CHAPTER - 8 MECHANICAL PROPERTIES OF SOLIDS ठोसों के यांत्रिक गुण

Deforming Force

A force which produces a change in configuration of the object on applying it, is called a deforming force.

विरूपक बल

वह बल जो वस्तु पर लगाने पर उसके विन्यास में परिवर्तन उत्पन्न करता है, विरूपक बल कहलाता है।

Elasticity

Elasticity is that property of the object by virtue of which it regain its original configuration after the removal of the deforming force.

प्रत्यास्थता

प्रत्यास्थता वस्तु का वह गुण है जिसके आधार पर विकृत बल को हटाने के बाद वह अपने मूल विन्यास को पुनः प्राप्त कर लेता है।

Elastic Limit

Elastic limit is the upper limit of deforming force upto which, if deforming force is removed, the body regains its original form completely and beyond which if deforming force is increased the body loses its property of elasticity and get permanently deformed.

प्रत्यास्थता सीमा

प्रत्यास्थ सीमा विकृत बल की ऊपरी सीमा है जहा तक यदि विकृत बल को हटा दिया जाए तो पदार्थ पूरी तरह से अपने मूल स्वरूप में आ जाता है और इससे आगे यदि विकृत बल बढ़ाया जाता है तो पदार्थ अपनी प्रत्यास्थता का गुण खो देता है और स्थायी रूप से विकृत हो जाता है।

Perfectly Elastic Bodies

Those bodies which regain its original configuration immediately and completely after the removal of deforming force are called perfectly elastic bodies. e.g., quartz and phosphor bronze etc.

पूर्णतः प्रत्यास्थ वस्तु

वे वस्तु जो विकृत बल हटाने के तुरंत बाद और पूरी तरह से अपने मूल विन्यास को पुनः प्राप्त कर लेते हैं, पूर्ण प्रत्यास्थ वस्तु कहलाते हैं। जैसे, क्वार्ट्ज और फॉस्फोर कांस्य आदि।

Perfectly Plastic Bodies

Those bodies which does not regain its original configuration at all on the removal of deforming force are called perfectly plastic bodies, e.g., putty, paraffin, wax etc.

पूर्ण सुघट्य वस्तु

वे वस्तु जो विकृत बल हटाने पर अपने मूल विन्यास को बिल्कुल भी पुनः प्राप्त नहीं कर पाते हैं, पूर्णतः सुघट्य वस्तु कहलाते हैं, जैसे, पुट्टी, पैराफिन, मोम आदि।

Stress

The internal restoring force acting per unit area of a deformed body is called stress.

Stress = Restoring force / Area

Its unit is N/m^2 or Pascal and the dimensional formula is $[ML^{-1}T^{-2}]$.

Stress is a tensor quantity.

There are two types of stresses: Normal and Shear or tangential stress

प्रतिबल

किसी विकृत वस्तु के प्रति इकाई क्षेत्र पर कार्य करने वाले आंतरिक प्रत्यानयन बल को प्रतिबल कहा जाता है।

प्रतिबल = प्रत्यानयन बल/क्षेत्र

इसका मात्रक N/m^2 या पास्कल और विमीय सूत्र $[ML^{-1}T^{-2}]$.

प्रतिबल एक प्रदिश राशि है.

प्रतिबल दो प्रकार के होते हैं: सामान्य और अपरूपणया स्पर्शरेखा तनाव

(1) Normal stress:

Here the force is applied normal to the surface. It is again of two types:

(i) Longitudinal stress - It occurs only in solids and comes in to picture when one of the three dimensions viz. length, breadth, height is much greater than other two.

Deforming force is applied parallel to the length and causes increase in length. Longitudinal stress produced due to increase in length of a body under a deforming force is called tensile stress. Longitudinal stress produced due to decrease in length of a body under a deforming force is called compressive stress.

(ii) Bulk or Volume stress - It occurs in solids, liquids or gasses. In case of fluids only bulk stress can be found. It produces change in volume and density, shape remaining same. Deforming force is applied normal to surface

at all points. It is equal to change in pressure because change in pressure is responsible for change in volume.

(1) अभिलम्ब प्रतिबल :

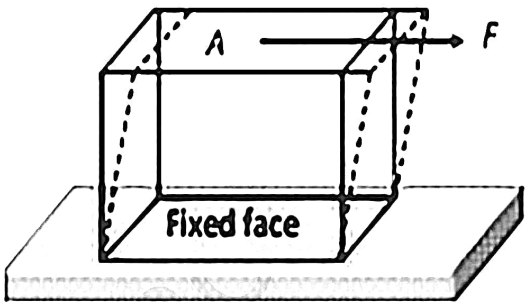
यहां बल सतह के लम्बवत दिशा मे लगता है । यह पुनः दो प्रकार का होता है:

(i) अनुदैर्ध्य प्रतिबल - यह केवल ठोस पदार्थों में होता है और यह तब आता है जब तीन आयामों अर्थात् लंबाई, चौड़ाई, ऊंचाई में से एक अन्य दो की तुलना में बहुत अधिक होता है

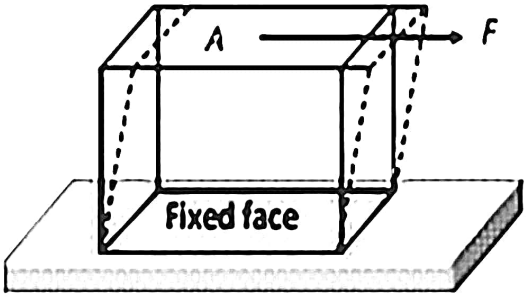
विरूपण बल लंबाई के समानांतर लगाया जाता है और लंबाई में वृद्धि का कारण बनता है। किसी विकृत बल के अधीन किसी वस्तु की लंबाई में वृद्धि के कारण उत्पन्न अनुदैर्ध्य प्रतिबल को कहा जाता है तनन प्रतिबल . किसी विकृत बल के अधीन किसी वस्तु की लंबाई में कमी के कारण उत्पन्न अनुदैर्ध्य प्रतिबल को संपीडन प्रतिबल कहा जाता है .

(ii) आयतन प्रतिबल - यह ठोस, तरल या गैसों में होता है। तरल पदार्थ के मामले में केवल आयतन प्रतिबल पाया जा सकता है। यह आयतन और घनत्व, आकार में परिवर्तन उत्पन्न करता है वही शेष है. विरूपक बल लगाया जाता है सामान्य सतह के लिए सभी बिंदुओं पर. यह दबाव में परिवर्तन के बराबर है क्योंकि दबाव में परिवर्तन आयतन में परिवर्तन के लिए जिम्मेदार है।

(2) Shear or tangential stress: When the surfaces of two equal and opposite faces act tangentially, one face of the object is displaced relative to the other face. In this case, the object is said to be subject to the force in the form of tangential force or shear force. The ratio of the tangent force of a surface to the area of the surface is called tangential force or shear force.



(2) अपरूपण या स्पर्शरेखीय बल : जब दो बराबर और विपरीत फालकों के सतहों के स्पर्श रेखीय कार्य करते हैं तो वस्तु का एक फलक दूसरे फलक के सापेक्ष विस्थापित हो जाता है | इस स्थिति मे वस्तु को स्पर्श रेखीय प्रतिबल या अपरूपण प्रतिबल के रूप में प्रतिबल के अधीन कहा जाता है | किसी पृष्ठ के स्पर्श रेखिए कार्यरत बल और पृष्ठ के क्षेत्रफल के अनुपात को स्पर्श रेखिए प्रतिबल अथवा अपरूपण बल कहा जाता है|



Strain: The fractional change in configuration is called strain.

Strain = Change in the configuration / Original configuration It has no unit and it is a dimensionless quantity.

According to the change in configuration, the strain is of three types

(1) Longitudinal strain= Change in length / Original length

(2) Volumetric strain = Change in volume / Original volume

(3) Shearing strain = Angular displacement of the plane perpendicular to the fixed surface.

विकृति: विन्यास में आंशिक परिवर्तन को विकृति कहा जाता है।

विकृति = विन्यास में परिवर्तन / मूल विन्यास इसकी कोई इकाई नहीं है और यह एक आयामहीन मात्रा है।

विन्यास परिवर्तन के अनुसार विकृति तीन प्रकार का होता है

(1) अनुदैर्ध्य विकृति = लंबाई में परिवर्तन/मूल लंबाई

(2) आयतन विकृति = आयतन में परिवर्तन/मूल आयतन

(3) अपरूपण विकृति = स्थिर सतह के लंबवत तल का कोणीय विस्थापन।

Stress - strain Curve - The different regions in the stress - strain diagram are:

(i) Proportional Limit - It is the region in the stress-strain curve that obeys Hooke's Law. In this limit, the stress-strain ratio gives us a proportionality constant known as Young's modulus. The point OA in the graph represents the proportional limit.

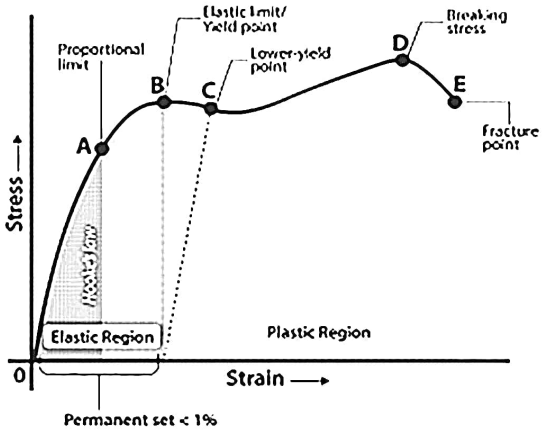
(ii) Elastic Limit - It is the point in the graph up to which the material returns to its original position when the load acting on it is completely removed. Beyond this limit, the material doesn't return to its original position, and a plastic deformation starts to appear in it.

(iii) Yield Point - The yield point is defined as the point at which the material starts to deform

plastically. After the yield point is passed, permanent plastic deformation occurs. There are two yield points (i) upper yield point (ii) lower yield point.

(iv) Ultimate Stress Point - It is a point that represents the maximum stress that a material can endure before failure. Beyond this point, failure occurs.

(v) Fracture or Breaking Point - It is the point in the stress-strain curve at which the fracture of the material takes place



प्रतिबल विकृति वक्र - प्रतिबल विकृति आरेख में विभिन्न क्षेत्र हैं:

(i) समानुपाती सीमा - यह प्रतिबल विकृति वक्र का वह क्षेत्र है जो हुक के नियम का पालन करता है। इस सीमा में, प्रतिबल - विकृति अनुपात हमें एक आनुपातिकता स्थिरांक देता है जिसे यंग गुणांक के रूप में जाना जाता है। ग्राफ़ में बिंदु OA समानुपाती सीमा का प्रतिनिधित्व करता है।

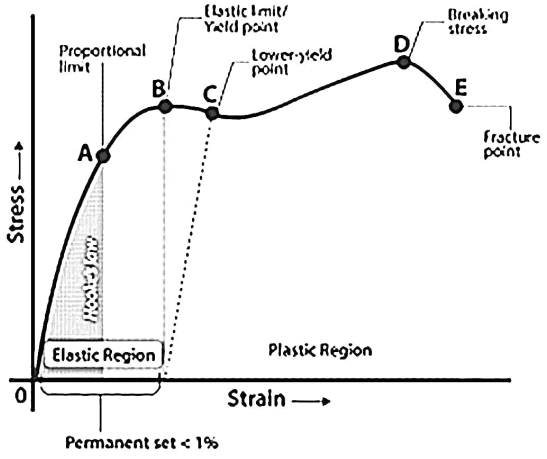
(ii) प्रत्यास्थ सीमा - यह ग्राफ़ में वह बिंदु है जहां तक तार अपनी मूल स्थिति में वापस आ जाती है जब उस पर लगने वाला भार पूरी तरह से हटा दिया जाता है। इस सीमा से परे, तार अपनी मूल स्थिति में वापस नहीं आती है, और इसमें प्लास्टिक विरूपण दिखाई देने लगता है।

(iii) पराभव बिंदु - पराभव बिंदु को उस बिंदु के रूप में परिभाषित किया जाता है जिस पर तार प्लास्टिक रूप से विकृत होने लगती है। पराभव बिंदु पार होने के बाद, स्थायी प्लास्टिक विरूपण होता है।

दो पराभव बिंदु हैं (i) ऊपरी पराभव बिंदु (ii) निचला पराभव बिंदु।

(iv) अंतिम प्रतिबल बिंदु - यह एक ऐसा बिंदु है जो उस अधिकतम तनाव को दर्शाता है जिसे कोई तार टूटने से पहले सहन कर सकती है। इस बिंदु से परे, तार टूट जाती है.

(v) विभंजन या ब्रेकिंग बिंदु - यह तनाव-विकृति वक्र का वह बिंदु है जिस पर तार टूट जाता है

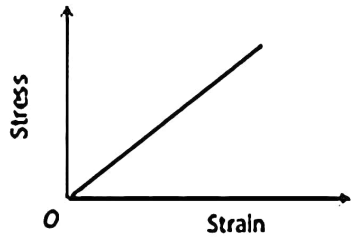


Hooke's law and Modulus of Elasticity

According to this law, within the elastic limit, stress is proportional to the strain.

i.e. stress $\propto$ strain or $\frac{\text{stress}}{\text{strain}}$ = constant = E

The constant E is called modulus of elasticity.



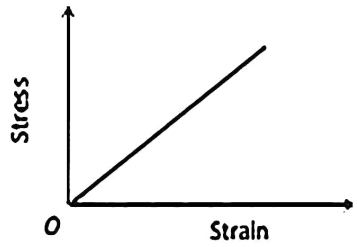
- It's value depends upon the nature of material of the body and the manner in which the body is deformed.
- It's value depends upon the temperature of the body.
- It's value is independent of the dimensions (length, volume etc.) of the body.
- There are three moduli of elasticity namely Young's modulus (Y), Bulk modulus (K) and modulus of rigidity (η) corresponding to three types of the strain

हुक का नियम और प्रत्यास्थता गुणांक

इस नियम के अनुसार, प्रत्यास्थता सीमा के भीतर, प्रतिबल - विकृति के समानुपाती होता है।

अर्थात , प्रतिबल $\propto$ विकृति या $\frac{\text{प्रतिबल}}{\text{विकृति}}$ = स्थिरांक = E

स्थिरांक E को प्रत्यास्थता गुणांक कहा जाता है।



- इसका वस्तु के पदार्थ की प्रकृति और पदार्थ के विकृत होने के तरीके पर निर्भर करता है।
- इसका मान वस्तु के तापमान पर निर्भर करता है।
- इसका मान वस्तु के आयामों (लंबाई, आयतन आदि) से स्वतंत्र है।
- प्रत्यास्थता के तीन गुणांक हैं : यंग गुणांक (Y), आयतन गुणांक (K) और अपरूपण या दृढ़ता गुणांक (η) तीन प्रकार के विकृति के अनुरूप

Young's Modulus of Elasticity(Y)

It is defined as the ratio of normal stress to longitudinal strain within limit of proportionality.

$$Y = \frac{\text{Normal stress}}{\text{longitudinal strain}} = \frac{F/A}{l/L} = \frac{FL}{Al}$$

If force is applied on a wire of radius r by hanging a weight of mass M, then

$$Y = \frac{MgL}{\Pi r^2 l}$$

यंग का प्रत्यास्थता गुणांक(Y)

इसे प्रत्यास्थता की सीमा में अभिलम्ब प्रतिबल और अनुदैर्ध्य विकृति के अनुपात के रूप में परिभाषित किया जाता है|

$$Y = \frac{\text{अभिलम्ब प्रतिबल}}{\text{अनुदैर्ध्य विकृति}} = \frac{F/A}{l/L} = \frac{FL}{Al}$$

यदि r त्रिज्या के तार पर M द्रव्यमान का भार लटकाकर बल लगाया जाए तो

$$Y = \frac{MgL}{\Pi r^2 l}$$

Work Done in Stretching a Wire/ Elastic potential Energy

In stretching a wire work is done against internal restoring forces. This work is stored in the wire as elastic potential energy or strain energy.

$$U_r = \frac{1}{2} \times \frac{F}{A} \times \frac{l}{L} = \frac{1}{2} \times \text{stress} \times \text{strain} = \frac{1}{2} \times Y \times (\text{strain})^2 = \frac{1}{2Y}(\text{stress})^2 \quad \text{[As AL = volume of wire]}$$

किसी तार को खींचने में किया गया कार्य/प्रत्यास्थ स्थितिज ऊर्जा

किसी तार को खींचने में आंतरिक पुनर्स्थापन बलों के विरुद्ध कार्य किया जाता है। यह कार्य तार में प्रत्यास्थ स्थितिज ऊर्जा अथवा विकृति ऊर्जा के रूप में संग्रहित होता है।

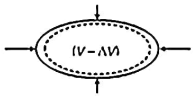
$$U_r = \frac{1}{2} \times \frac{F}{A} \times \frac{l}{L} = \frac{1}{2} \times \text{stress} \times \text{strain} = \frac{1}{2} \times Y \times (\text{strain})^2 = \frac{1}{2Y}(\text{stress})^2 \quad \text{[As AL = volume of wire]}$$

Bulk Modulus of Elasticity

When a solid or fluid (liquid or gas) is subjected to a uniform pressure all over the surface, such that the shape remains the same, then there is a change in volume.

Then the ratio of normal stress to the volumetric strain within the elastic limits is called as Bulk modulus. This is denoted by K.

$$K = \frac{\text{Normal stress}}{\text{volumetric strain}}$$



$$K = \frac{F/A}{-\Delta V/V} = \frac{-pV}{\Delta V}$$

where p = increase in pressure; V = original volume;Δ V = change in volume

The negative sign shows that with increase in pressure p, the volume decreases by Δ V i.e. if p is positive, Δ V is negative. The reciprocal of bulk modulus is called compressibility.

$$C = \text{compressibility} = \frac{1}{K} = \frac{\Delta V}{pV}$$

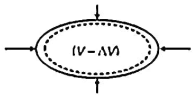
S.I. unit of compressibility is $N^{-1}m^2$ and C.G.S. unit is $dyne^{-1}\ cm^2$.

प्रत्यास्थता का आयतन गुणांक

जब किसी ठोस या तरल पदार्थ (तरल या गैस) पर पूरी सतह पर एक समान दबाव डाला जाता है कि आकार समान रहता है, तो आयतन में परिवर्तन होता है।

प्रत्यास्थता सीमा के भीतर अभिलम्ब प्रतिबल और आयतन विकृति का अनुपात आयतन गुणांक कहा जाता है इसे K से दर्शाया जाता है।

$$K = \frac{\text{Normal stress}}{\text{volumetric strain}}$$



$$K = \frac{F/A}{-\Delta V/V} = \frac{-pV}{\Delta V}$$

जहाँ p = दबाव में वृद्धि; V = मूल आयतन ; Δ V = आयतन में परिवर्तन

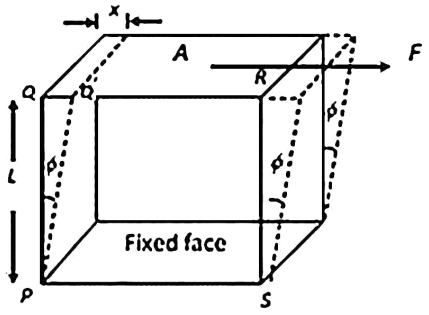
ऋणात्मक चिन्ह दर्शाता है कि दबाव p में वृद्धि के साथ आयतन (ΔV) कम हो जाता हैअर्थात यदि p धनात्मक है

Δv नकारात्मक है. आयतन गुणांक के व्युत्क्रम को संपीड्यता कहा जाता है।

$$C = \text{compressibility} = \frac{1}{K} = \frac{\Delta V}{pV}$$

S.I. unit of compressibility is $N^{-1}m^2$ and C.G.S. unit is $dyne^{-1}\ cm^2$.

Modulus of Rigidity



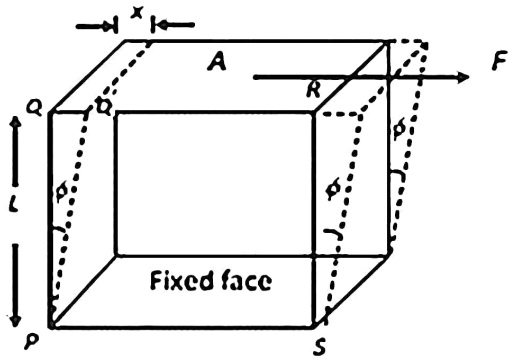
Within limits of proportionality, the ratio of tangential stress to the shearing strain is called modulus of rigidity of the material of the body and is denoted by η,

I.e. $\eta = \frac{\text{Shearing stress}}{\text{Shearing strain}}$ In this case the shape of a body changes but its volume remains unchanged. Shearing stress = F/ A and Shearing strain = ϕ = QQ'/PQ = x/L

So η = shear stress/shear strain = $\frac{F/A}{\phi} = \frac{F}{A\phi}$

Only solids can exhibit a shearing as these have definite shape.

अपरूपण या दृढ़ता का गुणांक



प्रत्यास्थता की सीमा के भीतर,स्पर्श रेखीय प्रतिबल और अपरूपण विकृति के अनुपात को वस्तु की पदार्थ की अपरूपण या दृढ़ता का गुणांक कहा जाता है और इसे η द्वारा दर्शाया जाता है ,

$\eta = \frac{\text{स्पर्श रेखीय प्रतिबल}}{\text{अपरूपण विकृति}}$ इस स्थिति में वस्तु का आकार बदल जाता है लेकिन उसका आयतन अपरिवर्तित रहता है। स्पर्श रेखीय प्रतिबल = F/A और अपरूपण विकृति $=\phi$ = QQ'/PQ = x/L

अर्थात η =स्पर्श रेखीय प्रतिबल / अपरूपण विकृति = $\frac{F/A}{\phi} = \frac{F}{A\phi}$

केवल ठोस ही अपरूपण प्रदर्शित कर सकते हैं क्योंकि इनका निश्चित आकार होता है।

Poisson's Ratio

When a long bar is stretched by a force along its length then its length increases and the radius decreases as shown in the figure.

Lateral strain : The ratio of change in radius or diameter to the original radius or diameter is called lateral strain.

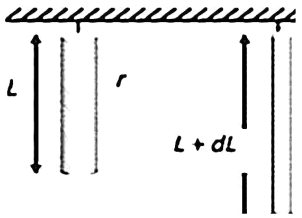
Longitudinal strain : The ratio of change in length to the original length is called longitudinal strain.

The ratio of lateral strain to longitudinal strain is called Poisson's ratio (σ).

I.e. $\sigma = \frac{\text{Lateral strain}}{\text{Longitudinal strain}}$

or $\sigma = \frac{-dr/r}{dL/L}$

Negative sign indicates that the radius of the bar decreases when it is stretched.



Poisson's ratio is a dimensionless and a unit less quantity.

पाइजन अनुपात

जब एक लंबी छड़ को उसकी लंबाई के अनुदिश किसी बल द्वारा खींचा जाता है तो उसकी लंबाई बढ़ जाती है और त्रिज्या घट जाती है जैसा कि चित्र में दिखाया गया है।

अनुप्रस्थ विकृति : त्रिज्या या व्यास में परिवर्तन तथा प्रारम्भिक त्रिज्या या व्यास के अनुपात को आनुप्रस्थ विकृति कहा जाता है।

अनुदैर्ध्य विकृति : लंबाई में परिवर्तन तथा प्रारम्भिक लंबाई के अनुपात को अनुदैर्ध्य विकृति कहा जाता है।

पार्श्व तनाव और अनुदैर्ध्य तनाव के अनुपात को पाइजन अनुपात (σ) कहा जाता है.

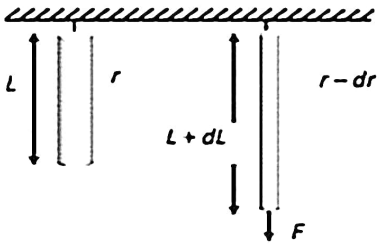
अर्थात $\sigma = \frac{\text{अनुप्रस्थ विकृति}}{\text{अनुदैर्ध्य विकृति}}$

या

$\sigma = \frac{-dr/r}{dL/L}$

ऋणात्मक चिन्ह दर्शाता है कि लंबी छड़ को खींचने पर

उसकी व्यास कम हो जाती है।



पाइजन अनुपात एक विमाहीन राशि है तथा इसका कोई मात्रक नहीं होता।

MULTIPLE CHOICE QUESTIONS:
बहुविकल्पीय प्रश्न:

1. The property of a body by virtue of which it tends to regain its original size and shape when the applied force is removed is called

(a) elasticity (b) plasticity
(c) rigidity (d) compressibility

किसी वस्तु का वह गुण जिसके आधार पर वह यदि बाह्य बल को हटाए जाने पर वस्तु अपने मूल आकार और आकृति को पुनः प्राप्त कर लेता है?

(a) प्रत्यास्थता (b) प्लास्टिसिटी
(c) अपरूपण या दृढ़ता (d) संपीड़िितता

2. The length of an iron wire is L and the area of cross-section is A. The increase in length is I on applying the force F on its two ends. Which of the statement is correct ?

(a) Increase in length is inversely proportional to its length L
(b) Increase in length is proportional to area of cross-section A
(c) Increase in length is inversely proportional to A
(d) Increase in length is proportional to Young's modulus

एक लोहे के तार की लंबाई L है और अनुप्रस्थ काट का क्षेत्रफल A है। इसके दो सिरों पर बल F लगाने पर लंबाई में वृद्धि (I)होती है। निम्नलिखित में से कौन सा कथन सही है?

(a) लंबाई में वृद्धि इसकी लंबाई L के व्युत्क्रमानुपाती होती है
(b) लंबाई में वृद्धि अनुप्रस्थ काट का क्षेत्रफल A के समानुपाती है
(c) लंबाई में वृद्धि A के व्युत्क्रमानुपाती है
(d) लंबाई में वृद्धि यंग के गुणांक के समानुपाती है

3. Which of the following materials is most elastic?

(a) Steel (b) Rubber
(c) Copper (d) Glass

निम्नलिखित में से कौन सी पदार्थ सबसे अधिक प्रत्यास्थ है?

(a) इस्पात (b) रबड़
(c) कॉपर (d) ग्लास

4. The ratio of the lengths of two wires A and B of same material is 1:2 and the ratio of their diameter is 2:1. They are stretched by the same force, then the ratio of increase in length will be

(a) 2:1 (b) 1:4
(c) 1:8 (d) 8:1

समान पदार्थ के दो तारों A और B की लंबाई का अनुपात 1:2 है और उनके व्यास का अनुपात 2:1 है। यदि वे समान बल से खींचे जाते हैं, तो लंबाई में वृद्धि का अनुपात क्या होगा?

(a) 2:1 (b) 1:4
(c) 1:8 (d) 8:1

5. When forces are applied on a body such that it is still in static equilibrium , then the extent to which the body gets deformed, depends on

(a) nature of the material
(b) magnitude of deforming force
(c) Both (a) & (b)
(d) None of these

जब किसी वस्तु पर इस तरह से बल लगाए जाते हैं कि वह स्थैतिक संतुलन में है, तो वस्तु किस हद तक विकृत हो जाता है, यह किस पर निर्भर करता है?

(a) पदार्थ की प्रकृति
(b) विरूपक बल का परिमाण
(c) दोनों (a)और(b)
(d) इनमें से कोई नहीं

6. Elastic After effect are maximum for

(a) Glass (b) Quartz
(c) Rubber (d) Metal

प्रत्यास्थ पश्च प्रभाव किसके लिए अधिकतम है?

(a) ग्लास (b) क्वार्ट्ज
(c) रबड़ (d) धातु

7. The restoring force per unit area is known as

(a) strain (b) elasticity
(c) stress (d) plasticity

प्रति इकाई क्षेत्रफल पर प्रत्यानयन बल को किस रूप में जाना जाता है?

(a) विकृति (b) प्रत्यास्थता
(c) प्रतिबल (d) प्लास्टिसिटी

8. In suspended type moving coil galvanometer, quartz suspension is used because