212hi11

11

गुरुत्वाकर्षण

पिछले पाठ में आपने सीखा कि किसी पिंड की विरामावस्था अथवा एकसमान गति की अवस्था में परिवर्तन के लिए बल की आवश्यकता होती है। आप इससे भी परिचित हैं कि जब पिंडों को ऊँचाई से गिराते हैं, तो वे पृथ्वी की ओर गिरते हैं। पिंड पृथ्वी की ओर ही क्यों गिरते हैं? सम्भवतः आप सोचें कि यह किसी बल के कारण हो सकता है। इसे गुरुत्व या गुरुत्वाकर्षण बल के नाम से जाना जाता है। इस अध्याय में हम गुरुत्वाकर्षण, गुरुत्व बल एवं गुरुत्व के प्रभाव में पिंडों की गति के बारे में सीखेंगे।

हम 'उत्प्लावकता' एवं 'आर्किमिडीज के सिद्धान्त' के बारे में भी चर्चा करेंगे।

mí';

इस पाठ को पढ़ने के पश्चात् आप –

- गुरुत्वाकर्षण बल के अस्तित्व को स्पष्ट कर पाएँगे;
- न्यूटन के गुरुत्वाकर्षण के नियमों को बता पाएँगे;
- गुरुत्वीय त्वरण को समझा पाएँगे;
- गुरुत्व के प्रभाव में गिरनेवाले पिंडों के लिए गति के समीकरण लिख पाएँगे;
- गुरुत्व के प्रभाव में एकविमीय गति से संबंधित समस्याओं को हल कर पाएँगे;
- द्रव्यमान एवं भार में विभेद तथा उनके बीच संबंध को स्थापित कर पाएँगे;
- स्वतंत्रतापूर्वक गिरते हुए पिंडों की गति को परिभाषित कर पाएँगे एवं भारहीनता को समझा पाएँगे;
- किसी तरल में पूर्णतया अथवा आंशिक रूप से डूबे हुए पिंड द्वारा अनुभव किये जाने वाले उत्प्लावक बल को स्पष्ट कर पाएँगे; और
- आर्किमिडीज के सिद्धान्त को समझ पाएँगे एवं इससे संबंधित समस्याओं को हल करने में इसका प्रयोग कर पाएँगे।

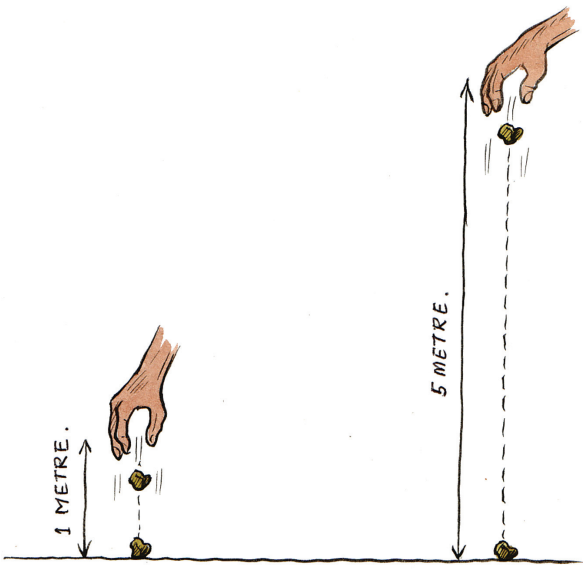
11-1 x#Rokd"k.k cy

यह हमारा दैनिक जीवन का अनुभव है कि पृथ्वी की सतह से ऊर्ध्वाधरतः ऊपर की ओर फेंके गए पिंड पुनः पृथ्वी पर लौट आते हैं। यदि किसी पिंड को कुछ ऊँचाई से भी गिराया जाए, तो वह भी पृथ्वी की ओर गिरती है। इसी तरह वृक्षों की शाखाओं से पत्तियाँ एवं फल अलग होते हैं, तो वह पृथ्वी की ओर गिरते हैं। ऐसा क्यों होता है? यह पत्तियों, अथवा फलों जैसी वस्तुओं पर कार्यरत किसी बल के कारण होता है। इन वस्तुओं पर किस प्रकार का बल कार्य कर रहा है? आइज़क न्यूटन पहले व्यक्ति थे, जिन्होंने इस प्रश्न का जवाब दिया।

न्यूटन के बारे में एक बहुत ही रोचक कहानी है। यह कहा जाता है कि जब न्यूटन एक सेब के पेड़ के नीचे बैठे थे, तब उन पर एक सेब गिरा। सेब के गिरने से न्यूटन के दिमाग में यह प्रश्न उठा कि यह सेब नीचे ही क्यों गिरा? यदि सेब पर कोई बल कार्य कर रहा है, तो यह त्वरित गति में होना चाहिए। आइए, इसे एक क्रियाकलाप द्वारा समझने का प्रयास करते हैं।

fØ;kdyki 11-1

अपने हाथ में एक छोटे पत्थर को पकड़िए एवं उसे लगभग एक मीटर की ऊँचाई से छोड़िए। इस पत्थर की पृथ्वी से टकराने के तुरन्त पहले की गति का अवलोकन कीजिए। अब, इसी पत्थर को 5 मीटर की ऊँचाई से छोड़िए (जैसे- घर की पहली मंजिल से) (चित्र 11.1)। पृथ्वी से टकराने से तुरन्त पहले की स्थिति में इसकी गति को पुनः ध्यान से देखिए। यह ध्यान रखिए कि पत्थर को प्रत्येक स्थिति में केवल छोड़ना ही है, तथा इस पर धक्का अथवा बल नहीं लगाना है। दोनों ही स्थितियों में पृथ्वी से टकराने से पूर्व पत्थर की गति की तुलना कीजिए। क्या दोनों ही स्थितियों में पृथ्वी से टकराने से पूर्व पत्थर की गति समान होती है? किस स्थिति में पत्थर पृथ्वी से तेजी से टकराता है? क्या आप उस बल को पहचान सकते हैं, जो पत्थर को त्वरित करता है?



fp= 11-1 % विभिन्न ऊँचाइयों से गिरता हुआ पत्थर

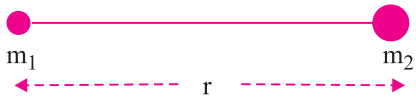
इस क्रियाकलाप में आपने यह देखा कि पृथ्वी के आकर्षण-बल के कारण पत्थर में त्वरण उत्पन्न होता है। न्यूटन जानते थे कि पिंड पृथ्वी की ओर गुरुत्वीय-बल के कारण गिरते हैं। न्यूटन ने आगे सोचा कि यदि पृथ्वी सेब अथवा पत्थर को अपनी ओर आकर्षित कर सकती है, तो क्या यह चन्द्रमा को भी आकर्षित कर सकती है? वह यह जानने के लिए भी उत्सुक थे कि क्या यही बल ग्रहों को सूर्य के चारों ओर अपनी कक्षा में चक्कर लगाने के लिए उत्तरदायी था।

न्यूटन ने निष्कर्ष निकाला कि वृतीय कक्षा में चक्कर लगाने के लिए यह आवश्यक है कि पृथ्वी द्वारा चन्द्रमा को लगातार आकर्षित किया जाय। इसी दिशा में तर्क करते हुए न्यूटन ने कहा कि सूर्य एवं ग्रहों के बीच एक बल विद्यमान है। वह बल 'गुरुत्वाकर्षण-बल' के नाम से जाना जाता है। उन्होंने कहा कि गुरुत्वाकर्षण-बल ब्रह्माण्ड में सभी जगह विद्यमान हैं। ब्रह्माण्ड के सभी पिंड एक-दूसरे को अपनी ओर आकर्षित करते हैं। गुरुत्वाकर्षण-बल के बारे में एक रोचक तथ्य यह है कि यह सदैव आकर्षण-बल ही होता है, चाहे पिंडों का आकार कुछ भी हो।

11-2 U;Vu dk x#Rokd"k.k dk fu;e

अपने अवलोकनों के आधार पर न्यूटन ने गुरुत्वाकर्षण के नियम को गणितीय-भाषा में व्यक्त किया। उन्होंने इस नियम को इस प्रकार बताया-

ब्रह्माण्ड का प्रत्येक कण, प्रत्येक दूसरे कण को एक बल द्वारा आकर्षित करता है। यह बल, उनके द्रव्यमान के गुणनफल के समानुपाती होता है तथा उनके बीच दूरी के वर्ग के व्युत्क्रमानुपाती होता है। यह बल, दोनों कणों को जोड़नेवाली रेखा के अनुदिश होता है। गणितीय रूप में,



fp= 11-2 % न्यूटन का गुरुत्वाकर्षण का नियम

$$F \propto \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

जहाँ m_1 एवं m_2 दो कणों के द्रव्यमान हैं, जो एक-दूसरे से r दूरी पर स्थित हैं।

अथवा $$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2} \qquad ...(11.1)$$

जहाँ G आनुपातिकता का एक स्थिरांक है, ओर इसे सार्वत्रिक गुरुत्वीय स्थिरांक कहते हैं। इसका मान पृथ्वी पर सभी जगहों एवं सम्पूर्ण ब्रह्माण्ड में एक समान है।

SI मात्रकों में, जहाँ m को किलाग्राम में, F को न्यूटन में तथा r को मीटर में मापा जाता है, G का मान्य मान $6.67 \times 10^{-11}\ Nm^2kg^{-2}$ होता हैं। क्योंकि G का मान बहुत ही कम है, आप यह समझ सकते हैं कि साधारण द्रव्यमानवाली वस्तुओं के बीच लगने वाला गुरुत्वीय-बल अत्यन्त दुर्बल होता है।

आइए, पता लगाते हैं कि आपके एवं अगली मेज़ पर बैठे आपके मित्र, जो कि आपसे 1 मीटर की दूरी पर हैं, के बीच कितना आकर्षण-बल लग रहा है। माना कि आपका द्रव्यमान 50 kg एवं आपके मित्र का द्रव्यमान 40 kg हो तो आकर्षण-बल का मान होगा –

$$F = \frac{6.67\times10^{-11}\times40\times40}{1\times1}$$

$$= 13340 \times 10^{-11} \text{ N}$$

$$= 113.34 \times 10^{-8} \text{ N}$$

आप समझ पाएँगे यह एक अत्यन्त दुर्बल बल है। यह एक छोटे से कागज के टुकड़े द्वारा तराजू के पलड़े पर लगनेवाले बल से 100 गुना दुर्बल है। गुरुत्वाकर्षण बल कितना दुर्बल-बल है, यह आप तब महसूस कर सकते हैं जब आप पत्थर का एक छोटा टुकड़ा उठाते हैं या एक आवेशित कंघी कागज के छोटे-छोटे टुकड़ों को अपनी ओर उठाती है। लेकिन यदि किन्हीं दो वस्तुओं का द्रव्यमान अधिक होगा तो गुरुत्वाकर्षण-बल का मान अधिक हो जाएगा, जिसे महसूस किया जा सकेगा।

mnkgj.k 11-1% एक 40 kg द्रव्यमान का लड़का पृथ्वी की सतह पर खड़ा है। यदि पृथ्वी का द्रव्यमान 6×10^{24} kg और पृथ्वी की त्रिज्या 6.37×10^6 m है तो पृथ्वी व लड़के के बीच लगनेवाले आकर्षण बल का मान ज्ञात कीजिए। G का मान 6.67×10^{-11} $Nm^2 kg^{-2}$ लीजिए।

gy % लड़के का द्रव्यमान = 40 kg

पृथ्वी का द्रव्यमान = 6×10^{24} kg

पृथ्वी की त्रिज्या = 6.37 106 m

(यह पृथ्वी के केन्द्र से लड़के की दूरी है)

G का मान = 6.67×10^{-11} Nm^2kg^{-2}

लड़के एवं पृथ्वी के बीच लगनेवाले आकर्षण-बल (F) का मान

$$= \frac{6.67\times10^{-11}\times6\times10^{24}\times40}{6.37\times10^{6}\times6.37\times10^{6}} = 394.5 \text{ N}$$

अब आप यह समझ सकते हैं कि लड़के एवं पृथ्वी के बीच का बल जिसके द्वारा वह एक-दूसरे को आकर्षित करते हैं, वह आपके एवं आपके मित्र, जो कि आपसे एक मीटर की दूरी पर बैठा है, के बीच लगनेवाले बल से एक अरब गुना अधिक शक्तिशाली है।

पृथ्वी के कारण लगनेवाले गुरुत्वाकर्षण-बल को 'गुरुत्व' भी कहते हैं। इस प्रकार जब हम बहुत अधिक द्रव्यमान जैसे- पृथ्वी, चन्द्रमा अथवा सूर्य के बारे में बात करते हैं, तो इन पिण्डों के बीच गुरुत्वाकर्षण-बल का मान बहुत अधिक होता है।

ikBxr i'u 11-1

1. एक-दूसरे के पास-पास बैठे छात्र आपस में गुरुत्वाकर्षण बल को महसूस क्यों नहीं करते हैं?
2. दो वस्तुओं के बीच की दूरी को 4 गुना बढ़ा दिया जाता है, तो उनके बीच गुरुत्वाकर्षण-बल के मान में कितना परिवर्तन होगा?
3. G को सार्वत्रिक गुरुत्वाकर्षण नियतांक क्यों माना जाता है?

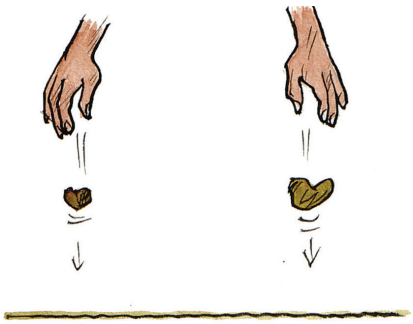
11-3 x#Roh; Roj.k

क्रियाकलाप 11.1 में हमने देखा कि गिरते हुए पत्थर की गति लगातार बढ़ती है। इससे हमने यह निष्कर्ष निकाला कि पत्थर में त्वरण, पत्थर एवं पृथ्वी के बीच लगनेवाले आकर्षण-बल के कारण उत्पन्न होता है। क्या हम इस त्वरण को कोई विशेष नाम दे सकते हैं? यह त्वरण 'गुरुत्वीय-त्वरण' कहलाता है। यदि पत्थर का द्रव्यमान अधिक हो तो क्या इस त्वरण का मान अधिक होगा? क्या भारी वस्तुएँ, हल्की वस्तुओं की अपेक्षा अधिक तेजी से गिरती हैं? आइए ज्ञात करें।

fØ;kdyki 11-2

चेतावनी : इस क्रियाकलाप को करते समय सावधान रहें कि किसी को हानि नहीं पहुंचे।

अपने किसी मित्र को किसी दो-मंजिला इमारत की छत पर अपने दोनों हाथों में अलग-अलग द्रव्यमान के दो पत्थर लेकर खड़े रहने के लिए कहिए। अब अपने मित्र को दोनों पत्थरों को एक साथ गिराने के लिए कहिए (चित्र 11.3) तथा गिरते हुए पत्थरों को ध्यान से देखिए। आपको क्या दिखाई देता है? दोनों पत्थर जमीन पर एक साथ क्यों पहुँचते हैं?



fp= 11-3 % दो अलग-अलग द्रव्यमान के पत्थरों को एक साथ गिराना।

D;k vki tkurs gSa

एक कहानी के अनुसार, गैलिलियो ने यह साबित करने के लिए कि अलग-अलग द्रव्यमान की वस्तुएँ एक ही दर से गिरती हैं, इटली में पीसा की झुकी हुई मीनार से कई अलग-अलग वस्तुओं को गिराया।

आप उपर्युक्त क्रियाकलाप को बहुत ही रोचक तरीके से कर सकते हैं।

fØ;kdyki 11-3

पाँच रुपये के एक सिक्के एवं एक कागज़ (15 cm × 15 cm) को समान ऊँचाई से एक साथ गिराइए। आप क्या देखते हैं? आप देखेंगे कि सिक्का, कागज़ से बहुत पहले जमीन पर पहुँच जाता है। इस अवलोकन से आप क्या निष्कर्ष निकालते हैं? आप इस निष्कर्ष तक पहुँच सकते हैं कि भारी वस्तुएँ, हल्की वस्तुओं की अपेक्षा तेजी से गिरती हैं।

अब कागज़ को एक छोटी गेंद के रूप में मरोड़ लीजिए तथा सिक्के एवं कागज़ की गेंद को समान ऊँचाई से दोबारा गिराइए। अब आप क्या देखते हैं? आप पाएँगे कि कागज़ की गेंद एवं सिक्का दोनों लगभग एक ही समय पर जमीन पर गिरते हैं। पहली परिस्थिति में कागज़ के धीमे गिरने का कारण वायु द्वारा उत्पन्न प्रतिरोध था। जितनी ज्यादा सतह हवा के सम्पर्क में आती है हवा द्वारा सतह पर लगनेवाला प्रतिरोध उतना ही अधिक हो जाता है। इस क्रियाकलाप से क्या निष्कर्ष निकाले जा सकते हैं?

इस क्रियाकलाप से यह पता चलता है कि दो अलग-अलग द्रव्यमान की वस्तुएँ समान ऊँचाई से एक साथ गिराई जाएँ तो वह जमीन पर एक साथ पहुँचती हैं। ऐसा क्यों होता है? सोचिए।

D;k vki tkurs gS

ब्रिटिश वैज्ञानिक रॉबर्ट बॉयल ने काँच की एक ट्यूब में एक सिक्का एवं एक पंख रखा। उसने काँच की नली से हवा को निकालने के लिए निर्वात-पम्प का इस्तेमाल किया। जब काँच की ट्यूब को पलटा गया तो सिक्का एवं पंख दोनों एक साथ काँच की नली के पेंदे पर गिरे।

पृथ्वी का गुरुत्व, सिक्के एवं कागज़ की गेंद को नीचे की दिशा में त्वरित करता है। चूँकि दोनों ही (सिक्का एवं कागज़ की गेंद) एक साथ जमीन पर पहुँचते हैं, अतः इनके लिए त्वरण, जिसे गुरुत्वीय-त्वरण (g) कहते हैं, का मान समान होता है। संभवतः, दिए गए किसी स्थान पर गुरुत्वीय-त्वरण (g) का मान किसी भी द्रव्यमान के लिए समान होता है। गुरुत्वीय-त्वरण (g) का SI मात्रक त्वरण के समान ही ms^{-2} होता है।

आइए, गुरुत्वीय-त्वरण के लिए हम व्यंजक ज्ञात करने का प्रयास करते हैं। माना कि (क्रियाकलाप 11.1 में) किसी ऊँचाई से गिरनेवाले पत्थर का द्रव्यमान m है। पृथ्वी के गुरुत्व के कारण नीचे गिरे रहे पत्थर का त्वरण g द्वारा प्रदर्शित किया जाता है।

हम जानते हैं कि बल, द्रव्यमान एवं त्वरण का गुणनफल होता है। अतः गुरुत्वीय-बल का परिमाण

$$F = mg \qquad ...(11.2)$$

समीकरण (11.1) एवं (11.2) से,

$$mg = G\frac{Mm}{r^2}$$

अथवा

$$g = \frac{GM}{r^2} \qquad ...(11.3)$$

जहाँ m = पृथ्वी का द्रव्यमान है। पृथ्वी के केन्द्र एवं वस्तु के बीच की दूरी r है। यदि वस्तु पृथ्वी की सतह पर अथवा सतह के पास हो तो समीकरण (11.3) में दूरी, पृथ्वी की त्रिज्या 'R' के बराबर होगी।

इस प्रकार,

$$g = G\frac{M}{R^2} \qquad ...(11.4)$$

हम देखते हैं कि 'g' का मान मुक्त रूप से गिरती हुई वस्तु के द्रव्यमान से स्वतंत्र होता है। पृथ्वी की त्रिज्या, पृथ्वी की सतह पर सभी स्थानों पर समान नहीं है। अतः 'g' का मान पृथ्वी की सतह पर अलग-अलग स्थानों पर अलग-अलग होता है। इसका मान भूमध्य रेखा की अपेक्षा ध्रुवों पर अधिक होता है। पृथ्वी की सतह पर एवं सतह के पास 'g' का औसत-मान 9.8 ms^{-2} है।

11-4 x#Ro d: i:Hkko e: oLr| dh xfr

हम जानते हैं कि पृथ्वी की सतह के करीब 'g' का मान नियत रहता है। इसलिए, वस्तुओं की एकसमान त्वरित गति के समीकरण (जिनके बारे में अध्याय 9 में चर्चा की गई है) यहाँ मान्य हो जाते हैं, जब त्वरण 'a' को गुरुत्वीय त्वरण 'g' से प्रतिस्थापित कर दिया जाता है। क्या अब आप गरूत्व के आधीन गति के समीकरण लिख सकते हैं? ये समीकरण निम्नानुसार हैं :

$$v = u + gt \qquad ...(11.5)$$

$$s = ut + \frac{1}{2}gt^2 \qquad ...(11.6)$$

$$v^2 = u^2 + 2gs \qquad ...(11.7)$$

जहाँ u तथा v वस्तु के आरम्भिक एवं अन्तिम वेग है तथा s, t समय में तय की गई दूरी है।

mnkgj.k 11-2 % पृथ्वी का द्रव्यमान 6×10^{24} kg तथा इसकी त्रिज्या 6.4×10^6 m है। 'g' के मान की गणना कीजिए। ($G = 6.7 \times 10^{-11}$ N m^2 kg^{-2} है।)

gy % समीकरण 11.4 से,

$$g = G\frac{M}{R^2}$$

$$= \frac{6.7\times10^{-11}\,\mathrm{Nm^2kg^{-2}}\times6\times10^{24}\,\mathrm{kg}}{\left(6.4\times10^{6}\,\mathrm{m}\right)^2}$$

$$= 9.8\ \mathrm{ms^{-2}}$$

mnkgj.k 11-3 ¼ पृथ्वी का द्रव्यमान 6×10^{24} kg एवं चन्द्रमा का द्रव्यमान 7.4×10^{22} kg है। यदि पृथ्वी एवं चन्द्रमा के बीच की दूरी 3.84×10^{8} m, है, तो पृथ्वी द्वारा चन्द्रमा पर लगनेवाले बल की गणना कीजिए। ($G = 6.7\times10^{-11}$ N m^2 kg^{-2})

gy ¼ पृथ्वी का द्रव्यमान, $m_1 = 6\times10^{24}$ kg

चन्द्रमा का द्रव्यमान $m_2 = 7.4\times10^{22}$ kg

पृथ्वी एवं चन्द्रमा के बीच की दूरी, $r = 3.84\times10^{8}$ m

$G = 6.7\times10^{-11}$ N m^2 kg^{-2}

समी. (11.1) से, पृथ्वी द्वारा चन्द्रमा पर लगनेवाला बल :

$$F = G\frac{m_1m_2}{r^2}$$

$$= \frac{6.7\times10^{-11}\,\mathrm{Nm^2kg^{-2}}\times6\times10^{24}\,\mathrm{kg}\times7.4\times10^{22}\,\mathrm{kg}}{\left(3.84\times10^{8}\,\mathrm{m}\right)^2}$$

$$= 2.01\times10^{20}\ \mathrm{N}$$

mnkgj.k 11-4 ¼ एक गेंद को पृथ्वी की सतह से ऊर्ध्वाधरतः ऊपर की ओर फेंका जाता है तथा यह 122.5 m की ऊँचाई तक पहुँचती है। तो गणना कीजिए-

(i) गेंद को किस वेग से ऊपर की ओर फेंका गया?

(ii) गेंद द्वारा अधिकतम ऊँचाई तक पहुँचने में कितना समय लगा?

(g का मान 9.8 ms^{-2} है।)

gy ¼ तय की गई दूरी, $s = 122.5$ m

अन्तिम वेग, $v = 0$ ms^{-1}

गुरुत्वीय त्वरण, $g = 9.8$ ms^{-2}

(i) समीकरण (11.7) से, $v^2 = u^2 = 2gs$

$0 = u^2 + 2(-9.8\ \mathrm{ms^{-2}})\times 122.5$ m

चूँकि उपरिमुखी गति के लिए 'g' का मान ऋणात्मक लिया जाता है

$\therefore \quad -u^2 = -2\times9.8\times122.5\ \mathrm{m^2s^{-2}}$

$u^2 = 2401\ \mathrm{m^2s^{-2}}$

$u = 49\ \mathrm{ms^{-1}}$

इस प्रकार, गेंद को जिस वेग से पृथ्वी की सतह से ऊर्ध्वाधर ऊपर की ओर फेंका गया, वह 49 ms^{-1} है।

(ii) समीकरण (11.5) से, $v = u + g\,t$

$$0 = 49\ \text{ms}^{-1} + (9.8\ \text{ms}^{-2}) \times t$$

इसलिए, $$t = \frac{49}{9.8}\text{s} = 5\text{s}$$

इस प्रकार,

(i) आरम्भिक वेग 49 ms^{-1}; तथा

(ii) अधिकतम ऊँचाई तक पहुँचने में लगा समय = 5 s

ikBxr i'u 11-2

1. गुरुत्वीय-त्वरण से आप क्या समझते हैं?
2. जब एक भारी एवं हल्की वस्तु को समान ऊँचाई से एक साथ गिराया जाता है, तो वे समान-दर से क्यों गिरती हैं?
3. गुरुत्वीय-त्वरण का SI मात्रक बताइए।
4. गुरुत्वीय-त्वरण के प्रभाव में गति कर रही किसी वस्तु के लिए गति के समीकरण लिखिए।

11-5 n0;eku ,oa Hkkj

11-5-1 n0;eku

किसी वस्तु का द्रव्यमान, उसमें निहित पदार्थ की मात्रा होती है। वस्तु का द्रव्यमान नियत रहता है एवं स्थान बदलने पर बदलता नहीं है। यह हर जगह पर समान रहता है, चाहे वस्तु पृथ्वी पर हो, चन्द्रमा पर हो अथवा अंतरिक्ष में किसी अन्य जगह पर। किसी भी वस्तु के द्रव्यमान को दंड तुला की सहायता से मापा जा सकता है।

पिछले अध्याय में हमने यह भी सीखा था कि किसी भी वस्तु का द्रव्यमान उस वस्तु के जड़त्व का माप है। इसका मतलब यह है कि किसी भी वस्तु का द्रव्यमान जितना अधिक होगा उस वस्तु के जड़त्व का मान भी उतना ही अधिक होगा।

11-5-2 Hkkj

किसी भी वस्तु का भार वह बल है जिसके द्वारा पृथ्वी उसे अपनी ओर खींच रही है। क्या आप बल और त्वरण में संबंध को पुनःस्मरण कर सकते हैं?

बल = द्रव्यमान × त्वरण

इसलिए, $$F = mg \qquad (11.8)$$

यदि किसी भी वस्तु के भार को 'W' से प्रदर्शित करें तब

$$W = mg \qquad (11.9)$$

चूँकि भार एक प्रकार का बल है, अतः इसका मानक मात्रक भी वही होगा जो कि बल का होता है। इस मात्रक को याद करने का प्रयास कीजिए। यह न्यूटन है। इसका प्रतीक N है। यह बल (भार) लम्बवत् रूप से नीचे की तरफ कार्य करता है। इसका परिमाण व दिशा दोनों होते हैं।

समीकरण (11.9) की मदद से हम देख सकते हैं कि किसी भी वस्तु का भार उसके द्रव्यमान और गुरुत्वीय त्वरण (g) के मान पर निर्भर करता है। गुरुत्वीय त्वरण (g) का मान किसी स्थान के लिए नियत रहता है, अतः किसी दिए गए स्थान के लिए वस्तु का भार उसके द्रव्यमान के समानुपाती होता है। पृथ्वी के अलग-अलग भागों के लिए किसी भी वस्तु का भार अलग-अलग होगा क्योंकि पृथ्वी के अलग-अलग भागों के लिए गुरुत्वीय त्वरण (g) का मान अलग-अलग है।

11-5-3 Hkkjghurk

आपने कभी लिफ्ट/एलिवेटर से ऊपर जाते समय शरीर में भारीपन का और नीचे उतरते समय हल्केपन का अनुभव किया होगा। इसी प्रकार का अनुभव 'मेरी-गो-राउण्ड' नामक झूले में भी होता है।

आपने यह भी सुना होगा कि अंतरिक्षयात्री अंतरिक्ष में भारहीनता का अनुभव करते हैं। भारहीनता से अभिप्राय क्या है?

fØ;kdyki 11-4

चित्र 11.4 के अनुसार एक भारी पुस्तक को अपने हाथ से पकड़िए। क्या आप पुस्तक के भार को अपने हाथ पर महसूस करते हैं?

अब समान त्वरण के साथ अपने हाथ को नीचे की तरफ ले जाइए। आपको क्या महसूस होता है? क्या आपको पुस्तक के भार में कुछ कमी महसूस होती है? क्या आप भार में इस कमी के कारण की व्याख्या कर सकते हैं?

हाथ पर रखी पुस्तक　　नीचे की ओर गतिमान हाथ

fp= **11-4:** हाथ में पुस्तक

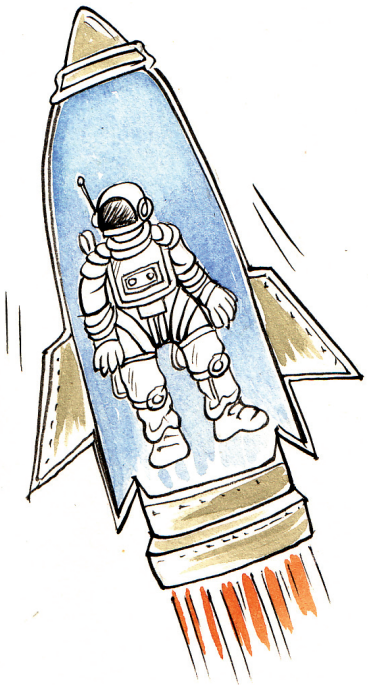
सामान्यतः हम भार को कमानीदार तुला या किसी ठोस आधार पर रखी हुई भार तौलने की मशीन, से मापते हैं। तौलने की मशीन किसी वस्तु का भार कैसे मापती है?

कल्पना कीजिए कि एक लड़का वजन तौलने की मशीन पर खड़ा है। यह मशीन एक फर्श पर रखी है। लड़के द्वारा नीचे की दिशा में मशीन पर एक बल कार्य करता है जो कि उसके भार के बराबर होता है।

fp= 11-5 एक बच्चा तुला पर खड़ा हुआ।

गति के तीसरे नियम के अनुसार मशीन उस पर खड़े लड़के पर लड़के के भार (W) के बराबर ऊपर की तरफ प्रतिक्रिया 'R' करती है। मशीन प्रतिक्रिया 'R' को मापती है, जो कि उस लड़के का भार है।

अब कल्पना कीजिए कि वजन तोलने की मशीन के नीचे का फर्श अचानक से हटा दिया जाए। तब क्या होगा? मशीन और उस पर खड़ा लड़का दोनों समान त्वरण से पृथ्वी की तरफ गति करेंगे। इस स्थिति में लड़का वजन तोलने की मशीन पर कोई बल नहीं लगा रहा है और वजन तोलने की मशीन शून्य भार दर्शाएगी। इससे हम यह निष्कर्ष निकाल सकते हैं कि गुरुत्वीय क्षेत्र में मुक्त रूप से गिरती हुई वस्तु या पिण्ड भारहीनता की स्थिति में होते हैं।



fp= 11-6 : अंतरिक्षयान में अंतरिक्ष यात्री का चित्र

अब आप समझ सकते हैं कि अंतरिक्ष यान में अंतरिक्ष यात्री क्यों भारहीनता का अनुभव करते हैं। अंतरिक्ष यान, अंतरिक्ष यात्री के साथ मुक्त रूप से पृथ्वी की तरफ गिर रहा होता है। इसलिए ऐसा प्रतीत होता है कि अंतरिक्ष यात्री यान में भारहीन रूप में तैर रहे हैं

ikBxr i'u 11-3

1. किसी वस्तु के भार व द्रव्यमान में दो अंतर बताइए।
2. कोई दो कारक बताइए जिन पर वस्तु का भार निर्भर करता है।
3. किसी पेड़ से गिरते हुए सेब का भार क्या होगा?

11-6 mRlykodrk ,oa vkfdfeMht dk fl)kUr

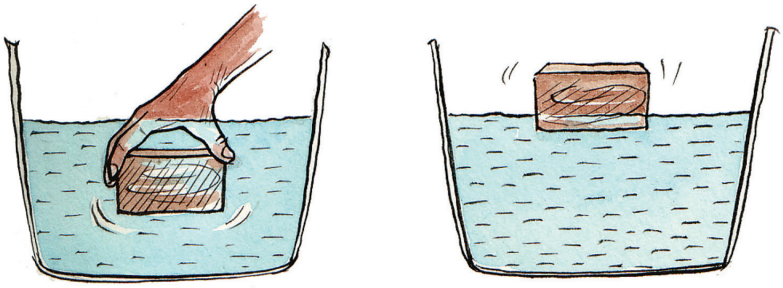
11-6-1 mRlykodrk

आपने कभी इस बात पर ध्यान दिया होगा कि जब हम पानी से भरी बाल्टी में से पानी से भरा मग बाहर निकालते हैं तो पानी की सतह से ऊपर उठने पर हमें यह मग अपेक्षाकृत ज्यादा भारी लगने लगता है। ऐसा क्यों होता है? आइए इसे एक क्रियाकलाप के माध्यम से समझने का प्रयास करते हैं।

fØ;kdyki 11-5

एक लकड़ी का मध्यम आकार का टुकड़ा लीजिए और उसे पानी से भरी बाल्टी में डाल दीजिए। आप क्या देखते हैं? आप देखेंगे कि लकड़ी के टुकड़े को जब पानी की सतह पर छोड़ा जाता है तो यह तैरने लगता है।

अब आप लकड़ी के टुकड़े को पानी के अंदर धकेलिए। आपको क्या महसूस होता है? आपको अपने हाथ पर ऊपर की ओर धकेलने वाले बल का अनुभव क्यों होता है? यह क्या दर्शाता है? यह घटना दर्शाती है कि पानी लकड़ी के टुकड़े पर ऊपर की दिशा में बल लगाता है। अब जब तक लकड़ी का टुकड़ा पूरी तरह पानी में न डूब जाए तब तक उसे धकेलिए [चित्र (11.7 (a)] अब टुकड़े को छोड़ दीजिए। आपको क्या दिखाई देता है? लकड़ी का टुकड़ा पुनः उछलकर पानी की सतह पर आ जाता है। [चित्र 11.7 (b)]।



(a) (b)

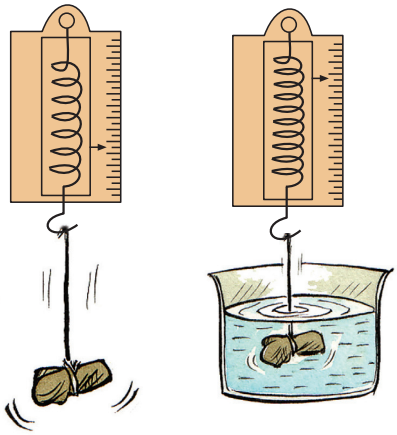
fp= **11.7** (a) पानी में डुबोया हुआ लकड़ी का टुकड़ा (b) छोड़े जाने पर पुनः ऊपर आता हुआ लकड़ी का टुकड़ा

पानी द्वारा लकड़ी के टुकड़े पर ऊपर की तरफ लगनेवाला बल उत्प्लावन बल कहलाता है। वास्तव में सभी वस्तुएँ किसी तरल में डुबोए जाने पर उत्प्लावन बल का अनुभव करती हैं। यह तरल पदार्थ एक द्रव या गैस भी हो सकता है। क्या आप उत्प्लावन बल के कुछ और उदाहरण ढूँढ़ सकते हैं?

किसी वस्तु पर लगनेवाले उत्प्लावन बल का परिमाण कितना होता है? क्या किसी दिए गए तरल माध्यम में सभी वस्तुओं पर लगनेवाले उत्प्लावन बल का परिमाण समान होगा? या अलग-अलग तरल पदार्थों में रखने पर किसी एक ही वस्तु के लिए उत्प्लावन बल समान होगा? 'आर्किमिडीज के सिद्धान्त' को समझने के बाद आप इस तरह के सभी प्रश्नों का उत्तर दे पाएँगे।

11-6-2 vkfdfeMht dk fl)kUr

पत्थर का एक टुकड़ा लीजिए। इसको धागे की सहायता से एक कमानीदार तुला से बाँध दीजिए [(चित्र 11.8 (a)]। कमानीदार तुला के पाठ्यांक को नोट कर लीजिए। यह पत्थर का हवा में भार है। अब पानी से भरे किसी बर्तन में धीरे-धीरे धागे से बँधे पत्थर के टुकड़े को डुबाइए [(चित्र 11.8 (b)] और ध्यानपूर्वक कमानीदार तुला के पाठ्यांक का अवलोकन कीजिए।



(a) (b)

fp= **11.8:** जब पत्थर को पानी में डुबाया जाता है तो कमानीदार तुला के पाठ्यांक में कमी आती है

आप पाएँगे कि जैसे-जैसे पत्थर के टुकड़े को पानी में डुबाया जाता है वैसे-वैसे कमानीदार तुला के पाठ्यांक में कमी आती है। यद्यपि जब पत्थर का टुकड़ा पूरी तरह पानी में डूब जाता है तो उसके बाद पाठ्यांक में कोई परिवर्तन नहीं होता है। आप इस अवलोकन से क्या निष्कर्ष निकालते हैं? कमानीदार तुला के पाठ्यांक में कमी यह दर्शाती है कि पत्थर के टुकड़े को जब पानी में डुबाया जाता है तो उस पर ऊपर की तरफ एक बल कार्य करता है। जैसा कि पहले भी चर्चा की गई है कि ऊपर की तरफ लगनेवाला यह बल उत्प्लावन बल कहलाता है। आर्किमिडीज ने उत्प्लावन बल के परिमाण की गणना के लिए एक सिद्धान्त की खोज की थी।

आर्किमिडीज के सिद्धान्त का कथन निम्न प्रकार है :

जब कोई पिण्ड किसी तरल माध्यम में पूर्ण या आंशिक रूप से डुबाया जाता है तो इस पर ऊपर की दिशा में एक बल कार्य करता है जो कि इस पिण्ड द्वारा विस्थापित किए गए तरल के भार के बराबर होता है।

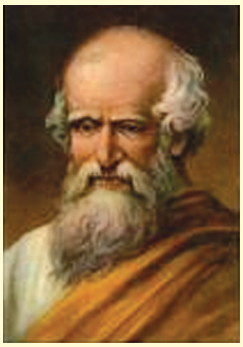
आर्किमिडीज के सिद्धान्त से यह स्पष्ट होता है कि दिए गए स्थान पर किसी भी पिण्ड पर लगनेवाले उत्प्लावन बल का परिमाण निर्भर करता है-

- तरल पदार्थ के घनत्व पर; तथा
- तरल पदार्थ में पिण्ड के डूबे हुए हिस्से के आयतन पर।

आर्किमिडीज के सिद्धान्त के कई उपयोग हैं। इस सिद्धान्त का अनुप्रयोग जहाजों एवं पनडुब्बियाँ बनाने में किया जाता है। द्रव पदार्थों के घनत्व को मापनेवाला यंत्र हाइड्रोमीटर भी इसी सिद्धान्त पर कार्य करता है। दूध की शुद्धता नापनेवाला लैक्टोमीटर नामक यंत्र भी इसी सिद्धान्त पर आधारित है।

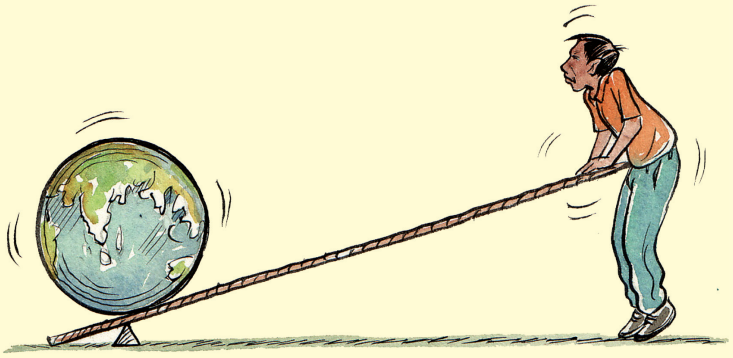
D;k vki tkurs gSa

आर्किमिडीज एक ग्रीक गणितज्ञ और वैज्ञानिक थे। उन्हें उनके सर्वज्ञात आर्किमिडीज सिद्धांत के लिए जाना जाता है। ऐसा कहा जाता है कि आर्किमिडीज को यह सिद्धान्त तब सूझा जब उन्होंने नहाने के लिए अपने बॉथटब में पैर रखा और उसमें से कुछ पानी बाहर आ गया। वे उसी अवस्था में गली में "यूरेका", "यूरेका" कहते हुए भागे...., जिसका मतलब है, "मैंने पा लिया"।



आर्किमिडीज
(287 BC-212 BC)

आर्किमिडीज ने आर्किमिडीज पेंच की भी खोज की। यह पेंच निचले पानी के स्तर को नीचे से ऊपर लाने में काम आता है। उनके ज्यामिति और मशीनों के क्षेत्र में किए गए काम ने उन्हें प्रसिद्धि दिलायी। उत्तोलकों के बारे में एक बार उन्होंने कहा था कि "मुझे एक पर्याप्त लम्बी और मजबूत छड़ दे दो और खड़े होने के लिए एक जगह दे दो फिर मैं पृथ्वी को उठा लूँगा।"



ikBxr iz'u 11-4

1. पानी से भरी बाल्टी में से पानी से भरा मग जब बाहर निकालते हैं तो पानी की सतह के पास यह मग अपेक्षाकृत भारी क्यों लगता है?
2. पानी के अंदर एक कॉर्क को छोड़ते हैं तो यह पुनः पानी की सतह पर क्यों आ जाता है?
3. उत्प्लावन बल से आप क्या समझते हैं?
4. क्या निर्वात में भी किसी पिण्ड पर उत्प्लावन बल कार्य करता है?
5. आर्किमिडीज के सिद्धान्त के कोई दो उपयोग लिखिए।

vkiu D;k lh[kk

- न्यूटन के गुरुत्वाकर्षण के नियमानुसार ब्रह्माण्ड के सभी कण एक दूसरे को एक बल के द्वारा आकर्षित करते हैं, यह बल उनके द्रव्यमान के गुणनफल के अनुक्रमानुपाती एवं उनके बीच की दूरी के वर्ग के व्युत्क्रमानुपाती होता है।
- सामान्य द्रव्यमान की वस्तुओं के बीच लगनेवाला गुरुत्वाकर्षण बल बहुत क्षीण होता है। तथापि जब पिंडों के द्रव्यमान अधिक होते हैं तब यह बल पर्याप्त प्रभावशाली हो जाता है।
- पृथ्वी द्वारा लगनेवाले गुरुत्वाकर्षण बल को गुरुत्वीय बल कहते हैं
- गुरुत्वाकर्षण के कारण होनेवाला त्वरण वस्तु के द्रव्यमान पर निर्भर नहीं करता है।
- वस्तु का भार वह बल है जिसके द्वारा वह पृथ्वी की ओर आकर्षित होता है। यह बल वस्तु के द्रव्यमान तथा गुरुत्वीय त्वरण, के गुणनफल के बराबर होता है।
- किसी वस्तु का द्रव्यमान नियत रहता है और स्थान बदलने से इसमें परिवर्तन नहीं आता है। तथापि किसी वस्तु के भार में स्थान बदलने पर भिन्नता आ सकती है।
- गुरुत्वीय बल के प्रभाव में मुक्त रूप से गिरती हुई वस्तु भारहीन होती है।
- किसी तरल पदार्थ में डुबाने पर सभी वस्तुएँ उत्प्लावन बल का अनुभव करती हैं।
- दिए गए स्थान पर किसी वस्तु पर लगनेवाले उत्प्लावन बल का परिमाण, तरल पदार्थ के घनत्व और वस्तु के तरल पदार्थ में डूबे हुए हिस्से के आयतन पर निर्भर करता है।
- आर्किमिडीज के सिद्धान्तानुसार जब कोई वस्तु किसी तरल पदार्थ में आंशिक या पूर्ण रूप से डूबी रहती है तो इस पर ऊपर की दिशा में एक बल कार्य करता है। इस बल का मान उस वस्तु द्वारा विस्थापित तरल पदार्थ के भार के बराबर होता है।

ikBkr i'u

1. न्यूटन का गुरुत्वाकर्षण का नियम बताइए।
2. जब किन्हीं दो वस्तुओं के बीच की दूरी को दुगुना कर दिया जाए तो इनके बीच लगनेवाले गुरुत्वाकर्षण बल के मान में क्या परिवर्तन आएगा?
3. जब किन्हीं दो वस्तुओं का द्रव्यमान प्रारंभिक मान से दुगुना कर दिया जाए तो इनके बीच लगनेवाले गुरुत्वाकर्षण बल के मान में क्या परिवर्तन आएगा?
4. पृथ्वी के द्रव्यमान, गुरुत्वाकर्षण स्थिरांक एवं पृथ्वी की त्रिज्या का उपयोग करते हुए पृथ्वी की सतह पर गुरुत्वीय त्वरण के लिए व्यंजक की व्युत्पत्ति कीजिए।
5. उस वस्तु के लिए गति के समीकरण लिखिए जो केवल गुरुत्वीय बल के प्रभाव में गति कर रही है या गिर रही है।

6. किसी वस्तु के द्रव्यमान व भार में क्या अंतर होता हैं? वस्तु का भार किन कारकों पर निर्भर करता है?

7. एक ढक्कन लगी खाली प्लास्टिक की बोतल को जब पानी के अंदर छोड़ा जाता है तो यह पुनः पानी की सतह पर क्यों आ जाती है?

8. उत्प्लावन बल क्या है? वे कारक कौन-कौन से हैं जिन पर कि किसी दिए गए स्थान पर वस्तु के उत्प्लावन बल का परिमाण निर्भर करता है?

9. आर्किमिडीज का सिद्धान्त क्या है? आर्किमिडीज के सिद्धान्त के कोई दो उपयोग बताइए।

10. यदि पृथ्वी व सूर्य के मध्य की औसत दूरी 1.5×10^{11} m है, तो दोनों के मध्य लगनेवाले गुरुत्वाकर्षण बल के मान की गणना कीजिए। जबकि

    पृथ्वी का द्रव्यमान $= 6 \times 10^{24}$ kg

    सूर्य का द्रव्यमान $= 2 \times 10^{30}$ kg

    $G = 6.7 \times 10^{-11}$ Nm^2kg^{-2}

11. एक वस्तु का द्रव्यमान क्या होगा जिसका भार 49 N है। $g = 9.8$ ms^{-2}

12. एक वस्तु का भार हवा में 3.5 N और जल में 2 N है। वस्तु पर लगनेवाले उत्प्लावन बल का मान कितना होगा?

13. एक 45 मीटर ऊँचे टॉवर से एक पत्थर को गिराया गया। जब यह पृथ्वी की सतह से टकराएगा तब इसका वेग क्या होगा? ($g = 10$ ms^{-2})

14. एक वस्तु एक द्रव पदार्थ में डूबी हुई है। यदि वस्तु द्वारा विस्थापित द्रव पदार्थ का भार 1 N है तो वस्तु पर लगनेवाले उत्प्लावन बल का मान कितना होगा?

ikBxr i'uksa dk mÙkj

11.1

1. गुरुत्वाकर्षण बल बहुत क्षीण बल होता है। अतः इस बल के कारण कम द्रव्यमानवाले पिण्ड एक दूसरे को आकर्षित नहीं कर पाते हैं।

2. क्योंकि गुरुत्वाकर्षण बल दो वस्तुओं के बीच की दूरी के वर्ग के व्युत्क्रमानुपाती होता है अतः इसका मान 1/16 गुना कम हो जाएगा।

3. G का मान पृथ्वी पर या ब्रह्माण्ड में अन्य किसी भी जगह समान है। अतः G को सार्वत्रिक गुरुत्वाकर्षण स्थिरांक कहते हैं।

11.2

1. पृथ्वी के गुरुत्वाकर्षण बल के द्वारा उत्पन्न त्वरण को गुरुत्वीय त्वरण कहा जाता है।
2. क्योंकि हल्की व भारी दोनों प्रकार की वस्तुओं के लिए गुरुत्वीय त्वरण का मान समान है।
3. गुरुत्वीय त्वरण की प्रमाणिक मात्रक ms^{-2} है।
4. गति के समीकरण

11.3

1. किसी वस्तु में निहित पदार्थ की मात्र उसका द्रव्यमान है। किसी भी वस्तु का द्रव्यमान सभी स्थानों पर समान रहता है।

   किसी वस्तु का पृथ्वी पर भार, उस वस्तु पर लगनेवाला वह बल है जिसकी वजह से वह पृथ्वी की ओर आकर्षित हो रही है। किसी एक ही वस्तु का भार स्थान बदलने से बदल जाता है।

2. किसी भी वस्तु का भार निर्भर करता है-

   (i) वस्तु के द्रव्यमान पर

   (ii) गुरुत्वीय त्वरण पर

3. शून्य

11.4

1. जब मग को पानी में डुबोया जाता है तो उस पर उत्प्लावन बल कार्य करता है। इसलिए यह पानी में हल्का हो जाता है एवं जब इसे पानी की सतह से ऊपर उठाया जाता है तो यह अपेक्षाकृत भारी लगता है।
2. उत्प्लावन बल के कारण।
3. जब किसी वस्तु को तरल पदार्थ में डुबोया जाता है इस पर ऊपर की दिशा में एक बल कार्य करता है, इसे उत्प्लावन बल कहते हैं।
4. नहीं।
5. आर्किमिडीज के सिद्धान्त के उपयोग

   (i) जहाजों और पनडुब्बियों को बनाने में।

   (ii) हाइड्रोमीटर व लैक्टोमीटर में।

ekM;y - 4

Åtk

12. Åtk d lkr
13. dk;l ,o Åtk
14. rkih; Åtk
15. idk'k Åtk
16. fo|r Åtk
17. fo|r èkkjk dk pEcdh; iHkko
18. èofu vkj lpkj