भौतिकी

भाग 1

कक्षा 12 के लिए पाठ्यपुस्तक

पंजाब स्कूल शिक्षा बोर्ड

साहिबज़ादा अजीत सिंह नगर

अध्याय 1

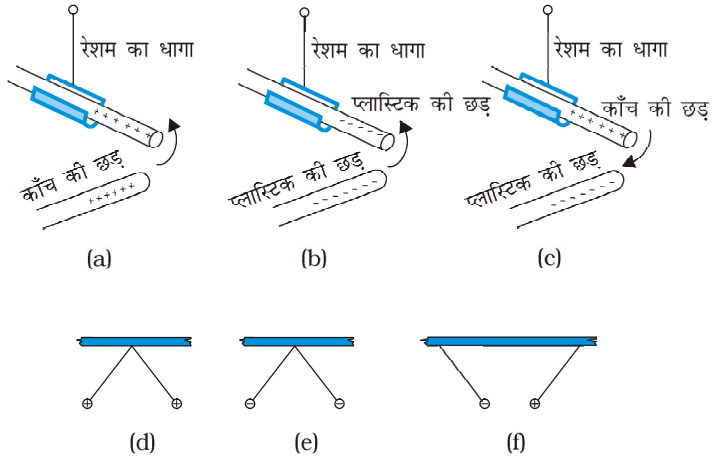
वैद्युत आवेश तथा क्षेत्र

1.1 भूमिका

हम सभी को, विशेषकर शुष्क मौसम में, स्वेटर अथवा संश्लिष्ट वस्त्रों को शरीर से उतारते समय चट-चट की ध्वनि सुनने अथवा चिनगारियाँ देखने का अनुभव होगा। महिलाओं के वस्त्रों जैसे पॉलिएस्टर साड़ी के साथ तो ऐसी घटना होना प्रायः अनिवार्य होता है। क्या आपने कभी इस परिघटना का स्पष्टीकरण खोजने का प्रयास किया है? विद्युत विसर्जन का एक अन्य सामान्य उदाहरण आकाश में गर्जन के समय तड़ित दिखाई देना है। विद्युत झटके के संवेदन का अनुभव हमें उस समय भी होता है जब हम किसी कार का दरवाज़ा खोलते हैं अथवा जब हम अपनी बस की सीट पर खिसकने के पश्चात उसमें लगी लोहे की छड़ को पकड़ते हैं। इन अनुभवों के होने के कारण हमारे शरीर में से होकर उन वैद्युत आवेशों का विसर्जित होना है जो विद्युतरोधी पृष्ठों पर रगड़ के कारण एकत्र हो जाते हैं। आपने यह भी सुना होगा कि यह वैद्युत आवेश (स्थिरवैद्युत) के उत्पन्न होने के कारण है। इस अध्याय तथा अगले अध्याय में भी हम इसी विषय पर चर्चा करेंगे। स्थिर से तात्पर्य है वह सब कुछ जो समय के साथ परिवर्तित अथवा गतिमय नहीं होता। *स्थिरवैद्युतिकी के अंतर्गत हम स्थिर आवेशों द्वारा उत्पन्न बलों, क्षेत्रों तथा विभवों के विषय में अध्ययन करते हैं।*

1.2 वैद्युत आवेश

इतिहास के अनुसार लगभग 600 ई. पूर्व हुई इस तथ्य की खोज का श्रेय, कि ऊन अथवा रेशमी-वस्त्र से रगड़ा गया ऐम्बर हलकी वस्तुओं को आकर्षित करता है, ग्रीस देश के मिलेटस के निवासी थेल्स को जाता है। 'इलेक्ट्रिसिटी' शब्द भी ग्रीस की भाषा के शब्द *इलेक्ट्रॉन* से व्युत्पन्न हुआ है जिसका अर्थ *ऐम्बर* है। उस समय पदार्थों के ऐसे बहुत से युगल ज्ञात थे जो परस्पर रगड़े



चित्र 1.1 छड़ें तथा सरकंडे की गोलियाँ: सजातीय आवेश एक-दूसरे को प्रतिकर्षित तथा विजातीय आवेश एक-दूसरे को आकर्षित करते हैं।

जाने पर भूसे के तिनकों, सरकंडे की गोलियों, कागज़ के छोटे टुकड़ों आदि हलकी वस्तुओं को आकर्षित कर लेते थे। आप इस प्रकार के प्रभाव का अनुभव अपने घर पर निम्नलिखित क्रियाकलाप द्वारा कर सकते हैं। सफ़ेद कागज़ की लंबी पतली पट्टियाँ काटकर उन पर धीरे से इस्तरी कीजिए। इन पट्टियों को टेलीविज़न के पर्दे अथवा कंप्यूटर के मॉनिटर के निकट लाइए। आप देखेंगे कि पट्टियाँ पर्दे की ओर आकर्षित हो जाती हैं। वास्तव में वे कुछ क्षण तक पर्दे से चिपकी रहती हैं।

यह भी प्रेक्षित किया गया कि यदि ऊन अथवा रेशम के कपड़े से रगड़ी हुई दो काँच की छड़ों को एक-दूसरे के निकट लाएँ तो वे एक-दूसरे को प्रतिकर्षित करती हैं [चित्र 1.1(a)]। ऊन की वे लड़ियाँ अथवा रेशम के कपड़े के वे टुकड़े जिनसे इन छड़ों को रगड़ा गया था, वे भी परस्पर एक-दूसरे को प्रतिकर्षित करते हैं परंतु काँच की छड़ तथा ऊन एक-दूसरे को आकर्षित करते हैं। इसी प्रकार, बिल्ली की समूर से रगड़ी हुई दो प्लास्टिक की छड़ें एक-दूसरे को प्रतिकर्षित करती हैं [चित्र 1.1(b)] परंतु समूर को आकर्षित करती हैं। इसके विपरीत, प्लास्टिक की छड़ें काँच की छड़ों को आकर्षित करती हैं [चित्र 1.1(c)] तथा सिल्क अथवा ऊन जिससे काँच की छड़ों को रगड़ा गया था, को प्रतिकर्षित करती हैं। काँच की छड़ समूर को प्रतिकर्षित करती है।

यदि समूर से रगड़ी हुई किसी प्लास्टिक की छड़ को रेशम अथवा नायलॉन के धागों से लटकी हुई दो छोटी सरकंडे की गोलियों (आजकल हम पॉलिएस्टरीन की गोलियाँ भी उपयोग कर सकते हैं) से स्पर्श करा दें, तो ये गोलियाँ एक-दूसरे को प्रतिकर्षित करती हैं [चित्र 1.1(d)] तथा स्वयं छड़ से भी प्रतिकर्षित होती हैं। यही प्रभाव उस समय भी दिखाई देता है जब सरकंडे की गोलियों को रेशम से रगड़ी काँच की छड़ से स्पर्श कराते हैं [चित्र 1.1(e)]। यह एक नाटकीय प्रेक्षण है कि काँच की छड़ से स्पर्श की हुई सरकंडे की गोली दूसरी प्लास्टिक छड़ से स्पर्श की गई सरकंडे की गोली को आकर्षित करती है [चित्र 1.1(f)]।

वर्षों के प्रयास तथा सावधानीपूर्वक किए गए प्रयोगों एवं उनके विश्लेषणों द्वारा सरल प्रतीत होने वाले ये तथ्य स्थापित हो पाए हैं। विभिन्न वैज्ञानिकों द्वारा किए गए बहुत से सावधानीपूर्ण अध्ययनों के पश्चात यह निष्कर्ष निकाला गया है कि एक राशि होती है, जिसे वैद्युत आवेश कहते हैं और यह केवल दो प्रकार के ही हो सकते हैं। वैद्युत आवेश कहलाने वाली राशि के केवल दो प्रकार ही होते हैं। हम कहते हैं कि प्लास्टिक एवं काँच की छड़, रेशम, समूर, सरकंडे की गोलियाँ आदि पिंड विद्युन्मय हो गए हैं। रगड़ने पर ये वैद्युत आवेश अर्जित कर लेते हैं। सरकंडे की गोलियों पर किए गए ये प्रयोग यह सुझाते हैं कि आवेश दो प्रकार के होते हैं तथा हम यह पाते हैं कि (i) *सजातीय आवेश* एक-दूसरे को प्रतिकर्षित तथा (ii) *विजातीय आवेश* एक-दूसरे को आकर्षित करते हैं। ये प्रयोग यह भी प्रदर्शित करते हैं कि स्पर्श करने पर, आवेश छड़ से सरकंडे की गोली में स्थानांतरित हो जाते हैं। यह कहा जाता है कि सरकंडे की गोलियाँ स्पर्श द्वारा विद्युन्मय अथवा आवेशित (आविष्ट) होती हैं। वह गुण जो दो प्रकार के आवेशों में भेद करता है, *आवेश की ध्रुवता* कहलाता है।

जब काँच की छड़ को रेशम से रगड़ते हैं तो छड़ एक प्रकार का आवेश अर्जित करती है तथा रेशम दूसरे प्रकार का आवेश अर्जित करता है। यह उन सभी वस्तुओं के युगल के लिए सत्य है जो विद्युन्मय होने के लिए परस्पर रगड़े जाते हैं। अब यदि विद्युन्मय काँच की छड़ को उस रेशम के संपर्क में लाते हैं जिससे उसे रगड़ा गया था, तो वे अब एक-दूसरे को आकर्षित नहीं करते। ये अब अन्य हलकी वस्तुओं को भी आकर्षित अथवा प्रतिकर्षित नहीं करते जैसा कि ये विद्युन्मय होने पर कर रहे थे।

सरल स्थिर वैद्युतकीय प्रयोगों से संबंधित प्रभावी सजीव चित्रण
http://demoweb.physics.ucla.edu/content/100-simple
electrostatic-experiments
भौतिकी

इस प्रकार, रगड़ने के पश्चात वस्तुओं द्वारा अर्जित आवेश आवेशित वस्तुओं को एक-दूसरे के संपर्क में लाने पर लुप्त हो जाता है। इन प्रेक्षणों से आप क्या निष्कर्ष निकाल सकते हैं? यह तो केवल इतना बताता है कि वस्तुओं द्वारा अर्जित विजातीय आवेश एक-दूसरे के प्रभाव को निष्फल कर देते हैं। इसीलिए अमेरिकी वैज्ञानिक बेंजामिन फ्रेंकलिन ने आवेशों को धनात्मक तथा ऋणात्मक कहा। हम जानते हैं कि जब हम किसी धनात्मक संख्या को उसी परिमाण की ऋणात्मक संख्या से जोड़ते हैं तो योगफल शून्य होता है। आवेशों को धनात्मक तथा ऋणात्मक नाम देने के पीछे भी यही तर्क रहा होगा। परिपाटी के अनुसार काँच की छड़ अथवा बिल्ली के समूर पर आवेश धनात्मक कहलाता है तथा प्लास्टिक-छड़ अथवा रेशम पर आवेश ऋणात्मक कहलाता है। जब किसी वस्तु पर कोई आवेश होता है तो वह वस्तु *विद्युन्मय* अथवा *आवेशित* (आविष्ट) कही जाती है। जब उस पर कोई आवेश नहीं होता तब उसे *अनावेशित* कहते हैं।

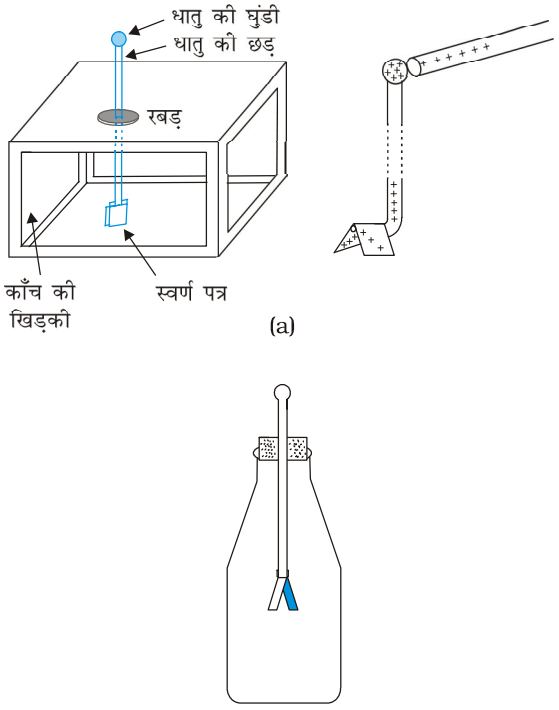
विद्युत तथा चुंबकत्व का एकीकरण

प्राचीन काल में विद्युत तथा चुंबकत्व पृथक विषय समझे जाते थे। विद्युत के अंतर्गत काँच की छड़ों, बिल्ली के समूर, बैटरी, तड़ित आदि के आवेशों पर चर्चा होती थी जबकि चुंबकत्व के अंतर्गत चुंबकों, लौह-छीलन, चुंबकीय सुई आदि में अन्योन्य क्रिया का वर्णन किया जाता था। सन 1820 ई. में डेनमार्क के वैज्ञानिक ऑर्स्टेड ने यह पाया कि चुंबकीय सुई के निकट रखे तार से विद्युत धारा प्रवाहित करने पर सुई विक्षेपित हो जाती है। ऐम्पियर तथा फैराडे ने इस प्रेक्षण का यह कहकर पोषण किया कि गतिशील आवेश चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न करते हैं तथा गतिशील चुंबक विद्युत धारा उत्पन्न करते हैं। विद्युत तथा चुंबकत्व में एकीकरण तब स्थापित हुआ जब स्कॉटलैंड के भौतिकविद मैक्सवेल तथा हॉलैंड के भौतिकविद लोरेंज ने एक सिद्धांत प्रतिपादित किया जिसमें उन्होंने यह दर्शाया कि ये दोनों विषय एक-दूसरे पर निर्भर हैं। इस क्षेत्र को *वैद्युतचुंबकत्व* कहते हैं। हमारे चारों ओर की अधिकांश परिघटनाओं की व्याख्या वैद्युतचुंबकत्व के अंतर्गत की जा सकती है। वस्तुतः वे सभी बल जिनके विषय में हम विचार करते हैं, जैसे घर्षण पदार्थ को संयोजित रखने के लिए उनके परमाणुओं के बीच लगने वाला रासायनिक बल यहाँ तक कि सजीवों की कोशिकाओं में होने वाली प्रक्रियाओं की व्याख्या करने वाले बलों का उद्भव भी वैद्युतचुंबकीय बलों से हुआ है। वैद्युतचुंबकीय बल प्रकृति के मूल बलों में से एक है।

मैक्सवेल ने चार समीकरण प्रस्तुत किए जिनकी क्लासिकल वैद्युतचुंबकत्व में वही भूमिका है, जो यांत्रिकी में न्यूटन की गति की समीकरणों तथा गुरुत्वाकर्षण नियम की है। उन्होंने यह भी प्रमाणित किया कि प्रकाश की प्रकृति वैद्युतचुंबकीय है तथा इसकी चाल केवल विद्युत तथा चुंबकीय मापों द्वारा प्राप्त की जा सकती है। उन्होंने यह भी दावा किया कि प्रकाशिकी के विज्ञान तथा विद्युत एवं चुंबकत्व में प्रगाढ़ संबंध है।

विद्युत एवं चुंबकत्व का विज्ञान आधुनिक प्रौद्योगिक सभ्यता की नींव है। विद्युत शक्ति, दूरसंचार, रेडियो और टेलीविज़न तथा दैनिक जीवन में उपयोग होने वाली विस्तृत प्रकार की प्रायोगिक युक्तियाँ इसी विज्ञान के सिद्धांतों पर आधारित हैं। यद्यपि गतिशील आवेशित कण विद्युत तथा चुंबकीय दोनों बल आरोपित करते हैं, परंतु ऐसे निर्देश फ्रेम जिसमें सभी आवेश विराम में हों, आरोपित बल केवल विद्युत बल होते हैं। आप जानते हैं कि गुरुत्वाकर्षण बल दीर्घ-परासी बल है। इसका प्रभाव वहाँ भी अनुभव किया जाता है, जहाँ अन्योन्य क्रिया करने वाले कणों के बीच की दूरी अत्यधिक होती है क्योंकि यह बल अन्योन्य क्रिया करने वाले पिंडों के बीच की दूरी के वर्ग के व्युत्क्रमानुसार घटता है। इस अध्याय के अंतर्गत हम यह सीखेंगे कि विद्युत बल भी उतना ही व्यापक है तथा वास्तव में गुरुत्वाकर्षण बल की तुलना में परिमाण की कोटि कई गुना प्रबल है (भौतिकी पाठ्यपुस्तक कक्षा 11 का अध्याय 1 देखिए)।

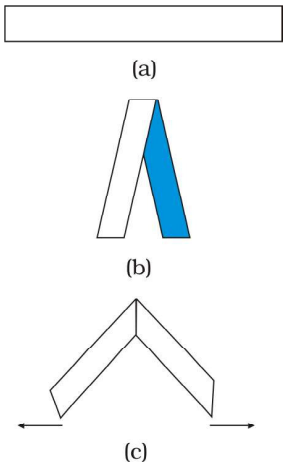
आवेशों की उपस्थिति के संसूचन के लिए एक सरल उपकरण *स्वर्ण पत्र विद्युतदर्शी* है [चित्र 1.2 (a)]। इसमें एक बॉक्स में धातु की एक छड़ ऊर्ध्वाधरतः लगी होती है जिसके निचले सिरे पर सोने के वर्क की दो पट्टियाँ बँधी होती हैं। जब कोई आवेशित वस्तु छड़ के ऊपरी सिरे को छूती है तो छड़ में होता हुआ आवेश सोने के वर्कों पर आ जाता है और वे एक-दूसरे से दूर हट जाते हैं। आवेश जितना अधिक होता है, वर्कों के निचले सिरों के बीच उतनी ही अधिक दूरी हो जाती है।



चित्र 1.2 विद्युतदर्शी (a) स्वर्ण पत्र विद्युतदर्शी (b) सरल विद्युतदर्शी की रूपरेखा।

विद्यार्थी नीचे बताए अनुसार सरल विद्युतदर्शी बना सकते हैं [चित्र 1.2(b)]। परदे लटकाने वाली ऐलुमिनियम की ऐसी बारीक छड़ लीजिए जिसके दोनों सिरों पर गोले जुड़े हों। इसका लगभग 20 cm लंबा एक टुकड़ा इस प्रकार काटिए जिससे छड़ का एक सिरा चपटा तथा दूसरा सिरा गोले वाला बन जाए। एक इतनी बड़ी बोतल लीजिए जिसके मुँह पर कॉर्क लगाकर उस कॉर्क में छेद करके चित्र में दर्शाए अनुसार इस छड़ को फिट किया जा सके। छड़ का गोले वाला सिरा बोतल के बाहर तथा कटा सिरा बोतल के भीतर रखना चाहिए। लंबा पतला ऐलुमिनियम पत्र (लगभग 6 cm) लेकर इसे बीच में मोड़िए और इसे छड़ के चपटे सिरे पर सेल्युलोस-टेप के साथ जोड़ दीजिए। इस प्रकार आपके विद्युतदर्शी के पत्र बन जाते हैं। अब कॉर्क को बोतल में इस प्रकार फिट करिए कि छड़ का गोले वाला सिरा कॉर्क से लगभग 5 cm बाहर निकला रहे। बोतल के भीतर एक कागज़ का पैमाना पहले से ही पत्रों की पृथकता को मापने के लिए लगाया जा सकता है। पत्रों की पृथकता विद्युतदर्शी पर आवेश की मात्रा की एक माप होती है।

यह समझने के लिए कि विद्युतदर्शी किस प्रकार कार्य करता है सफ़ेद कागज़ की वह पट्टियाँ लीजिए जिनका उपयोग हमने आवेशित वस्तुओं द्वारा आकर्षण देखने के लिए किया था। पट्टी को आधा मोड़िए ताकि पट्टी पर मोड़ का निशान बन जाए। पट्टी को खोलिए तथा इस पर चित्र 1.3 में दर्शाए अनुसार, पर्वतीय मोड़ बनाकर हलकी इस्तरी कीजिए। इसे मोड़ पर चुटकी भरकर पकड़िए। आप यह पाएँगे कि दोनों अर्धभाग एक-दूसरे से दूर जाते हैं। यह दर्शाता है कि इस्तरी करने पर पट्टी आवेश अर्जित कर लेती है। जब आप पट्टी को आधा मोड़ते हैं तो दोनों अर्धभागों पर सजातीय आवेश होता है, अत: वे एक-दूसरे को प्रतिकर्षित करते हैं। पत्र विद्युतदर्शी में भी यही प्रभाव दिखाई देता है। परदे की छड़ के गोले को विद्युन्मय वस्तु से स्पर्श कराने पर परदे की छड़ पर आवेश स्थानांतरित होकर उसके दूसरे सिरे पर जुड़े ऐलुमिनियम पत्रों पर पहुँच जाता है। पत्र के दोनों अर्धभाग सजातीय आवेश अर्जित करने के कारण एक-दूसरे को प्रतिकर्षित करते हैं। पत्रों की अपसारिता द्वारा उन पर आवेश की मात्रा सुनिश्चित की जाती है। आइए, अब पहले यह समझें कि द्रव्य से बनी वस्तुएँ क्यों आवेश को अर्जित करती हैं।



चित्र 1.3 कागज़-पट्टी प्रयोग।

सभी पदार्थ परमाणुओं और/अथवा अणुओं से बने हैं। यद्यपि वस्तुएँ सामान्यत: वैद्युत उदासीन होती हैं, उनमें आवेश तो होते हैं परंतु उनके ये आवेश ठीक-ठीक संतुलित होते हैं। अणुओं को सँभालने वाला रासायनिक बल, ठोसों में परमाणुओं को एकसाथ थामे रखने वाले बल, गोंद का आसंजक बल, पृष्ठ तनाव से संबद्ध बल–इन सभी बलों की मूल प्रकृति *वैद्युतीय* है, और ये आवेशित कणों के बीच लगने वाले विद्युत बलों से उत्पन्न होते हैं। इस प्रकार, वैद्युतचुंबकीय बल सर्वव्यापी है और यह हमारे जीवन से संबद्ध प्रत्येक क्षेत्र में सम्मिलित है। अत: यह आवश्यक है कि हम इस प्रकार के बल के विषय में अधिक जानकारी प्राप्त करें।

किसी उदासीन वस्तु को आवेशित करने के लिए हमें उससे एक प्रकार के आवेश को जोड़ने अथवा हटाने की आवश्यकता होती है। जब हम यह कहते हैं कि कोई वस्तु आवेशित है तो हम सदैव ही इस आवेश के आधिक्य अथवा अभाव का उल्लेख करते हैं। ठोसों में कुछ इलेक्ट्रॉन परमाणु में कम कसकर आबद्ध होने के कारण, वे आवेश होते हैं जो एक वस्तु से दूसरी वस्तु में स्थानांतरित हो जाते हैं। इस प्रकार कोई वस्तु अपने कुछ इलेक्ट्रॉन खोकर धनावेशित हो सकती है। इसी प्रकार किसी वस्तु को इलेक्ट्रॉन देकर ऋणावेशित भी बनाया जा सकता है। जब हम काँच की छड़ को

रेशम से रगड़ते हैं तो छड़ के कुछ इलेक्ट्रॉन रेशम के कपड़े में स्थानांतरित हो जाते हैं। इस प्रकार छड़ धनावेशित तथा रेशम ऋणावेशित हो जाता है। रगड़ने की प्रक्रिया में कोई नया आवेश उत्पन्न नहीं होता। साथ ही स्थानांतरित होने वाले इलेक्ट्रॉनों की संख्या वस्तु में उपस्थित इलेक्ट्रॉनों की संख्या की तुलना में एक बहुत छोटा अंश होती है। और केवल वस्तु के कम कसकर आबद्ध इलेक्ट्रॉन ही रगड़कर एक वस्तु से दूसरी वस्तु में स्थानांतरित किए जा सकते हैं। इसीलिए, जब किसी वस्तु को किसी अन्य वस्तु से रगड़ा जाता है, तो वस्तुएँ आवेशित हो जाती हैं और यही कारण है कि रगड़ द्वारा वस्तुओं पर आए आवेश को दर्शाने के लिए हमें पदार्थों के कुछ निश्चित युगलों तक ही अटके रहना पड़ता है।

1.3 चालक तथा विद्युतरोधी

हाथ में पकड़ी धातु की छड़ ऊन से रगड़े जाने पर आवेशित होने का कोई संकेत नहीं दर्शाती। परंतु, यदि धातु की छड़ पर लकड़ी अथवा प्लास्टिक का हैंडिल लगा है और उसके धातु के भाग को स्पर्श नहीं किया गया है, तो वह आवेशित होने का संकेत दे देती है। मान लीजिए हम किसी ताँबे के तार के एक सिरे को उदासीन सरकंडे की गोली से जोड़ देते हैं तथा दूसरे सिरे को ऋणावेशित प्लास्टिक-छड़ से जोड़ देते हैं तो हम यह पाते हैं कि सरकंडे की गोली ऋणावेशित हो जाती है। यदि इसी प्रयोग को नॉयलोन के धागे अथवा रबर के छल्ले के साथ दोहराएँ तो प्लास्टिक-छड़ से सरकंडे की गोली में कोई आवेश स्थानांतरित नहीं होता। छड़ से गोली में आवेश के स्थानांतरित न होने का क्या कारण है?

कुछ पदार्थ तुरंत ही अपने में से होकर विद्युत को प्रवाहित होने देते हैं जबकि कुछ अन्य ऐसा नहीं करते। जो पदार्थ आसानी से अपने में से होकर विद्युत को प्रवाहित होने देते हैं उन्हें *चालक* कहते हैं। उनमें ऐसे वैद्युत आवेश (इलेक्ट्रॉन) होते हैं जो पदार्थ के भीतर गति के लिए अपेक्षाकृत स्वतंत्र होते हैं। धातुएँ, मानव तथा जंतु शरीर और पृथ्वी चालक हैं। काँच, पॉर्सेलेन, प्लास्टिक, नॉयलोन, लकड़ी जैसी अधिकांश अधातुएँ अपने से होकर प्रवाहित होने वाली विद्युत पर उच्च प्रतिरोध लगाती हैं। इन्हें *विद्युतरोधी* कहते हैं। अधिकांश पदार्थ ऊपर वर्णित इन दो वर्गों में से किसी एक में आते हैं।*

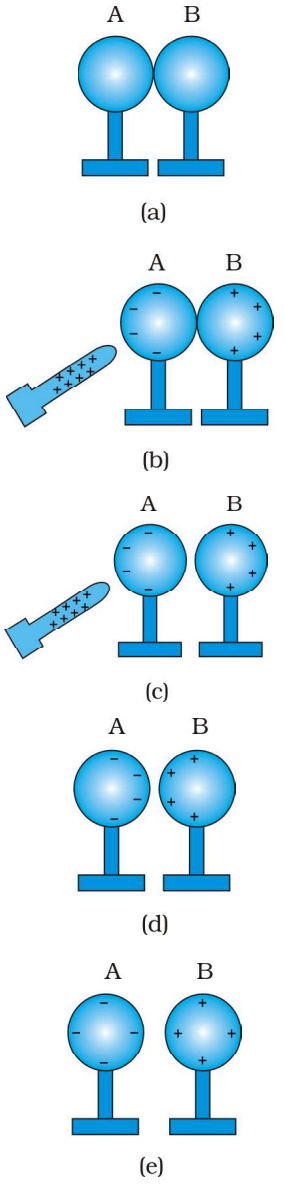
जब कुछ आवेश किसी चालक पर स्थानांतरित होता है तो वह तुरंत ही उस चालक के समस्त पृष्ठ पर फैल जाता है। इसके विपरीत यदि कुछ आवेश किसी विद्युतरोधी को दें तो वह वहीं पर रहता है। ऐसा क्यों होता है, यह आप अगले अध्याय में सीखेंगे।

पदार्थों का यह गुण हमें बताता है कि सूखे बालों में कंघी करने अथवा रगड़ने पर नॉयलोन या प्लास्टिक की कंघी क्यों आवेशित हो जाती है, परंतु धातु की वस्तुएँ जैसे चम्मच आवेशित क्यों नहीं होती? धातुओं से आवेश का क्षरण हमारे शरीर से होकर धरती में हो जाता है, ऐसा होने का कारण यह है कि धातु तथा हमारा शरीर दोनों ही विद्युत के अच्छे चालक हैं।

जब हम किसी आवेशित वस्तु को पृथ्वी के संपर्क में लाते हैं तो उसका अतिरिक्त आवेश जोड़ने वाले चालक (जैसे हमारा शरीर) में से होते हुए क्षणिक विद्युत धारा उत्पन्न करके भूमि में चला जाता है। आवेशों के भूमि के साथ बंटन की इस प्रक्रिया को *भूसंपर्कण* (भूसंपर्कित करना) कहते हैं। भूसंपर्कण विद्युत परिपथों एवं अनुप्रयुक्तियों की सुरक्षा के लिए की गई एक व्यवस्था है। धातु की एक मोटी प्लेट को भूमि में गहराई तक गाड़ा जाता है तथा इस प्लेट से मोटे तारों को निकालकर भवनों में इन तारों का उपयोग मुख्य आपूर्ति के निकट भूसंपर्कण के लिए किया जाता

* एक तीसरी श्रेणी जिसे *अर्धचालक* कहते हैं, आवेशों की गति में अवरोध उत्पन्न करती है। इस अवरोध का परिमाण चालकों तथा विद्युतरोधियों के मध्यवर्ती होता है।

है। हमारे घरों में विद्युत की आपूर्ति के लिए तीन तार उपयोग किए जाते हैं : विद्युन्मय तार, उदासीन तार तथा भूसंपर्क तार। इनमें से पहले दो तार विद्युत धारा को शक्ति स्टेशन से युक्तियों तक ले जाते हैं तथा तीसरा तार भूमि में गड़ी धातु की प्लेट से जोड़ा जाता है। विद्युत अनुप्रयुक्तियों; जैसे – विद्युत इस्तरी, रेफ्रिजरेटर, टेलीविज़न के धातु के आवरण भूसंपर्क तार से जुड़े होते हैं। परिपथ में कोई त्रुटि होने पर अथवा विद्युन्मय तार का धातु के आवरण से स्पर्श होने पर आवेश भूमि में प्रवाहित हो जाता है। इन अनुप्रयुक्तियों को कोई हानि नहीं होती तथा मनुष्यों को कोई क्षति भी नहीं होती; यदि भूसंपर्क तार न हो तो क्षति पहुँचना/दुर्घटना होना अपरिहार्य हो जाएगा, क्योंकि मानव शरीर विद्युत का अच्छा चालक है।



चित्र 1.4 दो गोलों के साथ प्रेरण द्वारा आवेशन।

1.4 प्रेरण द्वारा आवेशन

जब हम किसी सरकंडे की गोली से किसी आवेशित प्लास्टिक-छड़ को स्पर्श कराते हैं तो छड़ का कुछ आवेश सरकंडे की गोली पर स्थानांतरित हो जाता है और वह आवेशित हो जाती है। इस प्रकार सरकंडे की गोली संपर्क द्वारा आवेशित होती है। तब यह प्लास्टिक-छड़ से प्रतिकर्षित होती है तथा काँच की छड़ जो विजातीय आवेशित है, की ओर आकर्षित होती है। परंतु, कोई विद्युन्मय छड़ हलकी वस्तुओं को क्यों आकर्षित करती है, इस प्रश्न का उत्तर अभी भी नहीं मिल पाया है। आइए, हम यह समझने का प्रयास करें कि निम्नलिखित प्रयोग को करने पर क्या हो सकता है।

(i) विद्युतरोधी स्टैंडों पर रखे दो धातु के गोलों A एवं B को चित्र 1.4 (a) में दर्शाए अनुसार एक दूसरे के संपर्क में लाइए।

(ii) एक धनावेशित छड़ इन गोलों में किसी एक (माना A) के निकट लाइए तथा यह सावधानी बरतिए कि छड़ गोले से स्पर्श न करे। गोले के मुक्त इलेक्ट्रॉन छड़ की ओर आकर्षित होते हैं। गोले B के पिछले पृष्ठ पर धनावेश का आधिक्य हो जाता है। दोनों प्रकार के आवेश धातु के गोलों में आबद्ध रहते हैं, पलायन नहीं कर पाते। अतः वे पृष्ठों पर ही चित्र 1.4(b) में दर्शाए अनुसार रहते हैं। गोले A के बाएँ पृष्ठ पर ऋणावेश का आधिक्य तथा गोले के दाएँ पृष्ठ पर धनात्मक आवेश का आधिक्य होता है। तथापि गोले के सारे इलेक्ट्रॉन गोले A के बाएँ पृष्ठ पर संचित नहीं होते। जैसे ही गोले A के बाएँ पृष्ठ पर इलेक्ट्रॉन एकत्र होने शुरू होते हैं अन्य इलेक्ट्रॉन इनके द्वारा प्रतिकर्षित हो जाते हैं। कुछ ही क्षण में छड़ के आकर्षण के कारण क्रिया तथा संचित आवेशों के कारण प्रतिकर्षण के बीच साम्य स्थापित हो जाता है। चित्र 1.4(b) साम्यावस्था को दर्शाता है। इस प्रक्रिया को *आवेश का प्रेरण* कहते हैं तथा यह लगभग तात्कालिक है। जब तक काँच की छड़ गोले के निकट रहती है तब तक चित्र में दर्शाए अनुसार संचित आवेश पृष्ठ पर रहता है। यदि छड़ को हटा लेते हैं तो आवेशों पर कोई बाह्य बल कार्य नहीं करता तथा वे अपनी उदासीन अवस्था में वापस लौट जाते हैं।

(iii) चित्र 1.4(c) में दर्शाए अनुसार काँच की छड़ को बाएँ गोले के निकट रखते हुए दोनों गोलों को एक-दूसरे से कुछ पृथक कीजिए। ऐसा करने पर दोनों गोले विजातीय आवेशों द्वारा आवेशित होकर एक-दूसरे को आकर्षित करते हैं।

(iv) छड़ को हटा लीजिए। गोलों पर आवेश चित्र 1.4(d) में दर्शाए अनुसार स्वयं को पुनर्व्यवस्थित कर लेते हैं। अब दोनों गोलों के बीच पृथकन अधिक कीजिए। ऐसा करने पर चित्र 1.4(e) में दर्शाए अनुसार आवेश गोलों पर एकसमान रूप से वितरित हो जाता है।

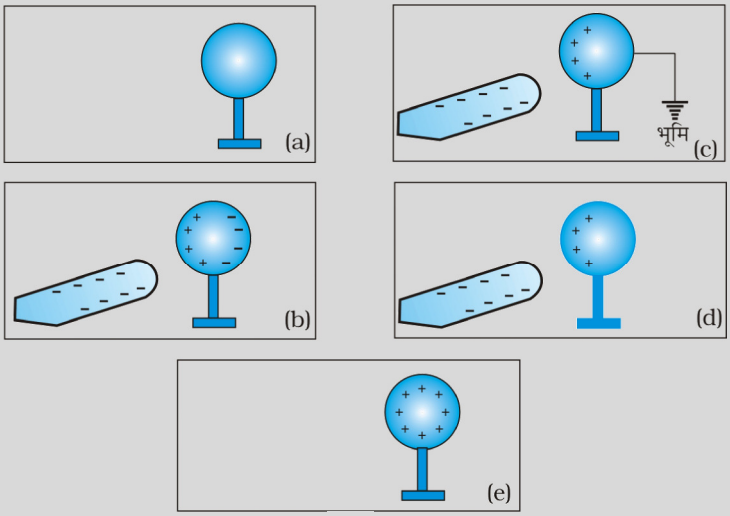
इस प्रक्रिया में धातु के गोले आवेशित हो जाते हैं। धनावेशित काँच की छड़ के आवेश की कोई क्षति नहीं होती, जो संपर्क द्वारा आवेशित करने की प्रक्रिया के विपरीत है।

जब किसी विद्युन्मय छड़ को हलकी वस्तुओं के निकट लाते हैं तो यही प्रभाव होता है। छड़ वस्तुओं के पास वाले पृष्ठ पर विजातीय आवेश प्रेरित करती है तथा सजातीय आवेश वस्तुओं के

दूर वाले भाग पर पहुँच जाता है [ऐसा तब भी होता है जब हलकी वस्तु चालक नहीं होती। यह प्रक्रिया किस प्रकार होती है इसका स्पष्टीकरण बाद में अनुच्छेद 1.10 तथा 2.10 में किया गया है]। दोनों प्रकार के आवेशों के केंद्रों में कुछ पृथकन होता है। हम जानते हैं कि सजातीय आवेशों में प्रतिकर्षण तथा विजातीय आवेशों में आकर्षण होता है। तथापि, बल का परिमाण आवेशों के बीच दूरी पर निर्भर करने के कारण आकर्षण बल प्रतिकर्षण बल की तुलना में अधिक होता है। फलस्वरूप कागज़ के टुकड़े, सरकंडे की गोली आदि हलके होने के कारण छड़ की ओर खिंच आते हैं।

उदाहरण 1.1 आप किसी धातु के गोले को स्पर्श किए बिना कैसे धनावेशित कर सकते हैं?

हल चित्र 1.5(a) में किसी विद्युतरोधी धातु के स्टैंड पर कोई अनावेशित धातु का गोला रखा दर्शाया गया है। चित्र 1.5(b) में दर्शाए अनुसार इस गोले के निकट कोई ऋणावेशित छड़ लाइए। गोले के मुक्त इलेक्ट्रॉन प्रतिकर्षण के कारण दूर जाकर दूरस्थ सिरे पर एकत्र हो जाते हैं। पास का सिरा इलेक्ट्रॉनों की कमी के कारण धनावेशित हो जाता है। जब गोले की धातु के मुक्त इलेक्ट्रॉनों पर लगने वाला नेट बल शून्य हो जाता है तो आवेशों के वितरण की यह प्रक्रिया बंद हो जाती है। किसी चालक तार द्वारा गोले को भूसंपर्कित कीजिए। इलेक्ट्रॉन भूमि में प्रवाहित हो जाएँगे जबकि पास के सिरे का धनावेश, छड़ के ऋणावेश के आकर्षण बल के कारण चित्र 1.5(c) में दर्शाए अनुसार बद्ध रहेगा। गोले का भूसंपर्क तोड़ दीजिए। पास के सिरे पर धनावेश की बद्धता बनी रहती है [चित्र 1.5(d)]। विद्युन्मय छड़ को हटा लीजिए। चित्र 1.5(e) में दर्शाए अनुसार धनावेश गोले के पृष्ठ पर एकसमान रूप से फैल जाता है।



चित्र 1.5

इस प्रयोग में धातु का गोला प्रेरण की प्रक्रिया द्वारा आवेशित हो जाता है तथा छड़ अपना कोई आवेश नहीं खोती।

प्रेरण द्वारा धातु के गोले को ऋणावेशित करने की प्रक्रिया के भी ये ही चरण होते हैं, इसमें धनावेशित छड़ गोले के समीप लाई जाती है। इस प्रकरण में इलेक्ट्रॉन भूमि से गोले में उस समय स्थानांतरित (प्रवाहित) होते हैं जब तार द्वारा गोले को भूसंपर्कित किया जाता है। क्या आप इसका कारण स्पष्ट कर सकते हैं?

उदाहरण 1.1

भौतिकी

प्रेरण द्वारा दो गोलों के निकाय के आवेशन संबंधी प्रभावी सजीव चित्रण

http://www.physicsclassroom.com/mmedia/estatics/estatic/itsn.cfm

1.5 वैद्युत आवेश के मूल गुण

हमने यह देखा है कि दो प्रकार के आवेश होते हैं– धनावेश तथा ऋणावेश तथा इनमें एक-दूसरे के प्रभाव को निरस्त करने की प्रवृत्ति होती है। अब, हम यहाँ वैद्युत आवेश के अन्य गुणों का वर्णन करेंगे।

यदि आवेशित वस्तुओं का साइज़ उनके बीच की दूरी की तुलना में बहुत कम होता है तो हम उन्हें बिंदु आवेश मानते हैं। यह मान लिया जाता है कि वस्तु का संपूर्ण आवेश आकाश में एक बिंदु पर संकेंद्रित है।

1.5.1 आवेशों की योज्यता

अब तक हमने आवेश की परिमाणात्मक परिभाषा नहीं दी है; इसे हम अगले अनुभाग में समझेंगे। अंतरिम रूप में हम यह मानेंगे कि ऐसा किया जा सकता है और फिर आगे बढ़ेंगे। यदि किसी निकाय में दो बिंदु आवेश q_1 तथा q_2 हैं तो निकाय का कुल आवेश q_1 तथा q_2 को बीजगणितीय रीति से जोड़ने पर प्राप्त होता है, अर्थात आवेशों को वास्तविक संख्याओं की भाँति जोड़ा जा सकता है अथवा आवेश द्रव्यमान की भाँति अदिश राशि है। यदि किसी निकाय में n आवेश $q_1, q_2, q_3 \ldots q_n$, हैं तो निकाय का कुल आवेश $q_1 + q_2 + q_3 + ..+ q_n$ है। आवेश का द्रव्यमान की भाँति ही परिमाण होता है दिशा नहीं होती। तथापि आवेश तथा द्रव्यमान में एक अंतर है। किसी वस्तु का द्रव्यमान सदैव धनात्मक होता है जबकि कोई आवेश या तो धनात्मक हो सकता है अथवा ऋणात्मक। किसी निकाय के आवेश का योग करते समय उसके उपयुक्त चिह्न का उपयोग करना होता है। उदाहरणार्थ, किसी निकाय में किसी यादृच्छिक मात्रक में मापे गए पाँच आवेश +1, +2, –3, +4 तथा –5 हैं, तब उसी मात्रक में निकाय का कुल आवेश = (+1) + (+2) + (–3) + (+4) + (–5) = –1 है।

1.5.2 वैद्युत आवेश संरक्षित है

हम इस तथ्य की ओर पहले ही संकेत दे चुके हैं कि जब वस्तुएँ रगड़ने पर आवेशित होती हैं तो एक वस्तु से दूसरी वस्तु में इलेक्ट्रॉनों का स्थानांतरण होता है, कोई नया आवेश उत्पन्न नहीं होता है, और न ही आवेश नष्ट होता है। वैद्युत आवेशयुक्त कणों को दृष्टि में लाएँ तो हमें आवेश के संरक्षण की धारणा समझ में आएगी। जब हम दो वस्तुओं को परस्पर रगड़ते हैं तो एक वस्तु जितना आवेश प्राप्त करती है, दूसरी वस्तु उतना आवेश खोती है। बहुत सी आवेशित वस्तुओं के किसी वियुक्त निकाय के भीतर, वस्तुओं में अन्योन्य क्रिया के कारण, आवेश पुनः वितरित हो सकते हैं, परंतु यह पाया गया है कि *वियुक्त निकाय का कुल आवेश सदैव संरक्षित रहता है।* आवेश-संरक्षण को प्रायोगिक रूप से स्थापित किया जा चुका है।

यद्यपि किसी प्रक्रिया में आवेशवाही कण उत्पन्न अथवा नष्ट किए जा सकते हैं, परंतु किसी वियुक्त निकाय के नेट आवेश को उत्पन्न करना अथवा नष्ट करना संभव नहीं है। कभी-कभी प्रकृति आवेशित कण उत्पन्न करती है : कोई न्यूट्रॉन एक प्रोटॉन तथा एक इलेक्ट्रॉन में रूपांतरित हो जाता है। इस प्रकार उत्पन्न प्रोटॉन तथा इलेक्ट्रॉन पर, परिमाण में समान एवं विजातीय (विपरीत) आवेश उत्पन्न होते हैं तथा इस रचना से पूर्व और रचना के पश्चात का कुल आवेश शून्य रहता है।

1.5.3 वैद्युत आवेश का क्वांटमीकरण

प्रायोगिक रूप से यह स्थापित किया गया है कि सभी मुक्त आवेश परिमाण में आवेश की मूल इकाई, जिसे e द्वारा दर्शाया जाता है, के पूर्णांकी गुणज हैं। इस प्रकार, किसी वस्तु के आवेश q को सदैव इस प्रकार दर्शाया जाता है –

$q = ne$

यहाँ n कोई धनात्मक अथवा ऋणात्मक पूर्णांक है। आवेश की यह मूल इकाई इलेक्ट्रॉन अथवा प्रोटॉन के आवेश का परिमाण है। परिपाटी के अनुसार, इलेक्ट्रॉन के आवेश को ऋणात्मक मानते हैं; इसीलिए किसी इलेक्ट्रॉन पर आवेश $-e$ तथा प्रोटॉन पर आवेश $+e$ द्वारा व्यक्त करते हैं।

वैद्युत आवेश सदैव e का पूर्णांक गुणज होता है। इस तथ्य को *आवेश का क्वांटमीकरण* कहते हैं। भौतिकी में ऐसी बहुत सी अवस्थितियाँ हैं जहाँ कुछ भौतिक राशियाँ क्वांटीकृत हैं। आवेश के क्वांटमीकरण का सुझाव सर्वप्रथम अंग्रेज़ प्रयोगकर्ता फैराडे द्वारा खोजे गए विद्युत अपघटन के प्रायोगिक नियमों से प्राप्त हुआ था। सन् 1912 में मिलिकन ने इसे वास्तव में प्रायोगिक रूप से निदर्शित किया था।

मात्रकों की अंतर्राष्ट्रीय प्रणाली (SI) में आवेश का मात्रक *कूलॉम* है, जिसका प्रतीक C है। एक कूलॉम को विद्युत धारा के मात्रक के पदों में परिभाषित किया जाता है जिसके विषय में आप अगले अध्याय में सीखेंगे। इस परिभाषा के अनुसार, एक कूलॉम वह आवेश है जो किसी तार में 1 A (ऐम्पियर) धारा 1 सेकंड तक प्रवाहित करता है [भौतिकी की पाठ्यपुस्तक कक्षा 11, भाग 1 का अध्याय 2 देखिए]। इस प्रणाली में, आवेश की मूल इकाई

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

इस प्रकार, –1C आवेश में लगभग 6×10^{18} इलेक्ट्रॉन होते हैं। स्थिरवैद्युतिकी में इतने विशाल परिमाण के आवेशों से यदा-कदा ही सामना होता है और इसीलिए हम इसके छोटे मात्रकों 1 μC (माइक्रोकूलॉम) = 10^{-6} C अथवा 1 mC (मिलीकूलॉम) = 10^{-3} C का उपयोग करते हैं।

यदि केवल इलेक्ट्रॉन तथा प्रोटॉन ही विश्व में आवेश के मूल मात्रक हैं तो सभी प्रेक्षित आवेशों को e का पूर्णांक गुणज होना चाहिए। इस प्रकार यदि किसी वस्तु में n_1 इलेक्ट्रॉन तथा n_2 प्रोटॉन हैं तो उस वस्तु पर कुल *आवेश* $n_2 \times e + n_1 \times (-e) = (n_2 - n_1)\, e$ है। चूँकि n_1 तथा n_2 पूर्णांक हैं, इनका अंतर भी एक पूर्णांक है। अत: किसी वस्तु पर आवेश सदैव e का पूर्णांक गुणज होता है जिसे e के चरणों में ही घटाया अथवा बढ़ाया जा सकता है।

किंतु, मूल मात्रक e का साइज़ बहुत छोटा होता है और स्थूल स्तर पर हम कुछ μC के आवेशों को व्यवहार में लाते हैं, इस पैमाने पर यह तथ्य दृष्टिगोचर नहीं होता कि किसी वस्तु का आवेश e के मात्रकों में घट अथवा बढ़ सकता है। आवेश की कणिकीय प्रकृति लुप्त हो जाती है और यह सतत प्रतीत होता है।

इस स्थिति की तुलना बिंदु तथा रेखा की ज्यामितीय परिकल्पनाओं से की जा सकती है। दूर से देखने पर कोई बिंदुकित रेखा हमें सतत प्रतीत होती है परंतु वह वास्तव में सतत नहीं होती। जिस प्रकार एक-दूसरे के अत्यधिक निकट के बहुत से बिंदु हमें सतत रेखा का आभास देते हैं, उसी प्रकार एक साथ लेने पर बहुत से छोटे आवेशों का संकलन भी सतत आवेश वितरण जैसा दिखाई देता है।

स्थूल स्तर पर हम ऐसे आवेशों से व्यवहार करते हैं जो इलेक्ट्रॉन e के आवेश की तुलना में परिमाण में अत्यधिक विशाल होते हैं। चूँकि $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C, परिमाण में 1μC आवेश में एक इलेक्ट्रॉन के आवेश का लगभग 10^{13} गुना आवेश होता है। इस पैमाने पर, यह तथ्य कि किसी वस्तु में आवेश की कमी अथवा वृद्धि केवल e के मात्रकों में ही हो सकती है, इस कथन से सर्वथा भिन्न नहीं है कि आवेश सतत मान ग्रहण कर सकता है। इस प्रकार, स्थूल स्तर पर आवेश के क्वांटीकरण का कोई व्यावहारिक महत्त्व नहीं है तथा इसकी उपेक्षा की जा सकती है। सूक्ष्म स्तर पर जहाँ आवेश के परिमाण e के कुछ दशक अथवा कुछ शतक कोटि के होते हैं अर्थात जिनकी गणना की जा

सकती है, वहाँ पर आवेश विविक्त प्रतीत होते हैं तथा आवेश के क्वांटमीकरण की उपेक्षा नहीं की जा सकती। अत: यह जानना बहुत महत्वपूर्ण है कि किस परिमाण के आवेश की बात हो रही है।

उदाहरण 1.2

उदाहरण 1.2 यदि किसी पिंड से एक सेकंड में 10^9 इलेक्ट्रॉन किसी अन्य पिंड में स्थानांतरित होते हैं तो 1C आवेश के स्थानांतरण में कितना समय लगेगा?

हल 1 सेकंड में पिंड से 10^9 इलेक्ट्रॉन निकलते हैं, अत: पिंड द्वारा 1s में दिया जाने वाला आवेश $1.6 \times 10^{-19} \times 10^9$ C = 1.6×10^{-10} C

तब 1 C आवेश के संचित होने के समय का आकलन 1 C ÷ (1.6×10^{-10} C/s) = 6.25×10^9 s = $6.25 \times 10^9 \div (365 \times 24 \times 3600)$ वर्ष = 198 वर्ष। इस प्रकार जिस पिंड से 10^9 इलेक्ट्रॉन प्रति सेकंड की दर से उत्सर्जन हो रहा है, उससे 1 C आवेश संचित करने में लगभग 200 वर्ष लगेंगे। अत: बहुत से व्यावहारिक कार्यों की दृष्टि से एक कूलॉम आवेश का एक अति विशाल मात्रक है।

तथापि यह जानना भी अति महत्वपूर्ण है कि किसी पदार्थ के 1 घन सेंटीमीटर टुकड़े में लगभग कितने इलेक्ट्रॉन होते हैं। 1 cm भुजा के ताँबे के घन में लगभग 2.5×10^{24} इलेक्ट्रॉन होते हैं।

उदाहरण 1.3

उदाहरण 1.3 एक कप जल में कितने धन तथा ऋण आवेश होते हैं?

हल मान लीजिए कि एक कप जल का द्रव्यमान 250 g है। जल का अणु द्रव्यमान 18 g है। इस प्रकार एक मोल (= 6.02×10^{23} अणु) जल का द्रव्यमान 18 g है। अत: एक कप जल में अणुओं की संख्या = $(250/18) \times 6.02 \times 10^{23}$।

जल के प्रत्येक अणु में दो हाइड्रोजन परमाणु तथा एक ऑक्सीजन परमाणु होता है, अर्थात, 10 इलेक्ट्रॉन तथा 10 प्रोटॉन होते हैं। अत: कुल धन तथा कुल ऋण आवेश परिमाण में समान होते हैं। आवेश का यह परिमाण = $(250/18) \times 6.02 \times 10^{23} \times 10 \times 1.6 \times 10^{-19}$ C = 1.34×10^7 C

1.6 कूलॉम नियम

कूलॉम नियम दो बिंदु आवेशों के बीच लगे बल के विषय में एक मात्रात्मक प्रकथन है। जब आवेशित वस्तुओं के साइज़ उनको पृथक करने वाली दूरी की तुलना में बहुत कम होते हैं तो ऐसी आवेशित वस्तुओं के साइज़ों की उपेक्षा की जा सकती है और उन्हें *बिंदु आवेश* माना जा सकता है। कूलॉम ने दो बिंदु आवेशों के बीच लगे बल की माप की और यह पाया कि यह बल दोनों आवेशों के परिमाणों के गुणनफल के अनुक्रमानुपाती तथा उनके बीच की दूरी के वर्ग के व्युत्क्रमानुपाती है तथा यह दोनों आवेशों को मिलाने वाली रेखा के अनुदिश कार्य करता है। इस प्रकार यदि दो बिंदु आवेशों q_1 तथा q_2 के बीच निर्वात में पृथकन r है, तो इनके बीच लगे बल (**F**) का परिमाण है

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

अपने प्रयोगों से किस प्रकार कूलॉम इस नियम तक पहुँचे? कूलॉम ने धातु के दो आवेशित गोलों के बीच लगे बल की माप के लिए ऐंठन तुला* का उपयोग किया। जब दो गोलों के बीच पृथकन प्रत्येक गोले की त्रिज्या की तुलना में बहुत अधिक होता है तो प्रत्येक आवेशित गोले को बिंदु आवेश मान सकते हैं। तथापि आरंभ करते समय गोलों पर आवेश अज्ञात थे। तब वह किस प्रकार

* ऐंठन तुला बल मापने की एक सुग्राही युक्ति है। इस तुला का उपयोग बाद में कैवेंडिश ने दो पिंडों के बीच लगे गुरुत्वाकर्षण बल की माप के लिए भी करके न्यूटन के गुरुत्वाकर्षण नियम को सत्यापित किया।

समीकरण (1.1) जैसे संबंध को खोज पाए? कूलॉम ने निम्नलिखित सरल उपाय सोचा–मान लीजिए धातु के गोले पर आवेश q है। यदि इस गोले को इसके सर्वसम किसी अन्य अनावेशित गोले के संपर्क में रख दें तो आवेश q दोनों गोलों पर फैल जाएगा। सममिति के अनुसार, प्रत्येक गोले पर $q/2$* आवेश होगा। इस प्रक्रिया को दोहराकर हम $q/2$, $q/4$ आदि आवेश प्राप्त कर सकते हैं। कूलॉम ने आवेशों के नियत युगल के लिए दूरियों में परिवर्तन करके विभिन्न दूरियों के लिए बल की माप की। तत्पश्चात उन्होंने प्रत्येक युगल के लिए दूरी नियत रखकर युगलों में आवेशों में परिवर्तन किया। विभिन्न दूरियों पर आवेशों के विभिन्न युगलों के लिए बलों की तुलना करके कूलॉम समीकरण (1.1) के संबंध पर पहुँच गए।

कूलॉम नियम जो कि एक सरल गणितीय कथन है, उस तक आरंभ में, ऊपर वर्णित प्रयोगों के आधार पर पहुँचा गया। यद्यपि इन मूल प्रयोगों ने इसे स्थूल स्तर पर स्थापित किया, अवपरमाणुक स्तर ($r \sim 10^{-10}$ m) तक भी इसे स्थापित किया जा चुका है।

कूलॉम ने अपने नियम की खोज बिना आवेशों के परिमाणों के सही संज्ञान के, की थी। वास्तव में, इसे विपरीत अनुप्रयोग के लिए उपयोग में लाया जा सकता है–कूलॉम के नियम का उपयोग अब हम आवेश के मात्रक को परिभाषित करने के लिए कर सकते हैं। समीकरण (1.1) के संबंध में अब तक k का मान यादृच्छिक है। हम k के लिए किसी भी धनात्मक मान का चयन कर सकते हैं। k का चयन आवेश के मात्रक का साइज़ निर्धारित करता है। SI मात्रकों में k का मान लगभग $9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$ है। इस चयन के फलस्वरूप आवेश का जो मात्रक प्राप्त होता है उसे कूलॉम कहते हैं जिसकी परिभाषा हमने पहले अनुच्छेद 1.4 में दे दी है। समीकरण (1.1) में k का यह मान रखने पर हम यह पाते हैं कि $q_1 = q_2 = 1$ C तथा $r = 1$ m के लिए

$$F = 9 \times 10^9 \text{ N}$$

अर्थात 1 C वह आवेश है जो निर्वात में 1 m दूरी पर रखे इसी परिमाण के किसी अन्य सजातीय आवेश को 9×10^9 न्यूटन बल से प्रतिकर्षित करे। स्पष्ट रूप से, 1 C व्यावहारिक कार्यों के लिए आवेश का बहुत बड़ा मात्रक है। स्थिरवैद्युतिकी में, व्यवहार में इसके छोटे मात्रकों जैसे 1mC तथा 1 μC का उपयोग किया जाता है।

बाद की सुविधा के लिए समीकरण (1.1) के नियतांक k को प्रायः $k = 1/4\pi\varepsilon_0$ लिखते हैं, जिससे कूलॉम नियम को इस प्रकार व्यक्त किया जाता है

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{|q_1 q_2|}{r^2} \qquad (1.2)$$

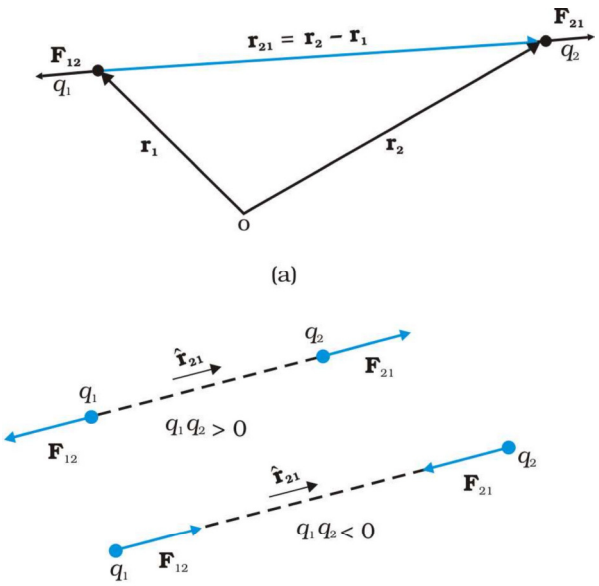
ε_0 को *मुक्त आकाश या निर्वात की विद्युतशीलता* अथवा *परावैद्युतांक* कहते हैं। SI मात्रकों में ε_0 का मान

$$\varepsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ N}^{-1}\text{m}^{-2}$$

बल एक सदिश है, अतः कूलॉम नियम को सदिश संकेतन में लिखना उत्तम होता है। मान लीजिए q_1 तथा q_2 आवेशों के स्थिति सदिश क्रमशः $\mathbf{r}_1$ तथा $\mathbf{r}_2$ हैं [चित्र 1.6(a) देखिए]। हम q_2

चार्ल्स ऑगस्टिन डे कूलॉम (1736 – 1806) फ्रांसीसी भौतिकविद कूलॉम ने वेस्टइंडीज में एक फौजी इंजीनियर के रूप में अपना कैरियर आरंभ किया। सन् 1776 में वे पेरिस लौट आए तथा एक छोटी सी संपत्ति बनाकर एकांत में अपना शोध कार्य करने लगे। बल के परिमाण को मापने के लिए इन्होंने एक ऐंठन तुला का आविष्कार किया और इसका उपयोग इन्होंने छोटे आवेशित गोलों के बीच लगने वाले आकर्षण अथवा प्रतिकर्षण बलों को ज्ञात करने में किया। इस प्रकार, सन् 1785 में ये व्युत्क्रम वर्ग नियम को खोज पाए जिसे आज कूलॉम का नियम कहते हैं। इस नियम का पूर्व अनुमान प्रिस्टले तथा कैवेंडिश ने लगा लिया था परंतु कैवेंडिश ने अपने परिणाम कभी प्रकाशित नहीं किए। कूलॉम ने सजातीय तथा विजातीय चुंबकीय ध्रुवों के बीच लगने वाले व्युत्क्रम वर्ग नियम का भी पता लगाया।

* इसमें आवेशों की योज्यशीलता तथा आवेशों के संरक्षण की अवधारणाएँ अंतर्निहित हैं। दो आवेशों (प्रत्येक $q/2$) के संयोजन से कुल आवेश q बनता है।



चित्र 1.6 (a) ज्यामिति तथा (b) आवेशों के बीच आरोपित बल।

के द्वारा q_1 पर आरोपित बल को $\mathbf{F}_{12}$ तथा q_1 के द्वारा q_2 पर आरोपित बल को $\mathbf{F}_{21}$ द्वारा व्यक्त करते हैं। दो बिंदु आवेशों q_1 तथा q_2 को सुविधा के लिए 1 तथा 2 अंक द्वारा व्यक्त किया गया है। साथ ही 1 से 2 की ओर जाते सदिश को $\mathbf{r}_{21}$ द्वारा व्यक्त किया गया है–

$$\mathbf{r}_{21} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1$$

इसी प्रकार 2 से 1 की ओर जाते सदिश को $\mathbf{r}_{12}$ द्वारा व्यक्त किया जाता है–

$$\mathbf{r}_{12} = \mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2 = -\mathbf{r}_{21}$$

सदिशों $\mathbf{r}_{21}$ तथा $\mathbf{r}_{12}$ के परिमाणों का संकेतन क्रमशः r_{21} एवं r_{12} द्वारा होता है ($r_{n21} = r_{n12}$)। किसी सदिश की दिशा का विशेष उल्लेख उस सदिश के अनुदिश एकांक सदिश द्वारा किया जाता है। बिंदु 1 से 2 की ओर (अथवा 2 से 1 की ओर) इंगित करने वाले एकांक सदिश की परिभाषा हम इस प्रकार करते हैं :

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

$\mathbf{r}_1$ तथा $\mathbf{r}_2$ पर अवस्थित बिंदु आवेशों q_1 तथा q_2 के बीच लगे कूलॉम बल नियम को तब इस प्रकार व्यक्त किया जाता है

$$\mathbf{F}_{21} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o} \frac{q_1 q_2}{r_{21}^2} \hat{\mathbf{r}}_{21} \qquad (1.3)$$

समीकरण (1.3) के संबंध में कुछ टिप्पणियाँ प्रासंगिक हैं :

- समीकरण (1.3) q_1 तथा q_2 के किसी भी चिह्न, धनात्मक अथवा ऋणात्मक के लिए मान्य है। यदि q_1 तथा q_2 समान चिह्न के हैं (या तो दोनों ही धनात्मक अथवा दोनों ही ऋणात्मक हैं) तब $\mathbf{F}_{21}$, $\hat{\mathbf{r}}_{21}$ के अनुदिश है, जो प्रतिकर्षण को प्रदर्शित करता है जैसा सजातीय आवेशों के लिए होना ही चाहिए। यदि q_1 तथा q_2 के विपरीत चिह्न हैं तब $\mathbf{F}_{21}$, $-\hat{\mathbf{r}}_{21}$ के अनुदिश है, जो आकर्षण को प्रदर्शित करता है तथा विजातीय आवेशों के लिए हम इसी की आशा करते हैं। इस प्रकार हमें सजातीय तथा विजातीय आवेशों के प्रकरणों के लिए पृथक-पृथक समीकरण लिखने की आवश्यकता नहीं है। समीकरण (1.3) दोनों ही प्रकरणों को सही-सही प्रकट कर देती है [चित्र 1.6(b) देखिए]।
- q_2 के कारण q_1 पर आरोपित बल $\mathbf{F}_{12}$ को समीकरण (1.3) में 1 तथा 2 में सरल अंतर्परिवर्तन करके प्राप्त किया जा सकता है, अर्थात

$$\mathbf{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \hat{\mathbf{r}}_{12} = -\mathbf{F}_{21}$$

इस प्रकार, कूलॉम नियम न्यूटन के गति के तृतीय नियम के अनुरूप ही है।

- कूलॉम नियम (समीकरण 1.3) से निर्वात में स्थित दो आवेशों q_1 तथा q_2 के बीच आरोपित बल प्राप्त होता है। यदि आवेश किसी द्रव्य में स्थित हैं अथवा दोनों आवेशों के बीच के रिक्त स्थान में कोई द्रव्य भरा है, तब इस द्रव्य के आवेशित अवयवों के कारण स्थिति जटिल बन जाती है। अगले अध्याय में हम द्रव्य में स्थिरवैद्युतिकी पर विचार करेंगे।

उदाहरण 1.4 दो वैद्युत आवेशों के बीच स्थिर वैद्युत बल के लिए कूलॉम नियम तथा दो स्थिर बिंदु द्रव्यमानों के बीच गुरुत्वाकर्षण बल के लिए न्यूटन का नियम दोनों में ही बल आवेशों/द्रव्यमानों के बीच की दूरी के वर्ग के व्युत्क्रमानुपाती होता है। (a) इन दोनों बलों के परिमाण ज्ञात करके इनकी प्रबलताओं की तुलना की जाए (i) एक इलेक्ट्रॉन तथा एक प्रोटॉन के लिए, (ii) दो प्रोटॉनों के लिए। (b) इलेक्ट्रॉन तथा प्रोटॉन में पारस्परिक आकर्षण के वैद्युत बल के कारण इलेक्ट्रॉन तथा प्रोटॉन के त्वरण आकलित कीजिए जबकि इनके बीच की दूरी 1 Å (= 10^{-10} m) है। ($m_p = 1.67 \times 10^{-27}$ K, $m_e = 9.11 \times 10^{-31}$ kg)

हल

(a) (i) एक इलेक्ट्रॉन तथा एक प्रोटॉन के बीच वैद्युत बल जबकि इनके बीच की दूरी r है :

$$F_e = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{r^2}$$

यहाँ पर ऋणात्मक चिह्न आकर्षण बल को इंगित करता है। इसके तदनुरूपी गुरुत्वाकर्षण बल (जो सदैव धनात्मक है) :

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

यहाँ m_p तथा m_e क्रमशः प्रोटॉन तथा इलेक्ट्रॉन के द्रव्यमान हैं।

$$\left|\frac{F_e}{F_G}\right| = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 G m_p m_e} = 2.4 \times 10^{39}$$

(ii) इसी प्रकार r दूरी पर स्थित दो प्रोटॉनों के बीच वैद्युत बल तथा गुरुत्वाकर्षण बल के परिमाणों का अनुपात–

$$\left|\frac{F_e}{F_G}\right| = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 G m_p m_p} = 1.3 \times 10^{36}$$

तथापि यहाँ यह उल्लेख करना महत्वपूर्ण है कि यहाँ पर दो बलों के चिह्नों में अंतर है। दो प्रोटॉनों के लिए गुरुत्वाकर्षण बल आकर्षी है तथा कूलॉम बल प्रतिकर्षी है। नाभिक के भीतर इन बलों के वास्तविक मान (नाभिक के भीतर दो प्रोटॉनों के बीच की दूरी ~ 10^{-15} m है): $F_e \sim 230$ N है जबकि $F_G \sim 1.9 \times 10^{-34}$ N हैं।

इन दोनों बलों का (विमाहीन) अनुपात यह दर्शाता है कि गुरुत्वाकर्षण बल की तुलना में वैद्युत बल अत्यंत प्रबल होते हैं।

(b) एक प्रोटॉन द्वारा एक इलेक्ट्रॉन पर आरोपित वैद्युत बल **F** परिमाण में एक इलेक्ट्रॉन द्वारा एक प्रोटॉन पर आरोपित बल समान है; तथापि इलेक्ट्रॉन तथा प्रोटॉन के द्रव्यमान भिन्न होते हैं। इस प्रकार बल का परिमाण है

$$|\mathbf{F}| = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{r^2} = 8.987 \times 10^9\ \text{Nm}^2/\text{C}^2 \times (1.6 \times 10^{-19}\text{C})^2\ /\ (10^{-10}\text{m})^2$$

$$= 2.3 \times 10^{-8}\ \text{N}$$

न्यूटन के गति के दूसरे नियम $F = ma$ के अनुसार इलेक्ट्रॉन में उत्पन्न त्वरण

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

इसकी गुरुत्वीय त्वरण से तुलना करने पर हम यह निष्कर्ष निकाल सकते हैं कि इलेक्ट्रॉन की गति पर गुरुत्वीय क्षेत्र का प्रभाव नगण्य है तथा किसी प्रोटॉन द्वारा इलेक्ट्रॉन पर आरोपित कूलॉम बल की क्रिया के अधीन इलेक्ट्रॉन में उत्पन्न त्वरण अत्यधिक है।

प्रोटॉन के लिए त्वरण का मान

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

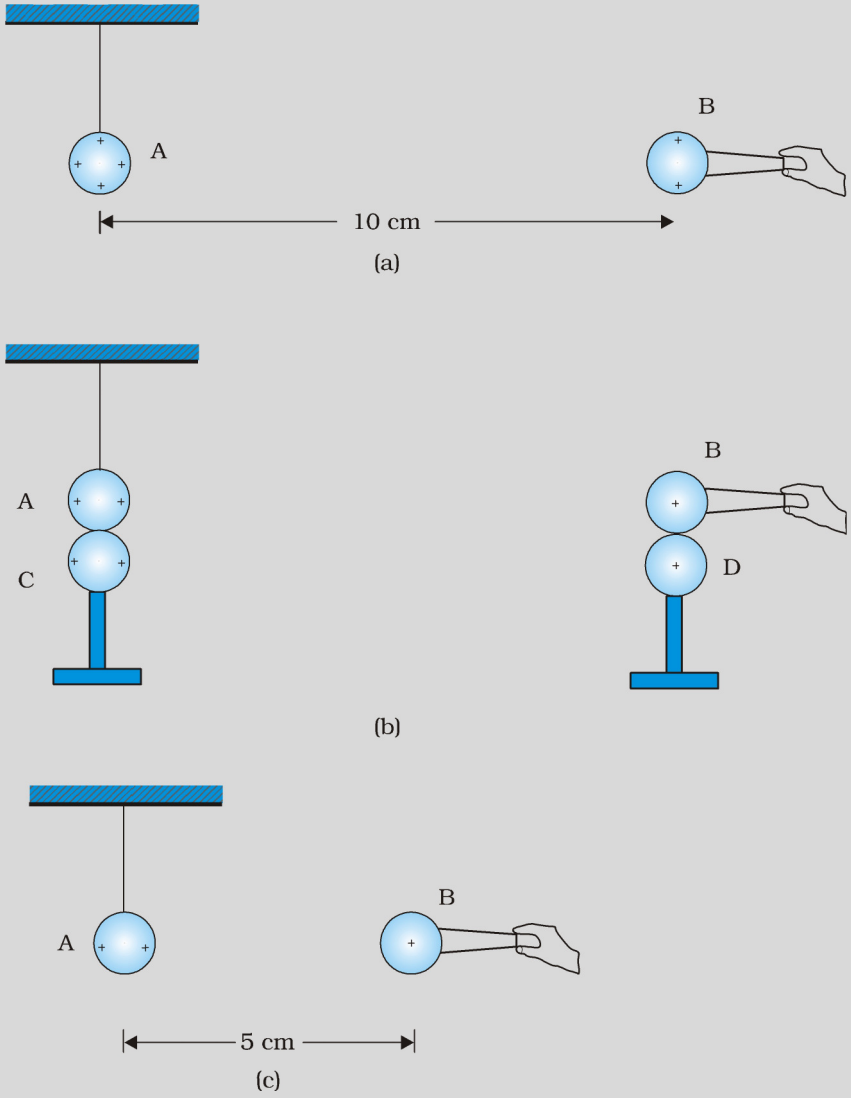
उदाहरण 1.4

भौतिकी

कूलॉम के नियम का प्रभावी सजीव चित्रण

http://webphysics.davidson.edu/physlet_resources/bu_semester2/menu_semester2.html

उदाहरण 1.5 धातु का आवेशित गोला A नाइलॉन के धागे से निलंबित है। विद्युतरोधी हत्थी द्वारा किसी अन्य धातु के आवेशित गोले B को A के इतने निकट लाया जाता है कि चित्र 1.7(a) में दर्शाए अनुसार इनके केंद्रों के बीच की दूरी 10 cm है। गोले A के परिणामी प्रतिकर्षण को नोट किया जाता है (उदाहरणार्थ– गोले पर चमकीला प्रकाश पुंज डालकर तथा अंशांकित पर्दे पर बनी इसकी छाया का विक्षेपण मापकर)। A तथा B गोलों को चित्र 1.7(b) में दर्शाए अनुसार, क्रमशः अनावेशित गोलों C तथा D से स्पर्श कराया जाता है। तत्पश्चात चित्र 1.7(c) में दर्शाए अनुसार C तथा D को हटाकर B को A के इतना निकट लाया जाता है कि इनके केंद्रों के बीच की दूरी 5.0 cm हो जाती है। कूलॉम नियम के अनुसार A का कितना अपेक्षित प्रतिकर्षण है? गोले A तथा C एवं गोले B तथा D के साइज़ सर्वसम हैं। A तथा B के केंद्रों के पृथकन की तुलना में इनके साइज़ों की उपेक्षा कीजिए।



चित्र 1.7

हल मान लीजिए गोले A पर मूल आवेश q तथा गोले B पर मूल आवेश q है। दोनों गोलों के केंद्रों

उदाहरण 1.5

उदाहरण 1.5

के बीच दूरी r पर, प्रत्येक पर लगे स्थिर वैद्युत बल का परिमाण

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{qq'}{r^2}$$

यहाँ r की तुलना में गोलों A तथा B के साइज़ नगण्य हैं। जब कोई सर्वसम परंतु अनावेशित गोला C गोले A को स्पर्श करता है तो A तथा C पर आवेश का पुनर्वितरण होता है और सममिति द्वारा प्रत्येक गोले पर आवेश $(q/2)$ होता है। इसी प्रकार, B तथा D के स्पर्श के पश्चात इनमें प्रत्येक पर पुनर्वितरित आवेश $(q'/2)$ होता है। अब यदि A तथा B का पृथकन आधा रह जाए तो प्रत्येक पर स्थिरवैद्युत बल

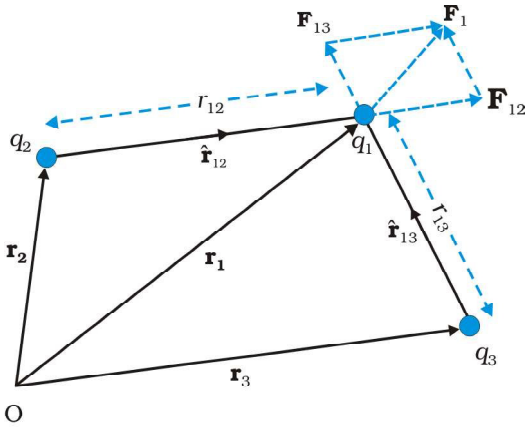
$$F' = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{(q/2)(q'/2)}{(r/2)^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{(qq')}{r^2} = F$$

इस प्रकार B के कारण A पर स्थिरवैद्युत बल अपरिवर्तित रहता है।

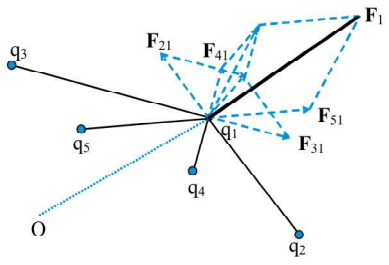
1.7 बहुल आवेशों के बीच बल

दो आवेशों के बीच पारस्परिक वैद्युत बल कूलॉम नियम द्वारा प्राप्त होता है। उस स्थिति में किसी आवेश पर आरोपित बल का परिकलन कैसे करें, जहाँ उसके निकट एक आवेश न होकर उसे बहुत से आवेश चारों ओर से घेरे हों? निर्वात में स्थित n स्थिर आवेशों $q_1, q_2, q_3, \ldots, q_n$ के निकाय पर विचार कीजिए। q_1 पर $q_2, q_3, \ldots, q_n$ के कारण कितना बल लगता है? इसका उत्तर देने के लिए कूलॉम नियम पर्याप्त नहीं है। याद कीजिए, यांत्रिक मूल के बलों का संयोजन सदिशों के संयोजन के समांतर चतुर्भुज नियम द्वारा किया जाता है। क्या यही स्थिरवैद्युत मूल के बलों पर भी लागू होता है?

प्रयोगों द्वारा यह सत्यापित हो चुका है कि *किसी आवेश पर कई अन्य आवेशों के कारण बल उस आवेश पर लगे उन सभी बलों के सदिश योग के बराबर होता है जो इन आवेशों द्वारा इस आवेश पर एक-एक कर लगाया जाता है। किसी एक आवेश द्वारा लगाया गया विशिष्ट बल अन्य आवेशों की उपस्थिति के कारण प्रभावित नहीं होता। इसे अध्यारोपण का सिद्धांत कहते हैं।*



(a)



(b)

चित्र 1.8 (a) तीन आवेशों (b) बहुल आवेशों के निकाय।

इस अवधारणा को भलीभाँति समझने के लिए तीन आवेशों q_1, q_2 तथा q_3 के निकाय, जिसे चित्र 1.8(a) में दर्शाया गया है, पर विचार कीजिए। किसी एक आवेश, जैसे q_1 पर अन्य दो आवेशों q_2 तथा q_3 के कारण बल को इनमें से प्रत्येक आवेश के कारण लगे बलों का सदिश संयोजन करके प्राप्त किया जा सकता है। इस प्रकार यदि q_2 के कारण q_1 पर बल को $\mathbf{F}_{12}$ द्वारा निर्दिष्ट किया जाता है, तो $\mathbf{F}_{12}$ को समीकरण (1.3) द्वारा अन्य आवेशों की उपस्थिति होते हुए भी इस प्रकार व्यक्त किया जाता है :

$$\mathbf{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r_{12}^2}\hat{\mathbf{r}}_{12}$$

इसी प्रकार q_3 के कारण q_1 पर लगा कूलॉम बल जिसे $\mathbf{F}_{13}$ द्वारा निर्दिष्ट करते हैं तथा जिसे लिख सकते हैं

$$\mathbf{F}_{13} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_3}{r_{13}^2}\hat{\mathbf{r}}_{13}$$

यह भी q_3 के कारण q_1 पर लगा कूलॉम बल ही है, जबकि अन्य आवेश q_2 उपस्थित हैं।

इस प्रकार q_1 पर दो आवेशों q_2 तथा q_3 के कारण कुल बल $\mathbf{F}_1$ है

$$\mathbf{F}_1 = \mathbf{F}_{12} + \mathbf{F}_{13} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r_{12}^2}\hat{\mathbf{r}}_{12} + \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_3}{r_{13}^2}\hat{\mathbf{r}}_{13} \tag{1.4}$$

चित्र 1.8(b) में दर्शाए अनुसार तीन से अधिक आवेशों के निकाय के लिए उपरोक्त परिकलन का व्यापकीकरण किया जा सकता है।

अध्यारोपण के सिद्धांत के अनुसार आवेशों q_1, q_2, ..., q_n के किसी निकाय में आवेश q_1 पर q_2 द्वारा लगा बल कूलॉम नियम द्वारा लगे बल के समान होता है, अर्थात यह अन्य आवेशों q_3, q_4, ..., q_n की उपस्थिति से प्रभावित नहीं होता। आवेश q_1 पर सभी आवेशों द्वारा लगा कुल बल $\mathbf{F}_1$ तब $\mathbf{F}_{12}$, $\mathbf{F}_{13}$, ..., $\mathbf{F}_{1n}$ का सदिश योग होगा। अतः

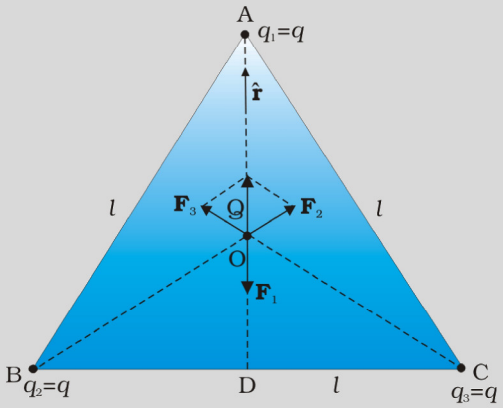
$$\mathbf{F}_1 = \mathbf{F}_{12} + \mathbf{F}_{13} + ... + \mathbf{F}_{1n} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{q_1 q_2}{r_{12}^2}\hat{\mathbf{r}}_{12} + \frac{q_1 q_3}{r_{13}^2}\hat{\mathbf{r}}_{13} + ... + \frac{q_1 q_n}{r_{1n}^2}\hat{\mathbf{r}}_{1n}\right]$$

$$= \frac{q_1}{4\pi\varepsilon_0}\sum_{i=2}^{n}\frac{q_i}{r_{1i}^2}\hat{\mathbf{r}}_{1i} \tag{1.5}$$

सदिशों के संयोजन की सामान्य विधि, समांतर चतुर्भुज के नियम द्वारा सदिश योग प्राप्त किया जाता है। वास्तव में मूल रूप से समस्त स्थिरवैद्युतिकी कूलॉम नियम तथा अध्यारोपण के सिद्धांत का एक परिणाम है।

उदाहरण 1.6

उदाहरण 1.6 तीन आवेशों q_1, q_2, q_3 पर विचार कीजिए जिनमें प्रत्येक q के बराबर है तथा l भुजा वाले समबाहु त्रिभुज के शीर्षों पर स्थित है। त्रिभुज के केंद्रक पर चित्र 1.9 में दर्शाए अनुसार स्थित आवेश Q (जो q का सजातीय) पर कितना परिणामी बल लग रहा है?



चित्र 1.9

हल दिए गए l भुजा के समबाहु त्रिभुज ABC में यदि हम भुजा BC पर AD लंब खींचें तो AD = AC cos 30° = $(\sqrt{3}/2)\,l$ तथा A से केंद्रक की दूरी AD = (2/3) AD = $(1/\sqrt{3})l$ सममिति से AO = BO = CO

उदाहरण 1.6

इस प्रकार

A पर स्थित आवेश q के कारण Q पर बल, $\mathbf{F}_1 = \frac{3}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Qq}{l^2}$ AO के अनुदिश

B पर स्थित आवेश q के कारण Q पर बल, $\mathbf{F}_2 = \frac{3}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Qq}{l^2}$ BO के अनुदिश

C पर स्थित आवेश q के कारण Q पर बल, $\mathbf{F}_3 = \frac{3}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Qq}{l^2}$ CO के अनुदिश

बलों $\mathbf{F}_2$ तथा $\mathbf{F}_3$ का परिणामी समांतर चतुर्भुज नियम द्वारा $\frac{3}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Qq}{l^2}$ OA के अनुदिश है।

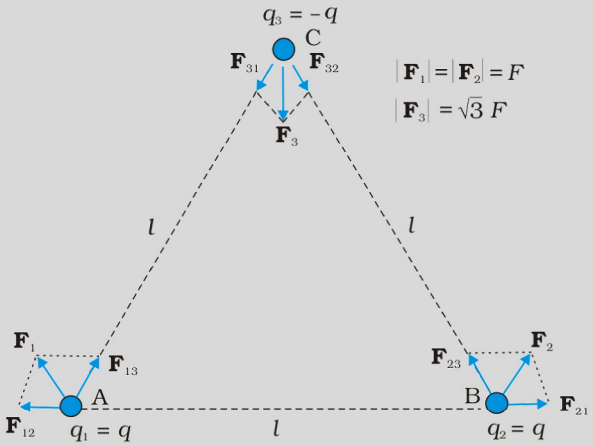
इसीलिए, Q पर कुल बल $= \frac{3}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Qq}{l^2}(\hat{\mathbf{r}} - \hat{\mathbf{r}}) = 0$ यहाँ $\hat{\mathbf{r}}$, OA के अनुदिश एकांक सदिश है।

सममिति द्वारा भी यह स्पष्ट है कि उन तीनों बलों का योग शून्य होगा।

मान लीजिए परिणामी बल शून्येतर था परंतु किसी दिशा में था। विचार कीजिए कि क्या हुआ होता यदि इस निकाय को O के गिर्द (परितः) 60° पर घूर्णन कराया जाता।

उदाहरण 1.7

उदाहरण 1.7 चित्र 1.10 में दर्शाए अनुसार किसी समबाहु त्रिभुज के शीर्षों पर स्थित आवेशों q, q, तथा $-q$ पर विचार कीजिए। प्रत्येक आवेश पर कितना बल लग रहा है?



चित्र 1.10

हल चित्र 1.10 में दर्शाए अनुसार, A पर स्थित आवेश q पर अन्य आवेशों जैसे B पर स्थित q के कारण बल $\mathbf{F}_{12}$ BA के अनुदिश तथा C पर स्थित $-q$ के कारण बल $\mathbf{F}_{13}$ AC के अनुदिश है। समांतर चतुर्भुज नियम द्वारा A पर स्थित q पर कुल बल $\mathbf{F}_1$ है

$\mathbf{F}_1 = F\,\hat{\mathbf{r}}_1$ यहाँ $\hat{\mathbf{r}}_1$ BC के अनुदिश एकांक सदिश है।

आवेशों के प्रत्येक युगल के लिए आकर्षण अथवा प्रतिकर्षण बलों के परिमाण F समान हैं तथा

$$F = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 l^2}$$

इस प्रकार B पर स्थित आवेश q पर कुल बल $\mathbf{F}_2 = F\,\hat{\mathbf{r}}_2$ यहाँ $\hat{\mathbf{r}}_2$ AC के अनुदिश एकांक सदिश है।

उदाहरण 1.7

इसी प्रकार, C पर स्थित आवेश $-q$ पर कुल बल $\mathbf{F}_3 = \sqrt{3}\ F\hat{\mathbf{n}}$ है। यहाँ $\hat{\mathbf{n}}$ एकांक सदिश है जिसकी दिशा $\angle$BCA को समद्विभाजित करने वाली रेखा के अनुदिश है।

यहाँ रोचक बात यह है कि तीनों आवेशों पर लगे बलों का योग शून्य है, अर्थात

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

यह परिणाम चौंकाने वाला नहीं है। यह इस तथ्य का अनुसरण करता है कि कूलॉम नियम तथा न्यूटन के तृतीय नियम के बीच सामंजस्य है। इस कथन की निष्पत्ति आपके अभ्यास के लिए छोड़ी जा रही है।

1.8 विद्युत क्षेत्र

माना निर्वात में एक बिंदु आवेश Q मूल बिंदु O पर रखा है। यदि एक अन्य बिंदु आवेश q, बिंदु P पर रखा जाए, जहाँ $\mathbf{OP} = \mathbf{r}$, तो आवेश Q, q पर कूलॉम के नियमानुसार बल लगाएगा। हम यह प्रश्न पूछ सकते हैं : यदि आवेश q को हटा लें तो Q के परिवेश में क्या बचेगा? क्या कुछ भी नहीं बचेगा? यदि ऐसा है तो P पर आवेश q रखने पर इस पर बल कैसे लगता है? इस प्रकार के प्रश्नों का उत्तर देने के लिए प्रारंभिक वैज्ञानिकों ने क्षेत्र की अवधारणा प्रस्तुत की। इसके अनुसार हम कहते हैं कि आवेश Q अपने चारों ओर विद्युत क्षेत्र उत्पन्न करता है जब इसमें कोई अन्य आवेश q बिंदु P पर लाया जाता है तो क्षेत्र इस पर बल आरोपित करता है।

किसी बिंदु $\mathbf{r}$ पर आवेश Q द्वारा उत्पन्न विद्युत क्षेत्र

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r^2}\hat{\mathbf{r}} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r^2}\hat{\mathbf{r}} \qquad (1.6)$$

यहाँ $\hat{\mathbf{r}} = \mathbf{r}/r$, मूल बिंदु से बिंदु $\mathbf{r}$ तक मात्रक सदिश है। इस प्रकार, समीकरण (1.6) स्थिति सदिश $\mathbf{r}$ के प्रत्येक मान के लिए विद्युत क्षेत्र का संगत मान बताती है। शब्द 'क्षेत्र' यह बताता है कि किस प्रकार कोई वितरित राशि (जो सदिश अथवा अदिश हो सकती है) स्थिति के साथ परिवर्तित होती है। आवेश के प्रभाव को विद्युत क्षेत्र के अस्तित्व में समाविष्ट किया गया है। आवेश Q द्वारा आवेश q पर आरोपित बल $\mathbf{F}$ को हम इस प्रकार प्राप्त करते हैं :

$$\mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Qq}{r^2}\hat{\mathbf{r}}$$

ध्यान दीजिए आवेश भी आवेश पर परिमाण में समान परंतु दिशा में विपरीत बल आरोपित