अध्याय 9

ठोसों के यांत्रिक गुण

9.1 भूमिका
9.2 ठोसों का प्रत्यास्थ व्यवहार
9.3 प्रतिबल तथा विकृति
9.4 हुक का नियम
9.5 प्रतिबल-विकृति वक्र
9.6 प्रत्यास्थता गुणांक
9.7 द्रव्यों के प्रत्यास्थ व्यवहार के अनुप्रयोग

सारांश
विचारणीय बिंदु
अभ्यास
अतिरिक्त अभ्यास

9.1 भूमिका

अध्याय 7 में हमने पिण्डों के घूर्णन के बारे में पढ़ा और यह समझा कि किसी पिण्ड की गति इस बात पर कैसे निर्भर करती है कि पिण्ड के अंदर द्रव्यमान किस प्रकार वितरित है। हमने अपने अध्ययन को केवल दृढ़ पिण्डों की सरल स्थितियों तक ही सीमित रखा था। साधारणतया दृढ़ पिण्ड का अर्थ होता है एक ऐसा कठोर ठोस पदार्थ जिसकी कोई निश्चित आकृति तथा आकार हो। परन्तु वास्तव में पिण्डों को तनित, संपीडित अथवा बंकित किया जा सकता है। यहाँ तक कि किसी काफी दृढ़ इस्पात की छड़ को भी एक पर्याप्त बाह्य बल लगाकर विरूपित किया जा सकता है। इससे यह अर्थ निकलता है कि ठोस पिण्ड पूर्ण रूप से दृढ़ नहीं होते हैं।

किसी ठोस की एक निश्चित आकृति तथा आकार होता है। किसी पिण्ड की आकृति अथवा आकार को बदलने (या विरूपित करने) के लिए एक बल की आवश्यकता होती है। यदि किसी कुण्डलित स्प्रिंग के सिरों को धीरे से खींचकर विस्तारित किया जाए तो स्प्रिंग की लंबाई थोड़ी बढ़ जाती है। अब यदि स्प्रिंग के सिरों को छोड़ दें तो वह अपनी प्रारंभिक आकृति एवं आकार को पुनः प्राप्त कर लेगी। किसी पिण्ड का वह गुण, जिससे वह प्रत्यारोपित बल को हटाने पर अपनी प्रारंभिक आकृति एवं आकार को पुनः प्राप्त कर लेता है, **प्रत्यास्थता** कहलाता है तथा उत्पन्न विरूपण **प्रत्यास्थ विरूपण** कहलाता है। जब एक पंक पिण्ड पर बल लगाते हैं तो पिण्डक में अपना प्रारंभिक आकार प्राप्त करने की प्रवृत्ति नहीं होती है और यह स्थायी रूप से विरूपित हो जाता है। इस प्रकार के पदार्थ को **प्लास्टिक** तथा पदार्थ के इस गुण को **प्लास्टिकता** कहते हैं। पंक और पुटी लगभग आदर्श प्लैस्टिक हैं।

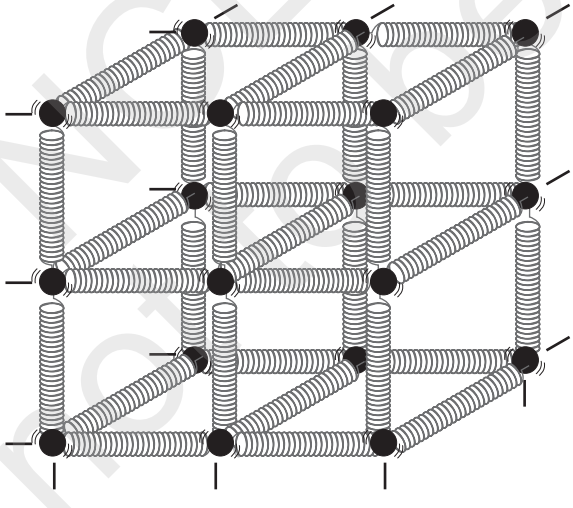
अभियांत्रिकी डिज़ाइन में द्रव्यों के प्रत्यास्थ व्यवहार की अहम भूमिका होती है। उदाहरण के लिए, किसी भवन को डिज़ाइन करते समय इस्पात, कांक्रीट आदि द्रव्यों की प्रत्यास्थ प्रकृति का ज्ञान आवश्यक है। पुल, स्वचालित वाहन, रज्जुमार्ग आदि की डिज़ाइन के लिए भी यही बात सत्य है। यह प्रश्न भी पूछा जा सकता है कि क्या हम ऐसा वायुयान डिज़ाइन कर सकते हैं जो बहुत हलका

© NCERT not to be republished

फिर भी बहुत मजबूत हो? क्या हम एक ऐसा कृत्रिम अंग डिज़ाइन कर सकते हैं जो अपेक्षाकृत हलका किन्तु अधिक मजबूत हो? रेल पटरी की आकृति **I** के समान क्यों होती है? काँच क्यों भंगुर होता है जबकि पीतल ऐसा नहीं होता? इस प्रकार के प्रश्नों का उत्तर इस अध्ययन से प्रारंभ होगा कि अपेक्षाकृत साधारण प्रकार के लोड या बल भिन्न-भिन्न ठोस पिण्डों को किस प्रकार विरूपित करने का कार्य करते हैं। इस अध्याय में हम ठोसों के प्रत्यास्थ व्यवहार और यांत्रिक गुणों का अध्ययन करेंगे जो ऐसे बहुत से प्रश्नों का उत्तर देगा।

9.2 ठोसों का प्रत्यास्थ व्यवहार

हम जानते हैं कि किसी ठोस में प्रत्येक परमाणु या अणु पास वाले परमाणुओं या अणुओं से घिरा होता है। यह अंतरा-परमाणविक या अंतरा-आणविक बलों द्वारा आपस में बँधे होते हैं और एक स्थिर साम्य अवस्था में रहते हैं। जब कोई ठोस विरूपित किया जाता है तो परमाणु/अणु अपनी साम्य स्थिति से विस्थापित हो जाते हैं जिससे उनकी अंतरा-परमाणविक (अंतरा-आणविक) दूरी में अंतर आ जाता है। जब विरूपक बल को हटा लिया जाता है तो अंतरा-परमाणविक बल उन्हें वापस अपनी प्रारंभिक स्थितियों में ले जाते हैं। इस प्रकार पिण्ड अपनी प्रारंभिक आकृति तथा आकार को पुनः प्राप्त कर लेता है। प्रत्यानयन क्रियाविधि को समझने के लिए चित्र 9.1 में दिखाए गए स्प्रिंग गेंद निकाय के मॉडल पर विचार करें। इसमें गेंदें परमाणुओं को तथा स्प्रिंग अंतरा-परमाणविक बलों को निरूपित करती हैं।



चित्र 9.1 ठोसों के प्रत्यास्थ व्यवहार के दृष्टांत के लिए स्प्रिंग-गेंद मॉडल।

यदि आप किसी गेंद को अपनी साम्य स्थिति से विस्थापित करने का प्रयास करेंगे तो स्प्रिंग तंत्र उस गेंद को वापस अपनी प्रारंभिक स्थिति में लाने का प्रयास करेगा। इस प्रकार ठोसों का प्रत्यास्थ व्यवहार ठोस की सूक्ष्मीय प्रकृति के आधार पर समझाया जा सकता है। एक अंग्रेज़ भौतिक शास्त्री राबर्ट हुक (सन् 1635 - 1703) ने स्प्रिंगों पर प्रयोग किए और यह पाया कि किसी पिण्ड में उत्पन्न विस्तार (लंबाई में वृद्धि) प्रत्यारोपित बल या लोड के अनुक्रमानुपाती होता है। उन्होंने सन् 1676 में प्रत्यास्थता का नियम प्रस्तुत किया जो अब हुक का नियम कहलाता है। हम इसके बारे में खण्ड 9.4 में अध्ययन करेंगे। बॉयल के नियम की ही तरह यह नियम भी विज्ञान के आरंभिक परिमाणात्मक संबंधों में से एक है। अभियांत्रिकी डिज़ाइन के संदर्भ में विभिन्न प्रकार के लोडों के लिए द्रव्यों के व्यवहार को जानना बहुत महत्त्वपूर्ण होता है।

9.3 प्रतिबल तथा विकृति

जब किसी पिण्ड पर एक बल लगाया जाता है तो उसमें थोड़ा या अधिक विरूपण हो जाता है जो पिण्ड के द्रव्य की प्रकृति तथा विरूपक बल के मान पर निर्भर करता है। हो सकता है कि बहुत से द्रव्यों में यह विरूपण बेशक दिखाई नहीं पड़ता, फिर भी यह होता है। जब किसी पिण्ड पर एक विरूपक बल लगाया जाता है तो उसमें एक प्रत्यानयन बल विकसित हो जाता है, जैसा कि पहले कहा जा चुका है। यह प्रत्यानयन बल मान में प्रत्यारोपित बल के बराबर तथा दिशा में उसके विपरीत होता है। एकांक क्षेत्रफल पर लगने वाले प्रत्यानयन बल को **प्रतिबल** कहते हैं। यदि पिण्ड के क्षेत्रफल A वाले किसी अनुप्रस्थ काट की लंबवत् दिशा में लगाए गए बल का मान F हो तो

$$\text{प्रतिबल} = F/A \qquad (9.1)$$

प्रतिबल की SI इकाई $\mathrm{N\ m^{-2}}$ तथा इसका विमीय सूत्र $[\mathrm{ML^{-1}T^{-2}}]$ होता है।

जब किसी ठोस पर कोई बाह्य बल कार्य करता है तो इसकी विमाएँ तीन प्रकार से बदल सकती हैं। ये चित्र 9.2 में दिखाए गए हैं। चित्र 9.2 (a) में, एक बेलन को उसके अनुप्रस्थ परिच्छेद की लंबवत् दिशा में दो समान बल लगाकर तानित किया गया है। इस स्थिति में, एकांक क्षेत्रफल पर प्रत्यानयन बल को **तनन प्रतिबल** कहते हैं। यदि प्रत्यारोपित बलों के कार्य से बेलन संपीडित हो जाए तो एकांक क्षेत्रफल पर प्रत्यानयन बल को **संपीडन प्रतिबल** कहते हैं। तनन या संपीडन प्रतिबल को अनुदैर्घ्य प्रतिबल भी कहा जा सकता है।

दोनों ही स्थितियों में बेलन की लंबाई में अंतर हो जाता है।

© NCERT not to be republished

राबर्ट हुक
(1635 – 1703)

राबर्ट हुक का जन्म फ्रेशवाटर, आइल ऑफ वाइट में 18 जुलाई, सन् 1635 को हुआ था। वे सत्रहवीं शताब्दी के सबसे मेधावी और बहुमुखी प्रतिभा वाले अंग्रेज़ वैज्ञानिकों में से एक थे। उन्होंने ऑक्सफोर्ड विश्वविद्यालय में पढ़ाई की परन्तु ग्रेजुएशन (स्नातक) नहीं कर पाए। फिर भी वह एक अत्यधिक प्रतिभाशाली आविष्कारक, यंत्र बनाने वाले तथा भवन डिज़ाइन करने वाले थे। उन्होंने राबर्ट बॉयल की बॉयल वायु पम्प की संरचना करने में सहायता की। सन् 1662 में वे नयी संस्थापित 'रॉयल सोसाइटी' के 'प्रयोगों के क्यूरेटर' नियुक्त किए गए। सन् 1665 में वे ग्रेशम कॉलेज में ज्यामिति के प्रोफेसर बने, जहाँ उन्होंने अपने खगोलीय प्रेक्षण पूरे किए। उन्होंने एक ग्रेगोरियन परावर्ती दूरदर्शी की रचना की; ट्रैपीज़ियम में पाँचवें सितारे तथा ओरॉयन तारामण्डल में एक तारापुन्ज की खोज की; जुपिटर के अपने अक्ष पर घूर्णन का सुझाव रखा; मंगल ग्रह के विस्तृत रेखाचित्र तैयार किए जो बाद में उन्नीसवीं शताब्दी में इस ग्रह की घूर्णन दर निकालने के लिए इस्तेमाल किए गए; ग्रहों की गति का वर्णन करने के लिए व्युत्क्रम वर्ग नियम का वक्तव्य दिया जिसे बाद में न्यूटन ने संशोधित किया, आदि। वे रॉयल सोसाइटी के फैलो चुने गए और सन् 1667 से 1682 तक इस सोसाइटी के सचिव के रूप में भी कार्य किया। "माइक्रोग्रैफिया" में प्रस्तुत प्रेक्षणमाला में उन्होंने प्रकाश के तरंग सिद्धांत का सुझाव रखा तथा कार्क के अध्ययन के परिणामस्वरूप जीव विज्ञान के संदर्भ में पहली बार 'सेल (कोशिका)' शब्द का इस्तेमाल किया।

*भौतिक शास्त्रियों द्वारा राबर्ट हुक प्रत्यास्थता के नियम की खोज के लिए सबसे अधिक जाने जाते हैं : **'उट टेन्सियो सिक विस'** (यह एक लैटिन वाक्यांश है और इसका अर्थ है : 'जैसा बल, वैसा विरूपण')। इस नियम ने प्रतिबल तथा विकृति के अध्ययन और प्रत्यास्थ द्रव्यों की समझ के लिए आधार रखा।*

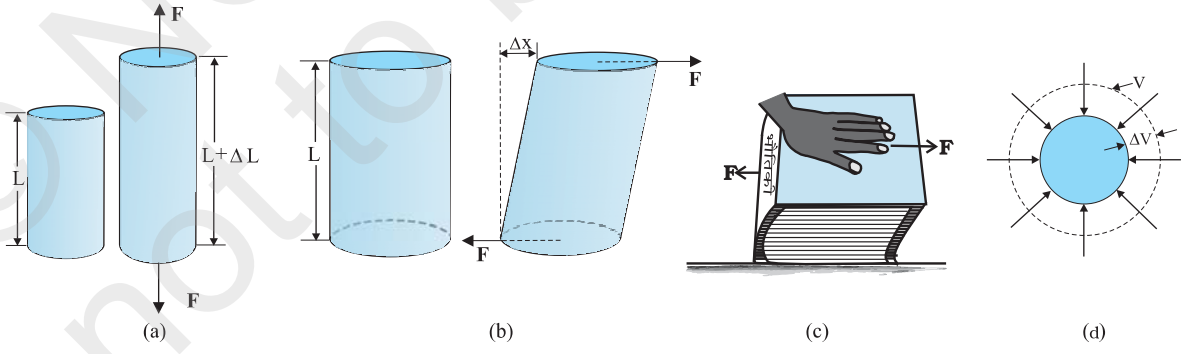
पिण्ड (यहाँ बेलन) की लंबाई में परिवर्तन ΔL तथा उसकी प्रारंभिक लंबाई L के अनुपात को **अनुदैर्घ्य विकृति** कहते हैं।

$$\text{अनुदैर्घ्य विकृति} \quad \frac{L}{L} \qquad (9.2)$$

यदि दो बराबर और विरोधी विरूपक बल बेलन के अनुप्रस्थ परिच्छेद के समांतर लगाए जाएँ, जैसा चित्र 9.2(b) में दिखाया गया है, तो बेलन के सम्मुख फलकों के बीच सापेक्ष विस्थापन हो जाता है। लगाए गए स्पर्शी बलों के कारण एकांक क्षेत्रफल पर उत्पन्न प्रत्यानयन बल को **स्पर्शी** या **अपरूपण प्रतिबल** कहते हैं। लगाए गए स्पर्शी बल के परिणामस्वरूप बेलन के सम्मुख फलकों के बीच एक सापेक्ष विस्थापन Δx होता है, जैसा चित्र 9.2(b) में दिखाया गया है। इस प्रकार उत्पन्न विकृति को **अपरूपण विकृति** कहते हैं और इसे फलकों के सापेक्ष विस्थापन Δx तथा बेलन की लंबाई L के अनुपात से परिभाषित करते हैं :

$$\text{अपरूपण विकृति} \quad \frac{x}{L} = \tan\theta \qquad (9.3)$$

जहाँ θ ऊर्ध्वाधर (बेलन की प्रारंभिक स्थिति) से बेलन का



चित्र 9.2 *(a) तनन प्रतिबल के प्रभाव में एक बेलन ΔL मान से विस्तरित हो जाता है, (b) अपरूपण (स्पर्शी) प्रतिबल के प्रभाव में एक बेलन कोण θ से विरूपित हो जाता है, (c) अपरूपण प्रतिबल के प्रभाव में एक पुस्तक, (d) समान जलीय प्रतिबल के प्रभाव में एक ठोस गोला ΔV मान से आयतन में संकुचित हो जाता है।*

© NCERT not to be republished