાંથી 10^9 ઇલેક્ટ્રોન દર સેકન્ડે બહાર જતા હોય તેમાંથી 1C વિદ્યુતભાર મેળવવા માટે આપણને લગભગ 200 વર્ષ લાગે. આથી, 1 Coulomb વિદ્યુતભાર ઘણા વ્યાવહારિક હેતુઓ માટે ખૂબ મોટો એકમ છે.

આમ છતાં, એ જાણવું રસપ્રદ છે કે દ્રવ્યના 1 ઘન સેન્ટિમીટર (1 Cubic Centimetre)ના ટુકડામાં લગભગ કેટલા ઇલેક્ટ્રોન રહેલા છે. 1 cmની બાજુવાળા કોપરના ઘન ટુકડામાં લગભગ 2.5×10^{24} ઇલેક્ટ્રોન હોય છે.

ઉદાહરણ 1.3

ઉદાહરણ 1.3 એક ખાલા પાણીમાં કેટલા ધન અને ઋણ વિદ્યુતભારો હશે ?

ઉકેલ આપણે ધારી લઈએ કે એક ખાલા પાણીનું દળ 250 g છે. પાણીનો અણુભાર 18 છે. આમ, 1 mole પાણી (6.02×10^{23} અણુઓ)નું દળ 18 g છે. આથી, 1 ખાલા પાણીમાં અણુઓની સંખ્યા $(250/18) \times 6.02 \times 10^{23}$ છે. પાણીનો દરેક અણુ બે હાઈડ્રોજન પરમાણુ અને એક ઓક્સિજન પરમાણુ, એટલે કે 10 ઇલેક્ટ્રોન અને 10 પ્રોટોન ધરાવે છે. આથી, કુલ ધન વિદ્યુતભાર અને કુલ ઋણ વિદ્યુતભારનાં માન સમાન છે. તે $(250/18) \times 6.02 \times 10^{23} \times 10 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ C} = 1.34 \times 10^7 \text{ C}$ છે.

1.6 કુલંબનો નિયમ (COULOMB'S LAW)

કુલંબનો નિયમ એ બે બિંદુવત્ વિદ્યુતભારો વચ્ચે લાગતા બળ અંગેનું માત્રાત્મક (Quantitative) વિધાન છે. જ્યારે વિદ્યુતભારિત પદાર્થોના રેખીય પરિમાણ, તેમની વચ્ચેના અંતરની સરખામણીએ ખૂબ નાનાં હોય ત્યારે તેમનાં પરિમાણ અવગણી શકાય છે અને વિદ્યુતભારિત પદાર્થોને *બિંદુવત્ વિદ્યુતભારો* તરીકે ગણવામાં આવે છે. કુલંબે બે બિંદુવત્ વિદ્યુતભારો વચ્ચેના બળનું માપન કર્યું અને તેને જણાયું કે તે વિદ્યુતભારો વચ્ચેના અંતરના વર્ગના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં અને બે વિદ્યુતભારોના માનના ગુણકારના સમપ્રમાણમાં ચલે છે, અને બે વિદ્યુતભારોને જોડતી રેખા પર લાગે છે. આમ, જો શૂન્યાવકાશમાં બે બિંદુવત્ વિદ્યુતભારો q_1 અને q_2 વચ્ચેનું અંતર r હોય તો તેમની વચ્ચે લાગતા બળ (F) નું માન

$$F = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2} \quad (1.1)$$

પરથી મળે છે.

કુલંબ, તેના પ્રયોગો પરથી આ નિયમ પર કેવી રીતે પહોંચ્યો ? કુલંબે ધાતુના બે વિદ્યુતભારિત ગોળા વચ્ચેનું બળ માપવા માટે વળ-તુલા* (Torsion Balance)નો ઉપયોગ કર્યો હતો. જ્યારે બે ગોળાઓ વચ્ચેનું અંતર દરેક ગોળાની ત્રિજ્યા કરતાં ઘણું મોટું હોય ત્યારે વિદ્યુતભારિત ગોળાઓને બિંદુવત્ વિદ્યુતભાર તરીકે લઈ શકાય છે. જો કે, શરૂઆતમાં ગોળાઓ પરનો વિદ્યુતભાર અજ્ઞાત હતો.

* વળ-તુલા એ બળ માપવાનું સંવેદી ઉપકરણ છે. પાછળથી તેનો ઉપયોગ કેવેન્ડિશે પણ ન્યૂટનના ગુરુત્વાકર્ષણના નિયમને ચકાસવા માટે બે પદાર્થો વચ્ચેનું અતિનિર્બળ એવું ગુરુત્વબળ માપવા માટે કર્યો હતો.

વિદ્યુતભારો અને ક્ષેત્રો

સમીકરણ (1.1) જેવો સંબંધ તે કેવી રીતે શોધી શક્યો ? કુલંબે નીચેની સરળ રીતે વિચાર્યું : ધારો કે એક ગોળા પરનો વિદ્યુતભાર q છે. જો તેને બીજા એવા જ (Identical) પણ વિદ્યુતભાર-વિહિન ગોળાના સંપર્કમાં લાવવામાં આવે તો, વિદ્યુતભાર બે ગોળાઓ પર ફેલાઈ જશે. સંમિતિ પરથી દરેક ગોળા પરનો વિદ્યુતભાર $q/2^*$ થશે. આ પ્રક્રિયાનું પુનરાવર્તન કરીને આપણને $q/2, q/4$ વગેરે વિદ્યુતભારો મળી શકે. કુલંબે વિદ્યુતભારોની નિશ્ચિત જોડી (Pair) માટે અંતર બદલીને જુદા-જુદા અંતર માટે બળ માપ્યું. પછી તેણે જોડીમાંના વિદ્યુતભારો બદલ્યા અને દરેક જોડી માટે અંતર અચળ રાખ્યું. જુદી-જુદી જોડી માટે અને જુદા-જુદા અંતરો માટે લાગતા બળોની સરખામણી કરીને કુલંબ, સમીકરણ (1.1)ના સંબંધ પર પહોંચ્યો.

કુલંબના નિયમનું સરળ ગાણિતિક વિધાન, ઉપર દર્શાવેલી રીતે શરૂઆતમાં પ્રાયોગિક રીતે મેળવાયું હતું. મૂળ પ્રયોગો દ્વારા તે સ્થૂળ માપક્રમ પરના પદાર્થો માટે સ્થાપિત થયું હતું, પણ હવે તે પરમાણુથી પણ નાના (Subatomic) સ્તર ($r \sim 10^{-10} m$) માટે પણ સ્થાપિત થયું છે.

કુલંબે, વિદ્યુતભારના સ્પષ્ટ માનની જાણકારી વિના તેનો નિયમ મેળવ્યો હતો. હકીકતમાં, તે ઉલટું છે : કુલંબના નિયમનો ઉપયોગ હવે એકમ વિદ્યુતભારની વ્યાખ્યા આપવા કરી શકાય. સમીકરણ (1.1)માં k એ હજુ સુધી તો યાદચ્છિક અચળાંક છે. k ની પસંદગી, વિદ્યુતભારના એકમનું માપ નક્કી કરે છે. SI એકમોમાં k નું મૂલ્ય લગભગ $9 \times 10^9 \frac{N m^2}{C^2}$ છે. આ પસંદગીના પરિણામે વિદ્યુતભારનો જે એકમ મળે તેને Coulomb કહે છે, જેને અગાઉ આપણે પરિચ્છેદ 1.4માં વ્યાખ્યાયિત કરેલ હતો. k નું આ મૂલ્ય સમીકરણ (1.1)માં મૂકતાં, આપણે જોઈ શકીએ કે $q_1 = q_2 = 1C$ અને $r = 1m$ માટે

$$F = 9 \times 10^9 N$$

એટલે કે, 1C એ એટલો વિદ્યુતભાર છે કે જે તેટલા જ મૂલ્યના બીજા વિદ્યુતભારથી શૂન્યાવકાશમાં 1m અંતરે મૂકતાં, $9 \times 10^9 N$ નું અપાકર્ષણનું વિદ્યુતબળ અનુભવે છે. સ્વાભાવિક રીતે 1C એ વાપરવા માટે બહુ મોટો એકમ છે. વ્યવહારમાં, સ્થિત વિદ્યુતશાસ્ત્રમાં 1mC અથવા 1μC જેવા વિદ્યુતભારો વપરાય છે.

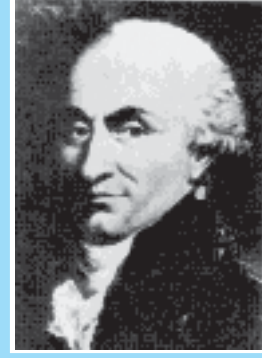
સમીકરણ (1.1)માં અચળાંક k , પાછળથી સગવડ માટે $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ તરીકે લેવાયો. આથી કુલંબના નિયમને

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1 q_2|}{r^2} \quad (1.2)$$

તરીકે લખવામાં આવે છે. ϵ_0 ને મુક્ત અવકાશનો પરાવૈદ્યતાંક (Permittivity) કહે છે. SI એકમોમાં ϵ_0 નું મૂલ્ય

$$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} C^2 N^{-1} m^{-2} \text{ છે.}$$

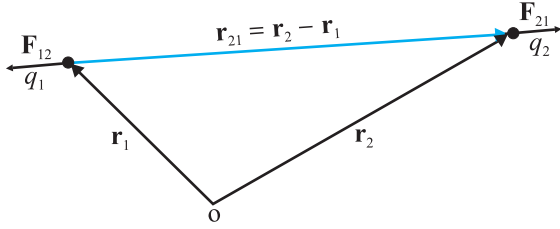
બળ સદિશ હોવાથી, કુલંબનો નિયમ સદિશ સ્વરૂપમાં લખવાનું વધારે સારું છે. ધારો કે વિદ્યુતભારો q_1 અને q_2 નાં સ્થાનસદિશો અનુક્રમે $\mathbf{r}_1$ અને $\mathbf{r}_2$ છે, [જુઓ આકૃતિ 1.6(a)]. આપણે q_1 પર q_2 ને લીધે



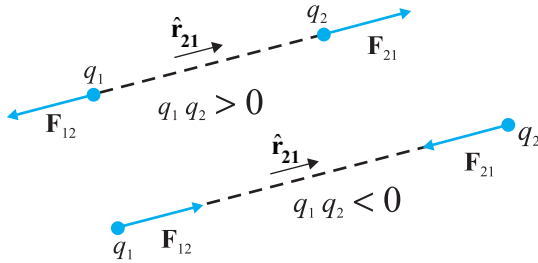
ચાર્લ્સ ઓગસ્ટીન દ કુલંબ (1736-1806) ફ્રેંચ વિજ્ઞાની કુલંબે તેની કારકીર્દી વેસ્ટ ઈંડિઝમાં એક મિલિટરી એન્જિનિયર તરીકે શરૂ કરી હતી. 1776માં તે પેરિસ પાછો આવ્યો અને એક નાની જાગીરમાં નિવૃત્તિનો ઉપયોગ વૈજ્ઞાનિક સંશોધનમાં કર્યો. તેણે બળનું માન માપવા માટે વળતુલાની શોધ કરી અને નાના વિદ્યુતભારિત ગોળા વચ્ચે લાગતા આકર્ષણ કે અપાકર્ષણના વિદ્યુતબળો નક્કી કરવા તેનો ઉપયોગ કર્યો. આ રીતે 1775માં તેણે વ્યસ્ત વર્ગનો સંબંધ મેળવ્યો, જે હવે કુલંબના નિયમ તરીકે જાણીતો છે. અગાઉ પ્રિસ્ટલી અને કેવેન્ડીશે પણ આ નિયમનું પૂર્વાનુમાન કરેલ હતું, જો કે કેવેન્ડીશે તેનાં પરિણામ કદી પ્રકાશિત કર્યા ન હતા. કુલંબે સજાતિય અને વિજાતિય ચુંબકીય ધ્રુવો વચ્ચે પણ બળનો વ્યસ્ત વર્ગનો નિયમ શોધ્યો હતો.

ચાર્લ્સ ઓગસ્ટીન દ કુલંબ (1736-1806)

* આમાં વિદ્યુતભારોના સરવાળાની અને સંરક્ષણની ધારણા રહેલી છે. બે વિદ્યુતભારો (દરેક $q/2$) ઉમેરાતાં કુલ વિદ્યુતભાર q થાય છે.



(a)



(b)

આકૃતિ 1.6 વિદ્યુતભારો વચ્ચે (a) ભૂમિતિ અને (b) બળો

લાગતા બળને F_{12} અને q_2 પર q_1 ને લીધે લાગતા બળને F_{21} તરીકે દર્શાવીએ. બે વિદ્યુતભારો q_1 અને q_2 ને 1 અને 2 ક્રમ સગવડ માટે આપેલ છે અને 1 થી 2 તરફ દોરેલો સદિશ r_{21} તરીકે દર્શાવેલ છે :

$$r_{21} = r_2 - r_1$$

તે જ રીતે 2 થી 1 તરફ દોરેલો સદિશ r_{12} તરીકે દર્શાવાય છે :

$$r_{12} = r_1 - r_2 = -r_{21}$$

સદિશો r_{21} અને r_{12} ના માન અનુક્રમે r_{21} અને r_{12} તરીકે દર્શાવાય છે. ($r_{12} = r_{21}$). સદિશની દિશા તે સદિશ પરના એકમ સદિશ વડે દર્શાવાય છે. 1 થી 2 અથવા 2 થી 1 ની દિશા દર્શાવવા માટે આપણે એકમ સદિશો આ પ્રમાણે વ્યાખ્યાયિત કરીએ :

$$\hat{r}_{21} = \frac{r_{21}}{r_{21}}, \quad \hat{r}_{12} = \frac{r_{12}}{r_{12}}, \quad \hat{r}_{21} = -\hat{r}_{12}$$

r_1 અને r_2 સ્થાને રહેલા બે બિંદુવત્ વિદ્યુતભારો q_1 તથા q_2 માં q_2 પર q_1 ને લીધે લાગતા બળનો કુલંબનો નિયમ આ પ્રમાણે લખાય છે :

$$F_{21} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{21}^2} \hat{r}_{21} \quad (1.3)$$

સમીકરણ (1.3) ની કેટલીક નોંધપાત્ર બાબતો આ પ્રમાણે છે :

- સમીકરણ (1.3) એ q_1 અને q_2 ના ધન કે ઋણ ગમે તે ચિન્હ માટે સત્ય છે. જો q_1 અને q_2 બંને એક જ ચિહ્ન ધરાવતા હોય (બંને ધન અથવા બંને ઋણ), તો F_{21} એ $\hat{r}_{21}$ ની દિશામાં જ છે, જે અપાકર્ષણ દર્શાવે છે, સજાતિય વિદ્યુતભારો માટે આમ જ હોવું જોઈએ. જો q_1 અને q_2 વિરુદ્ધ ચિહ્ન ધરાવતા હોય તો F_{21} એ $-\hat{r}_{21}$ ($=\hat{r}_{12}$) દિશામાં છે, જે આકર્ષણ દર્શાવે છે, વિજાતિય વિદ્યુતભારો માટે આ અપેક્ષિત છે. આમ આપણે સજાતિય અને વિજાતિય વિદ્યુતભારોના કિસ્સાઓ માટે અલગ અલગ સમીકરણો લખવા પડતા નથી. સમીકરણ (1.3) બંને કિસ્સાઓની સાચી રીતે સંભાળ લે છે [આકૃતિ 1.6(b)].
- q_1 વિદ્યુતભાર પર q_2 વિદ્યુતભારને લીધે લાગતું બળ F_{12} , સમીકરણ (1.3) માં માત્ર 1 અને 2 ની અદલાબદલી કરવાથી મળે છે, એટલે કે,

$$F_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \hat{r}_{12} = -F_{21}$$

આમ, કુલંબનો નિયમ ન્યૂટનના ત્રીજા નિયમ સાથે સંમત/સુસંગત છે.

- કુલંબનો નિયમ [સમીકરણ (1.3)] શૂન્યાવકાશમાં રહેલા બે વિદ્યુતભારો q_1 અને q_2 વચ્ચેનું બળ આપે છે. જો વિદ્યુતભારોને દ્રવ્યમાં મૂકવામાં આવે અથવા તેમની વચ્ચેના અવકાશમાં દ્રવ્ય હોય, તો દ્રવ્યના વિદ્યુતભારિત ઘટકોની હાજરીને લીધે પરિસ્થિતિ જટિલ બને છે. આપણે દ્રવ્યની અંદર સ્થિત વિદ્યુતશાસ્ત્ર અંગે હવે પછીના પ્રકરણમાં વિચારીશું.

વિદ્યુતભારો અને ક્ષેત્રો

ઉદાહરણ 1.4 બે બિંદુવત્ વિદ્યુતભારો વચ્ચેના સ્થિતવિદ્યુત બળ માટેનો કુલંબનો નિયમ અને બે સ્થિર બિંદુવત્ દળો વચ્ચેના ગુરુત્વબળ માટેનો ન્યૂટનનો નિયમ એ બંનેનો આધાર વિદ્યુતભારો/દળો વચ્ચેના અંતરના વ્યસ્ત-વર્ગ પર છે. (a) (i) ઇલેક્ટ્રોન અને પ્રોટોન અને (ii) બે પ્રોટોન વચ્ચે લાગતા આ બળોના માનના ગુણોત્તર પરથી તેમની પ્રબળતાની સરખામણી કરો. (b) ઇલેક્ટ્રોન અને પ્રોટોન $1 \text{ \AA} (\approx 10^{-10} \text{ m})$ દૂર હોય ત્યારે તેમના પરસ્પર આકર્ષણ બળથી ઉદ્ભવતા ઇલેક્ટ્રોન અને પ્રોટોનના પ્રવેગ શોધો. ($m_p = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$, $m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$).

ઉકેલ

(a) (i) r અંતરે રહેલા ઇલેક્ટ્રોન અને પ્રોટોન વચ્ચેનું વિદ્યુતબળ

$$F_e = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2}$$

જ્યાં, ઋણ ચિહ્ન દર્શાવે છે કે બળ આકર્ષણ પ્રકારનું છે. આને અનુરૂપ ગુરુત્વબળ (હંમેશાં આકર્ષણ બળ છે.)

$$F_G = -G \frac{m_p m_e}{r^2}$$

જ્યાં, m_p અને m_e અનુક્રમે પ્રોટોન અને ઇલેક્ટ્રોનનાં દળ છે.

$$\left| \frac{F_e}{F_G} \right| = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 G m_p m_e} = 2.4 \times 10^{39}$$

(ii) આ જ રીતે, r અંતરે રહેલા બે પ્રોટોન વચ્ચે લાગતા વિદ્યુતબળ અને ગુરુત્વબળનો ગુણોત્તર

$$\left| \frac{F_e}{F_G} \right| = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 G m_p m_p} = 1.3 \times 10^{36}$$

જો કે અત્રે એ જણાવવું જોઈએ કે બે બળોનાં ચિહ્નો જુદાં છે. બે પ્રોટોન માટે, ગુરુત્વબળ આકર્ષણ પ્રકારનું અને કુલંબ બળ અપાકર્ષણ પ્રકારનું હોય છે. ન્યુક્લિયસની અંદર રહેલા બે પ્રોટોન વચ્ચે (ન્યુક્લિયસમાં બે પ્રોટોન વચ્ચેનું અંતર $\sim 10^{-15} \text{ m}$ હોય છે.) લાગતા બળોના વાસ્તવિક મૂલ્યો $F_e \sim 230 \text{ N}$ અને $F_G \sim 1.9 \times 10^{-34} \text{ N}$ છે.

આ બે બળોનો (પરિમાણરહિત) ગુણોત્તર દર્શાવે છે કે વિદ્યુતબળો ગુરુત્વબળો કરતાં અત્યંત પ્રબળ છે.

(b) પ્રોટોન વડે ઇલેક્ટ્રોન પર લાગતા બળ F નું માન, ઇલેક્ટ્રોન વડે પ્રોટોન પર લાગતા બળના માન જેટલું જ છે, જો કે ઇલેક્ટ્રોન અને પ્રોટોનનાં દળ જુદાં-જુદાં છે. આમ, બળનું માન

$$|F| = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2} = 8.987 \times 10^9 \text{ N} \frac{\text{N m}^2}{\text{C}^2} \frac{(1.6 \times 10^{-19} \text{ C})^2}{(10^{-10} \text{ m})^2} = 2.3 \times 10^{-8} \text{ N}$$

ન્યૂટનના બીજા નિયમ $F = ma$ નો ઉપયોગ કરતાં ઇલેક્ટ્રોનનો પ્રવેગ

$$a = 2.3 \times 10^{-8} \text{ N} / 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg} = 2.5 \times 10^{22} \text{ m/s}^2$$

આ મૂલ્યને ગુરુત્વપ્રવેગના મૂલ્ય સાથે સરખાવતાં, આપણે એવો નિષ્કર્ષ તારવી શકીએ કે ઇલેક્ટ્રોનની ગતિ પર ગુરુત્વક્ષેત્રની અસર અવગણ્ય હોય છે અને પ્રોટોન વડે લાગતા કુલંબ બળની અસર નીચે તે ખૂબ મોટો પ્રવેગ અનુભવે છે.

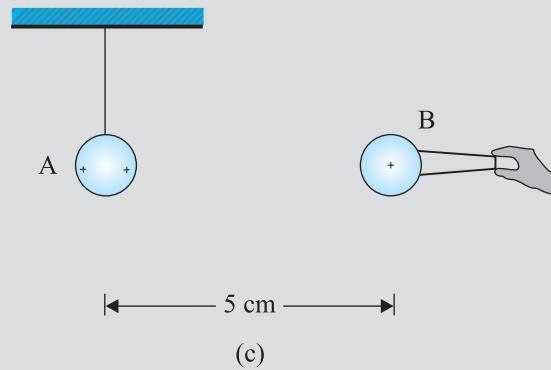
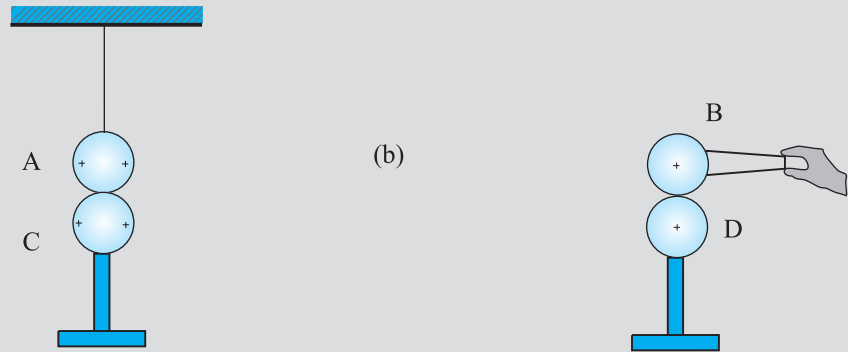
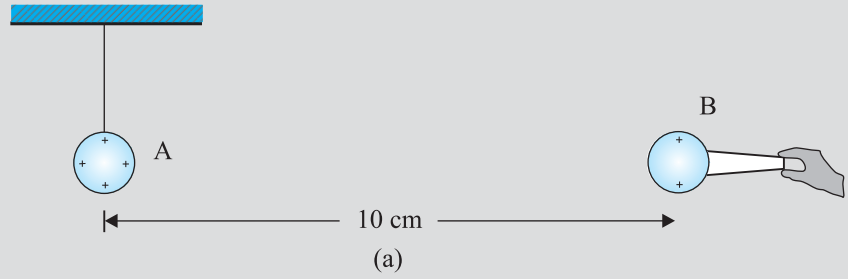
પ્રોટોનના પ્રવેગનું મૂલ્ય

$$2.3 \times 10^{-8} \text{ N} / 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg} = 1.4 \times 10^{19} \text{ m/s}^2 \text{ છે.}$$



Interactive animation on Coulomb's law :
http://webphysics.davidson.edu/physlet_resources/bu_semester2/menu_semester2.html

ઉદાહરણ 1.5 ધાતુના વિદ્યુતભારિત ગોળા A ને નાયલોનની દોરી વડે લટકાવેલ છે. આકૃતિ 1.7(a)માં દર્શાવ્યા મુજબ અવાહક હાથા (હેન્ડલ) વડે પકડેલ બીજો વિદ્યુતભારિત ગોળો B, A ની નજીક એવી રીતે લાવવામાં આવે છે કે તેમનાં કેન્દ્રો વચ્ચેનું અંતર 10 cm હોય. આનાથી થતું A નું અપાકર્ષણ નોંધવામાં આવે છે. (દાખલા તરીકે, એક પ્રકાશકિરણ વડે તેને પ્રકાશિત કરી પડદા પર તેનું આવર્તન/સ્થાનાંતર માપીને). A અને B ગોળાઓને અનુક્રમે C અને D વિદ્યુતભારરહિત ગોળાઓ સાથે આકૃતિ 1.7(b)માં દર્શાવ્યા મુજબ સ્પર્શ કરાવવામાં આવે છે. હવે C અને D ને દૂર કરી B ને A ની નજીક તેમનાં કેન્દ્રો વચ્ચેનું અંતર 5.0 cm થાય તેમ લાવવામાં આવે છે [આકૃતિ 1.7(c)]. કુલંબના નિયમના આધારે A નું અપાકર્ષણ કેટલું થશે ? A અને C ગોળાઓ તથા B અને D ગોળાઓનાં પરિમાણ સમાન છે. A અને B નાં કેન્દ્રો વચ્ચેના અંતરની સરખામણીએ તેમનાં પરિમાણ અવગણો.



આકૃતિ 1.7

ઉકેલ ધારો કે A ગોળા પરનો મૂળ વિદ્યુતભાર q અને B ગોળા પરનો q' છે. તેમની વચ્ચેના r અંતરે, દરેક પર લાગતું સ્થિતવિદ્યુત બળ (અંતરની સાપેક્ષે તેમનાં પરિમાણ અવગણતાં)

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q q'}{r^2}$$

છે. જ્યારે સમાન પણ વિદ્યુતભારરહિત ગોળો C, A ને સ્પર્શે છે ત્યારે વિદ્યુતભારો A અને C પર પુનઃ વિતરિત થાય છે, દરેક ગોળો $q/2$ વિદ્યુતભાર પ્રાપ્ત કરે છે. તેવી જ રીતે D, B ને સ્પર્શે પછી દરેક પર પુનઃ વિતરિત થયેલો વિદ્યુતભાર $q'/2$ છે. હવે જો તેમની વચ્ચેનું અંતર અડધું કરવામાં આવે તો, દરેક પર લાગતા સ્થિતવિદ્યુત બળનું માન,

$$F' = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{(q/2)(q'/2)}{(r/2)^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q q'}{r^2} = F$$

આમ, A પર B વડે લાગતું બળ બદલાતું નથી પણ અગાઉ જેટલું જ છે.

1.7 ઘણા વિદ્યુતભારો વચ્ચે બળો (FORCES BETWEEN MULTIPLE CHARGES)

બે વિદ્યુતભારો વચ્ચે લાગતું પરસ્પર વિદ્યુતબળ કુલંબના નિયમ વડે અપાય છે. જ્યારે આસપાસ એક નહિ પણ ઘણા વિદ્યુતભારો હોય ત્યારે બળ કેવી રીતે ગણવું? શૂન્યાવકાશમાં સ્થિર એવા n વિદ્યુતભારો $q_1, q_2, \dots, q_n$ નાં તંત્રનો વિચાર કરો. q_1 પર $q_2, q_3, \dots, q_n$ ને લીધે કેટલું બળ લાગશે? કુલંબનો નિયમ આ પ્રશ્નનો જવાબ આપવા માટે પુરતો નથી. યાંત્રિક ઉદ્ગમ ધરાવતાં બળોનો સમાંતરબાજુ ચતુષ્કોણના નિયમ પ્રમાણે સરવાળો થાય છે તેનું સ્મરણ કરો. સ્થિતવિદ્યુત ઉદ્ગમ ધરાવતાં બળો માટે પણ શું આ સત્ય છે?

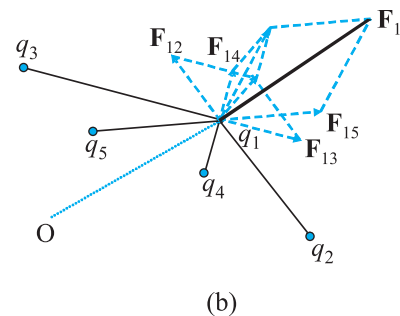
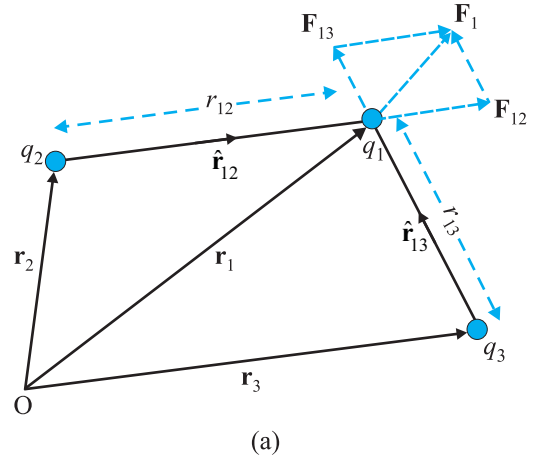
પ્રાયોગિક રીતે એવું ચકાસવામાં આવ્યું છે કે કોઈ વિદ્યુતભાર પર બીજા સંખ્યાબંધ વિદ્યુતભારોને લીધે લાગતું બળ, તે વિદ્યુતભાર પર બીજા વિદ્યુતભારોને લીધે એક એક તરીકે લેતાં લાગતા બળોના સદિશ સરવાળા જેટલું હોય છે. વ્યક્તિગત બળો બીજા બળોની હાજરીને લીધે અસર પામતાં નથી. આને સંપાતપણાનો સિદ્ધાંત કહે છે.

આ ખ્યાલને વધુ સારી રીતે સમજવા માટે, આકૃતિ 1.8(a)માં દર્શાવ્યા મુજબ ત્રણ વિદ્યુતભારો q_1, q_2 અને q_3 ના તંત્રનો વિચાર કરો. એક વિદ્યુતભાર q_1 પર બીજા બે વિદ્યુતભારો q_2 અને q_3 ને લીધે લાગતું બળ દરેક વિદ્યુતભાર વડે લાગતા બળોનો સદિશ સરવાળો કરવાથી મળે છે. આમ, q_1 પર q_2 ને લીધે લાગતું બળ F_{12} વડે દર્શાવીએ તો, બીજા વિદ્યુતભાર હાજર હોવા છતાં, F_{12} સમીકરણ (1.3) વડે મળે છે.

$$F_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \hat{r}_{12}$$

તે જ રીતે, q_1 પર q_3 ને લીધે લાગતું બળ F_{13} વડે દર્શાવીએ તો,

$$F_{13} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_3}{r_{13}^2} \hat{r}_{13} \text{ છે.}$$



આકૃતિ 1.8 (a) ત્રણ વિદ્યુતભારોનું
(b) ઘણા વિદ્યુતભારોનું તંત્ર

જે બીજો વિદ્યુતભાર q_2 હાજર હોવા છતાં q_1 પર q_3 વડે લાગતું કુલંબ બળ જ છે.

આમ, q_1 પરનું q_2 અને q_3 ને લીધે લાગતું કુલ બળ F_1

$$F_1 = F_{12} + F_{13} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \hat{r}_{12} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_3}{r_{13}^2} \hat{r}_{13} \quad (1.4)$$

બળની ઉપરની ગણતરી ત્રણ કરતાં વધુ વિદ્યુતભારોના તંત્ર માટે પણ વ્યાપકરૂપે આકૃતિ 1.8(b)માં દર્શાવ્યા મુજબ લાગુ પાડી શકાય છે.

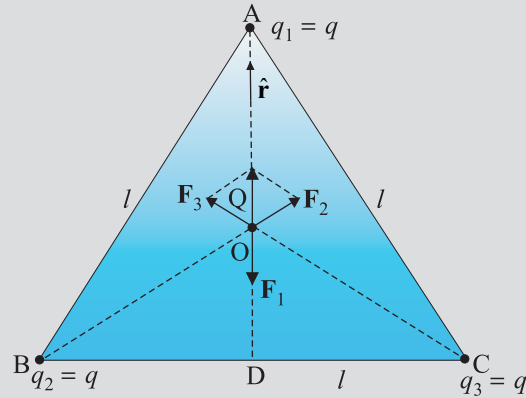
સંપાતપણાનો સિદ્ધાંત જણાવે છે કે, $q_1, q_2, \dots, q_n$ વિદ્યુતભારોના તંત્રમાં, q_1 પર q_2 ને લીધે લાગતું બળ કુલંબના નિયમથી મળે છે તે જ છે. એટલે કે, તે બીજા વિદ્યુતભારો $q_3, q_4, \dots, q_n$ ની હાજરીને લીધે અસર પામતું નથી (બદલાતું નથી). q_1 પર બીજા બધા વિદ્યુતભારોને લીધે લાગતું કુલ બળ F_1 ; એ $F_{12}, F_{13}, \dots, F_{1n}$ બળોના સદિશ સરવાળાથી મળે છે. એટલે કે,

$$F_1 = F_{12} + F_{13} + \dots + F_{1n} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \hat{r}_{12} + \frac{q_1 q_3}{r_{13}^2} \hat{r}_{13} + \dots + \frac{q_1 q_n}{r_{1n}^2} \hat{r}_{1n} \right]$$

$$= \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=2}^n \frac{q_i}{r_{1i}^2} \hat{r}_{1i} \quad (1.5)$$

સદિશ સરવાળો સામાન્ય રીતે સમાંતરબાજુ ચતુષ્કોણના નિયમ પરથી મેળવાય છે. સમગ્ર સ્થિતિવિદ્યુતશાસ્ત્ર એ મૂળભૂત રીતે કુલંબના નિયમ અને સંપાતપણાના સિદ્ધાંતનું પરિણામ છે.

ઉદાહરણ 1.6 / લંબાઈના સમબાજુ ત્રિકોણના શિરોબિંદુઓ પર ત્રણ વિદ્યુતભારો q_1, q_2, q_3 દરેક q બરાબર છે, તેવા મૂકેલ છે. આકૃતિ 1.9માં દર્શાવ્યા મુજબ ત્રિકોણના મધ્યકેન્દ્ર પર મૂકેલા વિદ્યુતભાર Q (q જેવા જ ચિહ્ન સાથે) પર લાગતું બળ કેટલું હશે ?



આકૃતિ 1.9

ઉકેલ / લંબાઈના આપેલા સમબાજુ ત્રિકોણ ABCમાં AD, BCને લંબ દોરતાં, $AD = AC \cos 30^\circ = (\sqrt{3}/2) l$, અને Aથી મધ્યકેન્દ્ર Oનું અંતર $AO = (2/3) AD = (1/\sqrt{3}) l$. સંમિતિ પરથી $AO = BO = CO$.

આમ,

A પરના વિદ્યુતભાર q વડે Q પરનું બળ $\mathbf{F}_1 = \frac{3}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qq}{l^2}$, AO દિશામાં

B પરના વિદ્યુતભાર q વડે Q પરનું બળ $\mathbf{F}_2 = \frac{3}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qq}{l^2}$, BO દિશામાં

C પરના વિદ્યુતભાર q વડે Q પરનું બળ $\mathbf{F}_3 = \frac{3}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qq}{l^2}$, CO દિશામાં

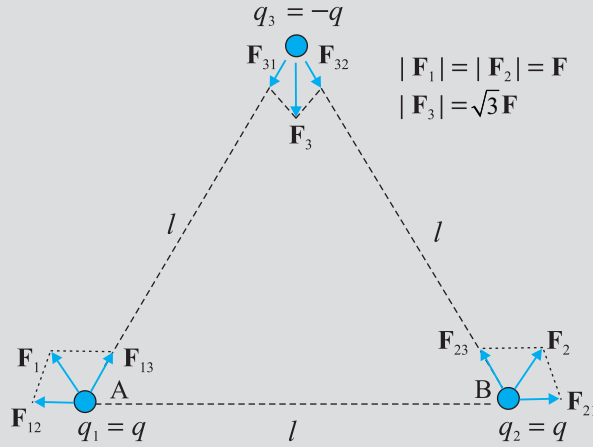
$\mathbf{F}_2$ અને $\mathbf{F}_3$ બળોનું પરિણામી બળ $\frac{3}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qq}{l^2}$, OA દિશામાં છે (સમાંતર બાજુ ચતુષ્કોણના નિયમ મુજબ)

આથી, Q પરનું કુલ બળ $= \frac{3}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qq}{l^2} (\hat{\mathbf{r}} - \hat{\mathbf{r}}) = 0$, જ્યાં $\hat{\mathbf{r}}$ એ OA દિશામાંનો એકમ સદિશ છે.

સંમિતિ પરથી પણ એ સ્પષ્ટ છે કે ત્રણેય બળોનો સરવાળો શૂન્ય થશે. ધારો કે પરિણામી બળ શૂન્ય નથી પણ કોઈક દિશામાં છે. O બિંદુની આસપાસ તંત્રને 60° નું ભ્રમણ આપતાં શું થાત તે વિચારો.

ઉદાહરણ 1.6

ઉદાહરણ 1.7 આકૃતિ 1.10માં દર્શાવ્યા મુજબ q , q અને $-q$ વિદ્યુતભારોને સમબાજુ ત્રિકોણના શિરોબિંદુઓ પર મૂકવામાં આવે છે. દરેક વિદ્યુતભાર પર કેટલું બળ લાગશે ?



આકૃતિ 1.10

ઉકેલ A પરના વિદ્યુતભાર q પર લાગતાં બળો, B પરના q ને લીધે BA દિશામાં અને C પરના $-q$ ને લીધે AC દિશામાં છે, (આકૃતિ 1.10). A પરના વિદ્યુતભાર q પર લાગતું કુલ બળ $\mathbf{F}_1$ સમાંતરબાજુ ચતુષ્કોણના નિયમ મુજબ, $\mathbf{F}_1 = F \hat{\mathbf{r}}_1$ પરથી મળે છે. જ્યાં, $\hat{\mathbf{r}}_1$ એ BC દિશામાંનો એકમ સદિશ છે.

અહીં, વિદ્યુતભારોની દરેક જોડ માટે આકર્ષણ કે અપાકર્ષણ બળનું માન એકસમાન

$$F = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 l^2} \text{ છે.}$$

B આગળના વિદ્યુતભાર q પર લાગતું કુલ બળ $\mathbf{F}_2 = F \hat{\mathbf{r}}_2$ છે, જ્યાં $\hat{\mathbf{r}}_2$ એ AC દિશામાંનો એકમ સદિશ છે.

ઉદાહરણ 1.7

તેવી જ રીતે, C પરના $-q$ વિદ્યુતભાર પર લાગતું કુલ બળ $\mathbf{F}_3 = \sqrt{3} F \hat{n}$. જ્યાં, $\hat{n}$ એ $\angle BCA$ ના દ્વિભાજક પરનો એકમ સદિશ છે. એ જોવું રસપ્રદ છે કે ત્રણ વિદ્યુતભારો પરના બળોનો કુલ સરવાળો શૂન્ય છે, એટલે કે

$$\mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_3 = 0.$$

પરિણામ જરાય આશ્ચર્યજનક નથી. તે એ હકીકત પરથી સમજાય છે કે કુલંબનો નિયમ ન્યૂટનના ત્રીજા નિયમ સાથે સુસંગત છે. તેની સાબિતી તમારા પર સ્વાધ્યાય તરીકે છોડેલ છે.

1.8 વિદ્યુતક્ષેત્ર (ELECTRIC FIELD)

શૂન્યાવકાશમાં ઉગમબિંદુ O પર મૂકેલા એક બિંદુવત્ વિદ્યુતભાર Qનો વિચાર કરો. જો આપણે બીજો વિદ્યુતભાર q , P બિંદુએ મૂકીએ કે જ્યાં, $\mathbf{OP} = \mathbf{r}$ છે, તો Q વિદ્યુતભાર, q વિદ્યુતભાર પર કુલંબના નિયમ મુજબ બળ લગાડશે. આપણે એવો પ્રશ્ન પૂછી શકીએ કે જો q વિદ્યુતભારને દૂર કરવામાં આવે તો હવે આસપાસ શું રહેશે ? કંઈ પણ રહેશે નહિ ? જો P બિંદુએ કંઈ પણ ન હોય તો P પર વિદ્યુતભાર મૂકતાં તેના પર બળ કેવી રીતે લાગે છે ? આવા પ્રશ્નોના જવાબ આપવા માટે પહેલાના વૈજ્ઞાનિકોએ ક્ષેત્રનો ખ્યાલ દાખલ કર્યો હતો. આ મુજબ આપણે એમ કહીએ છીએ કે, વિદ્યુતભાર Q પોતાની આસપાસ બધે વિદ્યુતક્ષેત્ર ઉત્પન્ન કરે છે. જ્યારે બીજો વિદ્યુતભાર q , P આગળ લાવવામાં આવે છે ત્યારે ક્ષેત્ર તેની પર ક્રિયા (અસર) કરીને બળ લગાડે છે. Q વિદ્યુતભાર વડે $\mathbf{r}$ બિંદુએ ઉદ્ભવતું વિદ્યુતક્ષેત્ર

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \hat{\mathbf{r}} \quad (1.6)$$

પરથી મળે છે. જ્યાં, $\hat{\mathbf{r}} = \mathbf{r}/r$, એ ઉદ્ગમથી બિંદુ $\mathbf{r}$ તરફનો એકમ સદિશ છે. આમ, સમીકરણ (1.6), સ્થાન સદિશ $\mathbf{r}$ ના દરેક મૂલ્ય માટે વિદ્યુતક્ષેત્ર નક્કી કરે છે. ‘ક્ષેત્ર’ શબ્દ કોઈ વિતરિત (વહેંચાયેલી) રાશિ (અદિશ કે સદિશ) સ્થાન સાથે કેવી રીતે બદલાય છે તે સૂચવે છે. વિદ્યુતભારની અસરનો વિદ્યુતક્ષેત્રના અસ્તિત્વમાં સમાવેશ કરી દેવામાં આવેલ છે. વિદ્યુતભાર Q વડે, q વિદ્યુતભાર પર લાગતું બળ, આપણને

$$\mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qq}{r^2} \hat{\mathbf{r}} \quad \text{પરથી મળે છે.} \quad (1.7)$$

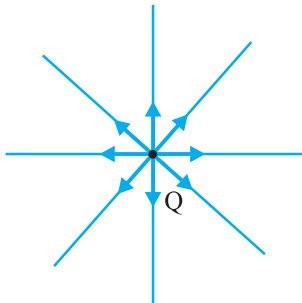
એ નોંધો કે, q વિદ્યુતભાર પણ Q વિદ્યુતભાર પર એટલું જ બળ વિરુદ્ધ દિશામાં લગાડે છે. Q અને q વિદ્યુતભારો વચ્ચે લાગતા બળને, Q વિદ્યુતભારના વિદ્યુતક્ષેત્ર અને q વિદ્યુતભાર વચ્ચેની આંતરક્રિયા (Interaction) તરીકે જોઈ શકાય છે અને એ જ રીતે સામ-સામે વિચારી શકાય. જો આપણે q વિદ્યુતભારનો સ્થાન સદિશ $\mathbf{r}$ તરીકે દર્શાવીએ તો તે q ગુણ્યા q ના સ્થાન આગળના વિદ્યુતક્ષેત્ર $\mathbf{E}$ જેટલું બળ $\mathbf{F}$ અનુભવે છે. આમ,

$$\mathbf{F}(\mathbf{r}) = q\mathbf{E}(\mathbf{r}) \quad (1.8)$$

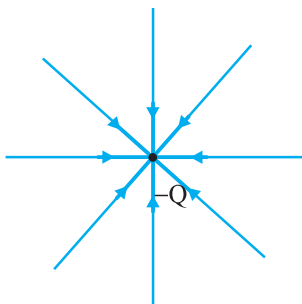
સમીકરણ (1.8), વિદ્યુતક્ષેત્રના SI એકમને N/C* તરીકે વ્યાખ્યાયિત કરે છે.

અત્રે, કેટલીક મહત્વની નોંધ કરીએ :

- સમીકરણ (1.8) પરથી આપણે જોઈ શકીએ કે, જો q એકમ હોય તો Qને લીધે ઉદ્ભવતું ક્ષેત્ર તેના વડે લાગતા બળના મૂલ્ય જેટલું જ છે. આમ, વિદ્યુતભાર Qને લીધે અવકાશમાં વિદ્યુતક્ષેત્રને તે બિંદુએ મૂકેલા એકમ ધન વિદ્યુતભાર પર લાગતા બળ તરીકે વ્યાખ્યાયિત કરવામાં આવે છે. વિદ્યુતક્ષેત્ર ઉત્પન્ન કરતા વિદ્યુતભાર Qને સ્રોત વિદ્યુતભાર અને સ્રોત વિદ્યુતભારની અસરનું



(a)



(b)

આકૃતિ 1.11 (a) વિદ્યુતભાર Qને લીધે (b) વિદ્યુતભાર -Qને લીધે, વિદ્યુતક્ષેત્ર

પરીક્ષણ કરનારા વિદ્યુતભાર q ને પરીક્ષણ વિદ્યુતભાર કહે છે. એ નોંધો કે સ્રોત વિદ્યુતભાર તેના મૂળસ્થાને જ રહેવો જોઈએ. જો કે, q વિદ્યુતભારને Q ની આસપાસ ગમે તે બિંદુએ લાવવામાં આવે તો, q ને લીધે Q પર પણ વિદ્યુતબળ લાગવાનું જ છે અને તેથી તે ખસવાનો પ્રયત્ન કરશે. આ તકલીફમાંથી નિકળવાનો રસ્તો, q ને અવગણ્ય એટલો નાનો લેવાનો છે. આમ થતાં, બળ F અવગણ્ય એવું નાનું બને પણ F/q ગુણોત્તર નિશ્ચિત બને અને તે વિદ્યુતક્ષેત્રને

$$\mathbf{E} = \lim_{q \rightarrow 0} \left(\frac{\mathbf{F}}{q} \right) \quad (1.9)$$

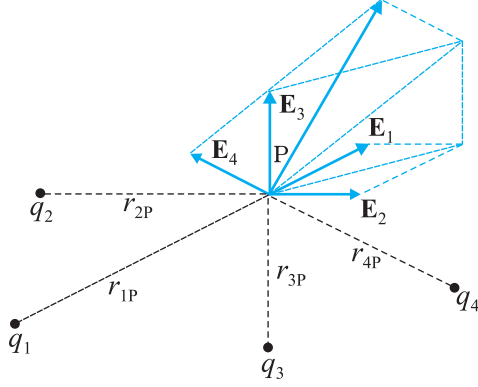
તરીકે વ્યાખ્યાયિત કરે છે.

આ પ્રશ્ન (q ની હાજરીમાં Q ને ખલેલ પહોંચે નહિ તેમ રાખી મુકવા)ના વ્યાવહારિક ઉકેલ તરીકે Q ને અનિર્દિષ્ટ (જણાવેલ ન હોય તેવા) બળો વડે પકડી (જકડી) રાખવાનો છે. આ જરા વિચિત્ર લાગે પણ વાસ્તવમાં આમ જ કરાતું હોય છે. જ્યારે આપણે પરીક્ષણ વિદ્યુતભાર q પર, વિદ્યુતભારિત સમતલ (પરિચ્છેદ 1.15) વડે લાગતું બળ વિચારીએ ત્યારે સમતલ પરના વિદ્યુતભારોને, સમતલમાંના અનિર્દિષ્ટ (ન દર્શાવેલા) વિદ્યુતભારિત ઘટકો વડે લાગતાં બળો તેમનાં સ્થાનો પર જકડી રાખે છે.

- (ii) Q વડે ઉદ્ભવતું વિદ્યુતક્ષેત્ર $\mathbf{E}$, ક્રિયાત્મક રીતે કોઈ પરીક્ષણ વિદ્યુતભાર q ના પદમાં વ્યાખ્યાયિત કરાયેલું હોવા છતાં, q થી સ્વતંત્ર છે. આનું કારણ એ છે કે $\mathbf{F}$, q ના સમપ્રમાણમાં છે, તેથી $\mathbf{F}/q$ ગુણોત્તર q પર આધારિત નથી. Q વિદ્યુતભાર વડે, q વિદ્યુતભાર પર લાગતું બળ, q ના સ્થાન પર આધાર રાખે છે, જે Q ની આસપાસના અવકાશમાં કોઈ પણ મૂલ્ય ધારણ કરી શકે છે. આમ, Q ને લીધે ઉદ્ભવતું વિદ્યુતક્ષેત્ર અવકાશ યામ $\mathbf{r}$ પર પણ આધારિત છે. સમગ્ર અવકાશમાં q ના જુદા જુદા સ્થાનોએ વિદ્યુતક્ષેત્ર $\mathbf{E}$ ના જુદા જુદા મૂલ્યો મળે છે. ત્રિ-પારિમાણિક અવકાશમાં દરેક બિંદુએ ક્ષેત્ર અસ્તિત્વ ધરાવે છે.
- (iii) ધન વિદ્યુતભાર માટે વિદ્યુતક્ષેત્ર, વિદ્યુતભારથી ત્રિજ્યાવર્તી દિશામાં બહાર તરફ છે આકૃતિ 1.11(a). બીજી બાજુ જો વિદ્યુતભાર ઋણ હોય તો તેનો વિદ્યુતક્ષેત્ર સદિશ દરેક બિંદુએ ત્રિજ્યાવર્તી દિશામાં અંદરની તરફ હોય છે, આકૃતિ 1.11(b).
- (iv) વિદ્યુતભાર Q ને લીધે, q વિદ્યુતભાર પર લાગતા બળનું માન, Q વિદ્યુતભારથી q વિદ્યુતભારના અંતર પર આધારિત છે, તેથી વિદ્યુતક્ષેત્ર $\mathbf{E}$ નું માન પણ અંતર $\mathbf{r}$ પર જ આધારિત છે. આમ, Q વિદ્યુતભારથી સમાન અંતરોએ આવેલાં બિંદુઓ પર, વિદ્યુતક્ષેત્ર $\mathbf{E}$ નું માન એકસમાન છે. ગોળાના કેન્દ્ર પર મૂકેલા બિંદુવત્ વિદ્યુતભારને લીધે સમગ્ર ગોળા (ની સપાટી) પર વિદ્યુતક્ષેત્ર $\mathbf{E}$ નું માન સમાન છે, બીજા શબ્દોમાં તે ગોળીય સંમિતિ ધરાવે છે.

1.8.1 વિદ્યુતભારોના તંત્રને લીધે વિદ્યુતક્ષેત્ર (Electric Field Due to a System of Charges)

કોઈ ઉગમબિંદુ O ની સાપેક્ષે સ્થાન સદિશો $\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \dots, \mathbf{r}_n$ ધરાવતા વિદ્યુતભારો $q_1, q_2, \dots, q_n$ ના તંત્રનો વિચાર કરો. એકાકી (એકલ) વિદ્યુતભારને લીધે અવકાશમાંના બિંદુએ વિદ્યુતક્ષેત્રની જેમજ વિદ્યુતભારોના તંત્રને લીધે અવકાશમાંના બિંદુએ વિદ્યુતક્ષેત્ર, તે બિંદુએ મૂકેલા એકમ ધન પરીક્ષણ વિદ્યુતભાર પર, $q_1, q_2, \dots, q_n$ ના સ્થાનોમાં ફેરફાર કર્યા સિવાય લાગતા બળ તરીકે વ્યાખ્યાયિત કરાય છે. આપણે કુલંબનો નિયમ અને સંપાતપણાના સિદ્ધાંતનો ઉપયોગ કરી સ્થાન સદિશ $\mathbf{r}$ વડે દર્શાવતા બિંદુ P આગળનું વિદ્યુતક્ષેત્ર મેળવી શકીએ.



આકૃતિ 1.12 વિદ્યુતભારોના તંત્રને લીધે કોઈ બિંદુ આગળનું વિદ્યુતક્ષેત્ર વ્યક્તિગત વિદ્યુતભારોથી ઉદ્ભવતા વિદ્યુતક્ષેત્રોના સદિશ સરવાળા જેટલું છે.

$\mathbf{r}_1$ આગળ રહેલા q_1 ને લીધે, $\mathbf{r}$ આગળનું વિદ્યુતક્ષેત્ર

$$\mathbf{E}_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1}{r_{1P}^2} \hat{\mathbf{r}}_{1P} \text{ છે.}$$

જ્યાં, $\hat{\mathbf{r}}_{1P}$ એ q_1 થી P ની દિશામાંનો એકમ સદિશ છે અને r_{1P} એ q_1 થી P નું અંતર છે. તે જ રીતે, $\hat{\mathbf{r}}_2$ આગળ રહેલા q_2 ને લીધે $\mathbf{r}$ આગળનું વિદ્યુતક્ષેત્ર $\mathbf{E}_2$

$$\mathbf{E}_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_2}{r_{2P}^2} \hat{\mathbf{r}}_{2P} \text{ છે.}$$

જ્યાં, $\hat{\mathbf{r}}_{2P}$ એ q_2 થી P ની દિશામાંનો એકમ સદિશ છે અને r_{2P} એ q_2 થી P નું અંતર છે. $q_3, q_4, \dots, q_n$ વિદ્યુતભારોને લીધે વિદ્યુતક્ષેત્રો $\mathbf{E}_3, \mathbf{E}_4, \dots, \mathbf{E}_n$ માટે આવાં જ સૂત્રો લખી શકાય. સંપાતપણાના સિદ્ધાંત મુજબ, વિદ્યુતભારોના તંત્રને લીધે $\mathbf{r}$ સ્થાને વિદ્યુતક્ષેત્ર $\mathbf{E}$, (આકૃતિ 1.12માં દર્શાવ્યા મુજબ),

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \mathbf{E}_1(\mathbf{r}) + \mathbf{E}_2(\mathbf{r}) + \dots + \mathbf{E}_n(\mathbf{r})$$

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1}{r_{1P}^2} \hat{\mathbf{r}}_{1P} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_2}{r_{2P}^2} \hat{\mathbf{r}}_{2P} + \dots + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_n}{r_{nP}^2} \hat{\mathbf{r}}_{nP}$$

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{r_{iP}^2} \hat{\mathbf{r}}_{iP} \quad (1.10)$$

$\mathbf{E}$ એ સદિશ રાશિ છે અને અવકાશમાં એકથી બીજા બિંદુએ બદલાય છે અને તે સ્રોત વિદ્યુતભારોના સ્થાનો પરથી નક્કી થાય છે.

1.8.2 વિદ્યુતક્ષેત્રનો ભૌતિક અર્થ (Physical Significance of Electric Field)

તમને કદાચ નવાઈ લાગશે કે અહીં વિદ્યુતક્ષેત્રનો ખ્યાલ શા માટે દાખલ કર્યો છે. અંતે તો, વિદ્યુતભારોના કોઈ પણ તંત્ર માટે માપી શકાય તેવી રાશિ તો વિદ્યુતભાર પરનું બળ છે, જે કુલંબના નિયમ અને સંપાતપણાના સિદ્ધાંત (સમીકરણ 1.5) પરથી નક્કી કરી શકાય છે. તો પછી વિદ્યુતક્ષેત્ર નામની મધ્યવર્તી રાશિ દાખલ શા માટે કરવી જોઈએ ?

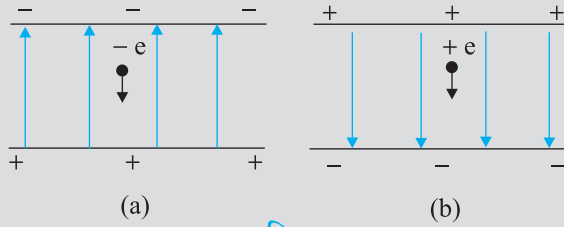
સ્થિત વિદ્યુતશાસ્ત્ર માટે વિદ્યુતક્ષેત્ર સગવડભરી રાશિ છે પણ ખરેખર જરૂરી નથી. વિદ્યુતક્ષેત્ર એ વિદ્યુતભારોના તંત્રના વિદ્યુત પર્યાવરણની લાક્ષણિક રજૂઆતની એક સુંદર રીત છે. વિદ્યુતભારોના તંત્રની આસપાસ અવકાશમાંના બિંદુએ વિદ્યુતક્ષેત્ર, તે સ્થાને મૂકેલા એકમ ધન વિદ્યુતભાર પર (તંત્રને ખલેલ પહોંચાડ્યા વિના) લાગતું બળ આપે છે. વિદ્યુતક્ષેત્ર એ વિદ્યુતભારોના તંત્રની લાક્ષણિકતા છે અને વિદ્યુતક્ષેત્ર નક્કી કરવા માટે મૂકેલા પરીક્ષણ વિદ્યુતભાર પર આધારિત નથી. ભૌતિકવિજ્ઞાનમાં ક્ષેત્ર શબ્દ, સામાન્ય રીતે એવી રાશિનો ઉલ્લેખ કરે છે જેને અવકાશમાંના દરેક બિંદુએ વ્યાખ્યાયિત કરેલ છે અને જે એકથી બીજા બિંદુએ બદલાય છે. વિદ્યુતક્ષેત્ર એ સદિશ ક્ષેત્ર છે, કારણ કે બળ સદિશ રાશિ છે.

વિદ્યુતક્ષેત્રના ખ્યાલનો સાચો ભૌતિક અર્થ, જ્યારે આપણે સ્થિત વિદ્યુતશાસ્ત્રની આગળ જઈને સમય આધારિત વિદ્યુતચુંબકીય ઘટનાઓ સાથે કામ પાડીએ ત્યારે જ જણાય છે. ધારો કે આપણે બે વિદ્યુતભારો q_1 અને q_2 ની પ્રવેગી ગતિમાં તેમની વચ્ચે લાગતા બળનો વિચાર કરીએ છીએ. હવે સંકેત કે માહિતી જે મહત્તમ ઝડપથી એકથી બીજા બિંદુએ જાય તે પ્રકાશની ઝડપ c છે. આમ, q_1 અને q_2 ની કોઈ પણ ગતિની

વિદ્યુતભારો અને ક્ષેત્રો

અસર તત્કાલ ઉદ્ભવતી નથી. કારણ (q_1 ની ગતિ) અને અસર (q_2 પર બળ) વચ્ચે સમયનો થોડો વિલંબ (Delay) હોય છે. બરાબર આ બાબતમાં/સ્થાને વિદ્યુતક્ષેત્ર (બહુ ચોક્કસ રીતે, વિદ્યુત ચુંબકીયક્ષેત્ર)નો ખ્યાલ સ્વાભાવિક અને ઉપયોગી છે. ક્ષેત્રનું ચિત્ર આવું છે : q_1 વિદ્યુતભારની પ્રવેગી ગતિ વિદ્યુતચુંબકીય તરંગો ઉત્પન્ન કરે છે, જે ઝડપ c થી પ્રસરે છે અને q_2 પર બળ લગાડે છે. ક્ષેત્રનો ખ્યાલ સમયના વિલંબને સારી રીતે સમજાવે છે. આમ, વિદ્યુત અને ચુંબકીય ક્ષેત્રોને વિદ્યુતભારો પરની તેમની અસરો (બળો) દ્વારા પરખવામાં આવે છે, તેમ છતાં તેમને ભૌતિકરાશિઓ તરીકે ગણવામાં આવે છે, નહિ કે માત્ર ગાણિતીક રચના તરીકે. તેમને તેમનું પોતાનું ગતિશાસ્ત્ર છે, એટલે કે તેમના પોતાના નિયમો મુજબ તેઓ કાર્ય કરે છે. તેઓ ઊર્જાનું પરિવહન પણ કરી શકે છે. આમ, સમય આધારિત વિદ્યુતચુંબકીય ક્ષેત્રોનું ઉદ્ગમ, થોડો વખત ચાલુ કરી બંધ (On-Off) કરવામાં આવે તો પ્રસરણ પામતા વિદ્યુતચુંબકીય તરંગો ઉદ્ભવે જે ઊર્જાનું પરિવહન કરે છે. ક્ષેત્રનો ખ્યાલ સૌપ્રથમ ફેરેડેએ રજૂ કર્યો હતો અને અત્યારે ભૌતિકવિજ્ઞાનના કેન્દ્રિય ખ્યાલોમાં છે.

ઉદાહરણ 1.8 એક ઇલેક્ટ્રોન $2.0 \times 10^4 \text{ N C}^{-1}$ ના નિયમિત વિદ્યુતક્ષેત્રમાં 1.5 cm જેટલા અંતરનું પતન પામે છે. [આકૃતિ 1.13(a)]. ક્ષેત્રનું માન અચળ રાખીને તેની દિશા ઉલટાવવામાં આવે છે અને તેમાં એક પ્રોટોન તેટલા જ અંતરનું પતન પામે છે. [આકૃતિ 1.13(b)]. દરેક કિસ્સામાં પતન માટે લાગતો સમય ગણો. ‘ગુરુત્વની અસર હેઠળ મુક્ત પતન’ સાથેનો તફાવત જણાવો.



આકૃતિ 1.13

ઉકેલ આકૃતિ 1.13(a)માં ક્ષેત્ર ઉપર તરફ છે, તેથી ઋણ વિદ્યુતભારિત ઇલેક્ટ્રોન અધોદિશામાં eE મૂલ્યનું બળ અનુભવે છે. જ્યાં, E એ વિદ્યુતક્ષેત્રનું માન છે. ઇલેક્ટ્રોનનો પ્રવેગ

$$a_e = eE/m_e,$$

જ્યાં, m_e ઇલેક્ટ્રોનનું દળ છે.

સ્થિર સ્થિતિમાંથી શરૂ કરીને, h અંતર જેટલું પતન પામવા ઇલેક્ટ્રોનને લાગતો સમય.

$$t_e = \sqrt{\frac{2h}{a_e}} = \sqrt{\frac{2 h m_e}{eE}}$$

$$e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}, m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg},$$

$$E = 2.0 \times 10^4 \text{ N C}^{-1}, h = 1.5 \times 10^{-2} \text{ m, માટે}$$

$$t_e = 2.9 \times 10^{-9} \text{ s}$$

આકૃતિ 1.13 (b)માં, ક્ષેત્ર અધોદિશામાં છે અને ધન વિદ્યુતભારિત પ્રોટોન અધોદિશામાં eE મૂલ્યનું બળ અનુભવે છે. પ્રોટોનનો પ્રવેગ

$$a_p = eE/m_p$$

જ્યાં m_p પ્રોટોનનું દળ છે, $m_p = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$. પ્રોટોન માટે પતનનો સમય

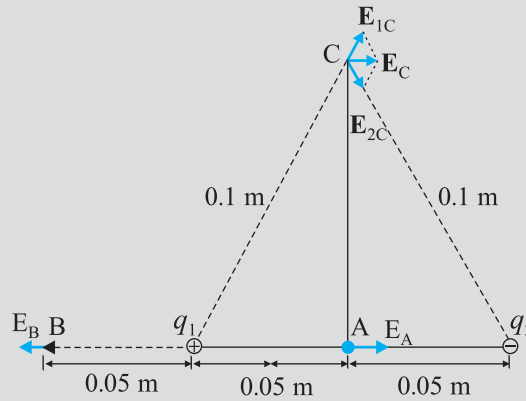
$$t_p = \sqrt{\frac{2h}{a_p}} = \sqrt{\frac{2h m_p}{eE}} = 1.3 \times 10^{-7} \text{ s છે.}$$

આમ, વધુ ભારે કણ (પ્રોટોન) તેટલા જ અંતરના પતન માટે વધુ સમય લે છે. આ બાબત ગુરુત્વની અસર હેઠળ મુક્ત પતનની પરિસ્થિતિ કરતાં મૂળભૂત રીતે વિરુદ્ધ છે, કારણ કે મુક્ત પતનમાં તો પતનનો સમય પદાર્થના દળ પર આધારિત નથી. આ ઉદાહરણમાં પતનનો સમય ગણવામાં આપણે ગુરુત્વપ્રવેગ અવગણેલ છે. આ વ્યાજબી છે કે નહિ તે જોવા આપેલા વિદ્યુતક્ષેત્રમાં આપણે પ્રોટોનનો પ્રવેગ શોધીએ.

$$\begin{aligned} a_p &= \frac{eE}{m_p} \\ &= \frac{(1.6 \times 10^{-19} \text{ C})(2.0 \times 10^4 \text{ N C}^{-1})}{1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}} \\ &= 1.9 \times 10^{12} \text{ m s}^{-2} \end{aligned}$$

જે, ગુરુત્વપ્રવેગ g ના મૂલ્ય (9.8 m s^{-2})ની સરખામણીએ પ્રચંડ છે. ઇલેક્ટ્રોનનો પ્રવેગ તો આથીય વધુ છે. આમ, આ ઉદાહરણમાં ગુરુત્વની અસર અવગણી શકાય છે.

ઉદાહરણ 1.9 10^{-8} C અને -10^{-8} C મૂલ્યના બે બિંદુવત્ વિદ્યુતભારો અનુક્રમે q_1 અને q_2 એકબીજાથી 0.1 m અંતરે મૂકેલા છે. આકૃતિ 1.14માં દર્શાવેલ A, B અને C બિંદુઓએ વિદ્યુતક્ષેત્ર ગણો.



આકૃતિ 1.14

ઉકેલ A આગળ ધન વિદ્યુતભાર q_1 ને લીધે વિદ્યુતક્ષેત્ર સદિશ E_{1A} જમણી તરફની દિશામાં છે અને તેનું માન

$$E_{1A} = \frac{(9 \times 10^9 \text{ Nm}^2 \text{C}^{-2}) \times (10^{-8} \text{ C})}{(0.05 \text{ m})^2} = 3.6 \times 10^4 \text{ N C}^{-1}$$

A આગળ ઋણ વિદ્યુતભાર q_2 ને લીધે વિદ્યુતક્ષેત્ર સદિશ E_{2A} જમણી તરફની દિશામાં છે અને તેનું માન એટલું જ (સમાન) છે. આથી, A આગળનું કુલ વિદ્યુતક્ષેત્ર E_A .

$E_A = E_{1A} + E_{2A} = 7.2 \times 10^4 \text{ N C}^{-1}$ છે. E_A ની દિશા જમણી તરફની છે.

B આગળ ધન વિદ્યુતભાર q_1 ને લીધે વિદ્યુતક્ષેત્ર E_{1B} ડાબી તરફની દિશામાં છે અને તેનું માન

$$E_{1B} = \frac{(9 \times 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2}) \times (10^{-8} \text{ C})}{(0.05\text{m})^2} = 3.6 \times 10^4 \text{ NC}^{-1} \text{ છે.}$$

B આગળ ઋણ વિદ્યુતભાર q_2 ને લીધે વિદ્યુતક્ષેત્ર E_{1B} જમણી તરફની દિશામાં છે અને તેનું માન

$$E_{2B} = \frac{(9 \times 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2}) \times (10^{-8} \text{ C})}{(0.15\text{m})^2} = 4 \times 10^3 \text{ NC}^{-1} \text{ છે.}$$

B આગળના કુલ વિદ્યુતક્ષેત્રનું માન

$$E_B = E_{1B} - E_{2B} = 3.2 \times 10^4 \text{ NC}^{-1} \text{ છે. } E_B \text{ ડાબી તરફની દિશામાં છે.}$$

C આગળ q_1 અને q_2 દરેકને લીધે ઉદ્ભવતા વિદ્યુતક્ષેત્રનું માન

$$E_{1C} = E_{2C} = \frac{(9 \times 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2}) \times (10^{-8} \text{ C})}{(0.10\text{m})^2} = 9 \times 10^3 \text{ NC}^{-1} \text{ છે.}$$

આ બંને સદિશો જે દિશાઓમાં છે તે આકૃતિ 1.14માં દર્શાવેલ છે. આ બે સદિશોનું પરિણામી

$$E_C = E_{1C} \cos \frac{\pi}{3} + E_{2C} \cos \frac{\pi}{3} = 9 \times 10^3 \text{ NC}^{-1} \text{ છે.}$$

E_C જમણી તરફની દિશામાં છે.

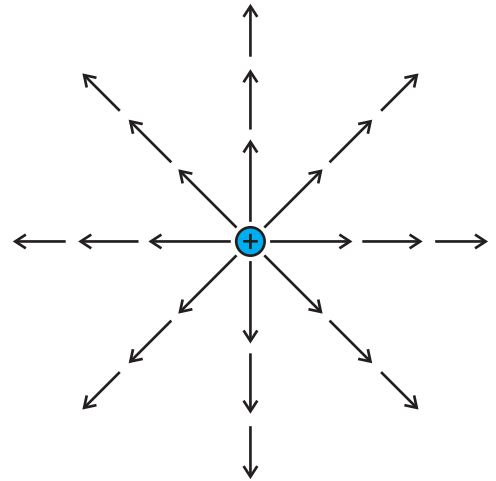
ઉદાહરણ 1.9

1.9 વિદ્યુત ક્ષેત્ર રેખાઓ (ELECTRIC FIELD LINES)

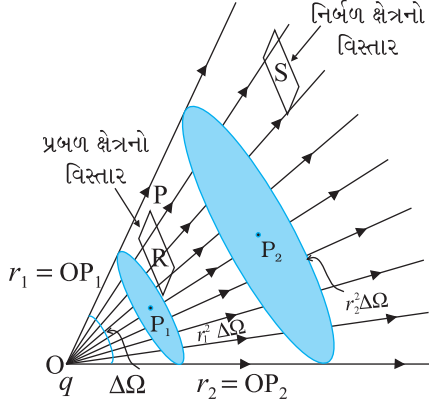
છેલ્લા વિભાગમાં આપણે વિદ્યુતક્ષેત્રનો અભ્યાસ કર્યો. તે સદિશ રાશિ છે અને તેને આપણે સદિશોને દર્શાવીએ છીએ તેમ દર્શાવી શકીએ છીએ. એક બિંદુવત્ વિદ્યુતભારથી ઉદ્ભવતા વિદ્યુતક્ષેત્ર E ને આપણે ચિત્રાત્મક રીતે રજૂ કરીએ. ધારો કે એક બિંદુવત્ વિદ્યુતભારને ઉદ્ગમ બિંદુએ મૂકેલ છે. વિદ્યુતક્ષેત્રની દિશામાં જ હોય તેવા સદિશો દોરો કે જેમનાં માન દરેક બિંદુએ ક્ષેત્રની પ્રબળતાને સમપ્રમાણમાં હોય. આપેલા બિંદુએ વિદ્યુતક્ષેત્રનું માન વિદ્યુતભારથી તે બિંદુના અંતરના વર્ગના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં હોવાથી,

જેમ ઉદ્ગમથી દૂર જઈએ તેમ સદિશ નાના થતા જાય છે, અને હંમેશાં ત્રિજ્યાવર્તી દિશામાં બહારની તરફ હોય છે. આકૃતિ 1.15 આવું ચિત્ર દર્શાવે છે. આ આકૃતિમાં દરેક તીર વિદ્યુતક્ષેત્ર, એટલે કે તીરના પુચ્છ આગળ મૂકેલા એકમ ધન વિદ્યુતભાર પર લાગતું બળ દર્શાવે છે. એક જ દિશામાં રહેલા તીરોને જોડીએ તો પરિણામે નીપજતી આકૃતિ ક્ષેત્ર રેખા દર્શાવે છે. આ રીતે, આપણને ઘણી ક્ષેત્ર રેખા મળે છે, જે બધી વિદ્યુતભારથી બહારની (દૂરની) તરફની દિશામાં છે. તો શું હવે ક્ષેત્રના માન કે પ્રબળતા અંગેની માહિતી ગુમાવી દીધી છે, કારણ કે તે તો તીરની લંબાઈમાં રહેલી હતી ? ના. હવે ક્ષેત્રનું માન ક્ષેત્ર રેખાઓની ઘનતા (ગીચતા) દ્વારા દર્શાવાય છે. વિદ્યુતભારની નજીક E પ્રબળ છે, તેથી વિદ્યુતભારની નજીક ક્ષેત્ર રેખાઓની ઘનતા (ગીચતા) વધુ છે અને રેખાઓ વધારે નજીક નજીક છે. વિદ્યુતભારથી દૂર ક્ષેત્ર નબળું પડે છે અને ક્ષેત્ર રેખાઓની ઘનતા ઓછી છે અને તેના પરિણામે રેખાઓ સારા પ્રમાણમાં દૂર દૂર છે.

કોઈ બીજી વ્યક્તિ વધુ રેખાઓ દોરી શકે છે. પણ રેખાઓની સંખ્યા મહત્વની નથી. હકીકતમાં, કોઈ પણ વિભાગમાં અનંત સંખ્યાની રેખાઓ દોરી શકાય. જુદા જુદા વિભાગોમાં રેખાઓની સાપેક્ષ ઘનતા જ મહત્વની છે.



આકૃતિ 1.15 બિંદુવત્ વિદ્યુતભારનું ક્ષેત્ર



આકૃતિ 1.16 વિદ્યુતક્ષેત્રની પ્રબળતાનું અંતર પરનું અવલંબન અને તેનો ક્ષેત્ર રેખાઓની સંખ્યા સાથે સંબંધ

આપણે આકૃતિ પાનાના સમતલમાં એટલે કે દ્વિ-પરિમાણમાં દોરીએ છીએ, પણ આપણે રહીએ છીએ ત્રિ-પરિમાણમાં. તેથી જો આપણે ક્ષેત્ર રેખાઓની ઘનતાનો અંદાજ મેળવવા માંગતા હોઈએ તો, આપણે ક્ષેત્ર રેખાને લંબરૂપે એકમ આડછેદના ક્ષેત્રફળ દીઠ રેખાઓની સંખ્યા ધ્યાનમાં લેવી પડે. વિદ્યુતક્ષેત્ર બિંદુવત્ વિદ્યુતભારથી અંતરના વર્ગ મુજબ ઘટતું જાય છે અને વિદ્યુતભારને ઘેરતું ક્ષેત્રફળ અંતરના વર્ગ મુજબ વધતું જાય છે તેથી વિદ્યુતભારને ઘેરતા ક્ષેત્રફળમાંથી પસાર થતી ક્ષેત્ર રેખાઓની સંખ્યા, વિદ્યુતભારથી ક્ષેત્રફળનું અંતર ગમે તે હોય તો પણ અચળ રહે છે.

આપણે પ્રારંભમાં એમ કહ્યું કે ક્ષેત્ર રેખાઓ અવકાશમાં જુદા જુદા બિંદુઓ આગળ વિદ્યુતક્ષેત્રની દિશાની માહિતી ધરાવે છે. ક્ષેત્ર રેખાઓનો એક (ગણ) સમૂહ દોરી દીધા બાદ, જુદા જુદા બિંદુઓ આગળ ક્ષેત્ર રેખાઓની સાપેક્ષ ઘનતા (એટલે કે ગીચતા), તે બિંદુઓ આગળ વિદ્યુતક્ષેત્રની સાપેક્ષ પ્રબળતા (તીવ્રતા) દર્શાવે છે. જ્યાં ક્ષેત્ર પ્રબળ હોય છે ત્યાં ક્ષેત્ર રેખાઓ ખીચોખીચ ટોળે વળેલી (Crowded) છે અને જ્યાં તે નિર્બળ છે ત્યાં દૂર-દૂર રહેલી છે. આકૃતિ 1.16 ક્ષેત્ર રેખાઓનો એક સમૂહ દર્શાવે છે. R અને S બિંદુઓ આગળ ત્યાંની ક્ષેત્ર રેખાને લંબરૂપે બે સમાન અને નાના ક્ષેત્રફળ ખંડો મૂકેલા

કલ્પી શકીએ. આપણા ચિત્રમાં ક્ષેત્રફળ ખંડોને લંબરૂપે પસાર થતી ક્ષેત્ર રેખાઓની સંખ્યા તે બિંદુએ ક્ષેત્રના માનને સમપ્રમાણમાં છે. ચિત્ર દર્શાવે છે કે R આગળનું ક્ષેત્ર S આગળના ક્ષેત્ર કરતાં વધુ પ્રબળ છે. ક્ષેત્ર રેખાઓ ક્ષેત્રફળ પર અથવા ક્ષેત્રફળ દ્વારા બનાવેલા ઘનકોણ પર કેવી રીતે આધાર રાખે છે તે સમજવા માટે આપણે ક્ષેત્રફળને ઘનકોણ (જે વ્યાપકરૂપે ત્રિપરિમાણમાં ખૂણો છે.) સાથે સંબંધિત કરીએ. દ્વિ-પરિમાણ (સમતલ)માં ખૂણો કેવી રીતે વ્યાખ્યાયિત કરાય છે તે યાદ કરો. O બિંદુથી r અંતરે r'ને લંબરૂપે એક નાનો રેખાખંડ Δl મૂકો. Δl વડે O આગળ બનાવાતો કોણ લગભગ Δθ = Δl/r તરીકે લખી શકાય. તેવી જ રીતે ત્રિ-પરિમાણમાં r અંતરે લંબરૂપે મૂકેલા નાના સમતલ ક્ષેત્રફળ ΔS વડે બનાવેલ ઘનકોણ ΔΩ = ΔS/R² તરીકે લખાય છે. આપણે જાણીએ છીએ કે આપેલા ઘનકોણમાં ત્રિજ્યાવર્તી ક્ષેત્ર રેખાઓની સંખ્યા સમાન છે. આકૃતિ 1.16માં વિદ્યુતભારથી r₁ અને r₂ અંતરે આવેલા બિંદુઓ અનુક્રમે P₁ અને P₂ માટે, ΔΩ જેટલો ઘનકોણ બનાવતા ક્ષેત્રફળ ખંડ, P₁ આગળ r₁²ΔΩ અને P₂ આગળ r₂²ΔΩ છે. આ ક્ષેત્રફળ ખંડોને કાપતી રેખાઓની સંખ્યા (ધારો કે n) એકસમાન છે. આથી એકમ ક્ષેત્રફળખંડને કાપતી રેખાઓની સંખ્યા અનુક્રમે P₁ આગળ n/(r₁²ΔΩ) અને P₂ આગળ n/(r₂²ΔΩ) છે. n અને ΔΩ સમાન છે તેથી ક્ષેત્રની પ્રબળતા 1/r² પ્રકારનું અવલંબન ધરાવે છે. (એટલે કે 1/r² પર આધારિત છે.)

ક્ષેત્ર રેખાઓના ચિત્રની શોધ, ફેરેડે એ અંતઃસ્ફુરણથી, અ-ગાણિતીક રીતે વિદ્યુતભારોના તંત્રની આસપાસના વિદ્યુતક્ષેત્રને દર્શ્યમાન કરવા માટે કરી હતી. ફેરેડેએ તેમને બળરેખાઓ કહી હતી. આ શબ્દ, વિશેષ કરીને ચુંબકીય ક્ષેત્રોના કિસ્સામાં ગેરમાર્ગે દોરનારો છે. વધુ યોગ્ય શબ્દ ક્ષેત્ર રેખા (વિદ્યુત કે ચુંબકીય) છે, જે આપણે આ પુસ્તકમાં અપનાવેલ છે.

આમ, વિદ્યુતક્ષેત્ર રેખાઓ એ વિદ્યુતભારોની ગોઠવણીની આસપાસના વિદ્યુતક્ષેત્રનો ચિત્રાત્મક નકશો બનાવવાની એક રીત છે. વ્યાપકરૂપે, વિદ્યુત ક્ષેત્ર રેખા એ એવી રીતે દોરેલો વક્ર છે કે દરેક બિંદુએ તેનો સ્પર્શક તે બિંદુએ ચોખ્ખા (net-પરિણામી) ક્ષેત્રની દિશામાં હોય. વક્ર પર તીર જરૂરી છે કે જેથી વક્રને

* ઘનકોણ એ શંકુનું માપ છે. આપેલા શંકુનો R ત્રિજ્યાના ગોળા સાથેનો છેદ વિચારો. શંકુનો ઘનકોણ ΔS/R² તરીકે વ્યાખ્યાયિત થાય છે, જ્યાં ΔS એ શંકુ વડે ગોળા પર કાપેલ ક્ષેત્રફળ છે.