भौतिकी

भाग 1

कक्षा 11 के लिए पाठ्यपुस्तक

पंजाब स्कूल शिक्षा बोर्ड

साहिबज़ादा अजीत सिंह नगर

अध्याय 1

भौतिक जगत

1.1 भौतिकी क्या है?

मानव की सदैव अपने चारों ओर फैले विश्व के बारे में जानने की जिज्ञासा रही है। अनादि काल से ही रात्रि के आकाश में चमकने वाले खगोलीय पिण्ड उसे सम्मोहित करते रहे हैं। दिन-रात की सतत पुनरावृत्ति, ऋतुओं के वार्षिक चक्र, ग्रहण, ज्वार-भाटे, ज्वालामुखी, इन्द्रधनुष सदैव ही उसके कौतूहल के स्रोत रहे हैं। संसार में पदार्थों के आश्चर्यचकित करने वाले प्रकार तथा जीवन एवं व्यवहार की विस्मयकारी विभिन्नताएँ हैं। प्रकृति के ऐसे आश्चर्यों एवं विस्मयों के प्रति मानव का कल्पनाशील तथा अन्वेषी मस्तिष्क विभिन्न प्रकार से अपनी प्रतिक्रियाएँ व्यक्त करता रहा है। आदि काल से मानव की एक प्रकार की प्रतिक्रिया यह रही है कि उसने अपने भौतिक पर्यावरण का सावधानीपूर्वक प्रेक्षण किया है, प्राकृतिक परिघटनाओं में अर्थपूर्ण पैटर्न तथा संबंध खोजे हैं, तथा प्रकृति के साथ प्रतिक्रिया कर सकने के लिए नए औजारों को बनाया तथा उनका उपयोग किया है। कालान्तर में मानव के इन्हीं प्रयासों से आधुनिक विज्ञान तथा प्रौद्योगिकी का मार्ग प्रशस्त हुआ है।

अंग्रेजी भाषा के शब्द **साईंस (Science)** का उद्‌भव लैटिन भाषा के शब्द **सिंटिया (Scientia)** से हुआ है, जिसका अर्थ है 'जानना'। संस्कृत भाषा का शब्द 'विज्ञान' तथा अरबी भाषा का शब्द 'इल्म' भी यही अर्थ व्यक्त करता है जिसका तात्पर्य है "ज्ञान"। विस्तृत रूप में विज्ञान उतना ही प्राचीन है जितनी कि मानव जाति है। मिस्र, भारत, चीन, यूनान, मैसोपोटामिया तथा संसार के अन्य देशों की प्राचीन सभ्यताओं ने विज्ञान की प्रगति में अत्यावश्यक योगदान दिया है। सोलहवीं शताब्दी से यूरोप में विज्ञान के क्षेत्र में अत्यधिक प्रगति हुई। बीसवीं शताब्दी के मध्य तक विज्ञान, वास्तविक रूप में, एक महान द्रुत कार्य बन गया, जिसके अंतर्राष्ट्रीय विकास के लिए अनेक सभ्यताओं एवं देशों ने अपना योगदान दिया।

विज्ञान क्या है, एवं तथाकथित **वैज्ञानिक विधि** क्या होती है? विज्ञान प्राकृतिक परिघटनाओं को यथासंभव विस्तृत एवं गहनता से समझने के लिए किए जाने वाला सुव्यवस्थित प्रयास है, जिसमें इस प्रकार अर्जित ज्ञान का उपयोग

परिघटनाओं के भविष्य कथन, संशोधन, एवं नियंत्रण के लिए किया जाता है। जो कुछ भी हम अपने चारों ओर देखते हैं उसी के आधार पर अन्वेषण करना, प्रयोग करना तथा भविष्यवाणी करना विज्ञान है। संसार के बारे में सीखने की जिज्ञासा, प्रकृति के रहस्यों को सुलझाना विज्ञान की खोज की ओर पहला चरण है। 'वैज्ञानिक विधि' में बहुत से अंत:संबंध- पद : व्यवस्थित प्रेक्षण, नियंत्रित प्रयोग, गुणात्मक तथा मात्रात्मक विवेचना, गणितीय प्रतिरूपण, भविष्य कथन, सिद्धांतों का सत्यापन अथवा अन्यथाकरण सम्मिलित होते हैं। निराधार कल्पना तथा अनुमान लगाने का भी विज्ञान में स्थान है: परन्तु, अंतत:, किसी वैज्ञानिक सिद्धांत को स्वीकार्य योग्य बनाने के लिए, उसे प्रासंगिक प्रेक्षणों अथवा प्रयोगों द्वारा सत्यापित किया जाना भी आवश्यक होता है। विज्ञान की प्रकृति तथा विधियों के बारे में काफी दार्शनिक विवाद हैं जिनके विषय में यहाँ चर्चा करना आवश्यक नहीं है।

सिद्धांत तथा प्रेक्षण (अथवा प्रयोग) का पारस्परिक प्रभाव विज्ञान की प्रगति का मूल आधार है। विज्ञान सदैव गतिशील है। विज्ञान में कोई भी सिद्धांत अंतिम नहीं है तथा वैज्ञानिकों में कोई निर्विवाद विशेषज्ञ अथवा सत्ता नहीं है। जैसे-जैसे प्रेक्षणों के विस्तृत विवरण तथा परिशुद्धता में संशोधन होते जाते हैं, अथवा प्रयोगों द्वारा नए परिणाम प्राप्त होते जाते हैं, वैसे यदि आवश्यक हो तो उन संशोधनों को सन्निविष्ट करके सिद्धांतों में उनका स्पष्टीकरण किया जाना चाहिए। कभी-कभी ये संशोधन प्रबल न होकर सुप्रचलित सिद्धांतों के ढांचे में भी हो सकते हैं। उदाहरण के लिए, जब जोहान्नेस केप्लर (1571-1630) ने टाइको ब्राह (1546-1601) द्वारा ग्रह-गति से संबंधित संगृहीत किए गए विस्तृत आंकड़ों का परीक्षण किया, तो निकोलस कोपरनिकस (1473-1543) द्वारा कल्पित **सूर्य केन्द्री सिद्धांत** (जिसके अनुसार सूर्य सौर-परिवार के केन्द्र पर स्थित है।) की वृत्ताकार कक्षाओं को दीर्घवृत्तीय कक्षाओं द्वारा प्रतिस्थापित करना पड़ा, ताकि संगृहीत आंकड़ों तथा दीर्घवृत्तीय कक्षाओं में अनुरूपता हो सके। तथापि, यदा-कदा सुप्रचलित सिद्धांत नए प्रेक्षणों का स्पष्टीकरण करने में असमर्थ होते हैं। ये प्रेक्षण ही विज्ञान में महान क्रांति का कारण बनते हैं। बीसवीं शताब्दी के आरंभ में यह अनुभव किया गया कि उस समय का सर्वाधिक सफल न्यूटनी यांत्रिकी सिद्धांत परमाण्वीय परिघटनाओं के कुछ मूल विशिष्ट लक्षणों की व्याख्या करने में असमर्थ है। इसी प्रकार उस समय तक मान्य "प्रकाश का तरंग सिद्धांत" भी प्रकाश विद्युत प्रभाव को स्पष्ट करने में असफल रहा। इससे परमाण्वीय तथा आण्विक परिघटनाओं पर विचार करने के लिए मूलत: नए सिद्धांत (क्वान्टम यांत्रिकी) के विकास का मार्ग प्रशस्त हुआ।

जिस प्रकार कोई नया प्रयोग किसी वैकल्पिक सैद्धांतिक निदर्श (मॉडल) को प्रस्तावित कर सकता है, ठीक उसी प्रकार किसी सैद्धांतिक प्रगति से यह भी सुझाव मिल सकता है कि कुछ प्रयोगों में क्या प्रेक्षण किए जाने हैं। अर्नेस्ट रदरफोर्ड (1871-1937) द्वारा वर्ष 1911 में स्वर्ण पर्णिका पर किए गए ऐल्फा कण प्रकीर्णन प्रयोग के परिणाम ने परमाणु के नाभिकीय मॉडल को स्थापित किया, जो फिर नील बोर (1885-1962) द्वारा वर्ष 1913 में प्रतिपादित हाइड्रोजन परमाणु के सिद्धांत का आधार बना। दूसरी ओर पॉल डिरेक (1902-1984) द्वारा वर्ष 1930 में सर्वप्रथम सैद्धांतिक रूप से प्रतिकण की संकल्पना प्रतिपादित की गई जिसे दो वर्ष पश्चात् कार्ल एन्डरसन ने पॉजीट्रॉन (प्रति इलेक्ट्रॉन) की प्रायोगिक खोज द्वारा प्रमाणित किया।

प्राकृतिक विज्ञानों की श्रेणी का एक मूल विषय भौतिकी है। इसी श्रेणी में अन्य विषय जैसे रसायन विज्ञान तथा जीव विज्ञान भी सम्मिलित हैं। **भौतिकी** को अंग्रेजी में **Physics** कहते हैं जो ग्रीक भाषा के एक शब्द से व्युत्पन्न हुआ है जिसका अर्थ है "प्रकृति"। इसका तुल्य संस्कृत शब्द *'भौतिकी'* है जिसका उपयोग भौतिक जगत के अध्ययन से संबंधित है। इस विषय की यथार्थ परिभाषा देना न तो संभव है और न ही आवश्यक। मोटे तौर पर हम भौतिकी का वर्णन प्रकृति के मूलभूत नियमों का अध्ययन तथा विभिन्न प्राकृतिक परिघटनाओं में इनकी अभिव्यक्ति के रूप में कर सकते हैं। अगले अनुभाग में भौतिकी के कार्यक्षेत्र-विस्तार का संक्षिप्त वर्णन दिया गया है। यहाँ हम भौतिकी के दो प्रमुख विचारों-**एकीकरण** तथा **न्यूनीकरण** पर ही टिप्पणी करेंगे।

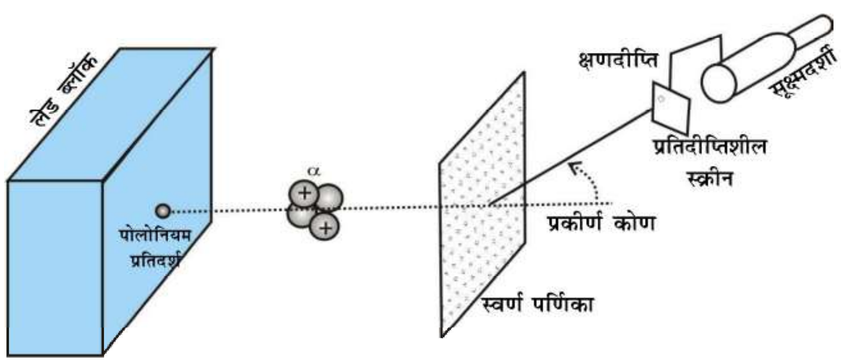
भौतिकी के अंतर्गत हम विविध भौतिक परिघटनाओं की व्याख्या ***कुछ संकल्पनाओं एवं नियमों के पदों में*** करने का प्रयास करते हैं। इसका उद्देश्य विभिन्न प्रभाव क्षेत्रों तथा परिस्थितियों में भौतिक जगत को कुछ सार्वत्रिक नियमों की अभिव्यक्ति के रूप में देखने का प्रयास है। उदाहरण के लिए, समान गुरुत्वाकर्षण का नियम (जिसे न्यूटन ने प्रतिपदित किया) पृथ्वी पर किसी सेब का गिरना, पृथ्वी के परित: चन्द्रमा की परिक्रमा तथा सूर्य के परित: ग्रहों की गति जैसी परिघटनाओं की व्याख्या करता है। इसी प्रकार विद्युत चुम्बकत्व के मूलभूत सिद्धांत (मैक्सवेल-समीकरण) सभी विद्युतीय तथा चुम्बकीय परिघटनाओं को नियंत्रित करते हैं। प्रकृति के मूल बलों को एकीकृत करने के प्रयास (अनुभाग 1.4) एकीकरण के इसी अन्वेषण को प्रतिबिम्बित करते हैं।

किसी अपेक्षाकृत बड़े, अधिक जटिल निकाय के गुणों को इसके अवयवी सरल भागों की पारस्परिक क्रियाओं तथा गुणों से व्युत्पन्न करना एक संबद्ध प्रयास होता है। इस उपगमन को **न्यूनीकरण** कहते हैं तथा यह भौतिकी के मर्म में है। उदाहरण के लिए, उन्नीसवीं शताब्दी में विकसित विषय ऊष्मा गतिकी बृहदाकार निकायों के साथ ताप, आंतरिक ऊर्जा, एन्ट्रापी आदि जैसी स्थूल राशियों के पदों में व्यवहार करता है। तत्पश्चात् अणुगति सिद्धांत तथा सांख्यिकीय यांत्रिकी विषयों के अंतर्गत इन्हीं राशियों की व्याख्या वृहदाकार निकायों के आण्विक अवयवों के गुणों के पदों में की गई। विशेष रूप से ताप को निकाय के अणुओं की औसत गतिज ऊर्जा से संबंधित पाया गया।

1.2 भौतिकी का प्रयोजन तथा उत्तेजना

भौतिकी के कार्यक्षेत्र विस्तार के बारे में हमें कुछ बोध इसके विभिन्न उपविषयों को देखकर हो सकता है। मूल रूप से इसके दो रुचिकर प्रभाव क्षेत्र : स्थूल तथा सूक्ष्म हैं। स्थूल प्रभाव क्षेत्र में प्रयोगशाला, पार्थिव तथा खगोलीय स्तर की परिघटनाएँ सम्मिलित होती हैं। जबकि सूक्ष्म प्रभाव क्षेत्र के अंतर्गत परमाण्वीय, आण्विक तथा नाभिकीय परिघटनाएँ* आती हैं। **चिरसम्मत भौतिकी** के अंतर्गत मुख्य रूप से स्थूल परिघटनाओं पर विचार किया जाता है, इसमें **यांत्रिकी, वैद्युत गतिकी, प्रकाशिकी** तथा **ऊष्मागतिकी** जैसे विषय सम्मिलित होते हैं। यांत्रिकी विषय न्यूटन के गति के नियमों तथा गुरुत्वाकर्षण के नियम पर आधारित है तथा इसका संबंध कणों, दृढ़ एवं विरूपणशील पिण्डों, तथा कणों के व्यापक निकायों की गति (अथवा संतुलन) से होता है। जेट के रूप में निष्कासित गैसों द्वारा रॉकेट-नोदन, जल-तरंगों का संचरण, वायु में ध्वनि तरंगों का संचरण तथा किसी बोझ के अधीन झुकी छड़ की साम्यावस्था यांत्रिकी से संबंधित समस्याएँ हैं। वैद्युत गतिकी आवेशित तथा चुम्बकित वस्तुओं से संबद्ध वैद्युत तथा चुम्बकीय परिघटनाएँ हैं। इनके मूल नियमों को कूलॉम, ऑर्सटेड, ऐम्पियर तथा फैराडे ने प्रतिपादित किया तथा इन नियमों की संपुष्टि मैक्सवेल ने अपने समीकरणों के समुच्चय द्वारा की। किसी धारावाही चालक की चुम्बकीय क्षेत्र में गति, किसी विद्युत परिपथ की प्रत्यावर्ती वोल्टता (सिगनल) से अनुक्रिया, किसी ऐन्टेना की कार्यप्रणाली, आयन मण्डल में रेडियो तरंगों का संचरण आदि वैद्युत गतिकी की समस्याएँ हैं। प्रकाशिकी के अंतर्गत प्रकाश पर आधारित परिघटनाओं पर विचार किया जाता है। दूरबीन (दूरदर्शक) तथा सूक्ष्मदर्शी की कार्यविधि, पतली झिल्ली के रंग, आदि प्रकाशिकी के उपविषय हैं। यांत्रिकी की तुलना में ऊष्मागतिकी के अंतर्गत वस्तुओं की समग्र गति पर विचार नहीं किया जाता, अपितु यह स्थूल संतुलन के निकायों पर विचार करती है, तथा इसका संबंध बाह्य कार्य तथा ऊष्मा स्थानांतरण द्वारा निकाय की आंतरिक ऊर्जा, ताप, ऐन्ट्रॉपी आदि में अंतर से होता है। ऊष्मा इंजन तथा प्रशीतक की दक्षता, किसी भौतिक अथवा रासायनिक प्रक्रिया की दिशा आदि, ऊष्मागतिकी की रोचक समस्याएँ हैं।

भौतिकी के सूक्ष्म प्रभाव क्षेत्र के अंतर्गत परमाणुओं तथा नाभिकों के स्तर के सूक्ष्मतम पैमाने पर (और इससे भी निम्न लम्बाई के पैमाने पर) द्रव्य के संघटन एवं संरचना तथा इनकी विभिन्न अन्वेषियों जैसे इलेक्ट्रॉन, फोटॉन तथा अन्य मूल कणों से अन्योन्य क्रियाओं पर विचार किया जाता है। चिरसम्मत भौतिकी इस प्रभाव क्षेत्र से व्यवहार करने में सक्षम नहीं है तथा हाल ही में क्वान्टम सिद्धांत को ही सूक्ष्म परिघटनाओं की



चित्र 1.1 *भौतिकी में सिद्धांत तथा प्रयोग साथ-साथ चलते हैं तथा एक-दूसरे की प्रगति में सहायता करते हैं। रदरफोर्ड ऐल्फा प्रकीर्णन प्रयोग ने परमाणु के नाभिकीय मॉडल को प्रतिपादित किया।*

* *हाल ही में अन्वेषण के उत्तेजनापूर्ण क्षेत्र में एक नए प्रभाव क्षेत्र (जिसे मध्याकार भौतिकी कहते हैं) का अविर्भाव हुआ है जो स्थूल तथा सूक्ष्म प्रभाव क्षेत्रों का मध्यवर्ती है। इसके अंतर्गत कुछ दसों या कुछ सैकड़ों परमाणुओं से व्यवहार किया जाता है।*

व्याख्या करने के लिए उचित ढांचा माना गया है। व्यापक रूप में, भौतिकी का प्रासाद सुन्दर एवं भव्य है और जैसे-जैसे आप इस विषय में आगे बढ़ेंगे इसका महत्व अधिकाधिक होता जाएगा।

अब आप यह कल्पना कर सकते हैं कि भौतिकी का कार्यक्षेत्र वास्तव में विस्तृत है। यह लंबाई, द्रव्यमान, समय, ऊर्जा आदि भौतिक राशियों के परिमाणों के विशाल परिसर का प्रतिपादन करती है। एक ओर इसके अंतर्गत इलेक्ट्रॉन, प्रोटॉन, आदि से संबंधित परिघटनाओं का लम्बाई के अति सूक्ष्म पैमाने (10^{-14} m अथवा इससे भी कम) पर अध्ययन किया जाता है तथा इसके विपरीत, दूसरी ओर इसके अंतर्गत खगोलीय परिघटनाओं का अध्ययन मंदाकिनियों के विस्तारों, अथवा सम्पूर्ण विश्व के पैमाने, जिसका विस्तार 10^{26} m कोटि का है, पर किया जाता है। लम्बाई के इन दो पैमानों में 10^{40} अथवा और अधिक के गुणक का अंतर है। लम्बाइयों के पैमाने के परिसर को प्रकाश की चाल से विभाजित करके समयों के पैमाने का परिसर: 10^{-22} s से 10^{18} s प्राप्त किया जा सकता है। इसी प्रकार द्रव्यमानों का परिसर उदाहरण के लिए 10^{-30} kg (इलेक्ट्रॉन के द्रव्यमान) से 10^{55} kg (ज्ञात प्रेक्षित विश्व के द्रव्यमान) तक है। पार्थिव परिघटनाएँ इस परिसर के मध्य में कहीं होती हैं।

भौतिकी कई प्रकार से उत्तेजक है। कुछ व्यक्ति इसके मूल सिद्धांतों के लालित्य तथा व्यापकता से इस तथ्य को लेकर उत्तेजित हो जाते हैं कि भौतिकी की कुछ मूल संकल्पनाओं तथा नियमों द्वारा भौतिक राशियों के विशाल परिसर को प्रतिपादित करने वाली परिघटनाओं की व्याख्या की जा सकती है। कुछ अन्य के लिए प्रकृति के रहस्यों से पर्दा हटाने के लिए कल्पनाशील नवीन प्रयोग करने की चुनौती, नियमों का सत्यापन अथवा निराकरण रोमांचकारी हो सकता है। अनुप्रयुक्त भौतिकी समान रूप से महत्वपूर्ण है। भौतिक नियमों के अनुप्रयोग तथा स्वार्थसाधनों द्वारा उपयोगी युक्तियों का निर्माण करना भौतिकी का अत्यंत रोचक तथा उत्तेजनापूर्ण भाग है, जिसके लिए अत्यधिक प्रवीणता तथा सतत् प्रयासों की आवश्यकता होती है।

पिछली कुछ शताब्दियों में भौतिकी में हुई असाधारण प्रगति का क्या रहस्य है? विशाल प्रगति प्राय: हमारे मूल अवबोधन में परिवर्तनों से संलग्न होती है। पहले यह अनुभव किया गया कि वैज्ञानिक प्रगति के लिए केवल गुणात्मक सोच होना, यद्यपि निसंदेह यह महत्वपूर्ण है, पर्याप्त नहीं है। भौतिकी, जिसमें प्राकृतिक नियमों को सुस्पष्ट गणितीय समीकरणों द्वारा व्यक्त किया जा सकता है, में वैज्ञानिक विकास के लिए मात्रात्मक मापन प्रमुख होना चाहिए। दूसरी अत्यंत महत्वपूर्ण अंतर्दृष्टि यह

परिकल्पनाएँ, अभिगृहीत तथा निदर्श

किसी को यह नहीं समझना चाहिए कि भौतिकी तथा गणित द्वारा सब कुछ सत्यापित किया जा सकता है। समस्त भौतिकी, और गणित भी कल्पनाओं (अभिधारणाओं) पर आधारित हैं, जिनमें से प्रत्येक को भांति-भांति से परिकल्पना, अथवा अभिगृहीत अथवा निदर्श कहकर पुकारा जाता है।

उदाहरण के लिए, न्यूटन द्वारा प्रतिपादित गुरुत्वाकर्षण का सार्वत्रिक नियम एक अभिधारणा अथवा परिकल्पना है, जिसे उन्होंने अपनी प्रवीणता द्वारा प्रस्तावित किया था। उनसे पहले, सूर्य के परित: ग्रहों की गति, पृथ्वी के परित: चन्द्रमा की गति, लोलकों, पृथ्वी की ओर गिरते पिण्डों आदि के संबंध में बहुत से प्रेक्षण, प्रयोग तथा आंकड़े उपलब्ध थे। इनमें प्रत्येक के लिए पृथक स्पष्टीकरण आवश्यक था जो कि कमोबेश गुणात्मक था। गुरुत्वाकर्षण के सार्वत्रिक नियम का जो कुछ कहना है, वह यह है कि यदि हम यह कल्पना करें कि, "इस विश्व के कोई दो पिण्ड एक दूसरे को एक बल द्वारा आकर्षित करते हैं जो इन दोनों पिण्डों के द्रव्यमानों के गुणनफल के अनुक्रमानुपाती तथा इनके बीच की दूरी के वर्ग के व्युत्क्रमानुपाती होता है", तो हम इन सभी प्रेक्षणों की व्याख्या केवल एक ही प्रयास में कर सकते हैं। यह केवल इन परिघटनाओं की ही व्याख्या नहीं करता, वरन् यह भविष्य के प्रयोगों के परिणामों के भविष्यकथन की हमें अनुमति प्रदान करता है।

कोई परिकल्पना एक ऐसा अनुमान होता है जिसे उसकी सत्यता की कल्पना के बिना लगाया जाता है। किसी से भी गुरुत्वाकर्षण के सार्वत्रिक नियम को प्रमाणित करने के लिए कहना न्यायसंगत नहीं है, क्योंकि इसे प्रमाणित नहीं किया जा सकता। इसे प्रेक्षणों तथा प्रयोगों द्वारा जांचा और सिद्ध किया जा सकता है।

कोई अभिगृहीत एक स्वयं सिद्ध सत्य होता है जबकि कोई निदर्श प्रेक्षित परिघटना की व्याख्या के लिए प्रस्तावित एक सिद्धांत होता है। परन्तु आपको इस स्तर पर इन शब्दों के उपयोग में अर्थ भेद करने के लिए चिन्ता करने की कोई आवश्यकता नहीं है। उदाहरण के लिए, आप अगले वर्ष हाइड्रोजन परमाणु के बोर निदर्श के विषय में अध्ययन करेंगे जिसमें बोर ने यह कल्पना की थी कि "हाइड्रोजन परमाणु में इलेक्ट्रॉन कुछ नियमों (अभिगृहीत) का पालन करते हैं"। उन्होंने ऐसा क्यों किया था? उनके पास विस्तृत मात्रा में स्पेक्ट्रमी आंकड़े उपलब्ध थे, जिनकी कोई अन्य सिद्धांत व्याख्या नहीं कर सका था। अत: बोर ने कहा था कि यदि हम यह कल्पना कर लें कि कोई परमाणु इस-इस ढंग से व्यवहार करता है, तो हम तत्काल ही इन सभी घटनाओं की व्याख्या कर सकते हैं।

आइंस्टीन का आपेक्षिकता का विशिष्ट सिद्धांत भी दो अभिगृहीतों– "विद्युत चुम्बकीय विकिरणों की चाल की स्थिरता" तथा "सभी जड़त्वीय निर्देश तंत्रों में भौतिक नियमों का वैध होना", पर आधारित है। हमारे लिए किसी से यह कहना बुद्धिमानी नहीं होगी कि वह प्रमाणित करे कि "निर्वात में प्रकाश की चाल नियत होती है", स्रोत अथवा प्रेक्षक पर निर्भर नहीं करती।

गणित में भी हमें हर कदम पर अभिगृहीतों तथा परिकल्पनाओं की आवश्यकता होती है। यूक्लिड का यह प्रकथन कि समांतर रेखाएँ कभी भी नहीं मिलतीं, एक परिकल्पना है। इसका यह अर्थ है कि यदि हम प्रकथन को अपनालें, तो हम समांतर रेखाओं के बहुत से गुणों तथा इनसे बनी दो अथवा तीन विमाओं की आकृतियों की व्याख्या कर सकते हैं। परन्तु यदि आप इसे नहीं अपनाते, तो आप एक भिन्न अभिगृहीत का उपयोग करने के लिए स्वतंत्र हैं और एक नवीन ज्यामिति प्राप्त कर सकते हैं, जैसाकि वास्तव में पिछली कुछ शताब्दियों तथा दशकों में घटित हुआ है।

थी कि भौतिकी के मूल नियम सार्वत्रिक हैं – समान नियमों को व्यापक रूप से विभिन्न प्रसंगों में लागू किया जा सकता है। अंत में सन्निकटन की योजना अत्यंत सफल सिद्ध हुई। दैनिक जीवन की अधिकांश प्रेक्षित परिघटनाएँ मूल नियमों की जटिल अभिव्यक्ति ही होती हैं। वैज्ञानिकों ने किसी परिघटना की सारभूत विशेषताओं के सार निकालने के महत्व की पहचान उस परिघटना के अपेक्षाकृत कम महत्वपूर्ण पहलुओं से की। किसी परिघटना की सभी जटिलताओं को एक साथ एक ही बार में स्पष्ट कर पाना व्यावहारिक नहीं है। एक अच्छी युक्ति वही है कि पहले किसी परिघटना के परमावश्यक लक्षणों पर ध्यान केन्द्रित करके उसके मूल सिद्धांतों को खोजा जाए और फिर संशुद्धियों को सन्निविष्ट करके उस परिघटना के सिद्धांतों को और अधिक परिशुद्ध बनाया जाए। उदाहरण के लिए, किसी पत्थर तथा पंख को समान ऊँचाई से एक साथ गिराने पर वे एक साथ पृथ्वी पर नहीं गिरते। इसका कारण यह है कि परिघटना के आवश्यक पहलू अर्थात् "गुरुत्व बल के अधीन मुक्त पतन" को वायु के प्रतिरोध की उपस्थिति ने जटिल बना दिया है। गुरुत्व बल के अधीन मुक्त पतन का नियम प्राप्त करने के लिए यह श्रेयस्कर है कि ऐसी परिस्थिति उत्पन्न की जाए जिसमें वायु-प्रतिरोध उपेक्षणीय हो और ऐसा किया भी जा सकता है। उदाहरण के लिए, पत्थर तथा पंख को किसी निर्वातित लंबी नली में एक साथ गिरने दिया जाए। इस प्रकरण में दोनों पिण्ड (पत्थर तथा पंख) लगभग एक साथ गिरेंगे जिससे हमें यह मूल नियम प्राप्त होगा कि गुरुत्वीय त्वरण पिण्ड के द्रव्यमान पर निर्भर नहीं करता। इस प्रकार प्राप्त नियम से हम पुनः पंख प्रकरण पर जा सकते हैं, वायु-प्रतिरोध के कारण संशुद्धि सन्निविष्ट कर सकते हैं, सुप्रचलित सिद्धांत में संशोधन कर सकते हैं, तथा गुरुत्व बल के अधीन पृथ्वी पर गिरते पिण्डों के लिए अधिक यथार्थिक सिद्धांत बनाने का प्रयास कर सकते हैं।

1.3 भौतिकी, प्रौद्योगिकी तथा समाज

भौतिकी, प्रौद्योगिकी तथा समाज के बीच पारस्परिक संबंधों को बहुत से उदाहरणों में देखा जा सकता है। ऊष्मागतिकी विषय का उद्भव ऊष्मा इंजनों की कार्यप्रणाली को समझने एवं उसमें सुधार करने की आवश्यकता के कारण हुआ। जैसा कि हम जानते हैं कि भाप का इंजन, इंग्लैंड में अठाहरवीं शताब्दी में हुई औद्योगिक क्रांति, जिसने मानव सभ्यता को अत्यधिक प्रभावित किया था, से अपृथक्करणीय है। कभी प्रौद्योगिकी नवीन भौतिकी को जन्म देती है, तो कभी भौतिकी नवीन प्रौद्योगिकी उत्पन्न करती हैं। भौतिकी द्वारा नवीन प्रौद्योगिकी उत्पन्न करने का उदाहरण बेतार संचार प्रौद्योगिकी है, जिसका विकास उन्नीसवीं शताब्दी में हुई विद्युत तथा चुम्बकत्व के मूल नियमों के अनुगमन करने से हुआ। भौतिकी के अनुप्रयोगों का सदैव पूर्वज्ञान रखना सरल नहीं है। वर्ष 1933 तक महान भौतिक विज्ञानी अर्नस्ट रदरफोर्ड परमाणुओं से ऊर्जा निष्कासन की संभावना को मन से दूर कर चुके थे। परन्तु केवल कुछ ही वर्षों

सारणी 1.1 संसार के विभिन्न देशों के कुछ भौतिकविदों के प्रमुख योगदान

नाम	प्रमुख योगदान/आविष्कार	मूल देश
आर्किमिडीज़	उत्प्लावकता का नियम; उत्तोलक का नियम	यूनान
गैलिलियो गैलिली	जड़त्व का नियम	इटली
क्रिश्चियन हाइगेंस्	प्रकाश का तरंग सिद्धांत	हॉलैंड
आइज़क न्यूटन	गुरुत्वाकर्षण का सार्वत्रिक नियम, गति के नियम, परावर्ती दूरदर्शक	इंग्लैंड
माइकल फैराडे	विद्युत-चुंबकीय प्रेरण के नियम	इंग्लैंड
जैम्स क्लार्क मैक्सवेल	विद्युत-चुंबकीय सिद्धांत; प्रकाश-एक विद्युत-चुंबकीय तरंग	इंग्लैंड
हैनरिक रूडोल्फ हर्ट्ज	विद्युत-चुंबकीय तरंगें	जर्मनी
जगदीश चन्द्र बोस	अतिलघु रेडियो तरंगें	भारत
डब्ल्यू. के. रोंजन	एक्स-किरणें	जर्मनी
जे. जे. टॉमसन	इलेक्ट्रॉन	इंग्लैंड
मैरी स्क्लोडोस्का क्यूरी	रेडियम तथा पोलोनियम की खोज; प्राकृतिक रेडियोऐक्टिवता का अध्ययन	पोलैंड
अल्बर्ट आइंस्टाइन	प्रकाश-वैद्युत नियम; आपेक्षिकता का सिद्धांत	जर्मनी
विक्टर फ्रांसिस हैस	कॉस्मिक विकिरण	आस्ट्रिया

नाम	प्रमुख योगदान/आविष्कार	मूल देश
आर.ए. मिलिकन	इलेक्ट्रॉन आवेश की माप	अमेरिका
अर्नस्ट रदरफोर्ड	परमाणु का नाभिकीय निदर्श	न्यूजीलैंड
नील बोर	हाइड्रोजन परमाणु का क्वान्टम निदर्श	डेनमार्क
चन्द्रशेखर वेंकटरामन	अणुओं द्वारा प्रकाश का अप्रत्यास्थ प्रकीर्णन	भारत
लुइस विक्टर द-ब्रॉग्ली	द्रव्य की तरंग प्रकृति	फ्रांस
मेघनाथ साहा	तापिक आयनन	भारत
सत्येन्द्र नाथ बोस	क्वान्टम सांख्यिकी	भारत
वॉल्फगेंग पॉली	अपवर्जन नियम	आस्ट्रिया
एनरिको फर्मी	नियंत्रित नाभिकीय विखंडन	इटली
वर्नर हेजेनबर्ग	क्वान्टम यांत्रिकी; अनिश्चितता-सिद्धांत	जर्मनी
पॉल डिरैक	आपेक्षिकीय इलेक्ट्रॉन-सिद्धांत; क्वान्टम सांख्यिकी	इंग्लैण्ड
एडविन ह्यूबल	प्रसारी विश्व	अमेरिका
अर्नस्ट औरलैन्डो लॉरेन्स	साइक्लोट्रॉन	अमेरिका
जेम्स चाडविक	न्यूट्रॉन	इंग्लैण्ड
हिडेकी युकावा	नाभिकीय बलों का सिद्धांत	जापान
होमी जहांगीर भाभा	कॉस्मिक विकिरण का सोपनी प्रक्रम	भारत
लेव डेवीडोविक लैन्डो	संघनित द्रव्य सिद्धांत; द्रव हीलियम	रूस
एस. चन्द्रशेखर	चन्द्रशेखर-सीमा, तारों की संरचना तथा विकास	भारत
जॉन बारडीन	ट्रांजिस्टर, अतिचालकता सिद्धांत	अमेरिका
सी.एच. टाउन्स	मेसर; लेसर	अमेरिका
अब्दुस सलाम	दुर्बल तथा विद्युत चुम्बकीय अन्योन्य क्रियाओं का एकीकरण	पाकिस्तान

के पश्चात् वर्ष 1938 में हेन तथा माइटनर ने न्यूट्रॉन प्रेरित यूरेनियम नाभिक के विखंडन से संबंधित परिघटना की खोज की, जिसने आण्विक शस्त्रों तथा आण्विक शक्ति रिएक्टरों के आधार की भांति कार्य किया। भौतिकी से एक नवीन प्रौद्योगिकी के जन्म का एक अन्य उदाहरण सिलिकॉन 'चिप' है, जिसने बीसवीं शताब्दी के अंतिम तीन दशकों में कम्प्यूटर क्रांति को प्रेरित किया। एक अत्यंत महत्वपूर्ण क्षेत्र जिसमें भौतिकी का योगदान है और भविष्य में भी रहेगा, वह है "वैकल्पिक ऊर्जा संसाधनों का विकास"। हमारे ग्रह के जीवाश्मी ईंधन त्वरित क्षीयमान हैं तथा नवीन एवं सस्ते ऊर्जा स्रोतों की खोज अत्यावश्यक है। इस दिशा में पहले से ही काफी प्रगति हो चुकी है (उदाहरण के लिए सौर ऊर्जा, भू-तापीय ऊर्जा आदि के विद्युत ऊर्जा में रूपांतरण के रूप में) परन्तु इसे और अधिक सम्पादित किया जाना अभी शेष है।

सारणी 1.1 में कुछ महान भौतिक विज्ञानियों, उनके प्रमुख योगदानों तथा उनके मूल देशों की सूची दी गई है। इसके द्वारा आप वैज्ञानिक प्रयासों के बहु-सांस्कृतिक, अंतर्राष्ट्रीय स्वरूप का मूल्यांकन करेंगे। सारणी 1.2 में कुछ महत्वपूर्ण प्रौद्योगिकियों तथा भौतिकी के उन सिद्धांतों, जिन पर वे आधारित हैं, की सूची दी गई है। स्पष्ट है कि ये सूचियाँ विस्तृत नहीं हैं। हम आपसे अनुरोध करते हैं कि आप अपने शिक्षकों की सहायता, अच्छी पुस्तकों तथा विज्ञान की वेबसाइट द्वारा इन सारिणियों में बहुत से नाम तथा अन्य संबद्ध जानकारी लिखकर इन्हें और व्यापक बनाने का प्रयास करें। आप यह पाएंगे कि यह अभ्यास बहुत शिक्षाप्रद तथा मनोरंजक है। हमें पूर्ण विश्वास है कि यह सूची कभी समाप्त नहीं होगी। विज्ञान की प्रगति सतत् है।

भौतिकी प्रकृति तथा प्राकृतिक परिघटनाओं का अध्ययन है। भौतिक विज्ञानी प्रेक्षणों, प्रयोगों तथा विश्लेषणों के आधार पर

सारणी 1.2 प्रौद्योगिकी तथा भौतिकी के बीच संबंध

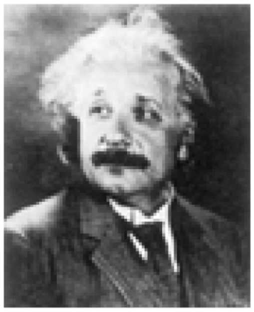
प्रौद्योगिकी	वैज्ञानिक सिद्धांत
भाप इंजन	ऊष्मागतिकी के नियम
नाभिकीय रिऐक्टर	नियंत्रित नाभिकीय विखंडन
रेडियो तथा टेलीविजन	विद्युत-चुंबकीय तरंगों का उत्पादन संचरण संसूचण
कम्प्यूटर	अंकीय तर्क
अतिउच्च चुंबकीय क्षेत्रों का उत्पादन	अतिचालकता
लेसर	विकिरणों के उद्दीपित उत्सर्जन द्वारा प्रकाश प्रवर्धन (समष्टि प्रतिलोमन)
राकेट नोदन	न्यूटन के गति के नियम
विद्युत जनित्र	फैराडे के विद्युत-चुंबकीय प्रेरण के सिद्धांत
जलविद्युत शक्ति	गुरुत्वीय स्थितिज ऊर्जा का विद्युत ऊर्जा में रूपांतरण
वायुयान	तरलगतिकी में बर्नोली का सिद्धांत
कण त्वरित्र	विद्युत-चुंबकीय क्षेत्रों में आवेशित कणों की गति
सोनार	पराश्रव्य तरंगों का परावर्तन
प्रकाशिक रेशे	प्रकाश का पूर्ण आंतरिक परावर्तन
अपरावर्ती आवरण	तनुफिल्म प्रकाशीय व्यतिकरण
इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मदर्शी	इलेक्ट्रॉन की तरंग प्रकृति
प्रकाश-विद्युत सेल	प्रकाश-विद्युत प्रभाव
संलयन परीक्षण रिऐक्टर (टोकामैक)	प्लैज़्मा का चुम्बकीय परिरोध
वृहत् मीटर वेब रेडियो टेलीस्कोप (GMRT)	कॉस्मिक रेडियो किरणों का संसूचन
बोस आइंस्टाइन दाब	लेसर पुन्जों तथा चुम्बकीय क्षेत्रों द्वारा परमाणुओं का प्रग्रहण तथा शीतलन

प्रकृति में क्रियात्मक नियमों को खोजने का प्रयास करता है। भौतिकी प्राकृतिक जगत को नियंत्रित करने वाले कुछ मूल नियमों/सिद्धांतों से संबंधित है। भौतिक नियमों की क्या प्रकृति है? अब हम मूल बलों की प्रकृति तथा इस भौतिक जगत को नियंत्रित करने वाले विविध नियमों के विषय में चर्चा करेंगे।

1.4 प्रकृति में मूल बल*

हम सभी में बल के बारे में कोई सहजानुभूत धारणा है। हम सभी का यह अनुभव है कि वस्तुओं को धकेलने, ले जाने अथवा फेंकने, निरूपित करने अथवा उन्हें तोड़ने के लिए बल की आवश्यकता होती है। हम अपने ऊपर बलों के संघात, जैसे किसी गतिशील वस्तु के हमसे टकराते समय अथवा "मैरी गो राउण्ड झूले" में गति करते समय, अनुभव करते हैं। इस सहजानुभूत धारणा से चलकर बल की सही वैज्ञानिक संकल्पना तक पहुँचना सहज कार्य नहीं है। आद्य विचारकों जैसे अरस्तू की बल के विषय में संकल्पना गलत थी। बल के विषय में हमें सही धारणा न्यूटन के गति के प्रसिद्ध नियमों में मिली। उन्होंने दो पिण्डों के बीच गुरुत्वाकर्षण बल के लिए सुस्पष्ट सूत्र भी दिया। अनुवर्ती अध्यायों में हम इनके विषय में अध्ययन करेंगे।

* *अनुभाग 1.4 तथा 1.5 में ऐसी कई संकल्पनाएँ हैं जिनको पहली बार अध्ययन करने पर समझने में आपको कठिनाई हो सकती है। तथापि हम आपको यह परामर्श देते हैं कि आप इनका सावधानीपूर्वक अध्ययन करें ताकि आपमें भौतिकी के कुछ मूल पहलुओं का बोध विकसित हो जाए जिनमें से कुछ क्षेत्र ऐसे हैं जो वर्तमान भौतिक विज्ञानियों को निरंतर कार्य में लगाए हुए हैं।*



अल्बर्ट आइंस्टाइन (1879-1955)

वर्ष 1879 में, उल्म, जर्मनी में जन्मे अल्बर्ट आइंस्टाइन को आज तक के सार्वत्रिक रूप से महानतम माने जाने वाले भौतिक विज्ञानियों में से एक माना जाता है। उनका विस्मयकारी वैज्ञानिक जीवन उनके द्वारा वर्ष 1905 में प्रकाशित तीन क्रांतिकारी शोधपत्रों से आरंभ हुआ। उन्होंने अपने प्रथम शोध पत्र में प्रकाश क्वांटा (जिसे अब फोटॉन कहते हैं।) की धारणा को प्रस्तावित किया तथा इस धारणा का उपयोग प्रकाश वैद्युत प्रभाव के उस लक्षण की व्याख्या करने में किया जिसे विकिरणों के चिरसम्मत तरंग सिद्धांत द्वारा स्पष्ट नहीं किया जा सका था। अपने दूसरे शोधपत्र में उन्होंने ब्राउनी गति का सिद्धांत विकसित किया जिसकी प्रायोगिक पुष्टि कुछ वर्ष पश्चात् हुई। इस सिद्धांत ने द्रव्य के परमाण्विक चित्रण के विश्वसनीय प्रमाण प्रस्तुत किए। उनके तीसरे शोधपत्र ने आपेक्षिकता के विशिष्ट सिद्धांत को जन्म दिया जिनसे आइंस्टाइन को उनके ही जीवन काल में 'किंवदन्ती' बना दिया। अगले दशक में उन्होंने अपने नए सिद्धांतों के परिणामों का अन्वेषण किया जिसमें अन्य तथ्यों के साथ-साथ द्रव्यमान-ऊर्जा तुल्यता को एक सुप्रचलित समीकरण $E = mc^2$ द्वारा प्रतिस्थापित किया गया। उन्होंने आपेक्षिकता की व्यापक व्याख्या (आपेक्षिकता का व्यापक सिद्धांत) की रचना भी की जो कि गुरुत्वाकर्षण का आधुनिक सिद्धांत है। आइंस्टाइन के बाद के अत्यधिक महत्वपूर्ण योगदानों में से कुछ इस प्रकार है : उद्दीपित उत्सर्जन की धारणा जिसे प्लांक कृष्णिका विकिरण नियम का वैकल्पिक व्युत्पत्ति में प्रस्तुत किया गया, विश्व का स्थैतिक निदर्श जिसने आधुनिक ब्रह्माण्ड-विज्ञान आरंभ किया, संपुंजित बोसॉन की गैस की क्वान्टम सांख्यिकी तथा क्वान्टम यांत्रिकी के मूलाधार का आलोचनात्मक विश्लेषण। वर्ष 2005 को भौतिकी के अंतर्राष्ट्रीय वर्ष के रूप घोषित किया गया था। यह घोषणा आइंस्टाइन द्वारा वर्ष 1905 में भौतिकी में उनके चिरस्थायी योगदान, जिनमें उन क्रांतिकारी वैज्ञानिक संकल्पनाओं का विवरण है जो हमारे आधुनिक जीवन को प्रभावित करती रही हैं, के सम्मान में की गई थी।

स्थूल जगत में गुरुत्वाकर्षण बल के अतिरिक्त हमारी भेंट अन्य कई प्रकार के बलों जैसे पेशीय बल, पिण्डों के मध्य संस्पर्श बलों, घर्षण (यह भी स्पर्श करने वाले पृष्ठों के समांतर संस्पर्श बल है), संपीडित अथवा दीर्घित कमानी तथा तनी हुई रस्सियों एवं डोरियों (तनाव) द्वारा आरोपित बल, जब ठोस तरलों के सम्पर्क में होते हैं तब उत्प्लावकता एवं श्यानता के बल, किसी तरल के दाब के कारण बल, किसी द्रव के पृष्ठ तनाव के कारण बल आदि-आदि। आवेशित तथा चुम्बकीय वस्तुओं के कारण भी बल होते हैं। सूक्ष्म प्रभाव क्षेत्र में भी हमारे पास विद्युत तथा चुम्बकीय बल, नाभिकीय बल जिसमें प्रोटॉन व न्यूट्रॉन सम्मिलित हैं, अंतर परमाण्विक एवं अंतराण्विक बल आदि हैं। इनमें से कुछ बलों से हम अपना परिचय पाठ्यक्रम के बाद वाले भाग में करेंगे।

बीसवीं शताब्दी की एक महान अंतर्दृष्टि यह है कि विभिन्न संदर्भों में पाए जाने वाले विविध बल, वास्तव में, प्रकृति के कुछ मूल बलों से ही उत्पन्न होते हैं। उदाहरण के लिए जब कोई कमानी दीर्घित/संपीडित की जाती है तब कमानी के निकटवर्ती परमाणुओं के बीच उत्पन्न नेट आकर्षण/प्रतिकर्षण बल के कारण, प्रत्यास्थ कमानी बल उत्पन्न होता है। इस नेट आकर्षण/प्रतिकर्षण की खोज परमाणुओं के आवेशित अवयवों के बीच वैद्युत बलों के योग (असंतुलित) तक की जा सकती है।

सिद्धांत रूप में इसका तात्पर्य यह है कि व्युत्पन्न बलों (जैसे कमानी बल, घर्षण) के नियम प्रकृति के मूल बलों के नियमों से स्वतंत्र नहीं है। तथापि इन व्युत्पन्न बलों का उद्भव अत्यंत जटिल है।

अपनी समझ के वर्तमान चरण पर हम प्रकृति के चार मूल बलों को जानते हैं, जिनका यहाँ संक्षेप में वर्णन किया गया है:

1.4.1 गुरुत्वाकर्षण बल

गुरुत्वाकर्षण बल किन्हीं दो पिण्डों के बीच उनके द्रव्यमानों के कारण लगने वाला आकर्षण बल है। यह एक सार्वत्रिक बल है। विश्व में प्रत्येक पिण्ड प्रत्येक अन्य पिण्ड के कारण बल का अनुभव करता है। उदाहरण के लिए, इस पृथ्वी पर रखी प्रत्येक वस्तु पृथ्वी के कारण गुरुत्व बल का अनुभव करती है। विशेष बात यह है कि पृथ्वी के परितः चन्द्रमा तथा मानव निर्मित उपग्रहों की गति, सूर्य के परितः पृथ्वी तथा ग्रहों की गति और वास्तव में, पृथ्वी पर गिरते पिण्डों की गति गुरुत्व बल द्वारा ही नियंत्रित होती है। विश्व की बृहत् स्तर की परिघटनाओं जैसे तारों, मंदाकिनियों तथा मंदाकिनीय गुच्छों के बनने तथा विकसित होने में इस बल की प्रमुख भूमिका होती है।

1.4.2 विद्युत चुम्बकीय बल

विद्युत चुम्बकीय बल आवेशित कणों के बीच लगने वाला बल है। सरल प्रकरण में, जब आवेश विरामावस्था में होते हैं, तो इस बल को कूलॉम-नियम द्वारा व्यक्त किया जाता है : "सजातीय आवेशों में प्रतिकर्षण तथा विजातीय आवेशों में आकर्षण"। गतिशील आवेश चुम्बकीय प्रभाव उत्पन्न करते हैं तथा चुम्बकीय क्षेत्र गतिशील आवेशों पर बल आरोपित करते हैं। व्यापक रूप

सत्येन्द्रनाथ बोस (1894-1974)

वर्ष 1894 में कोलकाता में जन्मे सत्येन्द्र नाथ बोस उन महान भारतीय भौतिक विज्ञानियों में से एक हैं जिन्होंने बीसवीं शताब्दी में विज्ञान की उन्नति में मौलिक योगदान दिया था। भौतिकी के आद्योपांत उत्कृष्ट विद्यार्थी रहकर बोस ने वर्ष 1916 में कोलकाता विश्वविद्यालय में प्राध्यापक के रूप में अपना सेवाकाल आरंभ किया : इसके पांच वर्ष पश्चात् वे ढाका विश्वविद्यालय चले गए। यहाँ वर्ष 1924 में अपनी प्रतिभाशाली अंतर्दृष्टि से प्लांक नियम की एक नवीन व्युत्पत्ति प्रस्तुत की जिसमें उन्होंने विकिरणों को फोटॉन की गैस के रूप में माना तथा फोटॉन अवस्थाओं की गणना की नवीन सांख्यिकीय विधियाँ अपनायीं। उन्होंने इस विषय पर एक शोधपत्र लिखकर उसे आइंस्टाइन को भेजा, जिन्होंने तुरन्त इसके विशाल महत्व को पहचानते हुए इसका जर्मन भाषा में अनुवाद करके प्रकाशन के लिए अग्रसारित कर दिया। फिर आइंस्टाइन ने इसी विधि का अनुप्रयोग अणुओं की गैस पर किया। बोस के कार्य में नवीन संकल्पनात्मक अवयव का मूल भाव यह था कि कणों को अविभेद्य माना गया जो कि उन कल्पनाओं से मूल रूप से भिन्न थी जिन्हें चिरसम्मत मैक्सवेल-बोल्ट्ज़मान सांख्यिकी के आधार के रूप में जाना जाता है। शीघ्र ही वह अनुभव किया गया कि बोस-आइंस्टाइन सांख्यिकी को केवल पूर्णांक प्रचक्रण वाले कणों पर ही लागू किया जा सकता है, और अर्ध पूर्णांक प्रचक्रण वाले कणों के लिए जो पाउली अपवर्जन सिद्धांत को संतुष्ट करते हैं, एक नवीन क्वान्टम सांख्यिकी (फर्मी डिरैक सांख्यिकी) की आवश्यकता है। पूर्णांक प्रचक्रण वाले कणों को बोस को सम्मान देने के लिए **बोसान** कहते हैं।

बोस आइंस्टाइन सांख्यिकी का एक महत्वपूर्ण निष्कर्ष यह है कि अणुओं की किसी गैस का एक निश्चित ताप से कम ताप पर प्रावस्था संक्रमण किसी ऐसी अवस्था में होगा जिसमें परमाणुओं का अधिकांश भाग समान न्यूनतम ऊर्जा अवस्था में रहता है। बोस की पथ प्रदर्शक धारणा, जिसे आइंस्टाइन ने आगे विकसित किया, का प्रभावशाली प्रमाणीकरण लगभग 70 वर्ष पश्चात पराशीत क्षार-परमाणुओं की तनु गैस के रूप में द्रव्य की नवीन अवस्था - बोस-आइंस्टाइन संघनित के प्रेक्षण द्वारा हुआ।

से, वैद्युत तथा चुम्बकीय प्रभाव अविच्छेद हैं - इसीलिए इस बल को विद्युत-चुम्बकीय बल कहते हैं। गुरुत्वाकर्षण बल की भांति विद्युत चुम्बकीय बल भी काफी लंबी दूरियों तक कार्यरत रहता है तथा इसे किसी मध्यवर्ती माध्यम की भी आवश्यकता नहीं होती। गुरुत्व बल की तुलना में यह बल कहीं अधिक प्रबल होता है। उदाहरण के लिए, किसी निश्चित दूरी के लिए दो प्रोटॉनों के बीच का वैद्युत बल उनके बीच लगे गुरुत्वाकर्षण बल का 10^{36} गुना होता है।

द्रव्य, जैसा कि हम जानते हैं, इलेक्ट्रॉन तथा प्रोटॉन जैसे मूल आवेशित अवयवों से मिलकर बनता है। चूंकि विद्युत चुम्बकीय बल गुरुत्वाकर्षण बल की अपेक्षा कहीं अधिक प्रबल होता है यह आण्विक तथा परमाण्वीय पैमाने की सभी परिघटनाओं पर छाया रहता है। (अन्य दो बल, जैसा कि हम आगे देखेंगे, केवल नाभिकीय पैमाने पर सक्रिय होते हैं)। अत: परमाणु तथा अणुओं की संरचना, रासायनिक अभिक्रियाओं की गतिकी, तथा वस्तुओं के यांत्रिक, तापीय तथा अन्य गुणों का परिचालन मुख्यत: विद्युत चुम्बकीय बल द्वारा ही होता है। यह 'तनाव', 'घर्षण', 'सामान्य बल', 'कमानी बल' आदि जैसे स्थूल बलों के मूल में होता है।

गुरुत्वाकर्षण बल सदैव ही आकर्षी बल होता है, जबकि विद्युत चुम्बकीय बल आकर्षी अथवा प्रतिकर्षी भी। इसको इस प्रकार भी कह सकते हैं कि द्रव्यमान केवल एक ही प्रकार (ऋणात्मक द्रव्यमान जैसा कुछ नहीं है।) का होता है, जबकि आवेश दो प्रकार के होते हैं : धनावेश तथा ऋणावेश। यही इन सभी अंतरों का कारण है। द्रव्य अधिकांशत: वैद्युत उदासीन (नेट आवेश शून्य होता है) होता है। इस प्रकार वैद्युत बल अधिकांश रूप में शून्य होता है तथा पार्थिव परिघटनाओं में गुरुत्वाकर्षण बल का प्रभुत्व रहता है। वैद्युत बल स्वयं वातावरण, जहाँ परमाणु आयनीकृत होते हैं, में प्रकट होता है और इसी के कारण तड़ित दमकती है।

यदि हम थोड़ा चिन्तन करें, तो हम अपने दैनिक जीवन की घटनाओं में स्वयं ही स्पष्ट रूप में यह पायेंगे कि गुरुत्व बल की तुलना में विद्युत चुम्बकीय बल अत्यधिक शक्तिशाली है। जब हम किसी पुस्तक को हाथ पर रखते हैं, तब हम अपने हाथ द्वारा प्रदान किए जाने वाले 'सामान्य बल' से पृथ्वी के विशाल द्रव्यमान के कारण पुस्तक पर लगे गुरुत्वाकर्षण बल को संतुलित करते हैं। यह 'सामान्य बल' और कुछ नहीं वरन् सम्पर्क-पृष्ठ पर हमारे हाथ तथा पुस्तक के आवेशित अवयवों के बीच लगने वाला नेट विद्युत चुम्बकीय बल ही होता है। यदि विद्युत चुम्बकीय बल स्वत: रूप से गुरुत्व बल से इतना अधिक प्रबल न हो, तो किसी सशक्त से सशक्त व्यक्ति का हाथ भी एक पंख के भार के कारण टुकड़े-टुकड़े होकर बिखर जाएगा। वास्तव में इससे सामंजस्य रखते हुए ऐसी परिस्थितियों में हम स्वयं अपने भार के अधीन टुकड़े-टुकड़े होकर बिखर जाते!

सारणी 1.3 प्रकृति के मूल बल

बल का नाम	आपेक्षिक प्रबलता	परास	जिनके बीच लगता है
गुरुत्वाकर्षण बल	10^{-39}	अनंत	विश्व में स्थित सभी पिण्ड
दुर्बल नाभिकीय बल	10^{-13}	बहुत कम, अवनाभिकीय आमाप ($\sim 10^{-16}$m) में	कुछ मूल कण विशेषकर इलेक्ट्रॉन एवं न्यूट्रिनो
विद्युत-चुंबकीय बल	10^{-2}	अनंत	आवेशित कण
प्रबल नाभिकीय बल	1	लघु, नाभिकीय आमाप ($\sim 10^{-15}$m)	न्यूक्लिऑन, भारी मूल कण

1.4.3 प्रबल नाभिकीय बल

नाभिक में प्रबल नाभिकीय बल प्रोटॉनों तथा न्यूट्रॉनों को बांधे रखता है। स्पष्ट है कि बिना किसी आकर्षी बल के, प्रोटॉनों में पारस्परिक प्रतिकर्षण होने के कारण, कोई भी नाभिक असंतुलित हो जाएगा। चूंकि वैद्युत बलों की तुलना में गुरुत्व बल उपेक्षणीय होता है, अत: यह बल गुरुत्वाकर्षण बल नहीं हो सकता। अत: एक नवीन बल की योजना बनाना आवश्यक है। यह प्रबल नाभिकीय बल सभी मूल बलों में प्रबलतम है जोकि प्रबलता में विद्युत-चुम्बकीय बल का लगभग 100 गुना है। यह आवेश के प्रकार पर निर्भर नहीं करता तथा प्रोटॉन-प्रोटॉन के बीच, न्यूट्रॉन-न्यूट्रॉन के बीच, तथा प्रोटॉन-न्यूट्रॉन के बीच समान रूप से कार्य करता है। तथापि इसका परिसर बहुत कम, लगभग नाभिक की विमाओं (10^{-15}m), का होता है। यह किसी नाभिक के स्थायित्व के लिए उत्तरदायी माना जाता है। ध्यान दीजिए, इलेक्ट्रॉन इस बल का अनुभव नहीं करता।

तथापि, हाल ही में हुए विकासों ने यह सूचित किया है कि प्रोटॉन तथा न्यूट्रॉन और भी कहीं अधिक मूल अवयवों, जिन्हें 'क्वार्क' कहते हैं, से मिलकर बने हैं।

1.4.4 दुर्बल नाभिकीय बल

दुर्बल नाभिकीय बल केवल निश्चित नाभिकीय प्रक्रियाओं, जैसे किसी नाभिक के β-क्षय में प्रकट होते हैं। β-क्षय में नाभिक एक इलेक्ट्रॉन तथा एक अनावेशित कण, जिसे न्यूट्रिनों कहते हैं, उत्सर्जित करता है। दुर्बल नाभिकीय बल गुरुत्वाकर्षण बल जितना दुर्बल नहीं होता, परन्तु प्रबल नाभिकीय तथा विद्युत चुम्बकीय बलों से काफी दुर्बल होता है। दुर्बल नाभिकीय बल का परिसर अत्यंत छोटा, 10^{-16} m कोटि का है।

1.4.5 बलों के एकीकरण की ओर

हमने अनुभाग 1.1 में यह टिप्पणी की है कि एकीकरण भौतिकी की मूलभूत खोज है। भौतिकी की महत्वपूर्ण उन्नति प्राय: विभिन्न सिद्धांतों तथा प्रभाव क्षेत्रों के एकीकरण की ओर ले जाती है। न्यूटन ने पार्थिव तथा खगोलीय प्रभाव क्षेत्रों को अपने गुरुत्वाकर्षण के सर्वमान्य नियम के अधीन एकीकृत किया। ऑर्स्टेड तथा फैराडे ने प्रायोगिक खोजों द्वारा दर्शाया कि व्यापक रूप में वैद्युत तथा चुम्बकीय परिघटनाएँ अविच्छेद्य हैं। मैक्सवेल की इस खोज ने, कि प्रकाश विद्युत चुम्बकीय तरंगें हैं, विद्युत चुम्बकत्व

सारणी 1.4 प्रकृति के विभिन्न बलों/प्रभाव क्षेत्रों के एकीकरण में प्रगति

भौतिकविद्	वर्ष	एकीकरण संबंधी उपलब्धियां
आइज़क न्यूटन	1687	खगोलीय तथा पार्थिव यांत्रिकी को एकीकृत किया : यह दर्शाया कि दोनों प्रभाव क्षेत्रों पर समान गति के नियम तथा गुरुत्वाकर्षण नियम लागू होते हैं।
हेंस क्रिश्चियन ऑर्स्टेड माइकल फैराडे	1820 1830	यह दर्शाया कि वैद्युत तथा चुम्बकीय परिघटनाएँ एक एकीकृत प्रभाव क्षेत्र - विद्युत चुम्बकत्व के अविच्छेद्य रूप हैं।
जैम्स क्लार्क मैक्सवेल	1873	विद्युत-चुम्बकत्व तथा प्रकाशिकी को एकीकृत किया, यह दर्शाया कि प्रकाश विद्युत-चुंबकीय तरंगें हैं।
शैल्डन ग्लाशोव, अब्दुस सलाम, स्टीवन वीनबर्ग	1979	यह दर्शाया कि 'दुर्बल' नाभिकीय बल तथा विद्युत-चुंबकीय बल को एकल 'विद्युत-दुर्बल' बल के विभिन्न रूपों की भांति देखा जा सकता है ।
कार्लो रूबिया साइमन वान्डर मिअर	1984	'विद्युत-दुर्बल' बल के सिद्धांत के पूर्वानुमानों को प्रायोगिक रूप से सत्यापन किया।

तथा प्रकाशिकी को एकीकृत किया। आइंस्टाइन ने गुरुत्व तथा विद्युत चुम्बकत्व को एकीकृत करने का प्रयास किया परन्तु अपने इस साहसिक कार्य में सफल न हो सके। परन्तु इससे भौतिक विज्ञानियों की, बलों के एकीकरण के उद्देश्य के लिए, उत्साहपूर्वक आगे बढ़ने की प्रक्रिया रुकी नहीं।

पिछले कुछ दशकों में इस क्षेत्र ने बहुत प्रगति देखी है। विद्युत चुम्बकीय तथा दुर्बल नाभिकीय बल अब एकीकृत हो चुके हैं तथा अब इन्हें एकल "विद्युत-दुर्बल" बल के रूप में देखा जाता है। इस एकीकरण का वास्तव में क्या अर्थ है इसे यहां स्पष्ट नहीं किया जा सकता। विद्युत-दुर्बल तथा प्रबल बल को एकीकृत करने तथा यहाँ तक कि गुरुत्वाकर्षण को अन्य सभी बलों से एकीकृत करने के प्रयास किए गए हैं (तथा अब भी किए जा रहे हैं)। बहुत सी ऐसी ही धारणाएं अभी भी अनिश्चित तथा अनिर्णायक बनी हुई हैं। सारणी 1.4 में प्रकृति में मूल बलों के एकीकरण की प्रगति की दिशा में कुछ मील के पत्थरों को सारांश रूप में दर्शाया गया है।

1.5 भौतिक नियमों की प्रकृति

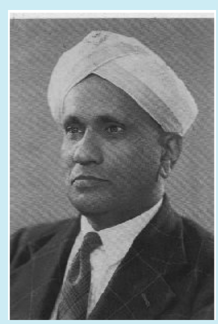
भौतिक विज्ञानी विश्व का अन्वेषण करते हैं। उनके अनुसंधान वैज्ञानिक प्रक्रियाओं पर आधारित होते हैं तथा इनका परिसर आमाप में परमाणु की आमाप से कम के कणों से लेकर हमसे अत्यधिक दूरी के तारों की आमाप तक है। प्रेक्षणों तथा प्रयोगों द्वारा तथ्यों को खोजने के साथ-साथ भौतिक विज्ञानी उन नियमों की खोज करने का प्रयास करते हैं जो इन तथ्यों का सार (प्राय: गणितीय समीकरणों में) हों।

विभिन्न बलों द्वारा नियंत्रित किसी भी भौतिक परिघटना में कई राशियाँ समय के साथ परिवर्तित हो सकती हैं। तथापि एक विलक्षण तथ्य यह है कि कुछ विशिष्ट भौतिक राशियाँ समय के साथ नियत (अचर) रहती हैं। ये प्रकृति की संरक्षित राशियाँ हैं। प्रेक्षित परिघटनाओं की मात्रात्मक व्याख्या करने के लिए इन संरक्षण नियमों को समझना काफी महत्वपूर्ण है।

किसी बाह्य संरक्षण बल के अधीन गति के लिए, कुल यांत्रिक ऊर्जा अर्थात् गतिज ऊर्जा तथा स्थितिज ऊर्जा का योग नियत रहता है। गुरुत्व के अधीन किसी पिण्ड का मुक्त पतन इसका सुपरिचित उदाहरण है। किसी पिण्ड की गतिज ऊर्जा तथा उसकी स्थितिज ऊर्जा समय के साथ निरंतर परिवर्तित होती है, परन्तु इनका योग स्थिर रहता है। यदि पिण्ड को विरामावस्था से मुक्त किया जाता है, तो भूमि से टकराने से ठीक पहले पिण्ड की सम्पूर्ण स्थितिज ऊर्जा गतिज ऊर्जा में परिवर्तित हो जाती है। संरक्षी बल के लिए प्रतिबंधित इस नियम को किसी वियुक्त निकाय के लिए व्यापक ऊर्जा संरक्षण नियम (जो ऊष्मागतिकी के पहले नियम का आधार है) से भ्रमित नहीं होना चाहिए।

भौतिकी में ऊर्जा की संकल्पना प्रमुख होती है तथा प्रत्येक भौतिक निकाय के लिए ऊर्जा के व्यंजक लिखे जा सकते हैं। जब ऊर्जा के सभी रूपों, उदाहरण के लिए, ऊष्मा, यांत्रिक ऊर्जा, विद्युत ऊर्जा आदि की गणना की जाती है, तो यह निष्कर्ष प्राप्त होता है कि ऊर्जा संरक्षित रहती है। ऊर्जा संरक्षण का व्यापक नियम सभी बलों तथा सभी प्रकार के ऊर्जा रूपांतरणों के लिए सत्य है। गिरते पिण्ड के उदाहरण में यदि आप गिरते

सर सी. वी. रामन (1888-1970)



चन्द्रशेखर वेंकटरामन का जन्म 07 नवम्बर, 1888 ई. को थिरूवंनाईक्कवल में हुआ था। उन्होंने अपनी स्कूली शिक्षा ग्यारह वर्ष की आयु में पूरी करके प्रेसिडेन्सी कॉलेज, मद्रास से स्नातक की उपाधि ग्रहण की। शिक्षा समाप्त करने के पश्चात् उन्होंने भारत सरकार की वित्तीय सेवाओं में कार्यभार संभाला।

कोलकाता में रहते हुए, सांध्यकाल में उन्होंने डॉ. महेन्द्र लाल सिरकार द्वारा स्थापित इंडियन एसोसिएशन फॉर कल्टीवेशन ऑफ साइंस (Indian Association for Cultivation of Science) में अपनी रुचि के क्षेत्र में कार्य करना आरंभ कर दिया। उनकी रुचि के क्षेत्र में कम्पन, वाद्य यंत्रों की विविधता, पराश्रव्य तरंगें, विवर्तन, आदि सम्मिलित थे।

वर्ष 1917 में उन्हें कोलकाता विश्वविद्यालय द्वारा प्रोफेसर का पद दिया गया। वर्ष 1924 में लन्दन की रॉयल सोसाइटी ने इनका सोसाइटी के फैलो के लिए निर्वाचन किया तथा वर्ष 1930 में इनके कार्य, जिसे अब रामन-प्रभाव कहते हैं, के लिए इन्हें नोबेल पुरस्कार से विभूषित किया गया।

रामन प्रभाव में माध्यम के अणुओं, जब वे कम्पन ऊर्जा स्तर तक उत्तेजित होते हैं, द्वारा प्रकाश के प्रकीर्णन की परिघटना पर विचार किया जाता है। उनके इस कार्य ने आगे आने वाले कई वर्षों के लिए अनुसंधानों का एक पूर्ण रूप से नवीन मार्ग खोला।

उन्होंने अपने जीवन के अंतिम वर्ष बंगलोर में पहले भारतीय विज्ञान संस्थान, और तत्पश्चात् रामन अनुसंधान संस्थान में व्यतीत किए। उनके कार्य ने युवा छात्रों की पीढ़ी को प्रोत्साहित किया है।

पिण्ड पर लगने वाले वायु के प्रतिरोध के प्रभाव को भी सम्मिलित कर लें और पिण्ड के भूमि पर टकराने और वहाँ ठहरने की स्थितियों को देखें तो आप यह पाएंगे कि स्पष्ट रूप से, कुल यांत्रिक ऊर्जा संरक्षित नहीं हुई है। तथापि, ऊर्जा संरक्षण का व्यापक नियम अभी भी लागू होता है। पत्थर की आरंभिक स्थितिज ऊर्जा, का रूपान्तरण ऊर्जा के अन्य रूपों : ऊष्मा तथा ध्वनि (अन्ततः, अवशोषित होने के पश्चात ध्वनि भी ऊष्मा बन जाती है) में होता है। वियुक्त निकाय (पत्थर तथा प्रतिवेश) की कुल ऊर्जा अपरिवर्तित रहती है।

ऊर्जा संरक्षण नियम को प्रकृति के सभी प्रभाव क्षेत्रों, सूक्ष्म से स्थूल तक, के लिए वैध माना गया है। इस नियम का दिनचर्या-अनुप्रयोग परमाण्विक, नाभिकीय तथा मूल कण प्रक्रियाओं के विश्लेषणों में किया जाता है। इसके विपरीत, विश्व में हर समय हर प्रकार की प्रचण्ड परिघटनाएँ होती रहती हैं। फिर भी, विश्व (यथासंभव आदर्श वियुक्त निकाय!) की कुल ऊर्जा अपरिवर्तनीय है, यह माना जाता है।

आइंस्टाइन के आपेक्षिकता के सिद्धांत के आविष्कार से पूर्व, द्रव्य को अविनाशी माना जाने के कारण, द्रव्यमान संरक्षण नियम को प्रकृति का एक अन्य मूल संरक्षण नियम माना जाता था। यह उपयोग में होने वाला महत्वपूर्ण नियम था (और आज भी है।), उदाहरण के लिए रासायनिक अभिक्रियाओं के विश्लेषण में इस नियम का अनुप्रयोग काफी समय से हो रहा है। कोई रासायनिक अभिक्रिया मूल रूप से विभिन्न अणुओं में परमाणुओं की पुनर्व्यवस्था ही होती है। यदि अभिकर्मक अणुओं की कुल बंधन ऊर्जा उत्पादित अणुओं की कुल बंधन ऊर्जा से कम होती है तो ऊर्जा का यह अंतर ऊष्मा के रूप में प्रकट होता है और अभिक्रिया ऊष्माक्षेपी होती है। ऊष्मा अवशोषी अभिक्रियाओं में इसका विलोम सत्य है। तथापि, चूंकि परमाणु केवल पुनर्व्यवस्थित ही होते हैं, नष्ट नहीं होते, किसी रासायनिक अभिक्रिया में अभिकर्मकों का कुल द्रव्यमान, उत्पादों के कुल द्रव्यमान के बराबर होता है। बंधन ऊर्जा में होने वाला परिवर्तन इतना कम होता है कि उसे द्रव्यमान परिवर्तन के रूप में मापना बहुत कठिन होता है।

आइंस्टाइन के सिद्धांत के अनुसार द्रव्यमान m ऊर्जा E के तुल्य होता है जिसे संबंध $E = mc^2$, द्वारा व्यक्त करते हैं, यहाँ c निर्वात् में प्रकाश की चाल है।

नाभिकीय प्रक्रियाओं में द्रव्यमान ऊर्जा में परिवर्तित हो जाता है (अथवा विलोमतः भी होता है)। यह वही ऊर्जा है जो नाभिकीय शक्ति जनन तथा नाभिकीय विस्फोटों में मुक्त होती है।

भौतिकी में संरक्षण नियम

ऊर्जा, संवेग, कोणीय संवेग, आवेश, आदि संरक्षण को भौतिकी में मूल नियम माना जाता है। वर्तमान समय में इस प्रकार के कई संरक्षण नियम हैं। उपरोक्त चार के अतिरिक्त अन्य संरक्षण नियमों के अंतर्गत अधिकांश रूप से, नाभिकीय तथा कणिकीय भौतिकी में प्रस्तावित भौतिक राशियों पर विचार किया जाता है। यह प्रचक्रण, बैरिआन संख्या, विचित्रता, उच्च आवेश आदि कुछ अन्य संरक्षित राशियाँ हैं; परन्तु आपको इनकी चिंता नहीं करनी चाहिए।

कोई संरक्षण नियम एक परिकल्पना, जोकि प्रेक्षणों तथा प्रयोगों पर आधारित कल्पना है, होता है। यहाँ यह याद रखना महत्वपूर्ण है कि किसी संरक्षण नियम को प्रमाणित नहीं किया जा सकता। इसे प्रयोगों से सत्यापित अथवा खंडित किया जा सकता है। कोई प्रयोग जिसके परिणाम किसी नियम के अनुरूप होते हैं, वह उस नियम को सत्यापित अथवा उसके प्रमाण प्रस्तुत करता है, नियम को प्रमाणित नहीं करता। इसके विपरीत, कोई एकल प्रयोग जिसके परिणाम किसी नियम के विरुद्ध प्राप्त होते हैं, वह उस नियम को खंडित करने के लिए पर्याप्त होता है।

किसी से भी ऊर्जा संरक्षण नियम को प्रमाणित करने के लिए कहना न्यायोचित नहीं है। यह नियम हमारे कई शताब्दियों के अनुभवों का परिणाम है तथा इसे यांत्रिकी, ऊष्मागतिकी, विद्युत चुम्बकत्व, प्रकाशिकी, परमाण्वीय तथा नाभिकीय भौतिकी अथवा अन्य किसी भी क्षेत्र के सभी प्रयोगों में वैध पाया गया है।

कुछ विद्यार्थी ऐसा अनुभव करते हैं कि वे गुरुत्व के अधीन मुक्त पतन करते किसी पिण्ड की किसी बिन्दु पर गतिज ऊर्जा तथा स्थितिज ऊर्जा का योग करके यह दर्शाकर कि ऊर्जाओं का यह योग अचर रहता है, ऊर्जा संरक्षण नियम को प्रमाणित कर सकते हैं। जैसा कि पहले कहा जा चुका है कि यह केवल इस नियम का सत्यापन है, उपपत्ति नहीं।

ऊर्जा एक अदिश राशि है। परन्तु संरक्षित होने वाली सभी राशियाँ अदिश ही हों यह आवश्यक नहीं है। किसी वियुक्त निकाय का कुल रैखिक संवेग, तथा कुल कोणीय संवेग (दोनों सदिश) दोनों भी संरक्षित राशियाँ हैं। इन नियमों को यांत्रिकी में न्यूटन के गति के नियमों से व्युत्पन्न किया जा सकता है। परन्तु इनकी वैधता यांत्रिकी के क्षेत्र के भी बाहर है। ये हर प्रभाव क्षेत्र, यहाँ तक कि जहाँ न्यूटन के नियम भी वैध नहीं हैं, में प्रकृति के मूल संरक्षण नियम हैं।

इनकी अत्यधिक सरलता तथा व्यापकता के अतिरिक्त प्रकृति के संरक्षण नियम व्यवहार में भी अत्यंत उपयोगी हैं। ऐसा प्रायः होता है कि विविध बलों तथा कणों से संबंधित पूर्ण गतिकी की किसी जटिल समस्या को हम हल नहीं कर पाते। तथापि संरक्षण नियम ऐसी परिस्थितियों में भी उपयोगी परिणाम प्रदान कर सकते हैं। उदाहरण के लिए, दो स्वचालित वाहनों की टक्करों की अवधि में लगने वाले जटिल बलों का हमें ज्ञान नहीं होता; फिर भी संवेग संरक्षण नियम हमें इस योग्य बनाता है कि

हम जटिलताओं से बाहर निकल कर, टक्कर के संभावित परिणामों का अनुमान लगाएँ अथवा उन्हें नियम विरुद्ध घोषित करें। नाभिकीय तथा मूल कणों से संबंधित परिघटनाओं में भी संरक्षण नियम विश्लेषण के उपयोगी साधन होते हैं। वास्तव में, β-क्षय के लिए ऊर्जा तथा संवेग संरक्षण नियमों का उपयोग करके वुल्फगेंग पाउली (1900-1958) ने वर्ष 1931 में इलेक्ट्रॉन के साथ उत्सर्जित एक नवीन कण (जिसे अब न्यूट्रिनो कहते हैं।) के अस्तित्व का सही पूर्वानुमान लगाया था।

प्रकृति की सममितियों का संरक्षण नियमों से गहरा संबंध है जिसके विषय में आप भौतिकी के अधिक उन्नत पाठ्यक्रम में अन्वेषण करेंगे। उदाहरण के लिए, यह एक महत्वपूर्ण प्रेक्षण है कि प्रकृति के नियम समय के साथ परिवर्तित नहीं होते। यदि आप आज अपनी प्रयोगशाला में कोई प्रयोग करें तथा अपने उसी प्रयोग को (सर्वसम अवस्थाओं में उन्हीं पिण्डों के साथ) एक वर्ष पश्चात् दोहराएँ तो आपको समान परिणाम प्राप्त होना एक बाध्यता है। इससे यह अर्थ निकलता है कि समय के साथ स्थानांतरण (अर्थात् विस्थापन) के सापेक्ष प्रकृति की यह सममिति, ऊर्जा संरक्षण नियम के तुल्य है। इसी प्रकार, दिक्स्थान समांगी है तथा विश्व में (मूलभूत रूप से) कोई अधिमत अवस्थिति नहीं है। इसे हम इस प्रकार स्पष्ट कर सकते हैं कि विश्व में प्रकृति के नियम हर स्थान पर समान हैं (सावधान : विभिन्न अवस्थितियों में विभिन्न परिस्थितियाँ होने के कारण स्थान परिवर्तन के साथ परिघटनाएँ परिवर्तित हो सकती हैं। उदाहरण के लिए, चन्द्रमा पर गुरुत्वीय त्वरण पृथ्वी पर गुरुत्वीय त्वरण का 1/6 भाग होता है, परन्तु चन्द्रमा तथा पृथ्वी दोनों के लिए **गुरुत्वाकर्षण का नियम** समान ही है)। दिक्स्थान में स्थानांतरण के सापेक्ष प्रकृति के नियमों की इस सममितिता से रैखिक संवेग संरक्षण नियम प्राप्त होता है। इसी प्रकार दिक्स्थान की समदैशिकता (दिक्स्थान में मूलभूत रूप से कोई अधिमत दिशा नहीं है।) कोणीय संवेग संरक्षण नियम का आधार है (अध्याय 7 देखिए)। आवेश संरक्षण नियम तथा मूल कणों के अन्य लक्षणों को भी कुछ अमूर्त सममितियों से संबंधित किया जा सकता है। दिक्काल की सममितियाँ तथा अन्य अमूर्त सममितियाँ प्रकृति में मूल बलों के आधुनिक सिद्धांतों में महत्वपूर्ण भूमिका निभाती हैं।

सारांश

1. भौतिकी का संबंध प्रकृति के मूल नियमों तथा उनकी विभिन्न परिघटनाओं में अभिव्यक्ति के अध्ययन से है। भौतिकी के मूल नियम सार्वत्रिक हैं तथा इनका अनुप्रयोग व्यापक रूप में विविध संदर्भों एवं परिस्थितियों में किया जाता है।
2. भौतिकी का क्षेत्र विस्तृत है जिसमें भौतिक राशियों का अत्यंत विशाल परिसर फैला है।
3. भौतिकी तथा प्रौद्योगिक परस्पर संबंधित हैं। कभी प्रौद्योगिकी नवीन भौतिकी को जन्म देती है तो किसी अन्य समय पर भौतिकी नवीन प्रौद्योगिकी का जनन करती है। दोनों का समाज पर प्रत्यक्ष प्रभाव है।
4. प्रकृति में चार मूल बल हैं जो स्थूल तथा सूक्ष्म जगत की विविध परिघटनाओं को नियंत्रित करते हैं। ये चार बल हैं - 'गुरुत्वाकर्षण बल', 'विद्युत चुम्बकीय बल', 'प्रबल नाभिकीय बल' तथा 'दुर्बल नाभिकीय बल'। प्रकृति में विभिन्न बलों/प्रभाव क्षेत्रों का एकीकरण भौतिकी की एक मूल खोज है।
5. ऐसी भौतिक राशियां जो किसी प्रक्रिया में अपरिवर्ती हैं, संरक्षित राशियां कहलाती हैं। प्रकृति के संरक्षण नियमों में सम्मिलित कुछ नियम-द्रव्यमान, ऊर्जा, रैखिक संवेग, कोणीय संवेग, आवेश, पैरिटी (समता) संरक्षण नियम हैं। कुछ संरक्षण नियम एक मूल बल के लिए तो सही होते हैं परन्तु किसी अन्य बल के लिए सही नहीं होते।
6. संरक्षण नियमों का प्रकृति की सममितियों के साथ गहरा संबंध है। दिक्स्थान तथा काल की सममितियों तथा अन्य सममितियों की प्रकृति में मूल बलों के आधुनिक सिद्धांतों में केन्द्रीय भूमिका है।

अभ्यास

विद्यार्थियों के लिए संकेत

यहां दिए गए अभ्यासों का उद्देश्य आपको विज्ञान, प्रौद्योगिकी तथा समाज को घेरे रखने वाली समस्याओं से अवगत कराना तथा आपको इनके विषय में सोचने तथा अपने विचारों का सूत्रण करने के लिए प्रोत्साहित करना है। इन प्रश्नों के, हो सकता है, सुस्पष्ट 'वस्तुनिष्ट' उत्तर न हों।

शिक्षकों के लिए संकेत

यहां दिए गए अभ्यास किसी औपचारिक परीक्षा के लिए नहीं हैं।

1.1 विज्ञान की प्रकृति से संबंधित कुछ अत्यंत पारंगत प्रकथन आज तक के महानतम वैज्ञानिकों में से एक अल्बर्ट आइंस्टाइन द्वारा प्रदान किए गए हैं। आपके विचार से आइंस्टाइन का उस समय क्या तात्पर्य था, जब उन्होंने कहा था "संसार के बारे में सबसे अधिक अबोधगम्य विषय यह है कि यह बोधगम्य है"?

1.2 "प्रत्येक महान भौतिक सिद्धांत अपसिद्धांत से आरंभ होकर धर्मसिद्धांत के रूप में समाप्त होता है"। इस तीक्ष्ण टिप्पणी की वैधता के लिए विज्ञान के इतिहास से कुछ उदाहरण लिखिए।

1.3 "संभव की कला ही राजनीति है"। इसी प्रकार "समाधान की कला ही विज्ञान है"। विज्ञान की प्रकृति तथा व्यवहार पर इस सुन्दर सूक्ति की व्याख्या कीजिए।

1.4 यद्यपि अब भारत में विज्ञान तथा प्रौद्योगिकी का विस्तृत आधार है तथा यह तीव्रता से फैल भी रहा है, परन्तु फिर भी इसे विज्ञान के क्षेत्र में विश्व नेता बनने की अपनी क्षमता को कार्यान्वित करने में काफी दूरी तय करनी है। ऐसे कुछ महत्वपूर्ण कारक लिखिए जो आपके विचार से भारत में विज्ञान के विकास में बाधक रहे हैं?

1.5 किसी भी भौतिक विज्ञानी ने इलेक्ट्रॉन के कभी भी दर्शन नहीं किए हैं। परन्तु फिर भी सभी भौतिक विज्ञानियों का इलेक्ट्रॉन के अस्तित्व में विश्वास है। कोई बुद्धिमान परन्तु अंधविश्वासी व्यक्ति इसी तुल्यरूपता को इस तर्क के साथ आगे बढ़ाता है कि यद्यपि किसी ने 'देखा' नहीं है परन्तु 'भूतों' का अस्तित्व है। आप इस तर्क का खंडन किस प्रकार करेंगे?

1.6 जापान के एक विशेष समुद्र तटीय क्षेत्र में पाए जाने वाले केकड़े के कवचों (खोल) में से अधिकांश समुरई के अनुश्रुत चेहरे से मिलते जुलते प्रतीत होते हैं। नीचे इस प्रेक्षित तथ्य की दो व्याख्याएं दी गई हैं। इनमें से आपको कौन-सा वैज्ञानिक स्पष्टीकरण लगता है?

(i) कई शताब्दियों पूर्व किसी भयानक समुद्री दुर्घटना में एक युवा समुरई डूब गया। उसकी बहादुरी के लिए श्रद्धांजलि के रूप में प्रकृति ने अबोधगम्य ढंगों द्वारा उसके चेहरे को केकड़े के कवचों पर अंकित करके उसे उस क्षेत्र में अमर बना दिया।

(ii) समुद्री दुर्घटना के पश्चात् उस क्षेत्र के मछुआरे अपने मृत नेता के सम्मान में सद्भावना प्रदर्शन के लिए, उस हर केकड़े के कवच को जिसकी आकृति संयोगवश समुरई से मिलती-जुलती प्रतीत होती थी, उसे वापस समुद में फेंक देते थे। परिणामस्वरूप केकड़े के कवचों की इस प्रकार की विशेष आकृतियां अधिक समय तक विद्यमान रहीं और इसीलिए कालान्तर में इसी आकृति का आनुवंशतः जनन हुआ। यह कृत्रिम वरण द्वारा विकास का एक उदाहरण है।

(नोट : यह रोचक उदाहरण कार्ल सागन की पुस्तक "दि कॉस्मॉस" से लिया गया है। यह इस तथ्य पर प्रकाश डालता है कि प्रायः विलक्षण तथा अबोधगम्य तथ्य जो प्रथम दृष्टि में अलौकिक प्रतीत होते हैं वास्तव में साधारण वैज्ञानिक व्याख्याओं द्वारा स्पष्ट होने योग्य बन जाते हैं। इसी प्रकार के अन्य उदाहरणों पर विचार कीजिए)।

1.7 दो शताब्दियों से भी अधिक समय पूर्व इंग्लैण्ड तथा पश्चिमी यूरोप में जो औद्योगिक क्रांति हुई थी उसकी चिंगारी का कारण कुछ प्रमुख वैज्ञानिक तथा प्रौद्योगिक उपलब्धियाँ थीं। ये उपलब्धियां क्या थीं?

1.8 प्रायः यह कहा जाता है कि संसार अब दूसरी औद्योगिकी क्रांति के दौर से गुजर रहा है, जो समाज में पहली क्रांति की भांति आमूल परिवर्तन ला देगी। विज्ञान तथा प्रौद्योगिकी के उन प्रमुख समकालीन क्षेत्रों की सूची बनाइए जो इस क्रांति के लिए उत्तरदायी हैं।

1.9 बाईसवीं शताब्दी के विज्ञान तथा प्रौद्योगिकी पर अपनी निराधार कल्पनाओं को आधार मानकर लगभग 1000 शब्दों में कोई कथा लिखिए।

1.10 'विज्ञान के व्यवहार' पर अपने 'नैतिक' दृष्टिकोणों को रचने का प्रयास कीजिए। कल्पना कीजिए कि आप स्वयं किसी संयोगवश ऐसी खोज में लगे हैं जो शैक्षिक दृष्टि से रोचक है परन्तु उसके परिणाम निश्चित रूप से मानव

समाज के लिए भयंकर होने के अतिरिक्त कुछ नहीं होंगे। फिर भी यदि ऐसा है तो आप इस दुविधा के हल के लिए क्या करेंगे?

1.11 किसी भी ज्ञान की भांति विज्ञान का उपयोग भी, उपयोग करने वाले पर निर्भर करते हुए, अच्छा अथवा बुरा हो सकता है। नीचे विज्ञान के कुछ अनुप्रयोग दिए गए हैं। विशेषकर कौन सा अनुप्रयोग अच्छा है, बुरा है अथवा ऐसा है कि जिसे स्पष्ट रूप से वर्गबद्ध नहीं किया जा सकता इसके बारे में अपने दृष्टिकोणों को सूचीबद्ध कीजिए:

(i) आम जनता को चेचक के टीके लगाकर इस रोग को दबाना और अंततः इस रोग से जनता को मुक्ति दिलाना। (भारत में इसे पहले ही प्रतिपादित किया जा चुका है।)

(ii) निरक्षरता का विनाश करने तथा समाचारों एवं धारणाओं के जनसंचार के लिए टेलीविजन।

(iii) जन्म से पूर्व लिंग निर्धारण।

(iv) कार्यदक्षता में वृद्धि के लिए कम्प्यूटर।

(v) पृथ्वी के परितः कक्षाओं में मानव-निर्मित उपग्रहों की स्थापना।

(vi) नाभिकीय शस्त्रों का विकास।

(vii) रासायनिक तथा जैव युद्ध की नवीन तथा शक्तिशाली तकनीकों का विकास।

(viii) पीने के लिए जल का शोधन।

(ix) प्लास्टिक शल्य क्रिया।

(x) क्लोनिंग।

1.12 भारत में गणित, खगोलिकी, भाषा विज्ञान, तर्क तथा नैतिकता में महान विद्वत्ता की एक लंबी एवं अटूट परम्परा रही है। फिर भी इसके साथ, एवं समान्तर, हमारे समाज में बहुत से अंधविश्वासी तथा रूढ़िवादी दृष्टिकोण व परम्पराएं फली-फूली हैं और दुर्भाग्यवश ऐसा अभी भी हो रहा है और बहुत से शिक्षित लोगों में व्याप्त है। इन दृष्टिकोणों का विरोध करने के लिए अपनी रणनीति बनाने में आप अपने विज्ञान के ज्ञान का उपयोग किस प्रकार करेंगे?

1.13 यद्यपि भारत में स्त्री तथा पुरुषों को समान अधिकार प्राप्त हैं, फिर भी बहुत से लोग महिलाओं की स्वाभाविक प्रकृति, क्षमता, बुद्धिमत्ता के बारे में अवैज्ञानिक विचार रखते हैं तथा व्यवहार में उन्हें गौण महत्व तथा भूमिका देते हैं। वैज्ञानिक तर्कों तथा विज्ञान एवं अन्य क्षेत्रों में महान महिलाओं का उदाहरण देकर इन विचारों को धराशायी करिए; तथा अपने को स्वयं, तथा दूसरों को भी समझाइए कि समान अवसर दिए जाने पर महिलाएँ पुरुषों के समकक्ष होती हैं।

1.14 "भौतिकी के समीकरणों में सुन्दरता होना उनका प्रयोगों के साथ सहमत होने की अपेक्षा अधिक महत्वपूर्ण है।" यह मत महान ब्रिटिश वैज्ञानिक पी.ए.एम. डिरैक का था। इस दृष्टिकोण की समीक्षा कीजिए। इस पुस्तक में ऐसे संबंधों तथा समीकरणों को खोजिए जो आपको सुन्दर लगते हैं।

1.15 यद्यपि उपरोक्त प्रकथन विवादास्पद हो सकता है परन्तु अधिकांश भौतिक विज्ञानियों का यह मत है कि भौतिकी के महान नियम एक ही साथ सरल एवं सुन्दर होते हैं। डिरैक के अतिरिक्त जिन सुप्रसिद्ध भौतिक विज्ञानियों ने ऐसा अनुभव किया उनमें से कुछ के नाम इस प्रकार हैं : आइंस्टाइन, बोर, हाइसेनवर्ग, चन्द्रशेखर तथा फाइनमैन। आपसे अनुरोध है कि आप भौतिकी के इन विद्वानों तथा अन्य महानायकों द्वारा रचित सामान्य पुस्तकों एवं लेखों तक पहुँचने के लिए विशेष प्रयास अवश्य करें। (इस पुस्तक के अंत में दी गई ग्रंथ-सूची देखिए)। इनके लेख सचमुच प्रेरक हैं।

1.16 विज्ञान की पाठ्यपुस्तकें आपके मन में यह गलत धारणा उत्पन्न कर सकती हैं कि विज्ञान पढ़ना शुष्क तथा पूर्णतः अत्यंत गंभर हैं एवं वैज्ञानिक भुलक्कड़, अंतर्मुखी, कभी न हँसने वाले अथवा खीसें निकालने वाले व्यक्ति होते हैं। विज्ञान तथा वैज्ञानिकों का यह चित्रण पूर्णतः आधारहीन है। अन्य समुदाय के मनुष्यों की भांति वैज्ञानिक भी विनोदी होते हैं तथा बहुत से वैज्ञानिकों ने तो अपने वैज्ञानिक कार्यों को गंभीरता से पूरा करते हुए अत्यंत विनोदी प्रकृति तथा साहसिक कार्य करके अपना जीवन व्यतीत किया है। गैमो तथा फाइनमैन इसी शैली के दो भौतिक विज्ञानी हैं। ग्रंथ सूची में इनके द्वारा रचित पुस्तकों को पढ़ने में आपको आनन्द प्राप्त होगा।

अध्याय 2

मात्रक एवं मापन

2.1 भूमिका

किसी भौतिक राशि का मापन, एक निश्चित, आधारभूत, यादृच्छिक रूप से चुने गए मान्यताप्राप्त, संदर्भ-मानक से इस राशि की तुलना करना है। यह संदर्भ-मानक **मात्रक** कहलाता है। किसी भी भौतिक राशि की माप को मात्रक के आगे एक संख्या (आंकिक संख्या) लिखकर व्यक्त किया जाता है। यद्यपि हमारे द्वारा मापी जाने वाली भौतिक राशियों की संख्या बहुत अधिक है, फिर भी, हमें इन सब भौतिक राशियों को व्यक्त करने के लिए, मात्रकों की सीमित संख्या की ही आवश्यकता होती है, क्योंकि, ये राशियाँ एक दूसरे से परस्पर संबंधित हैं। मूल राशियों को व्यक्त करने के लिए प्रयुक्त मात्रकों को **मूल मात्रक** कहते हैं। इनके अतिरिक्त अन्य सभी भौतिक राशियों के मात्रकों को मूल मात्रकों के संयोजन द्वारा व्यक्त किया जा सकता है। इस प्रकार प्राप्त किए गए व्युत्पन्न राशियों के मात्रकों को **व्युत्पन्न मात्रक** कहते हैं। मूल-मात्रकों और व्युत्पन्न मात्रकों के सम्पूर्ण समुच्चय को **मात्रकों की प्रणाली** (या पद्धति) कहते हैं।

2.2 मात्रकों की अंतर्राष्ट्रीय प्रणाली

बहुत वर्षों तक मापन के लिए, विभिन्न देशों के वैज्ञानिक, अलग-अलग मापन प्रणालियों का उपयोग करते थे। अब से कुछ समय-पूर्व तक ऐसी तीन प्रणालियाँ – CGS प्रणाली, FPS (या ब्रिटिश) प्रणाली एवं MKS प्रणाली, प्रमुखता से प्रयोग में लाई जाती थीं।

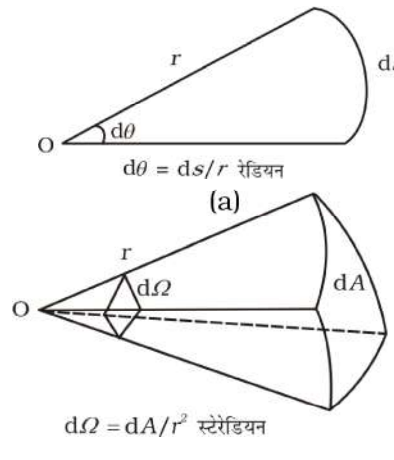
इन प्रणालियों में लम्बाई, द्रव्यमान एवं समय के मूल मात्रक क्रमशः इस प्रकार हैं :

- CGS प्रणाली में, सेन्टीमीटर, ग्राम एवं सेकन्ड।
- FPS प्रणाली में, फुट, पाउन्ड एवं सेकन्ड।
- MKS प्रणाली में, मीटर, किलोग्राम एवं सेकन्ड।

आजकल अंतर्राष्ट्रीय स्तर पर मान्य प्रणाली "*सिस्टम इन्टरनेशनल डि यूनिट्स*" है (जो फ्रेंच भाषा में "मात्रकों की अंतर्राष्ट्रीय प्रणाली" कहना है)। इसे संकेताक्षर में SI लिखा जाता है। SI प्रतीकों, मात्रकों और उनके संकेताक्षरों की योजना 1971 में, मापतोल के महा सम्मेलन द्वारा विकसित कर, वैज्ञानिक, तकनीकी, औद्योगिक एवं व्यापारिक कार्यों में अंतर्राष्ट्रीय स्तर पर उपयोग हेतु

अनुमोदित की गई। SI मात्रकों की 10 की घातों पर आधारित (दाशमिक) प्रकृति के कारण, इस प्रणाली के अंतर्गत रूपांतरण अत्यंत सुगम एवं सुविधाजनक है। हम इस पुस्तक में SI मात्रकों का ही प्रयोग करेंगे।

SI में सात मूल मात्रक हैं, जो सारणी 2.1 में दिए गए हैं। इन सात मूल मात्रकों के अतिरिक्त दो पूरक मात्रक भी हैं जिनको हम इस प्रकार परिभाषित कर सकते हैं : (i) समतलीय कोण, $d\theta$ चित्र 2.1(a) में दर्शाए अनुसार वृत्त के चाप की लम्बाई ds और इसकी त्रिज्या r का अनुपात होता है। तथा (ii) घन-कोण, $d\Omega$ चित्र 2.1(b) में दर्शाए अनुसार शीर्ष O को केन्द्र की भांति प्रयुक्त करके उसके परित: निर्मित गोलीय पृष्ठ के अपरोधन क्षेत्र dA तथा त्रिज्या r के वर्ग का अनुपात होता है। समतलीय कोण का मात्रक रेडियन है जिसका प्रतीक rad है एवं घन कोण का मात्रक स्टेरेडियन है जिसका प्रतीक sr है। ये दोनों ही विमाविहीन राशियाँ हैं।



चित्र 2.1 (a) समतलीय कोण $d\theta$ एवं (b) घन कोण $d\Omega$ का आरेखीय विवरण

सारणी 2.1 SI मूल राशियाँ एवं उनके मात्रक*

मूल राशि	SI मात्रक		
	नाम	प्रतीक	परिभाषा
लंबाई	मीटर	m	प्रकाश द्वारा निर्वात में एक सेकंड के 299, 792, 458 वें समय अंतराल में तय किए गए पथ की लंबाई एक मीटर है । (1983 से मान्य)
द्रव्यमान	किलोग्राम	kg	फ्रांस में पेरिस के पास सेवरिस में स्थित अंतर्राष्ट्रीय माप-तोल ब्यूरो में रखे किलोग्राम के अंतर्राष्ट्रीय आदि प्ररूप (प्लेटिनम-इरिडियम मिश्रधातु से बने सिलिंडर) का द्रव्यमान एक किलोग्राम के बराबर है । (1889 से मान्य)
समय	सेकंड	s	एक सेकंड वह अंतराल है जो सीज़ियम 133 परमाणु के निम्नतम ऊर्जा स्तर के दो अतिसूक्ष्म स्तरों के मध्य संक्रमण के तदनुरूपी विकिरण के 9,192,631,770 आवर्त कालों के बराबर है। (1967 से मान्य)
विद्युत धारा	ऐम्पियर	A	एक ऐम्पियर वह नियत विद्युत धारा है जो कि निर्वात में 1 मीटर की दूरी पर स्थित दो सीधे अनंत लंबाई वाले समानांतर एवं नगण्य वृत्तीय अनुप्रस्थ काट के चालकों में प्रवाहित होने पर, इन चालकों के बीच प्रति मीटर लंबाई पर 2×10^{-7} न्यूटन का बल उत्पन्न करती है । (1948 से मान्य)
ऊष्मागतिक ताप	केल्विन	K	जल के त्रिक-बिंदु के ऊष्मागतिक ताप के 1/273.16 वें भाग को 1 केल्विन कहते हैं। (1967 से मान्य)
पदार्थ की मात्रा	मोल	mol	1 मोल किसी निकाय में पदार्थ की वह मात्रा है जिसमें उतनी ही मूल सत्ताएं होती हैं जितनी 0.012 kg कार्बन-12 में परमाणुओं की संख्या होती है। (1971 से मान्य)
ज्योति-तीव्रता	कैंडेला	cd	कैंडेला, किसी दिशा में 540×10^{12} Hz आवृत्ति वाले स्रोत की ज्योति-तीव्रता है जो उस दिशा में (1/683) वाट प्रति स्टेरेडियन की विकिरण तीव्रता का एकवर्णीय प्रकाश उत्सर्जित करता है (1979 से मान्य)

* *इन परिभाषाओं में प्रयुक्त संख्याओं के मान, न तो याद रखने की आवश्यकता है, न परीक्षा में पूछे जाने की। ये यहाँ पर केवल इनके मापन की यथार्थता की सीमा का संकेत देने के लिए दिए गए हैं। प्रौद्योगिकी के विकास के साथ मापन की तकनीकों में भी सुधार होता है, परिणामस्वरूप, मापन अधिक परिशुद्धता से होता है। इस प्रगति के साथ तालमेल बनाए रखने के लिए मूल मात्रकों को संशोधित किया जाता है।*

सारणी 2.2 सामान्य प्रयोग के लिए SI मात्रकों के अतिरिक्त कुछ अन्य मात्रक

नाम	प्रतीक	SI मात्रक के पदों में मान
मिनट	min	60 s
घंटा	h	60 min = 3600 s
दिन	d	24 h = 86400 s
वर्ष	y	365.25 d = 3.156×10^7 s
डिग्री	°	$1° = (\pi/180)$ rad
लिटर	L	1 $dm^3 = 10^{-3} m^3$
टन	t	10^3 kg
कैरट	c	200 mg
बार	bar	0.1 MPa = 10^5 Pa
क्यूरी	Ci	$3.7 \times 10^{10}\ s^{-1}$
रोंजन	R	$2.58 \times 10^{-4}\ C\ kg^{-1}$
क्विंटल	q	100 kg
बार्न	b	100 $fm^2 = 10^{-28}\ m^2$
आर	a	1 $dam^2 = 10^2\ m^2$
हेक्टार	ha	1 $hm^2 = 10^4\ m^2$
मानक वायुमंडलीय दाब	atm	101 325 Pa = 1.013×10^5 Pa

ध्यान दीजिए, मोल का उपयोग करते समय मूल सत्ताओं का विशेष रूप से उल्लेख किया जाना चाहिए। ये मूल सत्ताएँ परमाणु, अणु, आयन, इलेक्ट्रॉन, अन्य कोई कण अथवा इसी प्रकार के कणों का विशिष्ट समूह हो सकता है।

हम ऐसी भौतिक राशियों के मात्रकों का भी उपयोग करते हैं जिन्हें सात मूल राशियों से व्युत्पन्न किया जा सकता है (परिशिष्ट A 6)। SI मूल मात्रकों के पदों में व्यक्त कुछ व्युत्पन्न मात्रक (परिशिष्ट A 6.1) में दिए गए हैं। कुछ व्युत्पन्न SI मात्रकों को विशिष्ट नाम दिए गए हैं (परिशिष्ट A 6.2) और कुछ व्युत्पन्न SI मात्रक इन विशिष्ट नामों वाले व्युत्पन्न मात्रकों और सात मूल-मात्रकों के संयोजन से बनते हैं (परिशिष्ट A 6.3)। आपको तात्कालिक संदर्भ तथा मार्गदर्शन प्रदान करने के लिए इन मात्रकों को परिशिष्ट (A 6.2) एवं (A 6.3) में दिया गया है। सामान्य व्यवहार में आने वाले अन्य मात्रक सारणी 2.2 में दिए गए हैं।

SI मात्रकों के सामान्य गुणज और अपवर्तकों को व्यक्त करने वाले उपसर्ग और उनके प्रतीक परिशिष्ट (A2) में दिए गए हैं। भौतिक राशियों, रासायनिक तत्वों और नाभिकों के संकेतों के उपयोग संबंधी सामान्य निर्देश परिशिष्ट (A7) में दिए गए हैं और आपके मार्गदर्शन तथा तात्कालिक संदर्भ के लिए SI मात्रकों एवं अन्य मात्रकों संबंधी निर्देश परिशिष्ट (A8) में दिए गए हैं।

2.3 लम्बाई का मापन

लम्बाई मापन की कुछ प्रत्यक्ष विधियों से आप पहले ही से परिचित हैं। उदाहरण के लिए, आप जानते हैं कि 10^{-3} m से 10^2 m तक की लम्बाइयाँ मीटर पैमाने का उपयोग करके ज्ञात की जाती हैं। 10^{-4} m की लम्बाई को यथार्थता से मापने के लिए हम वर्नियर कैलिपर्स का उपयोग करते हैं। स्क्रू-गेज (पेंचमापी) और गोलाईमापी (स्फेरोमीटर) का उपयोग 10^{-5} m तक की लम्बाइयों को मापने में किया जाता है। इन परिसरों से बाहर की लम्बाइयों को मापने के लिए हमें कुछ परोक्ष विधियों का सहारा लेना होता है।

2.3.1 बड़ी दूरियों का मापन

बहुत बड़ी दूरियाँ, जैसे किसी ग्रह अथवा तारे की पृथ्वी से दूरी, प्रत्यक्ष-रूप से किसी मीटर पैमाने की सहायता से ज्ञात नहीं की जा सकती है। ऐसी दशाओं में महत्वपूर्ण विधि जिसे **लम्बन-विधि** कहते हैं, का उपयोग किया जाता है।

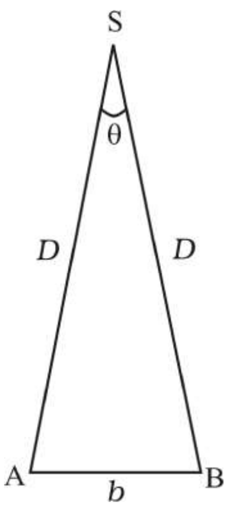
जब आप किसी पेंसिल को अपने सामने पकड़ते हैं और पृष्ठभूमि (माना दीवार) के किसी विशिष्ट बिन्दु के सापेक्ष पेंसिल को पहले अपनी बायीं आँख A से (दायीं आँख बंद रखते हुए) देखते हैं, और फिर दायीं आँख B से (बायीं आँख बंद रखते हुए), तो आप पाते हैं, कि दीवार के उस बिन्दु के सापेक्ष पेंसिल की स्थिति परिवर्तित होती प्रतीत होती है। इसे **लम्बन** कहा जाता है। दो प्रेक्षण बिन्दुओं (A एवं B) के बीच की दूरी को **आधारक** कहा जाता है। इस उदाहरण में दोनों आँखों के बीच की दूरी आधारक है।

लम्बन विधि द्वारा किसी दूरस्थ ग्रह S की दूरी D ज्ञात करने के लिए, हम इसको, पृथ्वी पर दो विभिन्न स्थितियों (वेध शालाओं) A एवं B से, एक ही समय पर देखते हैं। A एवं B

के बीच की दूरी AB = b है। चित्र 2.2 देखिए। इन दो स्थितियों से ग्रह की प्रेक्षण दिशाओं के बीच का कोण माप लिया जाता है। चित्र 2.2 में θ द्वारा दर्शाया गया यह कोण $\angle$ASB **लम्बन कोण** या **लम्बनिक कोण** कहलाता है।

क्योंकि, ग्रह की पृथ्वी से दूरी बहुत अधिक है $\frac{b}{D} << 1$, और, इसलिए, कोण θ बहुत ही छोटा है। ऐसी दशा में हम AB को, केन्द्र S और त्रिज्या D वाले वृत्त का, लम्बाई b का चाप मान सकते हैं। $\because$ त्रिज्या AS = BS, $\therefore$ AB = b = $D\,\theta$ जहाँ θ रेडियन में है।

अत: $D = \frac{b}{\theta}$ (2.1)



चित्र 2.2 लम्बन विधि

D के निर्धारण के पश्चात् हम इसी विधि द्वारा ग्रह का आमाप अथवा कोणीय व्यास भी निर्धारित कर सकते हैं। यदि d ग्रह का व्यास और α उसका कोणीय आमाप (d द्वारा पृथ्वी के किसी बिन्दु पर अंतरित कोण) हो, तो

$\alpha = d/D$ (2.2)

कोण α को, पृथ्वी की उसी अवस्थिति से मापा जा सकता है। यह ग्रह के दो व्यासत: विपरीत (व्यास के विपरीत सिरों पर स्थित) बिन्दुओं को दूरदर्शक द्वारा देखने पर प्राप्त दो दिशाओं के बीच बना कोण है। क्योंकि D का मान ज्ञात है, अत: ग्रह के व्यास d का मान समीकरण (2.2) की सहायता से ज्ञात किया जा सकता है।

उदाहरण 2.1 (a) 1^0 (डिग्री) (b) $1'$ (1 आर्क मिनट) एवं (c) $1''$ (1आर्क सेकंड) के कोणों के मान रेडियन में परिकलित कीजिए ($360^0 = 2\pi$ rad, $1^0 = 60'$ एवं $1' = 60''$ लीजिए)।

हल (a) हमें ज्ञात है $360^0 = 2\pi$ rad

$1^0 = (\pi/180)$ rad $= 1.745\times10^{-2}$ rad

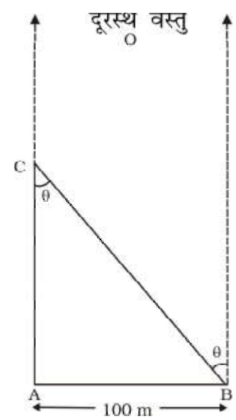
(b) $1^0 = 60' = 1.745\times10^{-2}$ rad

$1' = 2.908\times10^{-4}$ rad $\simeq 2.91\times10^{-4}$ rad

(c) $1' = 60'' = 2.908\times10^{-4}$ rad

$1'' = 4.847\times10^{-4}$ rad $\simeq 4.85\times10^{-6}$ rad

उदाहरण 2.2 एक व्यक्ति अपने पास की किसी मीनार की अपने से दूरी का आकलन करना चाहता है। वह मीनार C के सामने किसी बिन्दु A पर खड़ा होता है और AC की सीध में बहुत दूर स्थित किसी बिन्दु O को देखता है। फिर वह, AC के लम्बवत् 100 m दूर स्थित बिन्दु B तक चलता है और वहाँ से O एवं C को फिर देखता है। क्योंकि O बहुत अधिक दूरी पर है, BO एवं AO की दिशाएँ व्यावहारिक रूप में एक ही हैं, लेकिन वह पाता है कि C की दृष्टि रेखा मूल दृष्टि रेखा के सापेक्ष $\theta = 40^0$ पर घूम गई है (θ को लम्बन कहा जाता है)। उसकी मूल स्थिति A से मीनार C की दूरी का आकलन कीजिए।



चित्र 2.3

हल दिया गया है, लम्बन कोण $\theta = 40^0$

चित्र 2.3 से, AB = AC tan θ

AC = AB/tanθ = 100 m/tan 40^0

= 100 m/0.8391 = 119 m

उदाहरण 2.3 पृथ्वी के दो व्यासत: विपरीत बिन्दुओं A एवं B से चन्द्रमा का प्रेक्षण किया गया। प्रेक्षण की दो दिशाओं के बीच, चन्द्रमा पर अंतरित कोण θ की माप $1^\circ 54'$ है। पृथ्वी का व्यास लगभग 1.276×10^7 m, है। पृथ्वी से चन्द्रमा की दूरी का अभिकलन कीजिए।

हल ज्ञात है $\theta = 1^\circ 54' = 114'$

$$= (114\times60)'' \times (4.85\times10^{-6}) \text{ rad}$$

$$= 3.32\times10^{-2} \text{ rad}$$

चूंकि $1'' = 4.85 \times 10^{-6}$ rad

और $b = AB = 1.276 \times 10^{7}$ m

अत: समीकरण (2.1) के अनुसार पृथ्वी एवं चन्द्रमा के बीच की दूरी, $D = b/\theta$

$$= \frac{1.276 \times 10^{7}}{3.32 \times 10^{-2}}$$

$$= 3.84 \times 10^{8} \text{ m}$$

उदाहरण 2.4 सूर्य के कोणीय व्यास की माप 1920″ है। पृथ्वी से सूर्य की दूरी D, 1.496×10^{11} m है। सूर्य का व्यास परिकलित कीजिए।

हल सूर्य का कोणीय व्यास α

$$= 1920''$$

$$= 1920 \times 4.85 \times 10^{-6} \text{ rad}$$

$$= 9.31 \times 10^{-3} \text{ rad}$$

सूर्य का व्यास

$$d = \alpha D$$

$$= (9.31 \times 10^{-3}) \times (1.496 \times 10^{11}) \text{ m}$$

$$= 1.39 \times 10^{9} \text{ m}$$

2.3.2 अति सूक्ष्म दूरियों का मापन : अणु का आकार

अणु के व्यास (10^{-8} m से 10^{-10} m) जैसी अत्यंत सूक्ष्म दूरियों के मापन के लिए हमें विशिष्ट विधियों का अनुसरण करना होता है। इनके लिए हम पेंचमापी जैसे मापक-यंत्रों का उपयोग नहीं कर सकते। यहाँ तक कि सूक्ष्मदर्शी की भी अपनी कुछ सीमाएँ हैं। एक प्रकाशीय सूक्ष्मदर्शी द्वारा किसी निकाय की जाँच के लिए दृश्य-प्रकाश का उपयोग किया जाता है। प्रकाश के लक्षण तरंग जैसे होने के कारण, प्रकाशीय सूक्ष्मदर्शी को, अधिक से अधिक, प्रयुक्त प्रकाश के तरंगदैर्घ्य के बराबर विभेदन के लिए ही प्रयोग में लाया जा सकता है। (इस विषय में विस्तृत विवेचन आपको कक्षा XII की भौतिकी की पाठ्य पुस्तक में मिलेगा)। दृश्य प्रकाश की तरंगदैर्घ्य का परिसर 4000 Å से 7000 Å है। (1 Å = 10^{-10} m)। अत: प्रकाशीय सूक्ष्मदर्शी इससे छोटे आकार के कणों का विभेदन नहीं कर सकता। दृश्य प्रकाश के स्थान पर हम, इलेक्ट्रॉन-पुंज का उपयोग कर सकते हैं। इलेक्ट्रॉन पुंजों को उचित रीति से अभिकल्पित वैद्युत एवं चुम्बकीय क्षेत्रों द्वारा फोकसित किया जा सकता है। इस प्रकार के इलेक्ट्रॉन-सूक्ष्मदर्शी का विभेदन भी अंतत: इसी तथ्य द्वारा सीमित होता है कि इलेक्ट्रॉन भी तरंगों की तरह व्यवहार कर सकते हैं (इस विषय में विस्तार से आप कक्षा XII में पढ़ेंगे)। किसी इलेक्ट्रॉन की तरंगदैर्घ्य 1 Å के अंश के बराबर कम हो सकती है। 0.6 Å विभेदन क्षमता तक के इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मदर्शी विकसित किए जा चुके हैं। इनके द्वारा, लगभग, पदार्थों के अणुओं और परमाणुओं का विभेदन संभव हो गया है। हाल ही में विकसित सुरंगन सूक्ष्मदर्शिकी द्वारा भी 1Å से सूक्ष्मतर विभेदन प्राप्त कर लिया गया है। इनके द्वारा अब अणुओं की आमाप का आकलन संभव है।

ओलीक अम्ल अणु के साइज़ का आकलन करने की एक सरल विधि नीचे दी गई है। ओलीक अम्ल एक साबुनी द्रव है जिसके अणु का साइज़ 10^{-9} m कोटि का है।

इस विधि का मूल आधार, जल के पृष्ठ पर ओलीक अम्ल की एक एकाण्विक परत बनाना है।

इसके लिए, पहले हम 1 cm^3 ओलीक अम्ल को ऐल्कोहॉल में घोल कर 20 cm^3 घोल बनाते हैं। इस घोल का 1 cm^3 लेकर ऐल्कोहॉल में पुन: 20 cm^3 घोल बनाते हैं। अब इस घोल की सांद्रता $\frac{1}{20 \times 20} \text{cm}^3$ ओलीक अम्ल/ cm^3 घोल हुई। इसके बाद एक बड़े नांद में पानी लेकर, उसके ऊपर लायकोपोडियम पाउडर छिड़क कर, लाइकोपोडियम पाउडर की एक पतली फिल्म जल के पृष्ठ के ऊपर बनाते हैं। फिर ओलीक अम्ल के पहले बनाए गए घोल की एक बूंद इसके ऊपर रखते हैं। ओलीक अम्ल की यह बूंद जल के पृष्ठ के ऊपर लगभग वृत्ताकार, एक अणु मोटाई की फिल्म के रूप में फैल जाती है। इस प्रकार बनी तनु फिल्म का व्यास माप कर bl dk{ks=Qy A ज्ञात किया जा सकता है। माना कि हमने जल के पृष्ठ पर n बूंदें ओलीक अम्ल घोल की डालीं। यदि प्रारंभ में ही हम एक बूंद का अनुमानित आयतन (V cm^3) ज्ञात कर लें,

तो घोल की n बूंदों का आयतन

$$= nV \text{ cm}^3$$

इस घोल में विद्यमान ओलीक अम्ल का आयतन

$$= nV\left(\frac{1}{20 \times 20}\right) \text{cm}^3$$

ओलीक अम्ल का यह घोल तेजी से जल के पृष्ठ पर फैल कर t मोटाई की पतली फिल्म बना लेता है। यदि इस फिल्म का क्षेत्रफल A cm^2 है, तो फिल्म की मोटाई

$$t = \frac{\text{फिल्म का आयतन}}{\text{फिल्म का क्षेत्रफल}}$$

$$t = \frac{nV}{20 \times 20\,A}\,\text{cm} \qquad (2.3)$$

यदि हम यह मान लें कि फिल्म एक एकाण्विक मोटाई की है तो 't' ओलीक अम्ल के अणु की आमाप अथवा व्यास बन जाता है। इस मोटाई का मान 10^{-9} m की कोटि का आता है।

उदाहरण 2.5 यदि किसी नाभिक का आमाप (जो वास्तव में 10^{-15} से 10^{-14} m के परिसर में है) बढ़ाकर एक तीक्ष्ण पिन की नोक (10^{-5}m से 10^{-4}m के परिसर में) के बराबर कर दिया जाए, तो परमाणु का लगभग आमाप क्या है?

हल नाभिक की आमाप 10^{-15} m से 10^{-14} m के परिसर में है तीक्ष्ण पिन की नोक 10^{-5} m से 10^{-4} m के परिसर में ले सकते हैं। इस तरह, हमने नाभिक की आमाप को 10^{10} गुणा बढ़ा दिया है। परमाणु का सामान्य आकार 10^{-10} m की कोटि का है। अत: उसी अनुपात में बढ़ाने पर इसकी आमाप 1m हो जाएगी। अत: किसी परमाणु में नाभिक आमाप में उतना ही छोटा है जितनी छोटी लगभग 1m व्यास के गोले के केन्द्र पर रखे गए तीक्ष्ण पिन की नोक होती है। ◀

2.3.3 लम्बाइयों का परिसर

हमें विश्व में जो पिण्ड दिखाई देते हैं उन पिण्डों की आमापों में अंतर का एक विस्तृत परिसर है। जिसमें एक ओर 10^{-14} m कोटि की आमाप का किसी परमाणु का सूक्ष्म नाभिक है, तो दूसरी ओर 10^{26} m कोटि की आमाप का दृश्यमान विश्व का परिसर है। सारणी 2.3 में इनमें से कुछ पिण्डों की आमापों और दूरियों की कोटि और परास दिए गए हैं।

अत्यंत सूक्ष्म और बहुत बड़ी दूरियों के मापन के लिए हम लम्बाई के कुछ विशिष्ट मात्रक भी प्रयोग में लाते हैं। ये हैं,

1 फर्मी = 1 f = 10^{-15} m

1 एंग्सट्रम = 1 Å = 10^{-10} m

1 खगोलीय मात्रक = 1 AU (सूर्य से पृथ्वी की औसत दूरी) = 1.496×10^{11} m

1 प्रकाश वर्ष = 1 ly = 9.46×10^{15} m (3×10^{8} m s^{-1} के वेग से प्रकाश द्वारा 1 सेकंड में चली गई दूरी में 1 वर्ष)

1 पारसेक = 3.08×10^{16} m

(वह दूरी जिस पर पृथ्वी की कक्षा की औसत त्रिज्या 1 आर्क सेकण्ड का कोण अंतरित करे, 1 पारसेक कहलाती है।)

2.4 द्रव्यमान का मापन

द्रव्यमान पदार्थ का एक आधारभूत गुण है। यह पिण्ड के ताप, दाब या दिक्काल में उसकी अवस्थिति पर निर्भर नहीं करता। द्रव्यमान का SI मात्रक किलोग्राम (kg) है। अंतर्राष्ट्रीय माप-तोल ब्यूरो द्वारा दिए गए अंतर्राष्ट्रीय मानक किलोग्राम के आदिप्ररूप विभिन्न देशों की बहुत सी प्रयोगशालाओं में उपलब्ध हैं। भारत में इसे नयी दिल्ली स्थित राष्ट्रीय भौतिकी प्रयोगशाला (NPL) में रखा गया है।

सारणी 2.3 लंबाइयों के परिसर एवं कोटि

वस्तु का आकार अथवा दूरी	आमाप (m)
प्रोटॉन की आमाप	10^{-15}
परमाण्वीय नाभिक की आमाप	10^{-14}
हाइड्रोजन अणु का आकार	10^{-10}
किसी प्ररूपी जीवाणु की लंबाई	10^{-8}
प्रकाश की तरंगदैर्ध्य	10^{-7}
लाल रुधिर-कणिका का आकार	10^{-5}
किसी कागज की मोटाई	10^{-4}
समुद्र तल से माउंट एवरेस्ट की ऊंचाई	10^{4}
पृथ्वी की त्रिज्या	10^{7}
चंद्रमा की पृथ्वी से दूरी	10^{8}
सूर्य की पृथ्वी से दूरी	10^{11}
सूर्य से प्लूटो की दूरी	10^{13}
आकाशगंगा की आमाप	10^{21}
पृथ्वी से एन्ड्रोमेडा मंदाकिनी की दूरी	10^{22}
प्रेक्षणीय विश्व की परिसीमा तक की दूरी	10^{26}

परमाणुओं और अणुओं के द्रव्यमानों के संबंध में किलोग्राम एक सुविधाजनक मात्रक नहीं है। अत: अणुओं, परमाणुओं के द्रव्यमान व्यक्त करने के लिए द्रव्यमान के एक महत्वपूर्ण मानक मात्रक, जिसे **एकीकृत परमाणु संहति मात्रक** (u) कहते हैं, का प्रयोग करते हैं, जिसकी स्थापना परमाणुओं के द्रव्यमानों को इस प्रकार, व्यक्त करने के लिए की गई है :

1 एकीकृत परमाणु संहति मात्रक = 1u

= इलेक्ट्रॉनों सहित, कार्बन-समस्थानिक $\left({}^{12}_{6}\mathrm{C}\right)$ के एक परमाणु के द्रव्यमान का (1/12) वां भाग

= 1.66×10^{-27} kg

सामान्य वस्तुओं के द्रव्यमान मापन के लिए हम उसी तरह की सामान्य तुला का उपयोग करते हैं जैसी परचून की दुकान में पाई जाती है। विश्व में पाए जाने वाले विशाल पिण्डों जैसे ग्रहों, तारों आदि के द्रव्यमान ज्ञात करने के लिए हम न्यूटन के गुरुत्वाकर्षण के नियम का उपयोग करते हैं (देखिए अध्याय 8)। अति सूक्ष्म कणों, जैसे परमाणुओं, अवपरमाणुक कणों आदि के लघु द्रव्यमानों के मापन के लिए हम द्रव्यमान-स्पेक्ट्रमलेखी का प्रयोग करते हैं, जिसमें, एकसमान विद्युत एवं चुम्बकीय क्षेत्र में गतिमान, आवेशित कणों के प्रक्षेप-पथ की त्रिज्या उस कण के द्रव्यमान के अनुक्रमानुपाती होती है।

2.4.1 द्रव्यमानों के परास

विश्व में हम जो पिण्ड देखते हैं, उनके द्रव्यमानों में अंतर का एक अत्यंत विस्तृत परिसर है। एक ओर इलेक्ट्रॉन जैसा सूक्ष्म कण है जिसका द्रव्यमान 10^{-30} kg कोटि का है, तो दूसरी ओर लगभग 10^{55} kg का ज्ञात विश्व है। सारणी (2.4) में विभिन्न द्रव्यमानों के कोटि और परास दिए गए हैं।

सारणी द्रव्यमानों के परिसर एवं कोटि

2.5 समय का मापन

किसी भी समय-अंतराल को मापने के लिए हमें घड़ी की आवश्यकता होती है। अब हम समय-मापन हेतु समय का **परमाण्वीय मानक** प्रयोग करते हैं जो सीज़ियम परमाणु में उत्पन्न आवर्त कम्पनों पर आधारित है। यही राष्ट्रीय मानक के रूप में प्रयुक्त सीज़ियम घड़ी, जिसे **परमाणु घड़ी** भी कहते हैं, का आधार है। ऐसे मानक अनेक प्रयोगशालाओं में उपलब्ध हैं। सीज़ियम परमाणु घड़ी में एक सेकन्ड, सीज़ियम-133 परमाणु के निम्नतम ऊर्जा स्तर के दो अतिसूक्ष्म स्तरों के मध्य संक्रमण के तदनुरूपी विकिरणों के 9,192,631,770 कम्पनों के लिए आवश्यक है। इस सीज़ियम परमाणु घड़ी की समय दर को, सीज़ियम परमाणु के कम्पन ठीक उसी प्रकार नियंत्रित करते हैं जैसे संतुलन चक्र के कम्पन सामान्य कलाई घड़ी को अथवा छोटे क्वार्ट्ज़ क्रिस्टल के कम्पन किसी क्वार्ट्ज़ कलाई घड़ी को करते हैं।

सीज़ियम परमाणु घड़ियाँ अत्यंत यथार्थ होती हैं। सिद्धान्तत: वे एक सुबाह्य मानक उपलब्ध कराती हैं। चार सीज़ियम परमाणु घड़ियों के माध्यम से, समय-अंतराल के राष्ट्रीय मानक 'सेकन्ड' का अनुरक्षण किया जाता है। समय के भारतीय मानक के अनुरक्षण के लिए नयी दिल्ली की राष्ट्रीय भौतिकी प्रयोगशाला में एक सीज़ियम घड़ी लगाई गई है।

हमारे देश में, सभी भौतिक मानकों (जिनमें समय और आवृत्ति आदि के मानक भी शामिल हैं) के अनुरक्षण और सुधार का दायित्व NPL का है। ध्यान दें कि भारतीय मानक समय (IST), इन चार घड़ियों के समुच्चय से जुड़ा है। दक्ष सीज़ियम परमाणु घड़ियाँ इतनी अधिक यथार्थ हैं कि इनके द्वारा समय बोध में अनिश्चितता $\pm 1 \quad 10^{-13}$, अर्थात् 10^{13} सेकन्ड में एक सेकन्ड से भी कम की त्रुटि होने की रहती है। ये एक वर्ष में 3 माइक्रो सेकंड से ज्यादा इधर-उधर नहीं होती। समय मापन की इस आश्चर्यजनक यथार्थता को ध्यान में रखकर ही लम्बाई के SI मात्रक को प्रकाश द्वारा (1/299, 792, 458) सेकंड में चलित दूरी के रूप में व्यक्त किया गया है (सारणी 2.1)।

विश्व में होने वाली घटनाओं के समय-अंतरालों में अंतर का परिसर बहुत व्यापक है। सारणी 2.5, कुछ प्रारूपिक समय-अंतरालों के परास और कोटि दर्शाती है।

सारणी 2.3 एवं 2.5 में दर्शायी गई संख्याओं में आश्चर्यजनक अनुरूपता है। इनका ध्यानपूर्वक अवलोकन करने पर आप देख सकते हैं कि हमारे विश्व में विशालतम और लघुतम पिण्डों की लम्बाइयों का अनुपात लगभग 10^{41} है तथा यह भी कम रुचिकर नहीं है कि विश्व की घटनाओं से संबद्ध सबसे बड़े और सबसे छोटे समय-अंतरालों का अनुपात भी 10^{41} ही है। यह संख्या 10^{41}, सारणी 2.4 में फिर से प्रकट होती है, जिसमें कुछ पिण्डों के प्रारूपिक द्रव्यमानों को सूचीबद्ध किया गया है। हमारे विश्व के विशालतम एवं लघुतम पिण्डों के द्रव्यमानों का अनुपात लगभग $(10^{41})^2$ है। क्या इन विशाल संख्याओं की यह आश्चर्यजनक

ERROR: stackunderflow
OFFENDING COMMAND: ~

STACK:

अध्याय 3

सरल रेखा में गति

3.1 भूमिका

विश्व की प्रत्येक वस्तु प्रत्यक्ष या अप्रत्यक्ष रूप से गतिमान रहती है । हमारा चलना, दौड़ना, साइकिल सवारी आदि दैनिक जीवन में दिखाई देने वाली क्रियाएँ गति के कुछ उदाहरण हैं । इतना ही नहीं, निद्रावस्था में भी हमारे फेफड़ों में वायु का प्रवेश एवं निष्कासन तथा हमारी धमनियों एवं शिराओं में रुधिर का संचरण होता रहता है । हम पेड़ों से गिरते हुए पत्तों को तथा बाँध से बहते हुए पानी को देखते हैं । मोटरगाड़ी और वायुयान यात्रियों को एक स्थान से दूसरे स्थान को ले जाते हैं । पृथ्वी 24 घंटे में एक बार अपनी अक्ष के परित: घूर्णन करती है तथा वर्ष में एक बार सूर्य की परिक्रमा पूरी करती है । सूर्य अपने ग्रहों सहित हमारी आकाशगंगा नामक मंदाकिनी में विचरण करता है, तथा जो स्वयं भी स्थानीय मंदाकिनियों के समूह में गति करती है ।

इस प्रकार समय के सापेक्ष वस्तु की स्थिति में परिवर्तन को गति कहते हैं। समय के साथ स्थिति कैसे परिवर्तित होती है ? इस अध्याय में हम गति के बारे में पढ़ेंगे । इसके लिए हमें वेग तथा त्वरण की धारणा को समझना होगा । इस अध्याय में हम अपना अध्ययन वस्तु के एक सरल रेखा के अनुदिश गति तक ही सीमित रखेंगे । इस प्रकार की गति को **सरल रेखीय गति** भी कहते हैं । एकसमान त्वरित सरल रेखीय गति के लिए कुछ सरल समीकरण प्राप्त किए जा सकते हैं। अंतत: गति की आपेक्षिक प्रकृति को समझने के लिए हम आपेक्षिक गति की धारणा प्रस्तुत करेंगे ।

इस अध्ययन में हम सभी गतिमान वस्तुओं को अतिसूक्ष्म मानकर बिंदु रूप में निरूपित करेंगे । यह सन्निकटन तब तक मान्य होता है जब तक वस्तु का आकार निश्चित समय अंतराल में वस्तु द्वारा चली गई दूरी की अपेक्षा पर्याप्त रूप से कम होता है । वास्तविक जीवन में बहुत-सी स्थितियों में वस्तुओं के आमाप (साइज़) की उपेक्षा की जा सकती है और बिना अधिक त्रुटि के उन्हें एक बिंदु-वस्तु माना जा सकता है ।

शुद्धगतिकी में, हम वस्तु की गति के कारणों पर ध्यान न देकर केवल उसकी गति का ही अध्ययन करते हैं । इस अध्याय एवं अगले अध्याय में विभिन्न प्रकार की गतियों का वर्णन किया गया है । इन गतियों के कारणों का अध्ययन हम पाँचवें अध्याय में करेंगे ।

3.2 स्थिति, पथ-लंबाई एवं विस्थापन

पहले आपने पढ़ा है कि किसी वस्तु की स्थिति में परिवर्तन को गति कहते हैं। स्थिति के निर्धारण के लिए एक संदर्भ बिंदु तथा अक्षों के एक समुच्चय की

आवश्यकता होती है। इसके लिए एक समकोणिक निर्देशांक-निकाय का चुनाव सुविधाजनक होता है। इस निकाय में तीन परस्पर लम्बवत अक्ष होते हैं जिन्हें x-, y- तथा z-अक्ष कहते हैं। इन अक्षों के प्रतिच्छेद बिंदु को मूल बिंदु (O) कहते हैं तथा यह **संदर्भ बिंदु** होता है। किसी वस्तु के निर्देशांक (x, y, z) इस निर्देशांक निकाय के सापेक्ष उस वस्तु की स्थिति निरूपित करते हैं। समय नापने के लिए इस निकाय में एक घड़ी रख देते हैं। घड़ी सहित इस निर्देशांक-निकाय को **निर्देश तंत्र** (frame of reference) कहते हैं।

जब किसी वस्तु के एक या अधिक निर्देशांक समय के साथ परिवर्तित होते हैं तो वस्तु को गतिमान कहते हैं। अन्यथा वस्तु को उस निर्देश तंत्र के सापेक्ष विरामावस्था में मानते हैं।

किसी निर्देश तंत्र में अक्षों का चुनाव स्थिति विशेष पर निर्भर करता है। उदाहरण के लिए, एक विमा में गति के निरूपण के लिए हमें केवल एक अक्ष की आवश्यकता होती है। दो/तीन विमाओं में गति के निरूपण के लिए दो/तीन अक्षों की आवश्यकता होती है।

किसी घटना का वर्णन इसके लिए चुने गए निर्देश-तंत्र पर निर्भर करता है। उदाहरण के लिए, जब हम कहते हैं कि सड़क पर कार चल रही है तो वास्तव में 'कार की गति' का वर्णन हम स्वयं से या जमीन से संलग्न निर्देश तंत्र के सापेक्ष करते हैं। यदि हम कार में बैठे किसी व्यक्ति से संलग्न निर्देश तंत्र के सापेक्ष कार की स्थिति का वर्णन करें तो कार विरामावस्था में होगी।

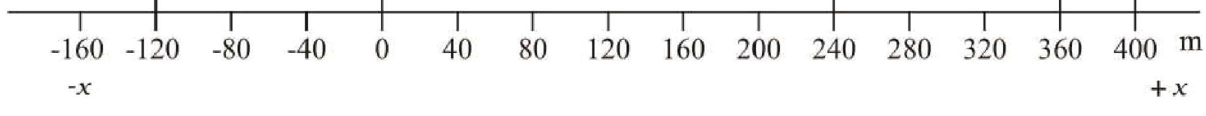
एक सरल रेखा में किसी वस्तु की गति के विवरण हेतु हम एक अक्ष (मान लीजिए x-अक्ष) को इस प्रकार चुन सकते हैं कि वह वस्तु के पथ के संपाती हो । इस प्रकार वस्तु की स्थिति को हम अपनी सुविधानुसार चुने गए किसी मूल बिंदु (मान लीजिए चित्र 3.1 में दर्शाए गए बिंदु O) के सापेक्ष निरूपित करते हैं । बिंदु O के दायीं ओर के निर्देशांक को हम धनात्मक तथा बायीं ओर के स्थिति-निर्देशांक को ऋणात्मक कहेंगे । इस पद्धति के अनुसार चित्र 3.1 में बिंदु P और Q के स्थिति-निर्देशांक क्रमशः +360 m और +240 m हैं । इसी प्रकार बिंदु R का स्थिति-निर्देशांक −120 m है ।

पथ-लंबाई

कल्पना कीजिए कि कोई कार एक सरल रेखा के अनुदिश गतिमान है । हम x-अक्ष इस प्रकार चुनते हैं कि यह गतिमान कार के पथ के संपाती हो । अक्ष का मूल बिंदु वह है जहाँ से कार चलना शुरू करती है अर्थात समय $t = 0$ पर कार $x = 0$ पर थी (चित्र 3.1) । मान लीजिए कि भिन्न-भिन्न क्षणों पर कार की स्थिति बिंदुओं P, Q तथा R से व्यक्त होती है । यहाँ हम गति की दो स्थितियों पर विचार करेंगे । पहली में कार O से P तक जाती है । अतः कार द्वारा चली गई दूरी OP = +360 m है । **इस दूरी को कार द्वारा चली गई पथ-लंबाई कहते हैं ।** दूसरी स्थिति में कार पहले O से P तक जाती है और फिर P से Q पर वापस आ जाती है । गति की इस अवधि में कार द्वारा चली गई पथ-लंबाई = OP + PQ = 360 m + (+120 m) = +480 m होगी। क्योंकि पथ-लंबाई में केवल परिमाण होता है दिशा नहीं, अतः यह एक अदिश राशि है (अध्याय 4 देखिए) ।

विस्थापन

यहाँ यह प्रासंगिक होगा कि हम एक दूसरी उपयोगी भौतिक राशि *विस्थापन* को वस्तु की स्थिति में परिवर्तन के रूप में परिभाषित करें । कल्पना कीजिए कि समय t_1 व t_2 पर वस्तु की स्थिति क्रमशः x_1 व x_2 है । तब समय $(= t_2 - t_1)$ में उसका



ERROR: undefined
OFFENDING COMMAND: ‘~

STACK:

अध्याय 4

समतल में गति

4.1 भूमिका

पिछले अध्याय में हमने स्थिति, विस्थापन, वेग एवं त्वरण की धारणाओं को विकसित किया था, जिनकी किसी वस्तु की सरल रेखीय गति का वर्णन करने के लिए आवश्यकता पड़ती है । क्योंकि एकविमीय गति में मात्र दो ही दिशाएँ संभव हैं, इसलिए इन राशियों के दिशात्मक पक्ष को + और – चिह्नों से व्यक्त कर सकते हैं । परंतु जब हम वस्तुओं की गति का द्विविमीय (एक समतल) या त्रिविमीय (दिक्स्थान) वर्णन करना चाहते हैं, तब हमें उपर्युक्त भौतिक राशियों का अध्ययन करने के लिए सदिशों की आवश्यकता पड़ती है । अतएव सर्वप्रथम हम सदिशों की भाषा (अर्थात सदिशों के गुणों एवं उन्हें उपयोग में लाने की विधियाँ) सीखेंगे । सदिश क्या है ? सदिशों को कैसे जोड़ा, घटाया या गुणा किया जाता है ? सदिशों को किसी वास्तविक संख्या से गुणा करें तो हमें क्या परिणाम मिलेगा ? यह सब हम इसलिए सीखेंगे जिससे किसी समतल में वस्तु के वेग एवं त्वरण को परिभाषित करने के लिए हम सदिशों का उपयोग कर सकें । इसके बाद हम किसी समतल में वस्तु की गति पर परिचर्चा करेंगे । किसी समतल में गति के सरल उदाहरण के रूप में हम एकसमान त्वरित गति का अध्ययन करेंगे तथा एक प्रक्षेप्य की गति के विषय में विस्तार से पढ़ेंगे । वृत्तीय गति से हम भलीभाँति परिचित हैं जिसका हमारे दैनिक जीवन में विशेष महत्त्व है । हम एकसमान वृत्तीय गति की कुछ विस्तार से चर्चा करेंगे ।

हम इस अध्याय में जिन समीकरणों को प्राप्त करेंगे उन्हें आसानी से त्रिविमीय गति के लिए विस्तारित किया जा सकता है ।

4.2 अदिश एवं सदिश

हम भौतिक राशियों को अदिशों एवं सदिशों में वर्गीकृत करते हैं । दोनों में मूल अंतर यह है कि सदिश के साथ **दिशा** को संबद्ध करते हैं वहीं अदिश के साथ ऐसा नहीं करते । एक अदिश राशि वह राशि है जिसमें मात्र परिमाण होता है । इसे केवल एक संख्या एवं उचित मात्रक द्वारा पूर्ण रूप से व्यक्त किया जा सकता है । इसके उदाहरण हैं : दो बिंदुओं के बीच की दूरी, किसी वस्तु की संहति (द्रव्यमान), किसी वस्तु का तापक्रम, तथा वह समय जिस पर कोई घटना घटती है । अदिशों के जोड़ में वही नियम लागू होते हैं जो सामान्यतया बीजगणित में । अदिशों को हम ठीक वैसे ही जोड़ सकते हैं, घटा सकते हैं, गुणा या भाग कर सकते हैं जैसा कि हम सामान्य संख्याओं के साथ

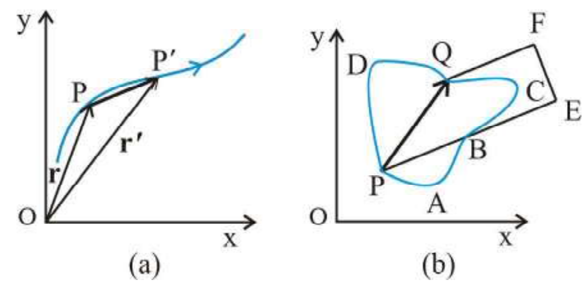
करते हैं* । उदाहरण के लिए, यदि किसी आयत की लंबाई और चौड़ाई क्रमश: 1.0 m तथा 0.5 m है तो उसकी परिमाप चारों भुजाओं के योग, 1.0 m + 0.5 m + 1.0 m + 0.5 m = 3.0 m होगा। हर भुजा की लंबाई एक अदिश है तथा परिमाप भी एक अदिश है । हम एक दूसरे उदाहरण पर विचार करेंगे : यदि किसी एक दिन का अधिकतम एवं न्यूनतम ताप क्रमश: 35.6 °C तथा 24.2 °C है तो इन दोनों का अंतर 11.4 °C होगा । इसी प्रकार यदि एल्युमिनियम के किसी एकसमान ठोस घन की भुजा 10 cm है और उसका द्रव्यमान 2.7 kg है तो उसका आयतन $10^{-3}\, m^3$ (एक अदिश) होगा तथा घनत्व $2.7\times10^3\, kg/m^3$ भी एक अदिश है ।

एक **सदिश** राशि वह राशि है जिसमें परिमाण तथा दिशा दोनों होते हैं तथा वह **योग संबंधी त्रिभुज के नियम** अथवा **समानान्तर चतुर्भुज के योग संबंधी नियम** का पालन करती है । इस प्रकार, एक सदिश को उसके परिमाण की संख्या तथा दिशा द्वारा व्यक्त करते हैं । कुछ भौतिक राशियाँ जिन्हें सदिशों द्वारा व्यक्त करते हैं, वे हैं विस्थापन, वेग, त्वरण तथा बल ।

सदिश को व्यक्त करने के लिए इस पुस्तक में हम मोटे अक्षरों का प्रयोग करेंगे । जैसे कि वेग सदिश को व्यक्त करने के लिए **v** चिह्न का प्रयोग करेंगे । परंतु हाथ से लिखते समय क्योंकि मोटे अक्षरों का लिखना थोड़ा मुश्किल होता है, इसलिए एक सदिश को अक्षर के ऊपर तीर लगाकर व्यक्त करते हैं, जैसे $\vec{v}$ । इस प्रकार **v** तथा $\vec{v}$ दोनों ही वेग सदिश को व्यक्त करते हैं । किसी सदिश के परिमाण को प्राय: हम उसका 'परम मान' कहते हैं और उसे $|\mathbf{v}| = v$ द्वारा व्यक्त करते हैं । इस प्रकार एक सदिश को हम मोटे अक्षर यथा **A** या **a, p, q, r, ... x, y** से व्यक्त करते हैं जबकि इनके परिमाणों को क्रमश: हम A या $a, p, q, r, ... x, y$ द्वारा व्यक्त करते हैं ।

4.2.1 स्थिति एवं विस्थापन सदिश

किसी समतल में गतिमान वस्तु की स्थिति व्यक्त करने के लिए हम सुविधानुसार किसी बिंदु O को मूल बिंदु के रूप में चुनते हैं । कल्पना कीजिए कि दो भिन्न-भिन्न समयों t और t' पर वस्तु की स्थिति क्रमश: P और P′ है (चित्र 4.1a) । हम P को O से एक सरल रेखा से जोड़ देते हैं । इस प्रकार **OP** समय t पर वस्तु की स्थिति सदिश होगी । इस रेखा के सिरे पर एक तीर का निशान लगा देते हैं । इसे किसी चिह्न (मान लीजिए) **r** से निरूपित करते हैं, अर्थात् **OP** = **r** । इसी प्रकार बिंदु P′ को एक दूसरे स्थिति सदिश **OP′** यानी **r′** से निरूपित करते हैं। सदिश **r** की लंबाई उसके परिमाण को निरूपित करती है तथा सदिश की दिशा वह होगी जिसके अनुदिश P (बिंदु O से देखने पर) स्थित होगा । यदि वस्तु P से चलकर P′ पर पहुंच जाती है तो सदिश **PP′** (जिसकी पुच्छ P पर तथा शीर्ष P′ पर है) बिंदु P (समय t) से P′ (समय t') तक गति के संगत **विस्थापन सदिश** कहलाता है ।



चित्र 4.1 (a) स्थिति तथा विस्थापन सदिश, (b) विस्थापन सदिश **PQ** *तथा गति के भिन्न-भिन्न मार्ग ।*

यहाँ यह बात महत्वपूर्ण है कि 'विस्थापन सदिश' को एक सरल रेखा से व्यक्त करते हैं जो वस्तु की अंतिम स्थिति को उसकी प्रारम्भिक स्थिति से जोड़ती है तथा यह उस वास्तविक पथ पर निर्भर नहीं करता जो वस्तु द्वारा बिंदुओं के मध्य चला जाता है । उदाहरणस्वरूप, जैसा कि चित्र 4.1b में दिखाया गया है, प्रारम्भिक स्थिति P तथा अंतिम स्थिति Q के मध्य विस्थापन सदिश **PQ** यद्यपि वही है परंतु दोनों स्थितियों के बीच चली गई दूरियां जैसे PABCQ, PDQ तथा PBEFQ अलग-अलग हैं । इसी प्रकार, ***किन्हीं दो बिंदुओं के मध्य विस्थापन सदिश का परिमाण या तो गतिमान वस्तु की पथ-लंबाई से कम होता है या उसके बराबर होता है।*** पिछले अध्याय में भी एक सरल रेखा के अनुदिश गतिमान वस्तु के लिए इस तथ्य को भलीभांति समझाया गया था ।

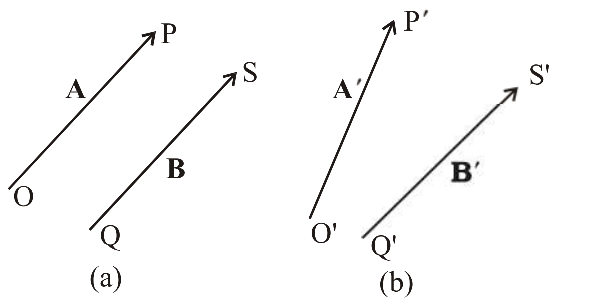
4.2.2 सदिशों की समता

दो सदिशों **A** तथा **B** को केवल तभी बराबर कहा जा सकता है जब उनके परिमाण बराबर हों तथा उनकी दिशा समान हो** ।

चित्र 4.2(a) में दो समान सदिशों **A** तथा **B** को दर्शाया गया है । हम इनकी समानता की परख आसानी से कर सकते हैं । **B** को स्वयं के समांतर खिसकाइये ताकि उसकी पुच्छ Q सदिश **A** की पुच्छ O के संपाती हो जाए । फिर क्योंकि उनके शीर्ष S एवं P भी संपाती हैं अत: दोनों सदिश बराबर कहलाएंगे । सामान्यतया इस समानता को **A** = **B** के रूप में लिखते हैं । इस

* *केवल समान मात्रक वाली राशियों का जोड़ व घटाना सार्थक होता है । जबकि आप भिन्न मात्रकों वाले अदिशों का गुणा या भाग कर सकते हैं ।*

** *हमारे अध्ययन में सदिशों की स्थितियां निर्धारित नहीं हैं । इसलिए जब एक सदिश को स्वयं के समांतर विस्थापित करते हैं तो सदिश अपरिवर्तित रहता है । इस प्रकार के सदिशों को हम 'मुक्त सदिश' कहते हैं । हालांकि कुछ भौतिक उपयोगों में सदिश की स्थिति या उसकी क्रिया रेखा महत्त्वपूर्ण होती है। ऐसे सदिशों को हम 'स्थानगत सदिश' कहते हैं।*



चित्र 4.2 (a) दो समान सदिश **A** *तथा* **B**, *(b) दो सदिश* **A′** *व* **B′** *असमान हैं यद्यपि उनकी लंबाइयाँ वही हैं ।*

बात की ओर ध्यान दीजिए कि चित्र 4.2(b) में यद्यपि सदिशों **A′** तथा **B′** के परिमाण समान हैं फिर भी दोनों सदिश समान नहीं हैं क्योंकि उनकी दिशायें अलग-अलग हैं । यदि हम **B′** को उसके ही समांतर खिसकाएं जिससे उसकी पुच्छ Q′, **A′** की पुच्छ O′ से संपाती हो जाए तो भी **B′** का शीर्ष S′, **A′** के शीर्ष P′ का संपाती नहीं होगा ।

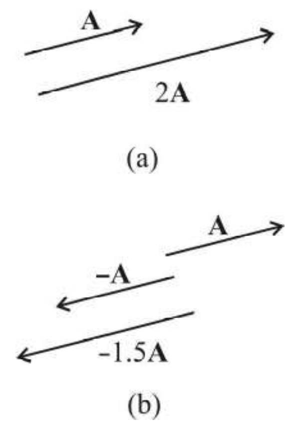
4.3 सदिशों की वास्तविक संख्या से गुणा

यदि एक सदिश **A** को किसी धनात्मक संख्या λ से गुणा करें तो हमें एक सदिश ही मिलता है जिसका परिमाण सदिश **A** के परिमाण का λ गुना हो जाता है तथा जिसकी दिशा वही है जो **A** की है । इस गुणनफल को हम λ**A** से लिखते हैं ।

$$|\lambda \mathbf{A}| = \lambda\,|\mathbf{A}| \text{ यदि } \lambda > 0$$

उदाहरणस्वरूप, यदि **A** को 2 से गुणा किया जाए, तो परिणामी सदिश 2**A** होगा (चित्र 4.3a) जिसकी दिशा **A** की दिशा होगी तथा परिमाण $|\mathbf{A}|$ का दोगुना होगा । सदिश **A** को यदि एक ऋणात्मक संख्या $-\lambda$ से गुणा करें तो एक अन्य सदिश प्राप्त होता है जिसकी दिशा **A** की दिशा के विपरीत है और जिसका परिमाण $|\mathbf{A}|$ का λ गुना होता है ।

यदि किसी सदिश **A** को ऋणात्मक संख्याओं −1 व −1.5 से गुणा करें तो परिणामी सदिश चित्र 4.3(b) जैसे होंगे ।

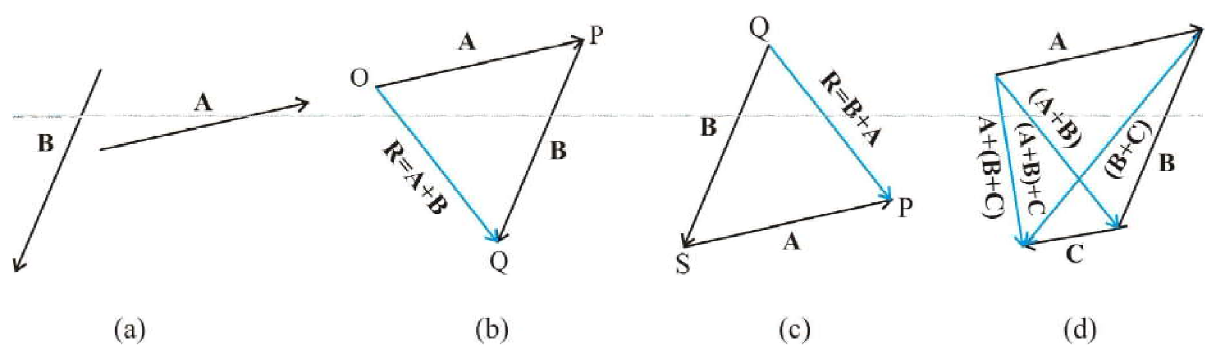


चित्र 4.3 (a) सदिश **A** *तथा उसे धनात्मक संख्या दो से गुणा करने पर प्राप्त परिणामी सदिश, (b) सदिश* **A** *तथा उसे ऋणात्मक संख्याओं -1 तथा -1.5 से गुणा करने पर प्राप्त परिणामी सदिश ।*

भौतिकी में जिस घटक λ द्वारा सदिश **A** को गुणा किया जाता है वह कोई अदिश हो सकता है जिसकी स्वयं की विमाएँ होती हैं । अतएव λ**A** की विमाएँ λ व **A** की विमाओं के गुणनफल के बराबर होंगी । उदाहरणस्वरूप, यदि हम किसी अचर वेग सदिश को किसी (समय) अंतराल से गुणा करें तो हमें एक विस्थापन सदिश प्राप्त होगा ।

4.4 सदिशों का संकलन व व्यवकलन : ग्राफी विधि

जैसा कि खण्ड 4.2 में बतलाया जा चुका है कि सदिश योग के त्रिभुज नियम या समान्तर चतुर्भुज के योग के नियम का पालन करते हैं । अब हम ग्राफी विधि द्वारा योग के इस नियम को समझाएंगे । हम चित्र 4.4 (a) में दर्शाए अनुसार किसी समतल में स्थित दो सदिशों **A** तथा **B** पर विचार करते हैं । इन सदिशों को व्यक्त करने वाली रेखा-खण्डों की लंबाइयाँ सदिशों के परिमाण के समानुपाती हैं । योग **A** + **B** प्राप्त करने के लिए चित्र 4.4(b) के अनुसार हम सदिश **B** इस प्रकार रखते हैं कि उसकी पुच्छ सदिश **A** के शीर्ष पर हो । फिर हम **A** की पुच्छ



चित्र 4.4 (a) सदिश **A** *तथा* **B**, *(b) सदिशों* **A** *व* **B** *का ग्राफी विधि द्वारा जोड़ना, (c) सदिशों* **B** *व* **A** *का ग्राफी विधि द्वारा जोड़ना, (d) सदिशों के जोड़ से संबंधित साहचर्य नियम का प्रदर्शन ।*

को **B** के सिरे से जोड़ देते हैं । यह रेखा OQ परिणामी सदिश **R** को व्यक्त करती है जो सदिशों **A** तथा **B** का योग है। क्योंकि सदिशों के जोड़ने की इस विधि में सदिशों में से किसी एक के शीर्ष को दूसरे की पुच्छ से जोड़ते हैं, इसलिए इस ग्राफी विधि को **शीर्ष व पुच्छ विधि** के नाम से जाना जाता है । दोनों सदिश तथा उनका परिणामी सदिश किसी त्रिभुज की तीन भुजाएं बनाते हैं। इसलिए इस विधि को **सदिश योग के त्रिभुज नियम** भी कहते हैं । यदि हम **B**+**A** का परिणामी सदिश प्राप्त करें तो भी हमें वही सदिश **R** प्राप्त होता है (चित्र 4.4c)। इस प्रकार सदिशों का योग **'क्रम विनिमेय'** (सदिशों के जोड़ने में यदि उनका क्रम बदल दें तो भी परिणामी सदिश नहीं बदलता) है ।

$$\mathbf{A} + \mathbf{B} = \mathbf{B} + \mathbf{A} \tag{4.1}$$

सदिशों का योग *साहचर्य नियम* का भी पालन करता है जैसा कि चित्र 4.4 (d) में दर्शाया गया है । सदिशों **A** व **B** को पहले जोड़कर और फिर सदिश **C** को जोड़ने पर जो परिणाम प्राप्त होता है वह वही है जो सदिशों **B** और **C** को पहले जोड़कर फिर **A** को जोड़ने पर मिलता है, अर्थात्

$$(\mathbf{A} + \mathbf{B}) + \mathbf{C} = \mathbf{A} + (\mathbf{B} + \mathbf{C}) \tag{4.2}$$

दो समान और विपरीत सदिशों को जोड़ने पर क्या परिणाम मिलता है ? हम दो सदिशों **A** और –**A** जिन्हें चित्र 4.3(b) में दिखलाया है, पर विचार करते हैं । इनका योग **A** + (–**A**) है। क्योंकि दो सदिशों का परिमाण वही है किन्तु दिशा विपरीत है, इसलिए परिणामी सदिश का परिमाण **शून्य** होगा और इसे **0** से व्यक्त करते हैं।

$$\mathbf{A} - \mathbf{A} = \mathbf{0} \qquad |\mathbf{0}| = 0 \tag{4.3}$$

0 को हम **शून्य सदिश** कहते हैं । क्योंकि शून्य सदिश का परिमाण शून्य होता है, इसलिए इसकी दिशा का निर्धारण नहीं किया जा सकता है । दरअसल जब हम एक सदिश **A** को संख्या शून्य से गुणा करते हैं तो भी परिणामस्वरूप हमें एक सदिश ही मिलेगा किन्तु उसका परिमाण शून्य होगा । **0** सदिश के मुख्य गुण निम्न हैं:

$$\mathbf{A} + \mathbf{0} = \mathbf{A}$$
$$\lambda\, \mathbf{0} = \mathbf{0}$$
$$0\, \mathbf{A} = \mathbf{0} \tag{4.4}$$

शून्य सदिश का भौतिक अर्थ क्या है ? जैसाकि चित्र 4.1(a) में दिखाया गया है हम किसी समतल में स्थिति एवं विस्थापन सदिशों पर विचार करते हैं । मान लीजिए कि किसी क्षण t पर कोई वस्तु P पर है । वह P′ तक जाकर पुनः P पर वापस आ जाती है । इस स्थिति में वस्तु का विस्थापन क्या होगा ? चूंकि प्रारंभिक एवं अंतिम स्थितियां संपाती हो जाती हैं, इसलिए विस्थापन "शून्य सदिश" होगा ।

सदिशों का व्यवकलन सदिशों के योग के रूप में भी परिभाषित किया जा सकता है । दो सदिशों **A** व **B** के अंतर को हम दो सदिशों **A** व –**B** के योग के रूप में निम्न प्रकार से व्यक्त करते हैं :

$$\mathbf{A} - \mathbf{B} = \mathbf{A} + (-\mathbf{B}) \tag{4.5}$$

इसे चित्र . में दर्शाया गया है । सदिश –**B** को सदिश **A** में जोड़कर $\mathbf{R}_2 = (\mathbf{A} - \mathbf{B})$ प्राप्त होता है । तुलना के लिए इसी चित्र में सदिश $\mathbf{R}_1 = \mathbf{A} + \mathbf{B}$ को भी दिखाया गया है । **समान्तर**

ERROR: stackunderflow
OFFENDING COMMAND: ~

STACK:

अध्याय 5

गति के नियम

5.1 भूमिका

पिछले अध्याय में हमारा संबंध दिक्स्थान में किसी कण की गति का मात्रात्मक वर्णन करने से था। हमने देखा कि एकसमान गति में मात्र वेग की संकल्पना की आवश्यकता थी जबकि असमान गति में त्वरण की अवधारणा की अतिरिक्त आवश्यकता पड़ी। अब तक हमने यह प्रश्न नहीं पूछा है कि पिण्डों की गति का क्या कारण है ? इस अध्याय में हम अपना ध्यान भौतिकी के इस मूल प्रश्न पर केंद्रित करेंगे।

आइए, सबसे पहले हम अपने सामान्य अनुभवों के आधार पर इस प्रश्न के उत्तर का अनुमान लगाएँ। विरामावस्था में पड़ी फुटबाल को गति प्रदान करने के लिए किसी न किसी को उस पर अवश्य ठोकर मारनी होती है । किसी पत्थर को ऊपर की ओर फेंकने के लिए, हमें उसे ऊपर की ओर प्रक्षेपित करना पड़ता है। मंद पवन पेड़ की शाखाओं को झुला देती है; प्रबल वायु का झोंका तो भारी पिण्डों तक को भी लुढ़का सकता है ! बहती नदी किसी के न खेने पर भी नाव को गतिमान कर देती है। स्पष्टत: किसी पिण्ड को विराम से गति में लाने के लिए किसी बाह्य साधन द्वारा बल लगाने की आवश्यकता होती है। इसी प्रकार गति को रोकने अथवा मंद करने के लिए भी बाह्य बल की आवश्यकता होती है। किसी आनत तल पर नीचे की ओर लुढ़कती किसी गेंद को उसकी गति की विपरीत दिशा में बल लगाकर रोका जा सकता है।

इन उदाहरणों में, बल का बाह्य साधन (हाथ, वायु, जलधारा, आदि) पिण्ड के संपर्क में है। परंतु यह सदैव आवश्यक नहीं है। किसी भवन के शिखर से बिना अधोमुखी धक्का दिये मुक्त किया गया पत्थर पृथ्वी के गुरुत्वीय खिंचाव के कारण त्वरित हो जाता है। कोई छड़ चुंबक लोहे की कीलों को दूर से ही, अपनी ओर आकर्षित कर लेता है। ***यह दर्शाता है कि बाह्य साधन (इन उदाहरणों में गुरुत्वीय एवं चुंबकीय बल) एक दूरी से भी किसी पिण्ड पर बल लगा सकता है।***

संक्षेप में, किसी रुके हुए पिण्ड को गति प्रदान करने तथा गतिमान पिण्ड को रोकने के लिए बल की आवश्यकता होती है, तथा इस बल को प्रदान करने के लिए किसी बाह्य साधन की आवश्यकता होती है। यह बाह्य साधन उस पिण्ड के संपर्क में भी हो सकता है, और नहीं भी।

यहाँ तक तो सब सही है। परंतु तब क्या होता है जब कोई पिण्ड एकसमान गति से चलता है (उदाहरण के लिए, बर्फ के क्षैतिज फर्श पर एकसमान चाल

से सीधी रेखा में गतिमान कोई स्केटर) ? ***क्या किसी पिण्ड की एकसमान गति बनाए रखने के लिए कोई बाह्य बल आवश्यक है ?***

5.2 अरस्तू की भ्रामकता

उपरोक्त प्रश्न सरल प्रतीत होता है। तथापि इसका उत्तर देने में कई युग लग गए थे। वस्तुत: सत्रहवीं शताब्दी में गैलीलियो द्वारा दिए गए इस प्रश्न का सही उत्तर न्यूटनी यांत्रिकी का आधार बना जिसने आधुनिक विज्ञान के जन्म का संकेत दिया ।

महान ग्रीक विचारक, अरस्तू (384 ई.पू. - 322 ई.पू.) ने यह विचार रखा कि यदि कोई पिण्ड गतिमान है, तो उसे उसी अवस्था में बनाए रखने के लिए कोई न कोई बाह्य साधन अवश्य चाहिए। उदाहरण के लिए, इस विचार के अनुसार किसी धनुष से छोड़ा गया तीर उड़ता रहता है, क्योंकि तीर के पीछे की वायु उसे धकेलती रहती है । यह अरस्तू द्वारा विकसित विश्व में पिण्डों की गतियों से संबंधित विचारों के विस्तृत ढाँचे का एक भाग था। गति के विषय में अरस्तू के अधिकांश विचार अब गलत माने जाते हैं, और उनकी अब चिंता करने की आवश्यकता नहीं है। अपने काम के लिए हम यहाँ अरस्तू के गति के नियम को इस प्रकार लिख सकते हैं : ***किसी पिण्ड को गतिशील रखने के लिए बाह्य बल की आवश्यकता होती है।***

जैसा कि हम आगे देखेंगे, अरस्तू का गति का नियम दोषयुक्त है। तथापि, यह एक स्वाभाविक विचार है, जो कोई भी व्यक्ति अपने सामान्य अनुभवों से रख सकता है। अपनी सामान्य खिलौना कार (अवैद्युत) से फर्श पर खेलती छोटी बालिका भी अपने अंतर्ज्ञान से यह जानती है कि कार को चलती रखने के लिए उस पर बंधी डोरी का स्थायी रूप से कुछ बल लगाकर बराबर खींचना होगा । यदि वह डोरी को छोड़ देती है तो कुछ क्षण बाद कार रुक जाती है। अधिकांश स्थलीय गतियों में यही सामान्य अनुभव होता है। पिण्डों को गतिशील बनाए रखने के लिए बाह्य बलों की आवश्यकता प्रतीत होती है। स्वतंत्र छोड़ देने पर सभी वस्तुएं अंतत: रुक जाती हैं।

फिर अरस्तू के तर्क में क्या दोष है ? इसका उत्तर है : गतिशील खिलौना कार इसलिए रुक जाती है कि फर्श द्वारा कार पर लगने वाला बाह्य घर्षण बल इसकी गति का विरोध करता है। इस बल को निष्फल करने के लिए बालिका को कार पर गति की दिशा में बाह्य बल लगाना पड़ता है। जब कार एकसमान गति में होती है तब उस पर कोई नेट बाह्य बल कार्य नहीं करता; बालिका द्वारा लगाया गया बल फर्श के बल (घर्षण बल) को निरस्त कर देता है। इसका उपप्रमेय है : यदि कोई घर्षण न हो, तो बालिका को खिलौना कार की एकसमान गति बनाए रखने के लिए, कोई भी बल लगाने की आवश्यकता नहीं पड़ती ।

प्रकृति में सदैव ही विरोधी घर्षण बल (ठोसों के बीच) अथवा श्यान बल (तरलों के बीच) आदि उपस्थित रहते हैं । यह उन व्यावहारिक अनुभवों से स्पष्ट है जिनके अनुसार वस्तुओं में एकसमान गति बनाए रखने के लिए घर्षण बलों को निष्फल करने हेतु बाह्य साधनों द्वारा बल लगाना आवश्यक होता है। अब हम समझ सकते हैं कि अरस्तू से त्रुटि कहां हुई । उसने अपने इस व्यावहारिक अनुभव को एक मौलिक तर्क का रूप दिया । गति तथा बलों के लिए प्रकृति के यथार्थ नियम को जानने के लिए हमें एक ऐसे आदर्श संसार की कल्पना करनी होगी जिसमें बिना किसी विरोधी घर्षण बल लगे एकसमान गति का निष्पादन होता है। यही गैलीलियो ने किया था।

5. जड़त्व का नियम

गैलीलियो ने वस्तुओं की गति का अध्ययन एक आनत समतल पर किया था। किसी (i) आनत समतल पर नीचे की ओर गतिमान वस्तुएं त्वरित होती हैं जबकि (ii) तल पर ऊपर की ओर जाने वाली वस्तुओं में मंदन होता है। क्षैतिज समतल पर गति (iii) इन दोनों के बीच की स्थिति है। गैलीलियो ने यह निष्कर्ष निकाला कि किसी घर्षण रहित क्षैतिज समतल पर गतिशील किसी वस्तु में न तो त्वरण होना चाहिए और न ही मंदन, अर्थात् इसे

ERROR: undefined
OFFENDING COMMAND: ‘~

STACK:

अध्याय 6

कार्य, ऊर्जा और शक्ति

6.1 भूमिका

दैनिक बोल चाल की भाषा में हम प्राय: 'कार्य', 'ऊर्जा', और 'शक्ति' शब्दों का प्रयोग करते हैं। यदि कोई किसान खेत जोतता है, कोई मिस्त्री ईंट ढोता है, कोई छात्र परीक्षा के लिए पढ़ता है या कोई चित्रकार सुन्दर दृश्यभूमि का चित्र बनाता है तो हम कहते हैं कि सभी कार्य कर रहे हैं परन्तु भौतिकी में कार्य शब्द को परिशुद्ध रूप से परिभाषित करते हैं। जिस व्यक्ति में प्रतिदिन चौदह से सोलह घण्टें कार्य करने की क्षमता होती है, उसे अधिक शक्ति या ऊर्जा वाला कहते हैं। हम लंबी दूरी वाले धावक को उसकी शक्ति या ऊर्जा के लिए प्रशंसा करते हैं। इस प्रकार ऊर्जा कार्य करने की क्षमता है। भौतिकी में भी ऊर्जा कार्य से इसी प्रकार सम्बन्धित है परन्तु जैसा ऊपर बताया गया है शब्द कार्य को और अधिक परिशुद्ध रूप से परिभाषित करते हैं। शक्ति शब्द का दैनिक जीवन में प्रयोग विभिन्न अर्थों में होता है। कराटे या बॉक्सिंग में शक्तिशाली मुक्का वही माना जाता है जो तेज गति से मारा जाता है। शब्द 'शक्ति' का यह अर्थ भौतिकी में इस शब्द के अर्थ के निकट है। हम यह देखेंगे कि इन पदों की भौतिक परिभाषाओं तथा इनके द्वारा मस्तिष्क में बने कार्यकीय चित्रणों के बीच अधिक से अधिक यह सम्बन्ध अल्प ही होता है। इस पाठ का लक्ष्य इन तीन भौतिक राशियों की धारणाओं का विकास करना है लेकिन इसके पहले हमें आवश्यक गणितीय भाषा मुख्यत: दो सदिशों के अदिश गुणनफल को समझना होगा।

6.1.1 अदिश गुणनफल

अध्याय 4 में हम लोगों ने सदिश राशियों और उनके प्रयोगों के बारे में पढ़ा है। कई भौतिक राशियाँ; जैसे-विस्थापन, वेग, त्वरण, बल आदि सदिश हैं। हम लोगों ने सदिशों को जोड़ना और घटाना भी सीखा है। अब हम लोग सदिशों के गुणन के बारे में अध्ययन करेंगे। सदिशों को गुणा करने की दो विधियाँ हैं। प्रथम विधि से दो सदिशों के गुणनफल से अदिश गुणनफल प्राप्त होता है और इसे अदिश गुणनफल कहते हैं। दूसरी विधि में दो सदिशों के गुणनफल से एक सदिश प्राप्त होता है और इसे सदिश गुणनफल कहते हैं। सदिश गुणनफल के बारे में हम लोग अध्याय 7 में पढ़ेंगे। इस अध्याय में हम लोग अदिश गुणनफल की विवेचना करेंगे।

किन्हीं दो सदिशों **A** तथा **B** के अदिश या बिंदु-गुणनफल (डॉट गुणनफल) को हम [**A.B** (**A** डॉट **B**)] के रूप में लिखते हैं और निम्न प्रकार से परिभाषित करते हैं :

$$\mathbf{A.B} = AB\cos\theta \qquad (6.1a)$$

यहाँ θ दो सदिशों **A** तथा **B** के बीच का कोण है। इसे चित्र 6.1a में दिखाया गया है। क्योंकि, B तथा $\cos\theta$ सभी अदिश हैं इसलिए **A** तथा **B** का बिंदु गुणनफल भी अदिश राशि है। **A** व **B** में से प्रत्येक की अपनी-अपनी दिशा है किन्तु उनके अदिश गुणनफल की कोई दिशा नहीं है।

समीकरण (6.1a) से हमें निम्नलिखित परिणाम मिलता है :

$$\mathbf{A \cdot B} = A\,(B\cos\theta)$$
$$= B\,(A\cos\theta)$$

ज्यामिति के अनुसार $B\cos\theta$ सदिश **B** का सदिश **A** पर प्रक्षेप है (चित्र 6.1b)। इसी प्रकार $A\cos\theta$ सदिश **A** का सदिश **B** पर प्रक्षेप है (देखिए चित्र 6.1c)। इस प्रकार **A·B** सदिश **A** के परिमाण तथा **B** के अनुदिश **A** के घटक के गुणनफल के बराबर होता है। दूसरे तरीके से यह **B** के परिमाण तथा **A** का सदिश **B** के अनुदिश घटक के गुणनफल के बराबर है।

समीकरण (6.1a) से यह संकेत भी मिलता है कि अदिश गुणनफल क्रम विनिमेय नियम का पालन करता है–

$$\mathbf{A \cdot B} = \mathbf{B \cdot A}$$

अदिश गुणनफल **वितरण-नियम** का भी पालन करते हैं :

$$\mathbf{A \cdot (B + C)} = \mathbf{A \cdot B} + \mathbf{A \cdot C}$$

तथा,

$$\mathbf{A.}(\lambda\,\mathbf{B}) = \lambda(\mathbf{A \cdot B})$$

यहाँ λ एक वास्तविक संख्या है।

उपरोक्त समीकरणों की व्युत्पत्ति आपके लिए अभ्यास हेतु छोड़ी जा रही है।

अब हम एकांक सदिशों $\hat{\mathbf{i}}, \hat{\mathbf{j}}, \hat{\mathbf{k}}$ का अदिश गुणनफल निकालेंगे। क्योंकि वे एक दूसरे के लंबवत् हैं, इसलिए

$$\hat{\mathbf{i}} \cdot \hat{\mathbf{i}} = \hat{\mathbf{j}} \cdot \hat{\mathbf{j}} = \hat{\mathbf{k}} \cdot \hat{\mathbf{k}} = 1$$
$$\hat{\mathbf{i}} \cdot \hat{\mathbf{j}} = \hat{\mathbf{j}} \cdot \hat{\mathbf{k}} = \hat{\mathbf{k}} \cdot \hat{\mathbf{i}} = 0$$

दो सदिशों

$$\mathbf{A} = A_x\hat{\mathbf{i}} + A_y\hat{\mathbf{j}} + A_z\hat{\mathbf{k}}$$
$$\mathbf{B} = B_x\hat{\mathbf{i}} + B_y\hat{\mathbf{j}} + B_z\hat{\mathbf{k}}$$

का अदिश गुणनफल होगा :

$$\mathbf{A \cdot B} = \left(A_x\hat{\mathbf{i}} + A_y\hat{\mathbf{j}} + A_z\hat{\mathbf{k}}\right)\cdot\left(B_x\hat{\mathbf{i}} + B_y\hat{\mathbf{j}} + B_z\hat{\mathbf{k}}\right)$$
$$= A_xB_x + A_yB_y + A_zB_z \qquad (6.1b)$$

अदिश गुणनफल परिभाषा तथा समीकरण (6.1b) से हमें निम्न प्राप्त होता है :

(i) $\mathbf{A \cdot A} = A_xA_x + A_yA_y + A_zA_z$

अथवा $A^2 = A_x^2 + A_y^2 + A_z^2 \qquad (6.1c)$

क्योंकि $\mathbf{A \cdot A} = |\mathbf{A}||\mathbf{A}|\cos 0 = A^2$

(ii) $\mathbf{A \cdot B} = 0$ यदि। **A** व **B** एक दूसरे के लंबवत् हैं।

उदाहरण 6.1 बल $\mathbf{F} = (3\hat{\mathbf{i}} + 4\hat{\mathbf{j}} - 5\hat{\mathbf{k}})$ तथा विस्थापन $\mathbf{d} = (5\hat{\mathbf{i}} + 4\hat{\mathbf{j}} + 3\hat{\mathbf{k}})$ के बीच का कोण ज्ञात करें। **F** का **d** पर प्रक्षेप भी ज्ञात करें।

हल $\mathbf{F \cdot d} = F_xd_x + F_yd_y + F_zd_z$
$= 3(5) + 4(4) + (-5)(3)$
$= 16$ unit

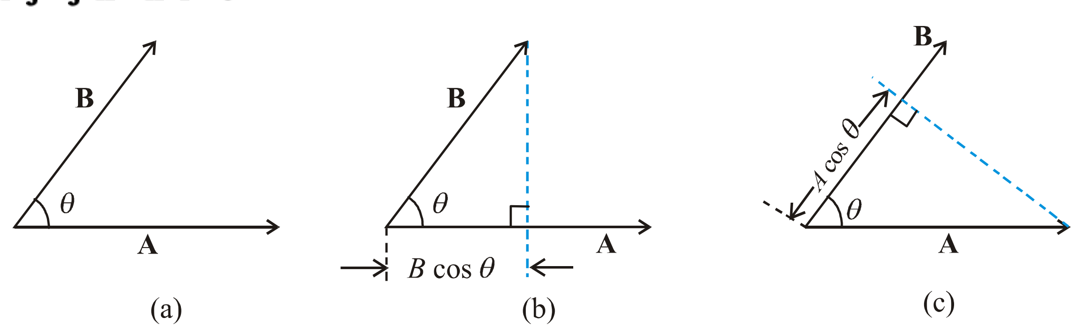
अत: $\mathbf{F \cdot d} = Fd\cos\theta = 16$ unit

अब $\mathbf{F \cdot F} = F^2 = F_x^2 + F_y^2 + F_z^2$
$= 9 + 16 + 25$
$= 50$ unit

तथा $\mathbf{d \cdot d} = d^2 = d_x^2 + d_y^2 + d_z^2$
$= 25 + 16 + 9$
$= 50$ unit

$$\therefore \cos\theta = \frac{16}{\sqrt{50}\sqrt{50}} = \frac{16}{50} = 0.32$$

$$\theta = \cos^{-1} 0.32$$



चित्र 6.1 *(a) दो सदिशों **A** व **B** का अदिश गुणनफल एक अदिश होता है अर्थात् **A·B** = AB cos θ, (b) B cos θ सदिश **B** का सदिश **A** पर प्रक्षेप है, (c) A cos θ सदिश **A** का **B** पर प्रक्षेप है।*

6.2 कार्य और गतिज ऊर्जा की धारणा : कार्य-ऊर्जा प्रमेय

अध्याय 3 में, नियत त्वरण a के अंतर्गत सरल रेखीय गति के लिए आप निम्न भौतिक संबंध पढ़ चुके हैं;

$$v^2 - u^2 = 2as \tag{6.2}$$

जहाँ u तथा v क्रमशः आरंभिक व अंतिम चाल और s वस्तु द्वारा चली गई दूरी है। दोनों पक्षों को $m/2$ से गुणा करने पर

$$\frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mu^2 = mas = Fs \tag{6.2a}$$

जहाँ आखिरी चरण न्यूटन के द्वितीय नियमानुसार है। इस प्रकार सदिशों के प्रयोग द्वारा सहज ही समीकरण (6.2) का त्रिविमीय व्यापकीकरण कर सकते हैं

$$v^2 - u^2 = 2\,\mathbf{a.d}$$

यहाँ a और b पिंड के क्रमशः त्वरण और विस्थापन सदिश हैं। एक बार फिर दोनों पक्षों को $m/2$ से गुणा करने पर हम प्राप्त करते हैं

$$\frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mu^2 = m\,\mathbf{a.d} = \mathbf{F.d} \tag{6.2b}$$

उपरोक्त समीकरण कार्य एवं गतिज ऊर्जा को परिभाषित करने के लिए प्रेरित करता है। समीकरण (6.2 b) में बायाँ पक्ष वस्तु के द्रव्यमान के आधे और उसकी चाल के वर्ग के गुणनफल के अंतिम और आरंभिक मान का अंतर है। हम इनमें से प्रत्येक राशि को 'गतिज ऊर्जा' कहते हैं और संकेत K से निर्दिष्ट करते हैं। समीकरण का दायाँ पक्ष वस्तु पर आरोपित बल का विस्थापन के अनुदिश घटक और वस्तु के विस्थापन का गुणनफल है। इस राशि को 'कार्य' कहते हैं और इसे संकेत W से निर्दिष्ट करते हैं। अतः समीकरण (6.2 b) को निम्न प्रकार लिख सकते हैं :

$$K_f - K_i = W \tag{6.3}$$

जहाँ K_i तथा K_f वस्तु की आरंभिक एवं अंतिम गतिज ऊर्जा हैं। कार्य किसी वस्तु पर लगने वाले बल और इसके विस्थापन के संबंध को बताता है। **अतः किसी निश्चित विस्थापन के दौरान वस्तु पर लगाया गया बल कार्य करता है।**

समीकरण (6.3) कार्य-ऊर्जा प्रमेय की एक विशेष स्थिति है जो यह प्रदर्शित करती है कि **किसी वस्तु पर लगाए गए कुल बल द्वारा किया गया कार्य उस वस्तु की गतिज ऊर्जा में परिवर्तन के बराबर होता है।** परिवर्ती बल के लिए उपरोक्त व्युत्पत्ति का व्यापकीकरण हम अनुभाग 6.6 में करेंगे।

उदाहरण 6.2 हम अच्छी तरह जानते हैं कि वर्षा की बूँद नीचे की ओर लगने वाले गुरुत्वाकर्षण बल और बूँद के गिरने की दिशा के विपरीत लगने वाले प्रतिरोधी बल के प्रभाव के अधीन गिरती है। प्रतिरोधी बल बूँद की चाल के अनुक्रमानुपाती, परंतु अनिर्धारित होता है। माना कि 1.00 g द्रव्यमान की वर्षा की बूँद 1.00 km ऊँचाई से गिर रही है। यह धरातल पर 50.00 m s^{-1} की चाल से संघट्ट करती है। (a) गुरुत्वीय बल द्वारा किया गया कार्य क्या है? (b) अज्ञात प्रतिरोधी बल द्वारा किया गया कार्य क्या है ?

हल (a) बूँद की गतिज ऊर्जा में परिवर्तन

$$\Delta K = \frac{1}{2}m\,v^2 - 0$$

$$= \frac{1}{2} \times 10^{-3} \times 50 \times 50$$

$$= 1.25\ \text{J}$$

यहाँ हमने यह मान लिया है कि बूँद विरामावस्था से गिरना आरंभ करती है।

गुरुत्वाकर्षण बल द्वारा किया गया कार्य $W_g = m\,g\,h$

मान लीजिए कि $g = 10\ \text{m s}^{-2}$ है।

अतः $W_g = m\,g\,h$

$= 10^{-3} \times 10 \times 10^3$

$= 10\ \text{J}$

(b) कार्य-ऊर्जा प्रमेय से, $\Delta K = W_g + W_r$

जहाँ W_r प्रतिरोधी बल द्वारा किया गया कार्य है। अतः

$W_r = \Delta K - W_g$

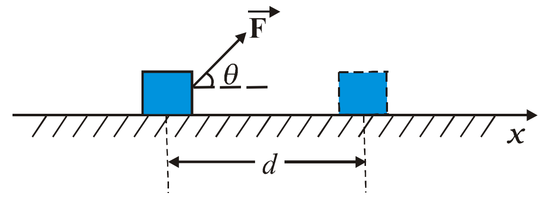
$= 1.25 - 10$

$= -8.75\ \text{J}$

ऋणात्मक है।

6.3 कार्य

उपरोक्त अनुभाग में आपने देखा कि कार्य, बल और उसके द्वारा वस्तु के विस्थापन से संबंधित होता है। माना कि एक अचर बल **F**, किसी m द्रव्यमान के पिंड पर लग रहा है जिसके कारण पिंड का धनात्मक x-दिशा में होने वाला विस्थापन **d** है जैसा कि चित्र 6.2 में दर्शाया गया है।



*चित्र 6.2 किसी पिंड का आरोपित बल **F** के कारण विस्थापन **d** ।*

अतः किसी बल द्वारा किया गया कार्य "बल के विस्थापन की दिशा के अनुदिश घटक और विस्थापन के परिमाण के गुणनफल" के रूप में परिभाषित किया जाता है। अतः

$$W = (F\cos\theta)\, d = \mathbf{F} \cdot \mathbf{d} \qquad (6.4)$$

हम देखते हैं कि यदि वस्तु का विस्थापन शून्य है तो बल का परिमाण कितना ही अधिक क्यों न हो, वस्तु द्वारा किया गया कार्य शून्य होता है। जब कभी आप किसी ईंटों की दृढ़ दीवार को धक्का देते हैं तो कोई कार्य नहीं होता है। इस प्रक्रिया में आपकी मांसपेशियों का बारी-बारी से संकुचन और शिथिलीकरण हो रहा है और आंतरिक ऊर्जा लगातार व्यय हो रही है और आप थक जाते हैं। भौतिक विज्ञान में कार्य का अर्थ इसके दैनिक भाषा में प्रयोग के अर्थ से भिन्न है।

कोई भी कार्य संपन्न हुआ नहीं माना जाता है यदि :

(i) वस्तु का विस्थापन शून्य है, जैसा कि पूर्ववर्ती उदाहरण में आपने देखा। कोई भारोत्तोलक 150 kg द्रव्यमान के भार को 30 s तक अपने कंधे पर लगातार उठाए हुए खड़ा है तो वह कोई कार्य नहीं कर रहा है।

(ii) बल शून्य है। किसी चिकनी क्षैतिज मेज पर गतिमान पिंड पर कोई क्षैतिज बल कार्य नहीं करता है, (क्योंकि घर्षण नहीं है) परंतु पिंड का विस्थापन काफी अधिक हो सकता है।

(iii) बल और विस्थापन परस्पर लंबवत् हैं क्योंकि $\theta = \pi/2$ rad (= 90°), $\cos(\pi/2) = 0$। किसी चिकनी क्षैतिज मेज पर गतिमान पिंड के लिए गुरुत्वाकर्षण बल mg कोई कार्य नहीं करता है क्योंकि यह विस्थापन के लंबवत् कार्य कर रहा है। पृथ्वी के परितः चंद्रमा की कक्षा लगभग वृत्ताकार है। यदि हम चंद्रमा की कक्षा को पूर्ण रूप से वृत्ताकार मान लें, तो पृथ्वी का गुरुत्वाकर्षण बल कोई कार्य नहीं करता है क्योंकि चंद्रमा का तात्कालिक विस्थापन स्पर्शरेखीय है जबकि पृथ्वी का बल त्रिज्यीय (केंद्र की ओर) है, अर्थात् $\theta = \pi/2$।

कार्य धनात्मक व ऋणात्मक दोनों प्रकार का हो सकता है। यदि θ, 0° और 90° के मध्य है तो समीकरण (6.4) में $\cos\theta$ का मान धनात्मक होगा। यदि θ, 90° और 180° के मध्य है तो $\cos\theta$ का मान ऋणात्मक होगा। अनेक उदाहरणों में घर्षण बल, विस्थापन का विरोध करता है और $\theta = 180°$ होता है। ऐसी दशा में घर्षण बल द्वारा किया गया कार्य ऋणात्मक होता है ($\cos 180° = -1$)।

समीकरण (6.4) से स्पष्ट है कि कार्य और ऊर्जा की विमाएँ समान $[ML^2T^{-2}]$ हैं। ब्रिटिश भौतिकविद जेम्स प्रेसकॉट जूल (1818-1869) के सम्मान में इनका SI मात्रक 'जूल' कहलाता है। चूंकि कार्य एवं ऊर्जा व्यापक रूप से भौतिक धारणाओं के रूप में प्रयोग किए जाते हैं, अतः ये वैकल्पिक मात्रकों से भरपूर हैं और उनमें से कुछ सारणी 6.1 में सूचीबद्ध हैं।

सारणी 6.1 : कार्य/ऊर्जा के वैकल्पिक मात्रक (जूल में)

अर्ग	10^{-7} J
इलेक्ट्रॉन वोल्ट (eV)	1.6×10^{-19} J
कैलोरी (cal)	4.186 J
किलोवाट-घंटा (kWh)	3.6×10^{6} J

▶ ***उदाहरण 6.3*** कोई साइकिल सवार ब्रेक लगाने पर फिसलता हुआ 10 m दूर जाकर रुकता है। इस प्रक्रिया की अवधि में, सड़क द्वारा साइकिल पर लगाया गया बल 200 N है जो उसकी गति के विपरीत है। (a) सड़क द्वारा साइकिल पर कितना कार्य किया गया? (b) साइकिल द्वारा सड़क पर कितना कार्य किया गया?

हल सड़क द्वारा साइकिल पर किया गया कार्य सड़क द्वारा साइकिल पर लगाए गए विरोधी (घर्षण बल) द्वारा किया किया कार्य है।

(*a*) यहाँ विरोधी बल और साइकिल के विस्थापन के मध्य कोण 180° (या π rad) है। अतः सड़क द्वारा किया गया कार्य

$$W_r = Fd\cos\theta$$
$$= 200 \times 10 \times \cos\pi$$
$$= -2000 \text{ J}$$

कार्य-ऊर्जा प्रमेय के अनुसार, इस ऋणात्मक कार्य के कारण ही साइकिल रुक जाती है।

(*b*) न्यूटन के गति के तृतीय नियमानुसार साइकिल द्वारा सड़क पर लगाया गया बल सड़क द्वारा साइकिल पर लगाए बल के बराबर परंतु विपरीत दिशा में होगा। इसका परिमाण 200 N है। तथापि, सड़क का विस्थापन नहीं होता है। अतः साइकिल द्वारा सड़क पर किया गया कार्य शून्य होगा। ◀

इस उदाहरण से हमें यह पता चलता है कि यद्यपि पिंड B द्वारा A पर लगाया गया बल, पिंड A द्वारा पिंड B पर लगाए गए बल के बराबर तथा विपरीत दिशा में है (न्यूटन का गति का तीसरा नियम) तथापि यह आवश्यक नहीं है कि पिंड B द्वारा A पर किया गया कार्य, पिंड A द्वारा B पर किए गए कार्य के बराबर तथा विपरीत दिशा में हो।

6.4 गतिज ऊर्जा

जैसा कि पहले उल्लेख किया गया है, यदि किसी पिंड का द्रव्यमान m और वेग $\mathbf{v}$ है तो इसकी गतिज ऊर्जा,

$$K = \frac{1}{2}m\,\mathbf{v}\cdot\mathbf{v} = \frac{1}{2}mv^2 \qquad (6.5)$$

गतिज ऊर्जा एक अदिश राशि है।

सारणी **6.2** विशिष्ट गतिज ऊर्जाएँ (K)

पिंड	द्रव्यमान (kg)	चाल (m s^{-1})	K (J)
कार	2000	25	6.3×10^5
धावक (ऐथलीट)	70	10	3.5×10^3
गोली	5×10^{-2}	200	10^3
10 m की ऊँचाई से गिरता पत्थर	1	14	10^2
अंतिम वेग से गिरती वर्षा की बूँद	3.5×10^{-5}	9	1.4×10^{-3}
वायु का अणु	$\simeq 10^{-26}$	500	$\simeq 10^{-21}$

किसी पिंड की गतिज ऊर्जा, उस पिंड द्वारा किए गए कार्य की माप होती है जो वह अपनी गति के कारण कर सकता है। इस धारणा का अंतर्ज्ञान काफी समय से है। तीव्र गति से बहने वाली जल की धारा की गतिज ऊर्जा का उपयोग अनाज पीसने के लिए किया जाता है। पाल जलयान पवन की गतिज ऊर्जा का प्रयोग करते हैं। सारणी 6.2 में विभिन्न पिंडों की गतिज ऊर्जाएँ सूचीबद्ध हैं।

▶ ***उदाहरण 6.4*** किसी प्राक्षेपिक प्रदर्शन में एक पुलिस अधिकारी 50 g द्रव्यमान की गोली को 2cm मोटी नरम परतदार लकड़ी (प्लाइवुड) पर 200 m s^{-1} की चाल से फायर करता है। नरम लकड़ी को भेदने के पश्चात् गोली की गतिज ऊर्जा प्रारंभिक ऊर्जा की 10% रह जाती है। लकड़ी से निकलते समय गोली की चाल क्या होगी?

हल गोली की प्रारंभिक गतिज ऊर्जा

$$mv^2/2 = 1000 \text{ J}$$

गोली की अंतिम गतिज ऊर्जा = $0.1 \times 1000 = 100$ J। यदि गोली की नरम लकड़ी को भेदने के पश्चात् चाल v_f है तो,

$$\frac{1}{2} m v_f^2 = 100 \text{ J}$$

$$v_f = \sqrt{\frac{2 \times 100 \text{ J}}{0.05 \text{ kg}}}$$

$$= 63.2 \text{ m s}^{-1}$$

नरम लकड़ी को भेदने के पश्चात् गोली की चाल लगभग 68% कम हो गई है (90% नहीं)। ◀

6.5 परिवर्ती बल द्वारा किया गया कार्य

अचर बल दुष्प्राप्य है। अधिकतर परिवर्ती बल के उदाहरण ही देखने को मिलते हैं। चित्र 6.3 एकविमीय परिवर्ती बल का आलेख है।

यदि विस्थापन Δx सूक्ष्म है तब हम बल $F(x)$ को भी लगभग नियत ले सकते हैं और तब किया गया कार्य

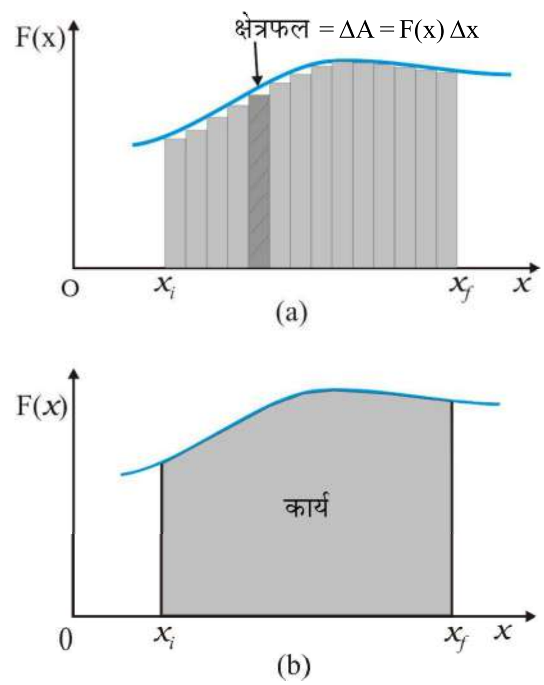
$$\Delta W = F(x)\, \Delta x$$

इसे चित्र 6.3(a) में समझाया गया है। चित्र 6.3 (a) में क्रमिक आयताकार क्षेत्रफलों का योग करने पर हमें कुल किया गया कार्य प्राप्त होता है जिसे इस प्रकार लिखा जाता है :

$$W \cong \sum_{x_i}^{x_f} F(x) \Delta x \qquad (6.6)$$

जहाँ संकेत 'Σ' का अर्थ है संकलन-फल (योगफल), जबकि 'x_i' वस्तु की आरंभिक स्थिति और 'x_f' वस्तु की अंतिम स्थिति को निरूपित करता है।

यदि विस्थापनों को अतिसूक्ष्म मान लिया जाए तब योगफल में पदों की संख्या असीमित रूप से बढ़ जाती है लेकिन योगफल एक निश्चित मान के समीप पहुंच जाता है जो चित्र 6.3(b) में वक्र के नीचे के क्षेत्रफल के समान होता है।



चित्र 6.3 (a) परिवर्ती बल $F(x)$ द्वारा सूक्ष्म विस्थापन Δx में किया गया कार्य $\Delta W = F(x)\Delta x$ छायांकित आयत से निरूपित है। (b) $\Delta x \rightarrow 0$ के लिए सभी आयतों के क्षेत्रफलों को जोड़ने पर, वक्र द्वारा आच्छादित क्षेत्रफल, बल $F(x)$ द्वारा किए गए कार्य के ठीक बराबर है।

अतः किया गया कार्य

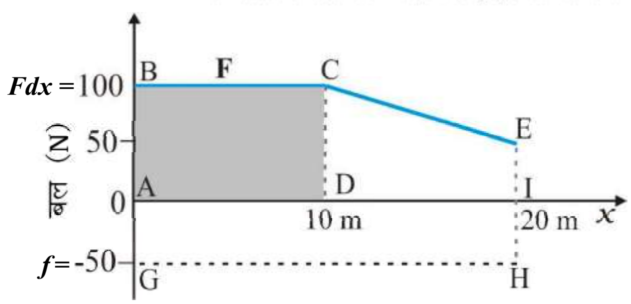
$$W = \lim_{\Delta x \to 0} \sum_{x_i}^{x_f} F(x) \Delta x$$

$$= \int_{x_i}^{x_f} F(x)\, \mathrm{d}x \qquad (6.7)$$

जहाँ '*lim*' का अर्थ है 'योगफल की सीमा' जबकि Δx नगण्य रूप से सूक्ष्म मानों की ओर अग्रसर है। इस प्रकार परिवर्ती बल के लिए किए गए कार्य को बल का विस्थापन पर सीमांकित समाकलन, के रूप में व्यक्त कर सकते हैं (परिशिष्ट 3.1 भी देखें)

▶ ***उदाहरण 6.4*** कोई स्त्री खुरदरी सतह वाले रेलवे प्लेटफार्म पर संदूक को खिसकाती है। वह 10 m की दूरी तक 100 N का बल आरोपित करती है। उसके पश्चात्, उत्तरोत्तर वह थक जाती है और उसके द्वारा आरोपित बल रेखीय रूप से घटकर 50 N हो जाता है। संदूक को कुल 20 m की दूरी तक खिसकाया जाता है। स्त्री द्वारा संदूक पर आरोपित बल और घर्षण बल जो कि 50 N है, तथा विस्थापन के बीच ग्राफ खींचिए। दोनों बलों द्वारा 20 m तक किए गए कार्य का परिकलन कीजिए।

हल चित्र 6.4 में आरोपित बल का आलेख प्रदर्शित किया गया है।



चित्र 6.4 *किसी स्त्री द्वारा आरोपित बल F और विरोधी घर्षण बल f तथा विस्थापन के बीच ग्राफ।*

$x = 20$ m पर $F = 50$ N($\neq 0$) है। हमें घर्षण बल f दिया गया है जिसका परिमाण है

$|f| = 50$ N

यह गति का विरोध करता है और आरोपित बल **F** के विपरीत दिशा में कार्य करता है। इसलिए, इसे बल-अक्ष की ऋणात्मक दिशा की ओर प्रदर्शित किया गया है।

स्त्री द्वारा किया गया कार्य $W_F \to$(आयत ABCD + समलंब CEID) का क्षेत्रफल

$$W_F = 100 \times 10 + \frac{1}{2}(100 + 50) \times 10$$

$$= 1000 + 750$$

$$= 1750 \text{ J}$$

घर्षण बल द्वारा किया गया कार्य $W_F \to$आयत AGHI का क्षेत्रफल

$$W_f = (-50) \times 20$$

$$= -1000 \text{ J}$$

यहाँ क्षेत्रफल का बल-अक्ष के ऋणात्मक दिशा की ओर होने से, क्षेत्रफल का चिह्न ऋणात्मक है। ◀

6.6 परिवर्ती बल के लिए कार्य-ऊर्जा प्रमेय

हम परिवर्ती बल के लिए कार्य-ऊर्जा प्रमेय को सिद्ध करने के लिए कार्य और गतिज ऊर्जा की धारणाओं से भलीभांति परिचित हैं। यहाँ हम कार्य-ऊर्जा प्रमेय के एकविमीय पक्ष तक ही विचार को सीमित करेंगे। गतिज ऊर्जा परिवर्तन की दर है :

$$\frac{\mathrm{d}K}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\frac{1}{2} m v^2\right)$$

$$= m \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} v$$

$$= Fv \text{ (न्यूटन के दूसरे नियमानुसार } = \mathrm{m}\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = F)$$

$$= F \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}$$

अतः $\mathrm{d}K = F\mathrm{d}x$

प्रारंभिक स्थिति x_i से अंतिम स्थिति x_f तक समाकलन करने पर,

$$\int_{K_i}^{K_f} \mathrm{d}K = \int_{x_i}^{x_f} F\mathrm{d}x$$

जहाँ x_i और x_f के संगत K_i और K_f क्रमशः प्रारंभिक एवं अंतिम गतिज ऊर्जाएँ हैं।

या $$K_f - K_i = \int_{x_i}^{x_f} F\mathrm{d}x \qquad (6.8\text{ a})$$

समीकरण (6.7) से प्राप्त होता है

$$K_f - K_i = W \qquad (6.8\text{ b})$$

इस प्रकार परिवर्ती बल के लिए कार्य-ऊर्जा प्रमेय सिद्ध होती है।

हालांकि कार्य-ऊर्जा प्रमेय अनेक प्रकार के प्रश्नों को हल करने में उपयोगी है परंतु यह न्यूटन के द्वितीय नियम की पूर्णरूपेण गतिकीय सूचना का समावेश नहीं करती है। वास्तव में यह न्यूटन के द्वितीय नियम का समाकल रूप है। न्यूटन का द्वितीय नियम किसी क्षण, त्वरण तथा बल के बीच संबंध दर्शाता है। कार्य-ऊर्जा प्रमेय में एक काल के लिए समाकल निहित है। इस दृष्टि से न्यूटन के द्वितीय नियम में निहित कालिक सूचना कार्य ऊर्जा प्रमेय में स्पष्ट रूप से प्रकट नहीं होता। बल्कि एक निश्चित काल के लिए समाकलन के रूप में होता है। दूसरी ध्यान देने की बात यह है कि दो या तीन विमाओं में न्यूटन का द्वितीय नियम सदिश रूप में होता है जबकि कार्य-ऊर्जा प्रमेय अदिश रूप में होता है।

न्यूटन के द्वितीय नियम में दिशा संबंधित निहित ज्ञान भी कार्य ऊर्जा प्रमेय जैसे- अदिश संबंध में निहित नहीं है।

▶ **उदाहरण 6.6** m (=1kg) द्रव्यमान का एक गुटका क्षैतिज सतह पर $v_i = 2 \text{ m s}^{-1}$ की चाल से चलते हुए $x = 0.10$ m से $x = 2.01$m के खुरदरे हिस्से में प्रवेश करता है। गुटके पर लगने वाला मंदक बल (F_r) इस क्षेत्र में x के व्युत्क्रमानुपाती है,

$$F_r = \frac{-k}{x} \quad 0.1 < x < 2.01\text{m}$$

$$= 0 \quad x < 0.1\text{m} \text{ और } x > 2.01\text{m के लिए}$$

जहाँ $k = 0.5$J। गुटका जैसे ही खुरदरे हिस्से को पार करता है, इसकी अंतिम गतिज ऊर्जा और चाल v_f की गणना कीजिए।

हल समीकरण (6.8 a) से

$$K_f = K_i + \int_{0.1}^{2.01} \frac{(-k)}{x} \mathrm{d}x$$

$$= \frac{1}{2} m v_i^2 - k \ln(x)\Big|_{0.1}^{2.01}$$

$$= \frac{1}{2} m v_i^2 - k \ln(2.01/0.1)$$

$$= 2 - 0.5 \ln(20.1)$$

$$= 2 - 1.5 = 0.5 \text{ J}$$

$$v_f = \sqrt{2K_f/m} = 1 \text{ m s}^{-1}$$

ध्यान दीजिए कि ln आधार e पर किसी संख्या का प्राकृतिक लघुगणक है, न कि आधार 10 पर किसी संख्या का [$\ln X = \log_e X = 2.303 \log_{10} X$] ◀

6.7 स्थितिज ऊर्जा की अभिधारणा

यहाँ 'स्थितिज' शब्द किसी कार्य को करने की संभावना या क्षमता को व्यक्त करता है। स्थितिज ऊर्जा की धारणा 'संग्रहित' ऊर्जा से संबंधित है। किसी खिंचे हुए तीर-कमान के तार (डोरी) की ऊर्जा स्थितिज ऊर्जा होती है। जब इसे ढीला छोड़ा जाता है तो तीर तीव्र चाल से दूर चला जाता है। पृथ्वी के भूपृष्ठ पर भ्रंश रेखाएँ संपीडित कमानियों के सदृश होती हैं। उनकी स्थितिज ऊर्जा बहुत अधिक होती है। जब ये भ्रंश रेखाएँ फिर से समायोजित हो जाती हैं तो भूकंप आता है। किसी भी पिंड की स्थितिज ऊर्जा (संचित ऊर्जा) उसकी स्थिति या अभिविन्यास के कारण होती है। पिंड को मुक्त रूप से छोड़ने पर इसमें संचित ऊर्जा, गतिज ऊर्जा के रूप में निर्मुक्त होती है। आइए, अब हम स्थितिज ऊर्जा की धारणा को एक निश्चित रूप देते हैं।

पृथ्वी की सतह के समीप m द्रव्यमान की एक गेंद पर आरोपित गुरुत्वाकर्षण बल mg है। g को पृथ्वी की सतह के समीप अचर माना जा सकता है । यहाँ समीपता से तात्पर्य यह है कि गेंद की पृथ्वी की सतह से ऊँचाई h, पृथ्वी की त्रिज्या R_E की तुलना में अति सूक्ष्म है ($h << R_E$), अतः हम पृथ्वी के पृष्ठ पर g के मान में परिवर्तन की उपेक्षा कर सकते हैं।* माना कि गेंद को बिना कोई गति प्रदान किए h ऊँचाई तक ऊपर उठाया जाता है। अतः बाह्य कारक द्वारा गुरुत्वाकर्षण बल के विरुद्ध किया गया कार्य mgh होगा। यह कार्य, स्थितिज ऊर्जा के रूप में संचित हो जाता है। किसी पिण्ड की h ऊँचाई पर गुरुत्वीय स्थितिज ऊर्जा उसी पिण्ड को उसी ऊँचाई तक उठाने में गुरुत्वाकर्षण बल द्वारा किए गए कार्य के ऋणात्मक मान के बराबर होता है।

$$V(h) = m g h$$

यदि h को परिवर्ती लिया जाता है तो यह सरलता से देखा जा सकता है कि गुरुत्वाकर्षण बल F, h के सापेक्ष $V(h)$ के ऋणात्मक अवकलज के समान है

$$F = -\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}h} V(h) = -m g$$

यहाँ ऋणात्मक चिह्न प्रदर्शित करता है कि गुरुत्वाकर्षण बल नीचे की ओर है। जब गेंद को छोड़ा जाता है तो यह बढ़ती हुई चाल से नीचे आती है । पृथ्वी की सतह से संघट्ट से पूर्व इसकी चाल शुद्धगतिकी संबंध द्वारा निम्न प्रकार दी जाती है

$$v^2 = 2 g h$$

इसी समीकरण को निम्न प्रकार से भी लिखा जा सकता है :

$$\frac{1}{2} m v^2 = m g h$$

जो यह प्रदर्शित करता है कि जब पिण्ड को मुक्त रूप से छोड़ा जाता है तो पिंड की h ऊँचाई पर गुरुत्वीय स्थितिज ऊर्जा पृथ्वी पर पहुंचने तक स्वतः ही गतिज ऊर्जा में परिवर्तित हो जाती है ।

प्राकृतिक नियमानुसार, स्थितिज ऊर्जा की धारणा केवल उन्हीं बलों की श्रेणी में लागू होती है जहाँ बल के विरुद्ध किया गया कार्य, ऊर्जा के रूप में संचित हो जाता है और जो बाह्य कारक के हट जाने पर स्वतः गतिज ऊर्जा के रूप में दिखाई पड़ती है। गणितानुसार स्थितिज ऊर्जा $V(x)$ को (सरलता के लिए एक-विमा में)

* गुरुत्वीय त्वरण g के मान में ऊंचाई के साथ परिवर्तन पर विचार गुरुत्वाकर्षण (अध्याय 8) में करेंगे ।

परिभाषित किया जाता है यदि $F(x)$ बल को निम्न रूप में लिखा जाता है :

$$F(x) = -\frac{dV}{dx}$$

यह निरूपित करता है कि

$$\int_{x_i}^{x_f} F(x)dx = -\int_{V_i}^{V_f} dV = V_i - V_f$$

किसी संरक्षी बल जैसे गुरुत्वाकर्षण बल द्वारा किया गया कार्य पिण्ड की केवल आरंभिक तथा अंतिम स्थिति पर निर्भर करता है। पिछले अध्याय में हमने आनत समतल से संबंधित उदाहरणों का अध्ययन किया । यदि m द्रव्यमान का कोई पिण्ड h ऊंचाई के चिकने (घर्षणरहित) आनत तल के शीर्ष से विरामावस्था से छोड़ा जाता है तो आनत समतल के अधस्तल (तली) पर इसकी चाल, आनति (झुकाव) कोण का ध्यान रखे बिना $\sqrt{2gh}$ होती है। इस प्रकार यहां पर पिण्ड mgh गतिज ऊर्जा प्राप्त कर लेता है। यदि किया गया कार्य या गतिज ऊर्जा दूसरे कारकों, जैसे पिण्ड के वेग या उसके द्वारा चले गए विशेष पथ की लंबाई पर निर्भर करता है तब यह बल असंरक्षी होता है।

कार्य या गतिज ऊर्जा के सदृश स्थितिज ऊर्जा की विमा $[ML^2T^{-2}]$ और SI मात्रक जूल (J) है। याद रखिए कि संरक्षी बल के लिए, स्थितिज ऊर्जा में परिवर्तन ΔV बल द्वारा किए गए ऋणात्मक कार्य के बराबर होता है।

$$\Delta V = -F(x)\,\Delta x \qquad (6.9)$$

इस अनुभाग में गिरती हुई गेंद के उदाहरण में हमने देखा कि किस प्रकार गेंद की स्थितिज ऊर्जा उसकी गतिज ऊर्जा में परिवर्तित हो गई थी। यह यांत्रिकी में संरक्षण के महत्त्वपूर्ण सिद्धांत की ओर संकेत करता है जिसे हम अब परखेंगे।

6.8 यांत्रिक ऊर्जा का संरक्षण

सरलता के लिए, हम इस महत्त्वपूर्ण सिद्धांत का एकविमीय गति के लिए निदर्शन कर रहे हैं। मान लीजिए कि किसी पिण्ड का संरक्षी बल F के कारण विस्थापन Δx होता है। कार्य-ऊर्जा प्रमेय से, किसी बल F के लिए

$$\Delta K = F(x)\,\Delta x$$

संरक्षी बल के लिए स्थितिज ऊर्जा फलन $V(x)$ को निम्न रूप से परिभाषित किया जा सकता है :

$$-\Delta V = F(x)\Delta x$$

उपरोक्त समीकरण निरूपित करती है कि

$$\Delta K + \Delta V = 0$$

$$\Delta(K + V) = 0 \qquad (6.10)$$

इसका अर्थ है कि किसी पिण्ड की गतिज और स्थितिज ऊर्जाओं का योगफल, $K + V$ अचर होता है। इससे तात्पर्य है कि संपूर्ण पथ x_i से x_f के लिए

$$K_i + V(x_i) = K_f + V(x_f) \qquad (6.11)$$

यहाँ राशि $K + V(x)$, निकाय की कुल यांत्रिक ऊर्जा कहलाती है। पृथक रूप से, गतिज ऊर्जा K और स्थितिज ऊर्जा $V(x)$ एक स्थिति से दूसरी स्थिति तक परिवर्तित हो सकती है परंतु इनका योगफल अचर रहता है। उपरोक्त विवेचन से शब्द 'संरक्षी बल' की उपयुक्तता स्पष्ट होती है।

आइए, अब हम संक्षेप में संरक्षी बल की विभिन्न परिभाषाओं पर विचार करते हैं।

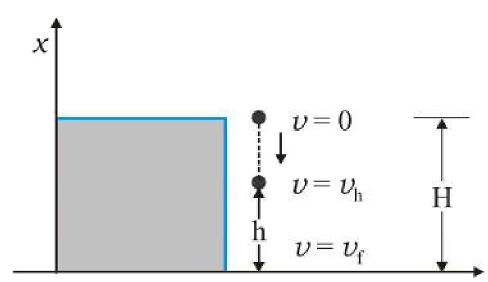
- कोई बल $F(x)$ संरक्षी है यदि इसे समीकरण (6.9) के प्रयोग द्वारा अदिश राशि $V(x)$ से प्राप्त कर सकते हैं। त्रिविमीय व्यापकीकरण के लिए सदिश अवकलज विधि का प्रयोग करना पड़ता है जो इस पुस्तक के विवेचना क्षेत्र से बाहर है।
- संरक्षी बल द्वारा किया गया कार्य केवल सिरे के बिंदुओं पर निर्भर करता है जो निम्न संबंध से स्पष्ट है :

  $W = K_f - K_i = V(x_i) - V(x_f)$
- तीसरी परिभाषा के अनुसार, इस बल द्वारा बंद पथ में किया गया कार्य शून्य होता है।

यह एक बार फिर समीकरण (6.11) से स्पष्ट है, क्योंकि $x_i = x_f$ है।

अत: यांत्रिक ऊर्जा-संरक्षण नियम के अनुसार ***किसी भी निकाय की कुल यान्त्रिक ऊर्जा अचर रहती है यदि उस पर कार्य करने वाले बल संरक्षी हैं।***

उपरोक्त विवेचना को अधिक मूर्त बनाने के लिए, एक बार फिर गुरुत्वाकर्षण बल के उदाहरण पर विचार करते हैं और स्प्रिंग बल के उदाहरण पर अगले अनुभाग में विचार करेंगे। चित्र 6.5 H ऊँचाई की किसी चट्टान से गिराई, m द्रव्यमान की गेंद का चित्रण करता है।



चित्र 6.5 H ऊँचाई की किसी चट्टान से गिराई गई, m द्रव्यमान की गेंद की स्थितिज ऊर्जा का गतिज ऊर्जा में रूपांतरण।

गेंद की निदर्शित ऊँचाई, शून्य (भूमितल), h और H के संगत कुल यांत्रिक ऊर्जाएँ क्रमशः E_o, E_h और E_H हैं

$$E_H = m\,g\,H \quad (6.11a)$$

$$E_h = mgh + \frac{1}{2}mv_h^2 \quad (6.11b)$$

$$E_0 = (1/2)\,mv_f^2 \quad (6.11c)$$

अचर बल, त्रिविम-निर्भर बल $F(x)$ का एक विशेष उदाहरण है। अतः यांत्रिक ऊर्जा संरक्षित है। इस प्रकार

$$E_H = E_0$$

अथवा, $mgH = \frac{1}{2}mv_f^2$

$$v_f = \sqrt{2gH}$$

उपरोक्त परिणाम अनुभाग 6.7 में मुक्त रूप से गिरते हुए पिण्ड के वेग के लिए प्राप्त किया गया था।

इसके अतिरिक्त

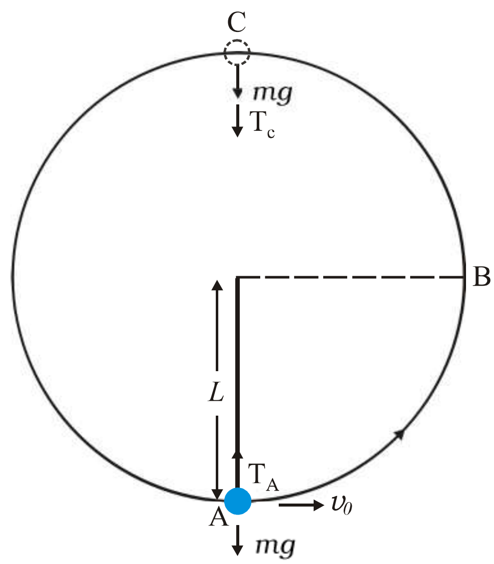
$$E_H = E_h$$

जो इंगित करता है कि

$$v_h^2 = 2g(H - h) \quad (6.11d)$$

उपरोक्त परिणाम, शुद्धगतिकी का एक सुविदित परिणाम है। H ऊँचाई पर, पिण्ड की ऊर्जा केवल स्थितिज ऊर्जा है। यह h ऊँचाई पर आंशिक रूप से गतिज ऊर्जा में रूपांतरित हो जाती है तथा भूमि तल पर पूर्णरूपेण गतिज ऊर्जा में रूपांतरित हो जाती है। इस प्रकार उपरोक्त उदाहरण, यांत्रिक ऊर्जा के संरक्षण के सिद्धांत को स्पष्ट करता है।

▶ **उदाहरण 6.7** m द्रव्यमान का एक गोलक L लंबाई की हलकी डोरी से लटका हुआ है। इसके निम्नतम बिंदु A पर क्षैतिज वेग v_o इस प्रकार लगाया जाता है कि यह ऊर्ध्वाधर तल में अर्धवृत्ताकार प्रक्षेप्य पथ को इस प्रकार तय करता है कि डोरी केवल उच्चतम बिंदु C पर ढीली होती है जैसा कि चित्र 6.6 में दिखाया गया है। निम्न राशियों के लिए व्यंजक प्राप्त कीजिए : (*a*) v_0, (*b*) बिंदुओं B तथा C पर गोलक की चाल, तथा (*c*) बिंदु B तथा C पर गतिज ऊर्जाओं का अनुपात (K_B/K_C)। गोलक के बिंदु C पर पहुंचने के बाद पथ की प्रकृति पर टिप्पणी कीजिए।



चित्र 6.6

हल (*a*) यहाँ गोलक पर लगने वाले दो बाह्य बल हैं-गुरुत्व बल और डोरी में तनाव (T)। बाद वाला बल (तनाव) कोई कार्य नहीं करता है क्योंकि गोलक का विस्थापन हमेशा डोरी के लंबवत् है। अतः गोलक की स्थितिज ऊर्जा केवल गुरुत्वाकर्षण बल से संबंधित है। निकाय की संपूर्ण यांत्रिक ऊर्जा E अचर है। हम निकाय की स्थितिज ऊर्जा निम्नतम बिंदु A पर शून्य ले लेते हैं। अतः बिंदु A पर

$$E = \frac{1}{2}mv_0^2 \quad (6.12)$$

$$T_A - mg = \frac{mv_0^2}{L}$$ [न्यूटन के गति के द्वितीय नियमानुसार]

यहाँ T_A, बिंदु A पर डोरी का तनाव है। उच्चतम बिंदु C पर डोरी ढीली हो जाती है; अतः यहाँ बिंदु C पर डोरी का तनाव $T_C = 0$। अतः बिंदु C पर हमें प्राप्त होता है

$$E = \frac{1}{2}mv_c^2 + 2mgL \quad (6.13)$$

$$mg = \frac{mv_c^2}{L}$$ [न्यूटन के द्वितीय नियमानुसार] (6.14)

जहाँ v_c बिंदु C पर गोलक की चाल है। समीकरण (6.13) व (6.14) से प्राप्त होता है

$$E = \frac{5}{2}mgL$$

इसे बिंदु A पर ऊर्जा से समीकृत करने पर

$$\frac{5}{2}mgL = \frac{m}{2}v_0^2$$

अथवा $v_0 = \sqrt{5gL}$

(b) समीकरण (6.14) से यह स्पष्ट है कि

$$v_C = \sqrt{gL}$$

अतः बिंदु B पर ऊर्जा है

$$E = \frac{1}{2}mv_B^2 + mgL$$

इसे बिंदु A पर ऊर्जा के व्यंजक के बराबर रखने पर और (a) के परिणाम $v^2_0 = 5gL$ प्रयोग में लाने पर हमें प्राप्त होता है।

$$\frac{1}{2}mv_B^2 + mgL = \frac{1}{2}mv_0^2$$

$$= \frac{5}{2}m\,g\,L$$

$$\therefore v_B = \sqrt{3gL}$$

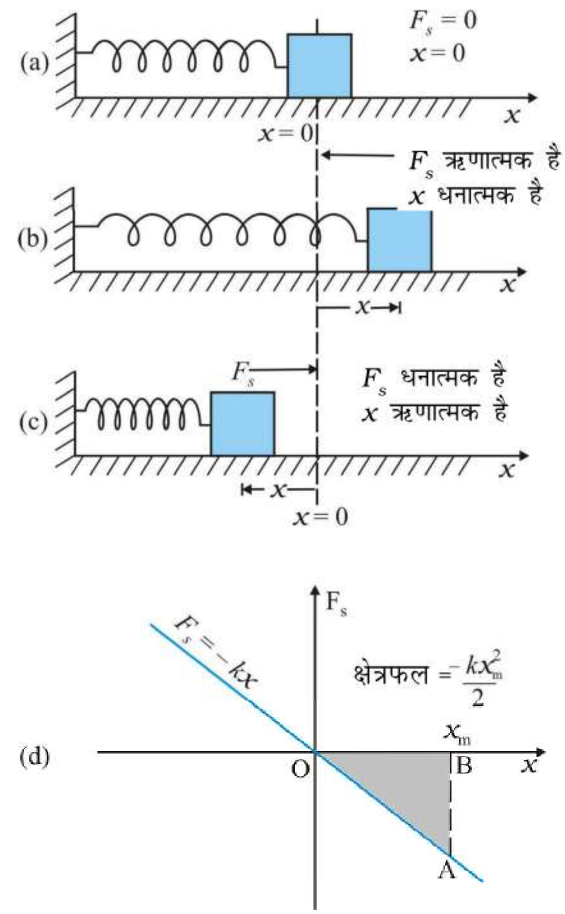
(c) बिंदु B व C पर गतिज ऊर्जाओं का अनुपात

$$\frac{K_B}{K_C} = \frac{\frac{1}{2}mv_B^2}{\frac{1}{2}mv_C^2} = \frac{3}{1}$$

बिंदु C पर डोरी ढीली हो जाती है और गोलक का वेग बाईं ओर को एवं क्षैतिज हो जाता है। यदि इस क्षण पर डोरी को काट दिया जाए तो गोलक एक क्षैतिज प्रक्षेप की भांति प्रक्षेप्य गति ठीक उसी प्रकार दर्शाएगा जैसा कि खड़ी चट्टान से क्षैतिज दिशा में किसी पत्थर को फेंकने पर होता है। अन्यथा गोलक लगातार अपने वृत्ताकार पथ पर गति करता रहेगा और परिक्रमण को पूर्ण करेगा। ◂

6.9 किसी स्प्रिंग की स्थितिज ऊर्जा

कोई स्प्रिंग-बल एक परिवर्ती-बल का उदाहरण है जो संरक्षी होता है। चित्र 6.7 स्प्रिंग से संलग्न किसी गुटके को दर्शाता है जो किसी चिकने क्षैतिज पृष्ठ पर विरामावस्था में है। स्प्रिंग का दूसरा सिरा किसी दृढ़ दीवार से जुड़ा है। स्प्रिंग हलका है और द्रव्यमान-रहित माना जा सकता है। किसी आदर्श स्प्रिंग में, स्प्रिंग-बल F_s, गुटके का अपनी साम्यावस्था स्थिति से विस्थापन x के समानुपाती होता है। गुटके का साम्यावस्था से विस्थापन धनात्मक (चित्र 6.7b) या ऋणात्मक (चित्र 6.7c) हो सकता है। स्प्रिंग के लिए बल का नियम, हुक का नियम कहलाता है और गणितीय रूप में इस प्रकार व्यक्त किया जा सकता है :



चित्र 6.7 *किसी स्प्रिंग के मुक्त सिरे से जुड़े हुए गुटके पर स्प्रिंग-बल का निदर्शन*

(a) *जब माध्य स्थिति से विस्थापन x शून्य है तो स्प्रिंग बल F_s भी शून्य है।*

(b) *खिंचे हुए स्प्रिंग के लिए $x > 0$ और $F_s < 0$*

(c) *संपीडित स्प्रिंग के लिए $x < 0$ और $F_s > 0$*

(d) *F_s तथा x के बीच खींचा गया आलेख। छायांकित त्रिभुज का क्षेत्रफल स्प्रिंग-बल द्वारा किए गए कार्य को निरूपित करता है। F_s और x के विपरीत चिह्नों के कारण, किया गया कार्य ऋणात्मक है,*

$$W_s = -kx_m^2 / 2$$

$$F_s = -kx$$

जहाँ नियतांक k एक स्प्रिंग नियतांक है जिसका मात्रक N m^{-1} है। यदि k का मान बहुत अधिक है, तब स्प्रिंग को दृढ़ कहा जाता है। यदि k का मान कम है, तब इसे नर्म (मृदु) कहा जाता है।

मान लीजिए कि हम गुटके को बाहर की तरफ, जैसा कि चित्र 6.7(b) में दिखाया गया है, धीमी अचर चाल से खींचते हैं। यदि स्प्रिंग का खिंचाव x_m है तो स्प्रिंग-बल द्वारा किया कार्य

$$W_s = \int_0^{x_m} F_s \, dx = -\int_0^{x_m} kx \, dx$$

$$= -\frac{k\,x_m^2}{2} \qquad (6.15)$$

इस व्यंजक को हम चित्र 6.7(d) में दिखाए गए त्रिभुज के क्षेत्रफल से भी प्राप्त कर सकते हैं। ध्यान दीजिए कि बाह्य खिंचाव बल द्वारा किया गया कार्य धनात्मक है।

$$W = +\frac{k\,x_m^2}{2} \qquad (6.16)$$

यदि स्प्रिंग का विस्थापन x_c (<0) से संपीडित किया जाता है तब भी उपरोक्त व्यंजक सत्य है। स्प्रिंग-बल $W_s = -kx_c^2/2$ कार्य करता है जबकि बाह्य बल $W = -kx_c^2/2$ कार्य करता है।

यदि गुटके को इसके आरंभिक विस्थापन x_i से अंतिम विस्थापन x_f तक विस्थापित किया जाता है तो स्प्रिंग-बल द्वारा किया गया कार्य

$$W_s = -\int_{x_i}^{x_f} k\,x \, dx = \frac{k\,x_i^2}{2} - \frac{k\,x_f^2}{2} \qquad (6.17)$$

अत: स्प्रिंग-बल द्वारा किया गया कार्य केवल सिरे के बिंदुओं पर निर्भर करता है। विशेष रूप से जब गुटके को स्थिति x_i से खीचा गया हो और वापस x_i स्थिति तक आने दिया गया हो तो

$$W_s = -\int_{x_i}^{x_i} k\,x \, dx = \frac{k\,x_i^2}{2} - \frac{k\,x_i^2}{2} = 0 \qquad (6.18)$$

अत: स्प्रिंग बल द्वारा किसी चक्रीय प्रक्रम में किया गया कार्य शून्य होता है। हमने यहां स्पष्ट कर दिया है कि (i) स्प्रिंग बल केवल स्थिति पर निर्भर करता है जैसा कि हुक द्वारा पहले कहा गया है ($F_s = -k\,x$); (ii) यह बल कार्य करता है जो किसी पिण्ड की आरंभिक एवं अंतिम स्थितियों पर निर्भर करता है; उदाहरणार्थ, समीकरण (6.17)। अत: स्प्रिंग बल एक **संरक्षी बल** है।

जब गुटका साम्यावस्था में है अर्थात् माध्य स्थिति से उसका विस्थापन शून्य है तब स्प्रिंग की स्थितिज ऊर्जा $V(x)$ को हम शून्य मानते हैं। किसी खिंचाव (या संपीडन) x के लिए उपरोक्त विश्लेषण सुझाता है कि

$$V(x) = \frac{1}{2}kx^2 \qquad (6.19)$$

इसे सुविधापूर्वक सत्यापित किया जा सकता है कि $-dV/dx = -k\,x$ जो कि स्प्रिंग बल है। जब m द्रव्यमान के गुटके को चित्र 6.7 के अनुसार x_m तक खींचा जाता है और फिर विरामावस्था से छोड़ा जाता है, तब इसकी समूची यांत्रिक ऊर्जा स्वेच्छा से चुनी गई किसी भी स्थिति x पर निम्नलिखित रूप में दी जाएगी, जहाँ x का मान $-x_m$ से $+x_m$ के बीच है:

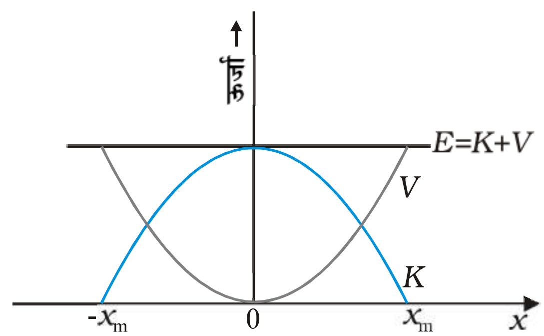
$$\frac{1}{2}k\,x_m^2 = \frac{1}{2}k\,x^2 + \frac{1}{2}m\,v^2$$

जहाँ हमने यांत्रिक ऊर्जा के संरक्षण नियम का उपयोग किया है। इसके अनुसार गुटके की चाल v_m और गतिज ऊर्जा साम्यावस्था $x = 0$ पर अधिकतम होगी, अर्थात्

$$\frac{1}{2}m\,v_m^2 = \frac{1}{2}k\,x_m^2$$

या, $$v_m = \sqrt{\frac{k}{m}}\,x_m$$

ध्यान दीजिए कि k/m की विमा $[T^{-2}]$ है और यह समीकरण विमीय रूप से सही है। यहाँ निकाय की गतिज ऊर्जा, स्थितिज ऊर्जा में, और स्थितिज ऊर्जा, गतिज ऊर्जा में परिवर्तित हो जाती है, तथापि कुल यांत्रिक ऊर्जा नियत रहती है। चित्र 6.8 में इसका ग्राफीय निरूपण किया गया है।



चित्र 6.8 किसी स्प्रिंग से जुड़े हुए गुटके की स्थितिज ऊर्जा V और गतिज ऊर्जा K के परवलयिक आलेख जो हुक के नियम का पालन करते हैं। ये एक-दूसरे के पूरक हैं अर्थात् इनमें जब एक घटता है तो दूसरा बढ़ता है, परंतु कुल यांत्रिक ऊर्जा E = K + V हमेशा अचर रहती है।

▶ **उदाहरण 6.8** कार दुर्घटना को दिखाने के लिए (अनुकार) मोटरकार निर्माता विभिन्न स्प्रिंग नियतांकों के स्प्रिंगों का फ्रेम चढ़ाकर चलती हुई कारों के संघट्ट का अध्ययन करते हैं। मान लीजिए किसी प्रतीकात्मक अनुरूपण में कोई 1000kg द्रव्यमान की कार एक चिकनी सड़क पर 18 km/h की चाल से चलते हुए, क्षैतिज फ्रेम पर चढ़ाए गए स्प्रिंग से संघट्ट करती है जिसका स्प्रिंग नियतांक 6.25×10^3 N m^{-1} है। स्प्रिंग का अधिकतम संपीडन क्या होगा?