U.P. Series

विज्ञान

पाठ्यपुस्तक का संपूर्ण हल

कक्षा-9

इकाई-1: मापन, यांत्रिकी एवं ध्वनि

1 मापन तथा मात्रक

▶ दीर्घ उत्तरीय प्रश्न

प्रश्न 1. भौतिक राशियों से आप क्या समझते हैं? मूल राशियाँ तथा मूल मात्रकों को परिभाषित कीजिए।

उत्तर- **भौतिक राशियाँ**—भौतिक राशियों का अध्ययन भौतिक विज्ञान के अन्तर्गत किया जाता है। भौतिक विज्ञान को मापन का विज्ञान कहा जाता है। भौतिक विज्ञान, विज्ञान की वह शाखा है, जिसके अन्तर्गत द्रव्य तथा ऊर्जा के विभिन्न स्वरूपों एवं विभिन्न क्रियाओं का अध्ययन किया जाता है। आइन्सटीन ने सिद्ध किया था कि ऊर्जा तथा द्रव्य मूल रूप से एक ही राशि हैं। ऊर्जा को द्रव्य में तथा द्रव्य को ऊर्जा में बदला जा सकता है। भौतिक विज्ञान के विस्तृत क्षेत्र को अनेक भागों में बाँटा जा सकता है, जैसे- ऊष्मा, प्रकाश, यान्त्रिकी, विद्युत, चुम्बकत्व, आधुनिक भौतिकी आदि।

जिन राशियों को प्रत्यक्ष रूप से मापा जा सकता है तथा उन्हें संख्या द्वारा प्रदर्शित किया जा सकता है, वे भौतिक राशियाँ कहलाती हैं। किसी भी भौतिक राशि की माप को व्यक्त करने के लिए एक निश्चित मात्रा की आवश्यकता पड़ती है। यह निश्चित मात्रा मात्रक कहलाती है। किसी दी गई राशि का उसके मात्रक से तुलना करना ही मापन कहलाता है।

प्रत्येक राशि की माप को व्यक्त करने के लिए दो बातें जानना आवश्यक है—

(i) वह मात्रक, जिसमें भौतिक राशि मापी गई हैं।

(ii) राशि का आंकिक अर्थात् संख्यात्मक मान, जो राशि के परिमाण को बताता है।

मूल राशियाँ तथा मूल मात्रक—भौतिक विज्ञान के अन्तर्गत विभिन्न राशियाँ हैं, जिनके अलग-अलग कई मात्रक हैं। इन मात्रकों की अधिक संख्या को याद रखना बिल्कुल असम्भव है। अत: वे भौतिक राशियाँ जो पूर्ण रूप से स्वतंत्र होती हैं तथा किसी राशि पर निर्भर नहीं करती, मूल राशियाँ कहलाती हैं।

उदाहरणार्थ- चाल को दूरी तथा समय के मात्रकों में व्यक्त किया जा सकता है, परन्तु समय तथा दूरी के मात्रकों को परस्पर एक-दूसरे के मात्रकों में नहीं बदला जा सकता है। ये एक-दूसरे से पूर्णरूपेण स्वतन्त्र हैं। इनके मात्रक एक-दूसरे से बिल्कुल भी सम्बन्धित नहीं हैं। अत: इन राशियों को मूल राशियाँ तथा इनके मात्रकों को मूल मात्रक कहा जाता है; जैसे— लम्बाई का मूल मात्रक 'मीटर' है तथा समय का मूल मात्रक 'सेकंड' है।

भौतिक विज्ञान का अध्ययन ज्ञात मूल राशियों के अन्तर्गत किया जाता है— लम्बाई, द्रव्यमान, ताप, विद्युत धारा, समय, पदार्थ की मात्रा तथा ज्योति-तीव्रता।

प्रश्न 2. मात्रकों की मानक अंतर्राष्ट्रीय प्रणाली से आप क्या समझते हैं? इसके अन्तर्गत आने वाली मूल राशियों व उनके मात्रकों पर प्रकाश डालिए।

उत्तर- अंतर्राष्ट्रीय प्रणाली के अन्तर्गत मूल राशियों का एक मानक मात्रक होता है। इस प्रणाली में लम्बाई का मात्रक 'मानक मीटर', द्रव्यमान का मात्रक 'मानक किलोग्राम', ताप का मात्रक 'कैल्विन', विद्युत धारा का मात्रक 'ऐम्पियर', समय का मात्रक 'मानक सेकंड', पदार्थ की मात्रा का मात्रक 'मोल' तथा ज्योति-तीव्रता का मात्रक 'कैण्डेला' है।

(i) **मानक मीटर**—M.K.S. या S.I. प्रणाली में लम्बाई का मात्रक मीटर है।
मानक मीटर वह लम्बाई है, जो पेरिस के निकट सेवरिस में माप और तौल के अन्तर्राष्ट्रीय ब्यूरो में 0°C ताप पर रखी हुई प्लेटिनम-इरीडियम की छड़ पर बने दो चिह्नों के बीच की दूरी है। आधुनिक परिभाषा के अनुसार, 1 मीटर वह दूरी है जो क्रिप्टॉन-86 गैस के लैंप द्वारा उत्सर्जित नारंगी रंग के प्रकाश की तरंग दैर्ध्य का $16,50,763.73$ गुना होती है। अर्थात् 1 मानक मीटर $= 16,50,763.73 \times Kr^{86}$ के नारंगी-रंग के प्रकाश की तरंग दैर्ध्य।

(ii) **मानक किलोग्राम**—M.K.S. या S.I. प्रणाली में द्रव्यमान का मात्रक किलोग्राम है। "अन्तर्राष्ट्रीय बाट-माप कार्यालय" सेवरिस में रखे गए 0°C पर प्लैटिनम इरीडियम धातु के पिण्ड के द्रव्यमान को 1 किलोग्राम माना जाता है।
आधुनिक परिभाषा के अनुसार, परमाणवीय स्केल पर, कार्बन-12$({}_6C^{12})$ के 5.0188×10^{25} परमाणुओं के द्रव्यमान को मानक किलोग्राम कहते हैं।

(iii) **कैल्विन**— M.K.S. या S.I. प्रणाली में ताप का मात्रक कैल्विन है। सामान्य वायुमण्डलीय दाब पर गलते बर्फ के ताप तथा उबलते हुए जल के ताप के अन्तर के 100वें भाग को 1 कैल्विन कहते हैं। इसे K से प्रदर्शित करते हैं। 1°C में 274.15 कैल्विन होते हैं।

(iv) **ऐम्पियर**—M.K.S. या S.I. प्रणाली में ऐम्पियर विद्युत धारा का मात्रक है। 1 ऐम्पियर विद्युत धारा वह धारा है, जो निर्वात् में 1 मीटर की दूरी पर स्थित दो सीधे, लम्बे एवं समानांतर तारों में प्रवाहित होने पर, प्रत्येक तार की प्रति मीटर लम्बाई पर तारों के बीच 2×10^{-7} न्यूटन का बल उत्पन्न करती है।

(v) **मानक सेकंड**— मापन की सभी प्रणाली में समय का मात्रक सेकंड है। 1967 ई० में अन्तर्राष्ट्रीय विज्ञान सम्मेलन के वैज्ञानिकों ने बताया कि 1 सेकंड वह समयान्तराल है, जिसमें परमाणुक घड़ी में सीजियम-133 का परमाणु 9, 19, 26, 31, 770 बार कंपन करता है। मानक सेकंड की परिभाषा सौर दिवस के आधार पर दी गई है। मध्य-सौर दिवस के 86,400वें भाग को 1 सेकंड कहते हैं।

$$1 \text{ सौर दिवस} = 24 \times 60 \times 60 = 86{,}400 \text{ सेकंड}$$

$$1 \text{ सेकंड} = \frac{1}{86{,}400} \times \text{मध्य-सौर दिवस}$$

मध्य-सौर दिवस —किसी स्थान पर जब सूर्य अधिकतम ऊँचाई पर होता है तो उस समय को उस स्थान का मध्याह्न तथा एक मध्याह्न से अगले मध्याह्न तक के समय के अन्तराल को एक सौर दिवस कहते हैं तथा पृथ्वी एक सौर दिवस में अपनी धुरी पर एक चक्कर पूरा करती है। एक वर्ष के सौर दिवसों के मध्यमान को मध्यमान सौर दिवस या मध्य-सौर दिवस कहते हैं। इस मध्यमान सौर दिवस का $\frac{1}{86{,}400}$वाँ भाग एक सेकंड कहलाता है।

(vi) **मोल**—M.K.S. या S.I. प्रणाली में पदार्थ की मात्रा का मात्रक मोल है। 1 मोल, किसी पदार्थ की वह मात्रा है जिसमें उस पदार्थ के अवयवों की वही संख्या हो, जितनी कार्बन-12 के 0.012 किग्रा में परमाणुओं की संख्या होती है।

(vii) **कैण्डेला**—M.K.S. या S.I. प्रणाली में ज्योति-तीव्रता का मात्रक कैण्डेला है। 1 कैण्डेला, मानक प्रकाश-स्रोत के खुले मुख के 1 सेमी^{2} क्षेत्रफल की ज्योति-तीव्रता के $\frac{1}{60}$वें भाग के बराबर होता है। जबकि प्रकाश-स्रोत का ताप प्लेटिनम के गलनांक के बराबर हो।

प्रश्न 3. मूल मात्रकों की S.I. प्रणाली से पहले कौन-सी प्रणालियाँ प्रयोग की जाती थी?

उत्तर- मूल मात्रकों की अंतर्राष्ट्रीय प्रणाली से पहले तीन प्रणालियाँ प्रयोग की जाती थी–

(i) **मीटर-किलोग्राम-सेकंड प्रणाली (M.K.S. System)**–इस प्रणाली में लम्बाई, द्रव्यमान तथा समय के मात्रक क्रमशः मीटर, किलोग्राम तथा सेकंड हैं।

(ii) **सेमी-ग्राम-सेकंड प्रणाली (C.G.S. System)**–इस प्रणाली को फ्रांसीसी प्रणाली या मीट्रिक प्रणाली भी कहा जाता है। इस प्रणाली में लम्बाई, द्रव्यमान तथा समय के मात्रक क्रमशः सेमी, ग्राम तथा सेकंड हैं।

(iii) **फुट-पाउंड-सेकंड प्रणाली (F.P.S. System)**–इस प्रणाली को ब्रिटिश प्रणाली भी कहा जाता है। इस प्रणाली में लम्बाई, द्रव्यमान तथा समय के मात्रक क्रमशः फुट, पाउंड तथा सेकंड हैं।

आधुनिक विज्ञान में मूल मात्रकों को प्रदर्शित करने के लिए मीटर-किलोग्राम-सेकंड (M.K.S.) प्रणाली का प्रयोग किया जाता है। इसी प्रणाली को अंतर्राष्ट्रीय प्रणाली कहा जाता है।

प्रश्न 4. लम्बाई के अन्य मात्रक बताइए।

उत्तर- भौतिक विज्ञान के अन्तर्गत बड़ी-बड़ी दूरियों का भी अध्ययन किया जाता है, जिसके लिए लम्बाई के बहुत छोटे-छोटे मात्रकों से लेकर बड़े-बड़े मात्रकों की आवश्यकता पड़ती है। सूक्ष्म विषाणुओं, जीवाणुओं से लेकर बड़े-बड़े खगोलीय पिंडों के क्रमशः व्यास तथा दूरियों को नापने के लिए विशेष मात्रकों का प्रयोग किया जाता है।

(i) **माइक्रॉन** –यह लम्बाई का सबसे सूक्ष्म मात्रक है। इसका प्रयोग सूक्ष्म जीवाणुओं के आकार को प्रदर्शित करने के लिए किया जाता है। इसका संकेत म्यू (μ) है। 1 माइक्रॉन 1 मीटर का 10 लाखवाँ भाग होता है। इसे माइक्रोमीटर भी कहते हैं।

$$1 \text{ माइक्रॉन } (\mu) = \frac{1}{10,00,000} \text{ मीटर} = 10^{-6} \text{ मीटर}$$

(ii) **नैनोमीटर**–1 नैनोमीटर, एक मीटर का 10^{-9}वाँ भाग होता है। इसे nm से प्रदर्शित करते हैं।

$$1 \text{ नैनोमीटर } (nm) = 10^{-9} \text{ मीटर}$$

(iii) **ऐंग्स्ट्रॉम**–यह लम्बाई का और भी छोटा मात्रक है। परमाणु तथा नाभिकीय भौतिकी में अधिकतर ऐंग्स्ट्रॉम का प्रयोग किया जाता है। ऐंग्स्ट्रॉम माइक्रॉन का 10^{-4}वाँ भाग होता है। इसे Å से प्रदर्शित करते हैं।

$$1 \text{ ऐंग्स्ट्रॉम } (\text{Å}) = 10^{-4}\mu = 10^{-4} \times 10^{-6} = 10^{-10} \text{ मीटर}$$

(iv) **फर्मी**–यह एक मीटर का 10^{-15}वाँ भाग होता है। इसे f से प्रदर्शित करते हैं।

$$1 \text{ फर्मी } (f) = 10^{-15} \text{ मीटर}$$

(v) **प्रकाश वर्ष**–प्रकाश वर्ष का प्रयोग आकाशीय पिंडों के बीच की दूरी को व्यक्त करने के लिए किया जाता है। यह लम्बाई का बहुत बड़ा मात्रक है। "1 प्रकाश वर्ष वह दूरी है, जिसे प्रकाश द्वारा निर्वात् में 1 वर्ष में तय किया जाता है।"

प्रकाश 1 सेकंड में 3.0×10^8 मीटर की दूरी तय करता है।

$\because$ 1 वर्ष $= 365 \times 24 \times 60 \times 60$ सेकंड

अतः 1 प्रकाश वर्ष = निर्वात् में प्रकाश द्वारा 1 वर्ष में चली गई दूरी

= निर्वात् में प्रकाश की चाल $\times$ 1 वर्ष

$= 3 \times 10^8$ मीटर/सेकंड $\times (365 \times 24 \times 60 \times 60)$ सेकंड

$= 9.461 \times 10^{15}$ मीटर
$= 10^{16}$ मीटर (लगभग)
$= 10^{13}$ किलोमीटर (लगभग)

प्रश्न 5. व्युत्पन्न मात्रक किसे कहते हैं? व्युत्पन्न मात्रकों पर प्रकाश डालिए।

उत्तर– लम्बाई, द्रव्यमान, समय, विद्युत धारा, ताप, ज्योति-तीव्रता तथा पदार्थ की मात्रा के अलावा अन्य सभी भौतिक राशियों के मात्रक एक अथवा अधिक मूल मात्रकों पर उपयुक्त घातें लगाकर प्राप्त किए जाते हैं। ऐसे मात्रकों को व्युत्पन्न मात्रक कहा जाता है।

व्युत्पन्न मात्रक ज्ञात करना–

(i) क्षेत्रफल = लम्बाई × चौड़ाई

क्षेत्रफल का मात्रक = लम्बाई का मात्रक × चौड़ाई का मात्रक
= मीटर × मीटर
= मीटर^2

इस प्रकार S.I. पद्धति में क्षेत्रफल का मात्रक मीटर^2 अथवा वर्गमीटर होता है।

(ii) आयतन = लम्बाई × चौड़ाई × ऊँचाई

आयतन का मात्रक = लम्बाई का मात्रक × चौड़ाई का मात्रक × ऊँचाई का मात्रक
= मीटर × मीटर × मीटर
= मीटर^3

इस प्रकार आयतन का मात्रक मीटर^3 या घन मीटर होता है।

(iii) घनत्व = द्रव्यमान/आयतन

$$\text{घनत्व का मात्रक} = \frac{\text{द्रव्यमान का मात्रक}}{\text{आयतन का मात्रक}} = \frac{\text{किग्रा}}{\text{मीटर}^3} = \text{किग्रा/मीटर}^3$$

घनत्व को ग्राम/सेमी^{3} से भी व्यक्त कर सकते हैं।

$$1\ \frac{\text{किग्रा}}{\text{मीटर}^3} = \frac{10^3\,\text{ग्राम}}{10^6\,\text{सेमी}^3} = 10^{-3}\ \text{ग्राम/सेमी}^3$$

(iv) चाल = दूरी/समय

$$\text{चाल का मात्रक} = \frac{\text{दूरी का मात्रक}}{\text{समय का मात्रक}} = \frac{\text{मीटर}}{\text{सेकंड}} = \text{मीटर/सेकंड}$$

$$\left(\text{वेग का मात्रक भी मीटर/सेकंड होता है, } \because \text{ वेग} = \frac{\text{विस्थापन}}{\text{समयांतराल}}\right)$$

(v) त्वरण = वेग-परिवर्तन/समयांतराल

$$\text{त्वरण का मात्रक} = \frac{\text{वेग का मात्रक}}{\text{समय का मात्रक}} = \frac{\text{मीटर/सेकंड}}{\text{सेकंड}} = \text{मीटर/सेकंड}^2$$

(vi) बल = द्रव्यमान × त्वरण

बल का मात्रक = द्रव्यमान का मात्रक × त्वरण का मात्रक
= किग्रा-मीटर/सेकंड^2

बल के मात्रक को 'न्यूटन' कहते हैं।

1 न्यूटन = 1 किग्रा-मीटर/सेकंड^2

(vii) कार्य = बल × दूरी

कार्य का मात्रक = बल का मात्रक × दूरी का मात्रक

कार्य का मात्रक = न्यूटन × मीटर = किग्रा–मीटर^2/सेकंड^2

कार्य के मात्रक को 'जूल' (J) कहते हैं जो ऊर्जा का भी मात्रक है।

1 जूल = 1 न्यूटन मीटर = 1 किग्रा–मीटर^2/सेकंड^2

(viii) $\text{शक्ति} = \dfrac{\text{कार्य}}{\text{समय}}$

$$\text{शक्ति का मात्रक} = \frac{\text{कार्य का मात्रक}}{\text{समय का मात्रक}}$$

$$= \frac{\text{किग्रा} \times \text{मीटर}^2 / \text{सेकंड}^2}{\text{सेकंड}}$$

$$= \frac{\text{किग्रा} - \text{मीटर}^2}{\text{सेकंड}^3}$$

या शक्ति के मात्रक = जूल/सेकंड

शक्ति का मात्रक को 'वाट' (W) कहते हैं।

1 वाट = 1 जूल/सेकंड

(ix) $\text{दाब} = \dfrac{\text{बल}}{\text{क्षेत्रफल}}$

$$\text{दाब का मात्रक} = \frac{\text{बल का मात्रक}}{\text{क्षेत्रफल का मात्रक}} = \text{न्यूटन/मीटर}^2$$

दाब का मात्रक = किग्रा–मीटर$^{-1}$–सेकंड$^{-2}$

दाब के मात्रक को 'पास्कल' भी कहते हैं।

(x) संवेग = द्रव्यमान × वेग

संवेग का मात्रक = द्रव्यमान का मात्रक × वेग का मात्रक

= किग्रा–मीटर/सेकंड

(xi) आवेग = बल × समय

आवेग का मात्रक = बल का मात्रक × समय का मात्रक

$$= \frac{\text{किग्रा} - \text{मीटर}}{\text{सेकंड}^2} \times \text{सेकंड}$$

= किग्रा–मीटर/सेकंड

▶ लघु उत्तरीय प्रश्न

प्रश्न 1. प्रत्येक राशि की माप को व्यक्त करने के लिए किन बातों का जानना आवश्यक है?

उत्तर- प्रत्येक राशि की माप को व्यक्त करने के लिए दो बातों का जानना आवश्यक है–

(i) वह मात्रक, जिसमें भौतिक राशि मापी गई है।

(ii) राशि का आंकिक अर्थात् संख्यात्मक मान, जो राशि के परिमाण को बताता है।

प्रश्न 2. मूल राशियों से आप क्या समझते हैं?

उत्तर- भौतिक विज्ञान के अन्तर्गत विभिन्न राशियाँ हैं, जिनके अलग-अलग कई मात्रक हैं। इन मात्रकों की अधिक संख्या को याद रखना बिल्कुल असम्भव है। अत: वे भौतिक राशियाँ जो पूर्ण रूप से स्वतंत्र होती हैं तथा किसी अन्य राशि पर निर्भर नहीं करती, मूल राशियाँ कहलाती हैं।

प्रश्न 3. भौतिक विज्ञान के अन्तर्गत कितनी मूल राशियों का प्रयोग किया जाता है? उनके नाम लिखिए।

उत्तर- भौतिक विज्ञान के अन्तर्गत सात मूल राशियों का प्रयोग किया जाता है— लम्बाई, द्रव्यमान, ताप, विद्युत धारा, समय, पदार्थ की मात्रा तथा ज्योति-तीव्रता।

प्रश्न 4. मूल मात्रक क्या हैं?

उत्तर- जिस प्रकार चाल को दूरी तथा समय के मात्रकों में व्यक्त किया जा सकता है, परन्तु समय तथा दूरी के मात्रकों को परस्पर एक-दूसरे के मात्रकों में नहीं बदला जा सकता है। ये एक-दूसरे से पूर्णरूपेण स्वतन्त्र हैं। इनके मात्रक एक-दूसरे से बिल्कुल भी सम्बन्धित नहीं हैं। ये मात्रक ही मूल मात्रक कहलाते हैं।

प्रश्न 5. मानक किलोग्राम का अर्थ बताइए।

उत्तर- आधुनिक परिभाषा के अनुसार, परमाणवीय स्केल पर, कार्बन-12 के 5.0188×10^{25} परमाणुओं के द्रव्यमान को मानक किलोग्राम कहते हैं।

प्रश्न 6. मानक सेकंड की परिभाषा दीजिए।

उत्तर- मानक सेकंड की परिभाषा, सौर दिवस के आधार पर दी गई है। 1 सेकंड वह समयांतराल है, जिसमें परमाणुक घड़ी में सीजियम-133 का परमाणु 9, 19, 26, 31, 770 बार कम्पन करता है। मध्य-सौर दिवस के 86,400 वें भाग को 1 सेकंड कहते हैं।

प्रश्न 7. मध्य-सौर दिवस क्या है?

उत्तर- किसी स्थान पर जब सूर्य अधिकतम ऊँचाई पर होता है, तो उस समय को उस स्थान का मध्याह्न तथा एक मध्याह्न से अगले मध्याह्न तक के समय के अंतराल को एक सौर दिवस कहते हैं तथा पृथ्वी एक सौर दिवस में अपनी धुरी पर 1 चक्कर पूरा करती है। एक वर्ष के सौर दिवसों के मध्यमान को मध्यमान सौर दिवस या मध्य-सौर दिवस कहते हैं।

प्रश्न 8. कैल्विन की परिभाषा दीजिए।

उत्तर- सामान्य वायुमण्डलीय दाब पर गलते बर्फ के ताप तथा उबलते हुए जल के ताप के अन्तर के 100 वें भाग को 1 कैल्विन कहते हैं। इसे K से प्रदर्शित करते हैं। $1°C$ में $274.15K$ होते हैं।

प्रश्न 9. निम्नलिखित की परिभाषा लिखिए।

(a) कैण्डेला **(b) 1 मोल** **(c) 1 माइक्रॉन**

(d) 1 ऐंगस्ट्रॉम **(e) 1 प्रकाश वर्ष**

उत्तर- (a) **कैण्डेला**—1 कैण्डेला, मानक प्रकाश स्रोत के खुले मुख के 1 सेमी^{2} क्षेत्रफल की ज्योति तीव्रता के $\frac{1}{60}$वें भाग के बराबर होता है, जबकि प्रकाश-स्रोत का ताप प्लेटिनम के गलनांक के बराबर हो।

(b) **1 मोल**— 1 मोल, किसी पदार्थ की वह मात्रा है जिसमें उस पदार्थ के अवयवों की वही संख्या हो, जितनी कार्बन-12 के 0.012 किग्रा में परमाणुओं की संख्या होती है।

(c) **1 माइक्रॉन**—1 माइक्रॉन 1 मीटर का 10 लाखवाँ भाग होता है। माइक्रॉन को माइक्रोमीटर भी कहते हैं। इसे μ (म्यू) से प्रदर्शित करते हैं। यह लम्बाई का सबसे सूक्ष्म मात्रक है।

$$1\mu = 10^{-6} \text{ मीटर}$$

(d) **1 ऐंगस्ट्रॉम**— 1 ऐंगस्ट्रॉन माइक्रॉन का 10^{-4} वाँ भाग होता है। इसे Å से प्रदर्शित करते हैं।

$$1\text{Å} = 10^{-4}\mu = 10^{-10} \text{ मीटर}$$

(e) **1 प्रकाश वर्ष**— 1 प्रकाश वर्ष वह दूरी है, जिसे प्रकाश द्वारा निर्वात् में 1 वर्ष में तय किया जाता है। यह लम्बाई का बहुत बड़ा मात्रक है। प्रकाश 1 सेकंड में 3×10^{8} मीटर की दूरी तय करता है।

प्रश्न 10. दो पूरक राशियों के नाम उनके पूरक मात्रकों के नाम सहित बताइए।

उत्तर– दो पूरक राशियाँ कोण तथा घन कोण हैं, एवं इनके पूरक मात्रक रेडियन तथा स्टेरेडियन हैं।

प्रश्न 11. 1 प्रकाश वर्ष को किलोमीटर के पदों में व्यक्त कीजिए।

उत्तर–

$$\begin{aligned} 1 \text{ प्रकाश वर्ष} &= \text{निर्वात् में प्रकाश द्वारा 1 वर्ष में चली गई दूरी} \\ &= \text{निर्वात् में प्रकाश की चाल} \times 1 \text{ वर्ष} \\ &= 3\times10^{8} \text{ मीटर/सेकंड} \times (365\times24\times60\times60) \text{ सेकंड} \\ &= 9.461\times10^{15} \text{ मीटर} \\ &= 10^{16} \text{ मीटर (लगभग)} \\ &= 10^{13} \text{ किलोमीटर (लगभग)} \end{aligned}$$

प्रश्न 12. निम्नलिखित रिक्त स्थानों को पूर्ण कीजिए।

उत्तर– (a) 1 डेसीमीटर = **10^{-1}** मीटर

(b) 1Å = **10^{-1}** मीटर

(c) 1 नैनोमीटर = **10^{-9}** मीटर

(d) 1 पीकोग्राम = **10^{-15}** किग्रा

(e) 1 प्रकाश वर्ष = **10^{13}** किलोमीटर

प्रश्न 13. मूल मात्रकों तथा व्युत्पन्न मात्रकों में अन्तर ज्ञात कीजिए।

उत्तर– (i) मूल मात्रक पूर्णत: स्वतन्त्र होते हैं, जबकि व्युत्पन्न मात्रक स्वतन्त्र नहीं होते हैं।

(ii) मूल मात्रक मूल राशियों के अनुसार होते हैं, जबकि व्युत्पन्न मात्रक मूल मात्रकों की घात के अनुसार प्राप्त किए जाते हैं।

(iii) मूल मात्रकों के मानक परिभाषित होते हैं, जबकि व्युत्पन्न मात्रकों के मानक परिभाषित नहीं होते।

▶ अति लघु उत्तरीय प्रश्न

(इसके लिए अपनी पाठ्य-पुस्तक में पृष्ठ संख्या 18 देखें।)

▶ आंकिक प्रश्न

प्रश्न 1. 2 सेमी^{3} में कितने घन मीटर (मीटर^3) होते हैं?

हलः 1 सेमी $= 10^{-2}$ मीटर

2 सेमी $= 2\times10^{-2}$ मीटर

$= 2\times(10^{-2})^3$ घन मीटर

$= 2\times10^{-6}$ मीटर^3 उत्तर

प्रश्न 2. 70 μ को सेमी में बदलिए।

हलः $\because$ $1\mu = 10^{-4}$ सेमी

$\therefore$ $70\mu = 70\times10^{-4}$ सेमी

$= 7\times10^{-3}$ सेमी उत्तर

प्रश्न 3. एक कार की चाल 70 किमी/ घंटा है। चाल को मीटर/सेकंड में व्यक्त कीजिए।

हलः चाल = 70 किमी/घंटा

$= 70\times\frac{1000}{3600}$ मीटर/सेकंड [$\because$ 1 किमी = 1000 मीटर]

$= \frac{700}{36}$ मीटर/सेकंड [1 घंटा = 3600 सेकंड]

$= 19.44$ मीटर/सेकंड उत्तर

प्रश्न 4. 1 लीटर में 10^3 सेमी^{3} होते हैं, इन्हें मीटर^3 में बदलिए।

हलः 1 लीटर $= 10^3$ सेमी^{3}

1 सेमी $= 10^{-2}$ मीटर

$\therefore$ 1 सेमी^{3} $= 10^{-6}$ मीटर^3

अतः 10^3 सेमी^{3} $= 10^3\times10^{-6}$ मीटर^3

$= 10^{-3}$ मीटर^3 उत्तर

प्रश्न 5. पीले प्रकाश की तरंग दैर्ध्य 5800Å है। इसे माइक्रॉन में बदलिए।

हलः $1\text{Å} = 10^{-10}$ मीटर $= 10^{-4}$

$5800\text{Å} = 5.8\times10^3\times10^{-4}\mu$

$= 5.8\times10^{-1}\mu$ उत्तर

प्रश्न 6. 2 प्रकाश वर्ष का मान माइक्रॉन में बदलिए।

हलः 1 प्रकाश वर्ष $= 1\times10^{16}$ मीटर

$= 1\times10^{16}\times10^{6}\mu = 1\times10^{22}\mu$

2 प्रकाश वर्ष $= 2\times10^{22}\mu$ उत्तर

प्रश्न 7. एक परमाणु का आकार 10^{-13} मीटर है। इसे माइक्रॉन में बदलिए।

हलः $1\mu = 10^{-6}$ मीटर

परमाणु का आकार $= 10^{-13}\times10^{6}\mu = 10^{-7}\mu$ उत्तर

प्रश्न 8. एक लाल रुधिर कणिका का द्रव्यमान 10^{-13} किग्रा है। 1 मिलीग्राम रुधिर में इनकी संख्या ज्ञात कीजिए।

हल: 1 कणिका का द्रव्यमान $= 10^{-13}$ किग्रा

1 मिलीग्राम $= 10^{-6}$ किग्रा

कणिकाओं की संख्या $= \frac{10^{-6}}{10^{-13}} = 10^{7}$ उत्तर

प्रश्न 9. हाइड्रोजन परमाणु की त्रिज्या 15×10^{-8} मीटर है। इनका व्यास ऐंग्स्ट्रॉम व माइक्रॉन में ज्ञात कीजिए।

हल: व्यास $= 2\times$ त्रिज्या

$= 2\times15\times10^{-8}$ मीटर

$= 30\times10^{-8}\times10^{10}$ Å [$\because$ 1 मीटर $= 10^{10}$ Å]

$= 3\times10^{3}$ Å उत्तर

प्रश्न 10. एक बॉक्स की लम्बाई 60 सेमी, चौड़ाई 70 सेमी तथा ऊँचाई 30 सेमी है। IS प्रणाली में बॉक्स का आयतन ज्ञात कीजिए।

हल: बॉक्स का आयतन $= 60\times70\times30$ सेमी^{3}

$= 12.6\times10^{4}$ सेमी^{3}

$= 12.6\times10^{4}\times10^{-6}$ मीटर^3

$= 1.26\times10^{-1}$ मीटर^3 उत्तर

▶ प्रयोगात्मक कार्य

प्रश्न 1. किसी दिए गए बेलन की लंबाई ज्ञात करके उसे दूरी के छोटी मात्रकों जैसे माइक्रॉन, नैनोमीटर तथा ऐंग्स्ट्रॉम में बदलना।

उत्तर– विद्यार्थी स्वयं करें।

प्रश्न 2. एक थर्मामीटर की सहायता से अपनी प्रयोगशाला का तापमान सेल्सियस में ज्ञात करके उसे कैल्विन में बदलना।

उत्तर– विद्यार्थी स्वयं करें।

▣▣▣

2 कोटिमान एवं सार्थक अंक

▶ दीर्घ उत्तरीय प्रश्न

प्रश्न 1. कोटिमान से आप क्या समझते हैं? इसे प्राप्त करने की विधि समझाइए।

उत्तर– कभी–कभी कुछ राशियाँ बहुत ज्यादा बड़ी होती हैं तथा कुछ बहुत छोटी। ऐसी राशियों को 10 की निकटतम घातों में लिखना उपयुक्त होता है। इस प्रकार लिखने से ये संख्याएँ सरलता से कंठस्थ भी की जा सकती हैं।

"किसी राशि के परिमाण को उसके निकटतम 10 की घात के रूप में लिखकर इस प्रकार प्राप्त निकटतम मान को उस राशि का 'कोटिमान' कहते हैं।"

विधि– किसी राशि अथवा संख्या का कोटिमान ज्ञात करने के लिए सबसे पहले उस संख्या को 10 की घातों के रूप में इस प्रकार लिखते हैं कि संख्या का एक अंक दशमलव बिंदु से पहले हो तथा शेष अंक दशमलव बिंदु के बाद हों; जैसे– 3394 को 3.394×10^3 के रूप में, 0.00417 को 4.17×10^{-4} के रूप में आदि।

अत: दी गई संख्या, दो संख्याओं के गुणनफल के रूप में लिखी जाती है—एक दशमलव वाली संख्या तथा दूसरी 10 की घात वाली संख्या। दशमलव वाली संख्या 1 व 10 के बीच में है। अब यह देखते हैं कि यह संख्या 1×10 के वर्गमूल अर्थात् $\sqrt{1 \times 10} = 3.16$ से छोटी है अथवा बड़ी। यदि संख्या 3.16 ही है अथवा इससे छोटी है तब दी गई संख्या का कोटिमान 10 की घात वाली संख्या के बराबर होगा। यदि बड़ी है तो दी गई संख्या का कोटिमान 10 की घात वाली संख्या में 1 घात बढ़ाने पर प्राप्त होगा।

उदाहरण– 5.6×10^2 में 5.6, 3.16 से बड़ा है; अत: इसका कोटिमान 10^3 होगा।

प्रश्न 2. किसी भी संख्या का कोटिमान ज्ञात करने के लिए उसे 10 की घातों में लिखना क्यों आवश्यक है? विस्तार से समझाइए।

उत्तर– किसी भी संख्या का कोटिमान ज्ञात करने के लिए उसे 10 की घातों में लिखना इसलिए आवश्यक है क्योंकि कुछ राशियाँ बहुत ज्यादा बड़ी होती हैं तथा कुछ बहुत छोटी। ऐसी राशियों को 10 की निकटतम घातों में लिखना उपयुक्त होता है। इस प्रकार से ये ज्यादा सरलता से कंठस्थ भी की जा सकती हैं।

किसी संख्या का कोटिमान ज्ञात करने के लिए सबसे पहले उस संख्या को 10 की घातों के रूप में इस प्रकार लिखते हैं कि संख्या का एक अंक दशमलव से पहले तथा शेष अंक दशमलव के बाद हो; जैसे— 631 को 6.31×10^2 के रूप में, 0.00142 को 1.42×10^{-3} के रूप में आदि।

अत: दी गई संख्या, दो संख्याओं के गुणनफल के रूप में लिखी जाती है—एक दशमलव वाली संख्या तथा दूसरी 10 की घात वाली संख्या। दशमलव वाली संख्या 1 और 10 के बीच में है। अब यह देखते हैं कि संख्या 1×10 के वर्गमूल अर्थात् $\sqrt{1 \times 10} = 3.16$ से छोटी है अथवा बड़ी। यदि यह संख्या 3.16 से छोटी या बराबर है तो दी गई संख्या का कोटिमान 10 की घात वाली संख्या के बराबर होगा। और यदि बड़ी है तो दी गई संख्या का कोटिमान 10 की घात वाली संख्या में 1 घात बढ़ाने पर प्राप्त होगा।

अत: किसी भी संख्या का कोटिमान 3.16 पर निर्भर करता है।

उदाहरण– 5.61×10^3 में 5.61, 3.16 से बड़ा है। अत: इसका कोटिमान $10^{3+1} = 10^4$ होगा तथा 2.33×10^2 का कोटिमान 10^2 ही होगा क्योंकि 2.33, 3.16 से छोटा है।

प्रश्न 3. सार्थक अंक किसे कहते हैं? इनकी क्या विशेषताएँ हैं? किसी संख्या के सार्थक अंक ज्ञात करने के नियम लिखिए।

उत्तर– "किसी भी मापक द्वारा प्राप्त राशि की माप में वे अंक जो मापक यंत्र की यथार्थता के अंतर्गत उस राशि के मान को व्यक्त करते हैं, सार्थक अंक कहलाते हैं।"

विशेषताएँ– सार्थक अंकों की विशेषताएँ निम्नलिखित हैं–

(i) किसी मापी गई राशि में सार्थक अंकों की संख्या मापक यंत्र की अल्पतमांक पर निर्भर करती है।

(ii) दशमलव बिन्दु की स्थिति का सार्थक अंकों पर कोई प्रभाव नहीं पड़ता।

(iii) किसी माप में सार्थक अंकों की संख्या जितनी अधिक होगी, वह माप उतनी ही अधिक यथार्थ होगी।

(iv) किसी माप में सार्थक अंक जितने अधिक होंगे, उसकी माप में प्रतिशत त्रुटि उतनी ही कम होगी।

नियम–

(i) सभी अशून्य अंक सार्थक अंक कहलाते हैं; जैसे– 4.324 में 4 सार्थक अंक हैं।

(ii) दो अशून्य अंकों के बीच समस्त शून्य सार्थक अंक कहलाते हैं; जैसे– 8.405 में 4 सार्थक अंक हैं।

(iii) दशमलव बिन्दु से पूर्व यदि कोई अशून्य अंक नहीं है, तो दशमलव बिन्दु के तुरन्त बाद के शून्यों को छोड़कर संख्या में जितने अंक हैं, वे सभी सार्थक अंक होंगे; जैसे–0.001206 में 4 सार्थक अंक हैं।

(iv) यदि दशमलव अंक से पूर्व कोई अशून्य अंक है तो दशमलव के बाद शून्य या अन्य अंक रहने पर भी सभी सार्थक अंक होते हैं।

जैसे– 3.0017 में 5 सार्थक अंक हैं।

(v) दशमलव बिंदु के दाईं ओर किसी अशून्य अंक के बाद का शून्य सार्थक अंक होता है; जैसे– 0.4650 में 4 सार्थक अंक है।

प्रश्न 4. मापन यंत्र की अल्पतमांक तथा यथार्थता पर प्रकाश डालिए।

उत्तर– भौतिक विज्ञान के अंतर्गत वस्तुओं की सही माप-तोल होना आवश्यक होता है। अत: इसके लिए अनेक मापक यंत्रों का प्रयोग किया जाता है। प्रत्येक मापक यंत्र की यथार्थता की एक सीमा होती है अर्थात् उस यंत्र द्वारा ली गई माप एक सीमा तक ही यथार्थ हो सकती है। यह सीमा उस मापक यंत्र की अल्पतमांक कहलाती है।

उदाहरणस्वरूप किसी छड़ की वास्तविक लंबाई 3.46 सेमी है। इस लंबाई को मीटर-स्केल पर मापने पर यह 3.4 सेमी से कुछ आगे तथा 3.5 सेमी से कुछ पीछे रहेगी।

हम जानते हैं कि पैमाने पर 1 मिमी से छोटे विभाजन चिह्न नहीं हैं। अत: स्थिति की यथार्थता का पता नहीं चलता। मीटर-स्केल की अल्पतमांक 1 मिमी होती है। वर्नियर कैलिपर्स की अल्पतमांक 0.1 मिमी होती है तथा घड़ी की अल्पतमांक 1 सेकंड होती है। स्क्रूगेज की अल्पतमांक 0.01 मिमी होती है। इस प्रकार हम कह सकते हैं कि प्रत्येक यंत्र की यथार्थता की एक निश्चित सीमा होती है। यह उस यंत्र की अल्पतमांक होती है। किसी भी माप को व्यक्त करने के लिए मापों को दशमलव के बाद उतने ही स्थानों तक रखना चाहिए, जहाँ तक उन्हें यथार्थतापूर्वक मापक यंत्र से मापा जा सके।

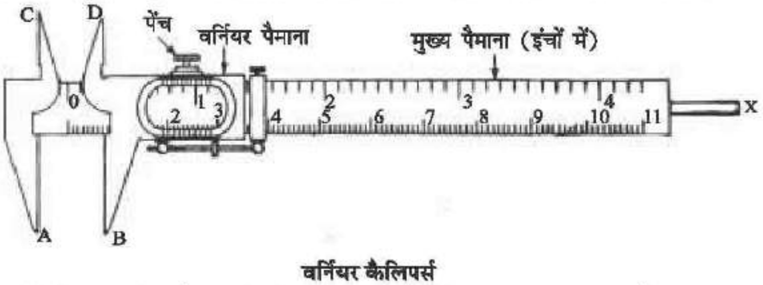
उदाहरणस्वरूप- वर्नियर कैलिपर्स से किसी भी वस्तु को नापने पर लंबाई को सेमी में दशमलव के बाद दो स्थानों तक ही व्यक्त करना चाहिए। स्क्रूगेज से नापने पर लंबाई को सेमी में दशमलव के बाद तीन स्थानों तक व्यक्त करना चाहिए। क्योंकि स्क्रूगेज की यथार्थता की सीमा सेमी में दशमलव के तीन स्थानों तक ही होती है।

प्रश्न 5. वर्नियर कैलिपर्स का क्या सिद्धांत है? इसकी रचना, क्रिया-विधि का सचित्र वर्णन कीजिए।

उत्तर- **सिद्धान्त-** इस सिद्धान्त के अनुसार, "वर्नियर पैमाने पर अंकित n भागों की लंबाई मुख्य पैमाने पर अंकित $(n-1)$ भागों की कुल लंबाई के बराबर होती है।"

$$\text{वर्नियर का अल्पतमांक} = \frac{\text{मुख्य पैमाने के एक भाग का मान}}{\text{वर्नियर पैमाने पर अंकित कुल भागों की संख्या}}$$

रचना- इस यंत्र में मुख्य पैमाना एक लोहे की पट्टी पर बना होता है, जिसमें एक किनारे पर सेमी तथा मिमी के चिह्न बने होते हैं और दूसरे किनारे पर इंच एवं उसके दसवें भाग बने होते हैं और वर्नियर पैमाना उस पर खिसकने वाली दूसरी लोहे की पट्टी पर बना होता है। ज्यादातर वर्नियर पैमाने के दस भाग लंबाई में मुख्य पैमाने के नौ भागों के बराबर होते हैं। मुख्य पैमाना और वर्नियर के बाईं तरफ के सिरों पर दो भुजाएँ लंबाई के साथ समकोण बनाती हुई लगी होती हैं। भुजाओं के सिरे A, B बाहरी मोटाई नापने के लिए और C, D किसी खोखली वस्तु का भीतरी व्यास नापने के लिए होते हैं। A, B तथा C, D सिरे यंत्र के जबड़े कहलाते हैं। पट्टी X किसी बर्तन की गहराई नापने के लिए होती है। जिस समय A और B तथा C और D एक-दूसरे को स्पर्श करते हैं, उस समय मुख्य पैमाना और वर्नियर दोनों के शून्य चिह्न एक ही सीध में होते हैं परंतु कभी-कभी मुख्य पैमाना और वर्नियर दोनों के शून्य बिल्कुल एक सीध में नहीं होते हैं बल्कि उनमें कुछ अंतर होता है। दोनों शून्य के इस अंतर को **शून्यांक त्रुटि** कहते हैं। नाप शुरू करने से पहले शून्यांक त्रुटि को वर्नियर की सहायता से पढ़ना अति आवश्यक होता है।



वर्नियर कैलिपर्स

कार्यविधि- वर्नियर कैलिपर्स को तीन तरह से प्रयोग किया जा सकता है-

(i) **अल्पतमांक ज्ञात करना-** वर्नियर कैलिपर्स की अल्पतमांक ज्ञात करने के लिए उसके दोनों पैमाने के शून्य एक सीध में करके देखते हैं कि वर्नियर के कितने भागों की लंबाई मुख्य पैमाने के कितने भागों की लम्बाई के बराबर होती है। इसकी गणना के बाद मुख्य पैमाने के एक भाग और वर्नियर के एक भाग की लंबाई का अंतर ज्ञात करते हैं। यही वर्नियर की अल्पतमांक $\frac{S}{n}$ होती है।

(ii) **वर्नियर कैलीपर्स की शून्यांक-त्रुटि ज्ञात करना-** इसके लिए दोनों पैमानों के जबड़ों को आपस में स्पर्श कराते हैं और यह देखते हैं कि दोनों पैमानों के शून्यांक एक सीध में है या नहीं। यदि नहीं तो यंत्र में शून्यांक-त्रुटि है।

यह धनात्मक शून्यांक-त्रुटि या ऋणात्मक शून्यांक-त्रुटि होती है।

$$\text{शून्यांक-त्रुटि} = \text{वर्नियर का पढ़ा गया चिह्न} \times \text{अल्पतमांक}$$

(iii) **दी गई वस्तु की लंबाई अथवा व्यास नापना–** वस्तु की लंबाई नापने के लिए उसे दोनों भुजाओं के बीच जबड़ों में इस प्रकार पकड़ते हैं कि वह उस वस्तु को ठीक-ठीक स्पर्श करती रहे और वस्तु न ही अधिक ढीली हो न अधिक कड़ी हो। जबड़ों A और B के बीच जितनी दूरी होगी, उतनी ही मुख्य और वर्नियर के पैमाने के शून्यांकों के बीच होगी। अब इस दूरी को पढ़ लेते हैं, जो मुख्य पैमाने की माप कहलाती है। अब देखते हैं कि वर्नियर का कौन-सा चिह्न मुख्य पैमाने की सीध में है। वर्नियर के इस चिह्न को वर्नियर के अल्पतमांक से गुणा कर देते हैं जिसे वर्नियर की माप कहते हैं और मुख्य तथा वर्नियर की माप को जोड़ देते हैं जो वस्तु की अभीष्ट प्रेक्षित लंबाई होती है।

प्रश्न 6. वर्नियर कैलिपर्स की कार्यविधि विस्तारपूर्वक समझाइए।

उत्तर– **कार्यविधि–**

(i) **अल्पतमांक ज्ञात करना–** वर्नियर कैलिपर्स की अल्पतमांक ज्ञात करने के लिए उसके दोनों पैमाने के शून्य एक सीध में करके यह देखते हैं कि वर्नियर के कितने भागों की लंबाई मुख्य पैमाने के कितने भागों की लंबाई के बराबर है। इसकी गणना करने के बाद मुख्य पैमाने के एक भाग और वर्नियर के एक भाग की लंबाई का अंतर ज्ञात करते हैं। यही वर्नियर की अल्पतमांक $\frac{S}{n}$ होती है।

(ii) **वर्नियर कैलिपर्स की शून्यांक-त्रुटि ज्ञात करना–** शून्यांक-त्रुटि ज्ञात करने के लिए दोनों पैमानों के जबड़ों को आपस में स्पर्श कराते हैं और यह देखते हैं कि दोनों पैमानों के शून्यांक एक सीध में हैं या नहीं। यदि नहीं तो यंत्र में शून्यांक-त्रुटि है। यह दो प्रकार की होती है—

(a) **धनात्मक शून्यांक-त्रुटि ज्ञात करना–** यदि दोनों जबड़ों को मिलाने पर वर्नियर का शून्यांक मुख्य पैमाने के शून्यांक के दाईं ओर हो तो शून्यांक-त्रुटि धनात्मक (+) होती है।

(b) **ऋणात्मक शून्यांक-त्रुटि–** यदि दोनों जबड़ों को मिलाने पर वर्नियर का शून्यांक मुख्य पैमाने के शून्यांक के बाईं ओर हो तो शून्यांक-त्रुटि ऋणात्मक (–) होती है।

(iii) **दी गई वस्तु की लंबाई अथवा व्यास नापना–** जिस वस्तु की लंबाई वर्नियर कैलिपर्स द्वारा नापनी है, उसे दोनों भुजाओं के बीच जबड़ों में इस प्रकार पकड़ लेते हैं कि वे उस वस्तु को ठीक-ठीक स्पर्श करती रहें अर्थात् वस्तु न तो अधिक कड़ी हो और न ही अधिक ढीली हो। जबड़ों A और B के बीच जितनी दूरी होगी, उतनी ही मुख्य पैमाने और वर्नियर पैमाने के शून्यांकों के बीच होगी। अब वह चिह्न पढ़ लेते हैं जो वर्नियर पैमाने के शून्यांक से ठीक पहले है। यही चिह्न मुख्य पैमाने का पाठ होता है। अब अपनी दृष्टि दोनों पैमानों के साथ-साथ दाईं तरफ दौड़ाते हैं और देखते हैं कि वर्नियर कैलीपर्स का कौन-सा चिह्न मुख्य पैमाने के चिन्ह के ठीक सीध में है। वर्नियर पैमाने के इस चिह्न की संख्या को वर्नियर की अल्पतमांक से गुणा कर देते हैं, जिससे वर्नियर पैमाने का पाठ आ जाता है। इसे मुख्य पैमाने के पाठ में जोड़ देते हैं। यह वस्तु की अभीष्ट प्रेक्षित लंबाई होती है।

प्रश्न 7. पेंचमापी (स्क्रूगेज) का सिद्धांत लिखिए। स्क्रूगेज की रचना का सचित्र वर्णन कीजिए।

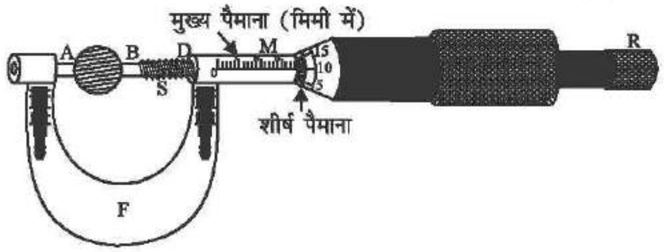
उत्तर– **सिद्धान्त–** पेंच या स्क्रू एक बेलनाकार छड़ होती है, जिस पर समान दूरी पर एक समान चूड़ियाँ कटी होती हैं। छड़ का एक सिरा नुकीला तथा दूसरे सिरे पर छड़ को घुमाने के लिए बेलन होता है, जिसे **स्क्रूशीर्ष** कहते हैं।

"पेंच की नोक द्वारा चली गई रैखिक दूरी पेंच के शीर्ष को दिए गए चक्करों की संख्या की समानुपाती होती है तथा पेंच के शीर्ष के एक पूरे चक्कर के लिए इसका मान नियत होता है।

चूड़ी अंतराल– पेंच के शीर्ष को एक पूरा चक्कर घुमाने में पेंच की नोंक जितना आगे या पीछे विस्थापित होती है, उस दूरी को पेंच का चूड़ी-अंतराल कहते हैं। इसे 'S' से प्रदर्शित करते हैं।

पेंच का अल्पतमांक– वह छोटी-से-छोटी दूरी है, जिसे पेंच द्वारा यथार्थता से नाप सकते हैं। अत: इस न्यूनतम दूरी को पेंच का अल्पतमांक कहते हैं।

$$\text{पेंच का अल्पतमांक} = \frac{\text{पेंच का चूड़ी-अन्तराल}(S)}{\text{पेंच के वृत्तीय पैमाने पर बने भागों की संख्या}\ (n)}$$



स्क्रूगेज पेंचमापी

रचना– स्क्रूगेज (पेंचमापी) अंग्रेजी के अक्षर U के आकार का लोहे का ढाँचा F होता है। इस ढाँचे के बाएँ सिरे पर लोहे की एक छड़ A लगी होती है, जिसका सिरा समतल होता है। इसे स्टड कहते हैं। ढाँचे के दाएँ सिरे पर एक ढिबरी D लगी होती है। इस ढिबरी के अंदर पेंचदार चूड़ियाँ कटी होती हैं। इस ढिबरी से एक खोखला बेलन M जुड़ा रहता है, जिस पर मिमी के चिह्न बने होते हैं। यह यंत्र का मुख्य पैमाना कहलाता है। खोखले बेलन M पर एक दूसरा खोखला बेलन C लगा होता है। इसको रैचेट R द्वारा मुख्य पैमाने M पर आगे या पीछे चलाया जा सकता है। बेलन C के बाएँ सिरे की परिधि सामान्यत: 50 या 100 भागों में बँटी रहती है। इसे वृत्तीय पैमाना या शीर्ष पैमाना कहते हैं।

ढिबरी D से होकर एक पेंच S रैचेट R की सहायता से आगे या पीछे चलाया जा सकता है। ढिबरी तथा पेंच में एक जैसी चूड़ियाँ कटी होती हैं। पेंच S का दूसरा सिरा अंदर से बेलन C से जुड़ा होता है जब रैचेट R को घुमाया जाता है, तो बेलन C भी घूमता है और पेंच S आगे-पीछे गति करता है। रैचेट की सहायता से पेंच C को अनावश्यक रूप से घुमाने की आवश्यकता नहीं पड़ती। क्योंकि जब पेंच का अगला सिरा B छड़ के समतल सिरे A को स्पर्श करता है तो और अधिक घुमाने से रैचेट तो घूम जाता है परंतु पेंच आगे नहीं बढ़ता है। इससे स्पर्श करने वाले तलों के बीच अधिक दबाव नहीं पड़ता है और लंबाई का यथार्थ मापन कर लिया जाता है।

प्रश्न 8. स्क्रूगेज की कार्यविधि समझाइए।

उत्तर– कार्यविधि–

(i) **स्क्रूगेज का अल्पतमांक ज्ञात करना–** स्क्रूगेज का अल्पतमांक ज्ञात करने के लिए सर्वप्रथम स्क्रूगेज के पेंच का चूड़ी अंतराल ज्ञात करते हैं। शीर्ष पैमाने को 4 या 6 चक्कर घुमाने पर पता चलता है कि यह मुख्य पैमाने पर कितना आगे या पीछे चलता है। इससे ज्ञात होता है कि पेंच 1 चक्कर में कितना आगे या पीछे चलता है। यह दूरी चूड़ी-अंतराल कहलाती है। प्राय: इसका मान 1 मिमी या 0.5 मिमी होता है। चूड़ी-अंतराल को शीर्ष पैमाने (वृत्तीय पैमाने) पर अंकित कुल भागों की संख्या से भाग देकर अल्पतमांक ज्ञात कर लेते हैं।

(ii) **शून्यांक-त्रुटि ज्ञात करना-** इसके लिए शीर्ष को रैचेट की सहायता से इतना घुमाते हैं कि पेंच का समतल सिरा *B* छड़ के समतल सिरे *A* से स्पर्श कर जाए। इस दशा में यदि शीर्ष पैमाने की शून्यांक रेखा मुख्य पैमाने की शून्यांक रेखा के ठीक सामने है तो यंत्र में शून्यांक-त्रुटि नहीं है, यदि दोनों शून्यांक एक सीध में नहीं मिलते तो यंत्र में शून्यांक-त्रुटि होती है।

यदि वृत्ताकार पैमाने की शून्यांक रेखा, मुख्य पैमाने की आधार रेखा के दाईं ओर रह जाती है, तो धनात्मक शून्यांक-त्रुटि होती है और यदि वृत्ताकार पैमाने की शून्यांक रेखा, मुख्य पैमाने की आधार रेखा के बाईं ओर रह जाती है, तो ऋणात्मक शून्यांक-त्रुटि होती है।

शून्यांक-त्रुटि संशोधन- किसी भी लंबाई या व्यास के यथार्थ मान को ज्ञात करने के लिए शून्यांक-त्रुटि को सदैव प्रेक्षित मान में से चिह्न सहित घटा लिया जाता है।

(iii) **स्क्रूगेज द्वारा किसी पतली वस्तु की मोटाई अथवा किसी तार का व्यास ज्ञात करना-** जिस वस्तु की मोटाई अथवा व्यास ज्ञात करना होता है उसे पेंच *S* से *B* तथा *A* समतलों के बीच में रखकर, रैचेट *R* द्वारा पेंच को इतना घुमाते हैं कि वस्तु दोनों तलों के बीच हल्के से दब जानी चाहिए। इस स्थिति में रैचेट किर्र-किर्र की आवाज के साथ अपने ही स्थान पर घूमने लगता है। अब मुख्य पैमाने पर अंतिम दिखाई देने वाले चिह्न को पढ़ लेते हैं। साथ ही मुख्य पैमाने की आधार रेखा की सीध में रहने वाले वृत्ताकार पैमाने के चिह्न को भी ज्ञात करते हैं। इस चिह्न संख्या को यंत्र के अल्पतमांक से गुणा करके वृत्ताकार पैमाने का पाठ्यांक ज्ञात कर लेते हैं। इसे मुख्य पैमाने के पाठ्यांक में जोड़कर प्रेक्षित माप ज्ञात करते हैं।

यदि कोई शून्यांक त्रुटि है, तो चिह्न सहित प्रेक्षित माप में से घटा देने पर वस्तु की यथार्थ मोटाई ज्ञात हो जाती है।

प्रेक्षित व्यास = मुख्य पैमाने की माप + (शीर्ष पैमाने पर पढ़ा गया चिह्न × अल्पतमांक)

वास्तविक व्यास = प्रेक्षित व्यास − (± शून्यांक त्रुटि)

▶ लघु उत्तरीय प्रश्न

प्रश्न 1. कोटिमान कैसे ज्ञात किया जा सकता है?

उत्तर- किसी राशि अथवा संख्या का कोटिमान ज्ञात करने के लिए सबसे पहले उस संख्या को 10 की घात के रूप में इस प्रकार लिखते हैं कि संख्या का एक अंक दशमलव बिंदु से पहले हो तथा शेष अंक दशमलव बिंदु के बाद हो; जैसे 339 को 3.39×10^2 के रूप में, 0.00429 को 4.29×10^{-3} के रूप में आदि।

प्रश्न 2. सार्थक अंक की प्रतिशत त्रुटि से आप क्या समझते हैं?

उत्तर- किसी माप में सार्थक अंक जितने अधिक होंगे उसकी माप में प्रतिशत त्रुटि उतनी ही कम होगी अथवा सार्थक अंक जितन कम होंगे उसकी माप में प्रतिशत त्रुटि उतनी ही बढ़ेगी।

प्रश्न 3. सार्थक अंक में संदिग्ध अंक की क्या भूमिका है?

उत्तर- सार्थक अंक में किसी भी संदिग्ध अंक के स्थान पर ज्ञात अंक लिखने पर उत्तर भी अज्ञात ही रहता है। यदि हम किसी गुटके की लंबाई वर्नियर कैलीपर्स द्वारा 3.63 सेमी मापते हैं तो इसमें अंतिम अंक 3 संदिग्ध है क्योंकि यदि लंबाई 3.61 सेमी व 3.64 सेमी के बीच कुछ भी हो, वह 3.63 सेमी ही मानी जाएगी। इस प्रकार अंतिम अंक 3 लंबाई के संबंध में अनुमान देता है। अतः यह संदिग्ध अंक कहा जाएगा।

प्रश्न 4. किसी संख्या के सार्थक अंक किस प्रकार ज्ञात किए जा सकते हैं?

उत्तर– सभी अशून्य अंक तथा दो अशून्य अंकों के बीच समस्त शून्य अंक सार्थक अंक कहलाते हैं। अगर दशमलव के तुरंत पहले तथा बाद में कोई भी अशून्य अंक नहीं है तो दशमलव के तुरन्त बाद के शून्य को छोड़कर जितने अंक शेष हैं वे सार्थक अंक कहलाते हैं।

प्रश्न 5. मापन में सार्थक अंकों का क्या महत्व है?

उत्तर– भौतिकी अध्ययन में सार्थक अंकों का विशेष महत्व है। किसी भी माप को लिखते समय यह निश्चित कर लेना आवश्यक है कि वह माप विश्वसनीय है कि नहीं। इसलिए उसे सार्थक अंकों में व्यक्त करना चाहिए। ऐसा न करने पर अशुद्ध परिणाम प्राप्त होते हैं। सार्थक अंकों की संख्या मापन की शुद्धता पर निर्भर करती है। शुद्धता बढ़ने पर सार्थक अंक बढ़ जाते हैं।

प्रश्न 6. मापन यंत्र की अल्पतमांक के विषय में समझाइए।

उत्तर– किसी भी मापन यंत्र द्वारा ली गई माप एक सीमा तक ही यथार्थ हो सकती है। यह सीमा उस मापक यंत्र की अल्पतमांक कहलाती है।

प्रश्न 7. वर्नियर का सिद्धांत बताइए।

उत्तर– वर्नियर पैमाने पर अंकित n भागों की लंबाई मुख्य पैमाने पर अंकित $(n-1)$ भागों की कुल लंबाई के बराबर होती है।

$$(S-V)=\frac{S}{n}=\frac{\text{मुख्य पैमाने के एक भाग का मान}}{\text{वर्नियर पैमाने के कुल भागों की संख्या}}$$

प्रश्न 8. वर्नियर कैलिपर्स की शून्यांक त्रुटि किस प्रकार ज्ञात की जा सकती है?

उत्तर– वर्नियर कैलिपर्स के दोनों पैमानों के जबड़ों को आपस में स्पर्श कराने पर यदि दोनों पैमाने के शून्यांक एक सीध में न हो तो यंत्र में शून्यांक त्रुटि होती है। यह त्रुटि धनात्मक या ऋणात्मक हो सकती है।

प्रश्न 9. वर्नियर कैलिपर्स द्वारा किसी वस्तु की लंबाई अथवा व्यास का मापन किस प्रकार किया जा सकता है?

उत्तर– जिस वस्तु की लंबाई वर्नियर कैलिपर्स द्वारा मापनी है, उसे दोनों भुजाओं के बीच जबड़ों में इस प्रकार पकड़ लेते हैं कि वे उस वस्तु को ठीक-ठीक स्पर्श करती रहें अर्थात् वह वस्तु पकड़ते समय न तो ढीली हो और न ही बहुत कड़ी हो। जबड़ों A और B के बीच में जितनी दूरी होगी, उतनी ही मुख्य तथा वर्नियर पैमानों के शून्यांकों के बीच होगी। मुख्य पैमाने के उस चिह्न को पढ़ लेते हैं, जो वर्नियर पैमाने के शून्यांक से ठीक पहले है। इस चिह्न को पढ़ने से मुख्य पैमाने का पाठ आ जाता है। अब देखते है कि वर्नियर पैमाने का कौन-सा चिह्न मुख्य पैमाने के चिह्न की ठीक सीध में है। वर्नियर पैमाने के इस चिह्न की संख्या को वर्नियर के अल्पतमांक से गुणा कर देते हैं, जिससे वर्नियर पैमाने का पाठ आ जाता है। इसे मुख्य पैमाने के पाठ में जोड़ देते हैं। यह वस्तु की अभीष्ट प्रेक्षित लंबाई होती है।

प्रश्न 10. स्क्रूगेज (पेंचमापी) का सिद्धांत लिखिए।

उत्तर– पेंच की नोक द्वारा चली गई रैखिक दूरी पेंच के शीर्ष को दिए गए चक्करों की संख्या की समानुपाती होती है तथा पेंच के शीर्ष के एक पूरे चक्कर के लिए इसका मान नियत होता है।

प्रश्न 11. स्क्रूगेज के चूड़ी अंतराल तथा अल्पतमांक के विषय में उदाहरण सहित समझाइए।

उत्तर– **चूड़ी अन्तराल–** पेंच के शीर्ष को एक पूरा चक्कर घुमाने में पेंच की नोक जितने आगे या पीछे विस्थापित होती है, उस दूरी को पेंच का चूड़ी-अंतराल कहते हैं।

अल्पतमांक– वह छोटी-से-छोटी दूरी, जिसे पेंच द्वारा यथार्थता से नाप सकते हैं, उस न्यूनतम दूरी को पेंच का अल्पतमांक कहते हैं।

उदाहरण– माना पेंच का सिरा एक चक्कर घुमाने में 1 मिमी आगे या पीछे चलता है तथा पेंच की परिधि 100 भागों में विभाजित है, तो

$$\text{पेंच का अल्पतमांक} = \frac{\text{पेंच का चूड़ी - अन्तराल}(S)}{\text{पेंच के वृत्तीय पैमाने पर बने भागों की संख्या } (n)}$$

$$= \frac{s}{n} = \frac{1\text{ मिमी}}{100} = \frac{0.1\text{ सेमी}}{100} = 0.001 \text{ सेमी}$$

प्रश्न 12. स्क्रूगेज की शून्यांक त्रुटि किस प्रकार ज्ञात की जा सकती है?

उत्तर– इसके लिए शीर्ष को रैचेट की सहायता से इतना घुमाते हैं कि पेंच का समतल सिरा B छड़ के समतल सिरे A से स्पर्श कर जाए। इस दशा में यदि शीर्ष पैमाने की शून्यांक रेखा मुख्य पैमाने की शून्यांक रेखा के ठीक सामने है तो यंत्र में शून्यांक त्रुटि नहीं है। यदि दोनों शून्यांक एक सीध में नहीं मिलते तो यंत्र में शून्यांक-त्रुटि होती है।

प्रश्न 13. स्क्रूगेज द्वारा किसी पतली वस्तु की मोटाई या किसी तार का व्यास किस प्रकार ज्ञात किया जा सकता है?

उत्तर– जिस वस्तु की मोटाई अथवा व्यास ज्ञात करना होता है उसे पेंच S से B तथा A समतलों के बीच में रखकर रैचेट R द्वारा पेंच को इतना घुमाते हैं कि वस्तु दोनों तलों के बीच हल्के से दब जानी चाहिए। इस स्थिति में रैचेट किर्र-किर्र की आवाज के साथ अपने ही स्थान पर घूमने लगता है। अब मुख्य पैमाने पर अन्तिम दिखाई देने वाले चिह्न को पढ़ लेते हैं। साथ ही मुख्य पैमाने की आधार रेखा की सीध में रहने वाले वृत्ताकार पैमाने के चिह्न को भी ज्ञात कर लेते हैं। इसे चिह्न संख्या को यंत्र के अल्पतमांक से गुणा करके वृत्ताकार पैमाने का पाठ्यांक ज्ञात कर लेते हैं। इसे मुख्य पैमाने के पाठ्यांक में जोड़कर प्रेक्षित माप ज्ञात कर लेते हैं।

यदि यंत्र में कोई शून्यांक त्रुटि है तो चिह्न सहित प्रेक्षित माप में से घटा देने पर वस्तु की यथार्थ मोटाई ज्ञात की जाती है।

प्रश्न 14. वर्नियर कैलिपर्स तथा स्क्रूगेज के उपयोग लिखिए।

उत्तर– **वर्नियर कैलिपर्स का उपयोग–** किसी छड़ की लंबाई, गोले का बाहरी व्यास, नली का आंतरिक व्यास तथा खोखले बेलने की गहराई ज्ञात कर सकते हैं।

स्क्रूगेज का उपयोग– इसका उपयोग छोटी-छोटी लंबाइयाँ; जैसे—पतले तार का व्यास आदि नापने में किया जाता है। यह यंत्र 1 मिमी के दूसरे दशमलव तक यथार्थता से माप कर सकता है।

प्रश्न 15. स्क्रूगेज की 'पिच्छट-त्रुटि' पर एक संक्षिप्त टिप्पणी लिखिए।

उत्तर– पेंचमापी को अधिक समय तक प्रयोग में लाने से पेंच की तथा ढिबरी की चूड़ियाँ घिस जाती हैं, जिससे पेंच ढिबरी में ढीला पड़ जाता है। ऐसी स्थिति में पेंच के शीर्ष को एक दिशा में घुमाते-घुमाते यदि विपरीत दिशा में घुमने लगे तो पेंच तुरन्त ही विपरीत दिशा में नहीं चलने लगता बल्कि थोड़ी देर के लिए रुक-रुक कर अपने ही स्थान पर घूमता रहता है, जबकि उसके शीर्ष का पाठ्यांक बराबर बदल रहा है। पेंच के अपने ही स्थान पर रुके रहने की अवधि में शीर्ष के पाठ्यांक में जो परिवर्तन होता है, उसे **'पिच्छट-त्रुटि'** कहते हैं।

पिच्छट-त्रुटि से बचने के लिए, माप लेते समय पेंच को सदैव एक ही दिशा में चलाना चाहिए। यदि कभी पेंच एक दिशा में अधिक चल गया हो तथा इसे पीछे हटाना आवश्यक हो तब उसे काफी अधिक दूरी तक पीछे हटा लेना चाहिए तथा पुन: आगे बढ़ाकर पाठ लेना चाहिए।

▶ अतिलघु उत्तरीय प्रश्न

(इसके लिए अपनी पाठ्य-पुस्तक में पृष्ठ संख्या 33 देखें।)

▶ आंकिक प्रश्न

प्रश्न 1. 3.67×10^{-13} का कोटिमान ज्ञात कीजिए।

हल: 3.67×10^{-13} [$\because 3.67 > 3.16$]

$= 10^{-13+1} = 10^{-12}$ उत्तर

प्रश्न 2. किसी पदार्थ का द्रव्यमान 7.03×10^{-20} किग्रा है। इसका कोटिमान ज्ञात कीजिए।

हल: 7.03×10^{-20} किग्रा [$\because 7.03 > 3.16$]

$= 10^{-20+1}$ किग्रा $= 10^{-19}$ किग्रा उत्तर

प्रश्न 3. यूरेनियम के एक परमाणु का औसत द्रव्यमान 3.7×10^{-22} ग्राम है। यूरेनियम के एक ग्राम के पिंड में यूरेनियम के परमाणु की संख्या ज्ञात कीजिए।

हल: 3.7×10^{-22} ग्राम [$\because 3.7 > 3.16$]

$= 10^{-22+1}$ ग्राम $= 10^{-21}$ ग्राम उत्तर

प्रश्न 4. 6834 का कोटिमान क्या होगा?

हल: $6834 = 6.834 \times 10^{3}$ [$\because 6.834 > 3.16$]

$= 10^{3+1} = 10^{4}$ उत्तर

प्रश्न 5. 0.0065 तथा $\frac{1}{17630}$ के कोटिमान ज्ञात कीजिए।

हल: $0.0065 = 6.5 \times 10^{-3}$ [$\because 6.5 > 3.16$]

$= 10^{-3+1} = 10^{-2}$ उत्तर

$\frac{1}{17630} = 0.567 \times 10^{-4} = 5.6 \times 10^{-5}$ [$\because 5.67 > 3.16$]

$= 10^{-5+1} = 10^{-4}$ उत्तर

प्रश्न 6. किसी प्रकाश की तरंगदैर्ध्य $5900 \mathring{A}$ है। उसे सेमी में व्यक्त करके उसका कोटिमान बताइए।

हल: $1 \mathring{A} = 10^{-10}$ मीटर $= 10^{-8}$ सेमी [$\because$ 1 मी॰ > 10^{2} सेमी]

$5900 \mathring{A} = 9.0 \times 10^{3} \times 10^{-8}$ सेमी

$= 5.9 \times 10^{-5}$

$= 10^{-5+1} = 10^{-4}$ [$\because 5.9 > 3.16$] उत्तर

प्रश्न 7. किसी घनाभ की कोर 2.7 सेमी $\times$ 1.7 सेमी $\times$ 0.2 मीटर है। घनाभ का आयतन उचित सार्थक अंकों तक ज्ञात कीजिए।

हल: घनाभ का आयतन = 2.7 सेमी $\times$ 1.7 सेमी $\times$ 0.2 मीटर

= 2.7 सेमी $\times$ 1.7 सेमी $\times$ 20 सेमी = 91.8 सेमी^{3}

= 9.2×10^1 सेमी^{3} (लगभग)

अत: सार्थक अंक = 9.2 **उत्तर**

प्रश्न 8. $4.23 \times 10^5 + 3.12 \times 10^6 + 6.053 \times 10^6$ का योगफल सार्थक अंकों में ज्ञात कीजिए।

हल: सार्थक अंक $= 4.23 \times 10^5 + 3.12 \times 10^6 + 6.053 \times 10^6$

$= 0.423 \times 10^6 + 3.12 \times 10^6 + 6.053 \times 10^6$

$= (0.423 + 3.12 + 6.053) \times 10^6$

$= 9.596 \times 10^6 = 9.59 \times 10^6$

अत: सार्थक अंक = 9.59×10^6 **उत्तर**

प्रश्न 9. 172.4 किग्रा में से 98.767 ग्राम घटाइए। उत्तर सहित सार्थक अंकों में ज्ञात कीजिए।

हल: 172.4 किग्रा = 172.4×10^3 ग्राम = 172400 ग्राम

सार्थक अंक = 172400 − 98.767

= 172301.2 ग्राम = 172.3×10^3 ग्राम

अत: सार्थक अंक = 172.3 किग्रा **उत्तर**

प्रश्न 10. 146×3.25 का मान सार्थक अंकों में ज्ञात कीजिए।

हल: सार्थक अंक = $146 \times 3.25 = 474.5$

अत: सार्थक अंक = 474 **उत्तर**

प्रश्न 11. एक वृत्त का व्यास 4.9 सेमी है। इसका क्षेत्रफल सार्थक अंकों में ज्ञात कीजिए।

हल: व्यास = 4.9 सेमी

त्रिज्या $= \frac{\text{व्यास}}{2} = \frac{4.9}{2}$ सेमी = 2.45 सेमी

क्षेत्रफल = $\pi \times$ (त्रिज्या)^2

$= \frac{22}{7} \times 2.45 \times 2.45 = 18.86$ सेमी^{2}

अत: सार्थक अंक = 18.9 सेमी^{2} **उत्तर**

प्रश्न 12. 15.25 मीटर, 7.8 सेमी तथा 25.87 मीटर का योगफल ज्ञात करके उत्तर सार्थक अंकों में ज्ञात कीजिए।

हल: = 15.25 मीटर + 7.8 सेमी + 25.87 मीटर

= 15.25 मीटर + 0.078 मीटर + 25.87 मीटर

= 41.198 मीटर

अत: सार्थक अंक = 41.19 मीटर **उत्तर**

प्रश्न 13. एक वर्नियर पैमाने के 40 भागों की लंबाई 39 भागों के बराबर है। यदि मुख्य पैमाने का 1 सेमी 10 बराबर भागों में अंकित है तो यंत्र की अल्पतमांक ज्ञात कीजिए।

हलः मुख्य पैमाने पर 1 सेमी में 10 विभाजन है। अतः मुख्य पैमाने के 1 भाग का मान $= \frac{1}{10}$ सेमी = 0.1 सेमी

$$\text{अल्पतमांक} = \frac{\text{मुख्य पैमाने के 1 भाग का मान}}{\text{वर्नियर पैमाने पर भागों की संख्या}} = \frac{0.1}{40}$$

$= 0.0025$ सेमी **उत्तर**

प्रश्न 14. मुख्य पैमाने के एक भाग की लंबाई 0.01 मिमी है। वर्नियर पैमाने के 20 खाने मुख्य पैमाने के 19 खानों के बराबर हैं। वर्नियर की अल्पतमांक ज्ञात कीजिए।

हलः $\text{अल्पतमांक} = \frac{\text{मुख्य पैमाने के 1 भाग का मान}}{\text{वर्नियर पैमाने पर भागों की संख्या}}$

$= \frac{0.01}{20}$ मिमी $= 0.0005$ मिमी **उत्तर**

प्रश्न 15. किसी स्क्रूगेज में दो निकटतम चूड़ियों के बीच की दूरी 0.01 सेमी है तथा वृत्तीय पैमाना 100 बराबर भागों में विभाजित है। पेंचमापी की अल्पतमांक ज्ञात कीजिए।

हलः $\text{पेंचमापी की अल्पतमांक} = \frac{\text{पेंच का चूड़ी – अन्तराल}}{\text{वृत्तीय पैमाने पर भागों की संख्या}}$

$= \frac{0.01}{100}$ सेमी $= 0.0001$ सेमी **उत्तर**

प्रश्न 16. एक पेंचमापी की अल्पतमांक 0.001 सेमी तथा चूड़ी अंतराल 0.005 मिमी है। उसके वृत्तीय पैमाने पर भागों की संख्या ज्ञात कीजिए।

हलः $\text{वृत्तीय पैमाने पर भागों की संख्या} = \frac{\text{चूड़ी-अन्तराल}}{\text{अल्पतमांक}}$

$= \frac{0.005 \text{ मिमी}}{0.001 \text{ सेमी}} = \frac{0.005}{0.0001}$ मिमी

$= 50$ **उत्तर**

प्रश्न 17. एक पेंचमापी का चूड़ी–अंतराल 0.50 मिमी है तथा वृत्तीय पैमाने पर भागों की संख्या 50 है। पेंचमापी (स्क्रूगेज) की अल्पतमांक ज्ञात कीजिए।

हलः $\text{अल्पतमांक} = \frac{\text{चूड़ी – अन्तराल}}{\text{वृत्तीय पैमाने पर भागों की संख्या}}$

$= \frac{0.50}{50} = 0.01$ मिमी **उत्तर**

▶ प्रयोगात्मक कार्य

प्रश्न 1. वर्नियर कैलीपर्स की सहायता से किसी छड़ की लंबाई ज्ञात करना।

उत्तर– विद्यार्थी स्वयं करें।

प्रश्न 2. स्क्रूगेज (पेंचमापी) की सहायता से दिए गए पतले तार का व्यास ज्ञात करना।

उत्तर– विद्यार्थी स्वयं करें।

3 गति

▶ दीर्घ उत्तरीय प्रश्न

प्रश्न 1. अदिश तथा सदिश राशियों से आप क्या समझते हैं? दोनों राशियों के बीच अंतर लिखिए।

उत्तर– **अदिश राशियाँ–** जिन भौतिक राशियों को व्यक्त करने के लिए केवल परिमाण की आवश्यकता होती है, दिशा की नहीं, ऐसी भौतिक राशियाँ अदिश राशियाँ कहलाती हैं; जैसे– घनत्व, दूरी, द्रव्यमान, चाल तथा समय आदि।

सदिश राशियाँ– जिन भौतिक राशियों को व्यक्त करने के लिए परिमाण तथा दिशा दोनों की आवश्यकता होती है, ऐसी भौतिक राशियाँ सदिश राशियाँ कहलाती हैं; जैसे– वेग, त्वरण, बल तथा विस्थापन आदि।

दोनों राशियों में सिर्फ यह अंतर है कि अदिश में दिशा की आवश्यकता नहीं होती, जबकि सदिश में दिशा की आवश्यकता होती है। दोनों राशियों में परिमाण समान या असमान हो सकते हैं। अत: यहाँ दिशा इसलिए महत्त्वपूर्ण होती है कि किया गया कार्य किस दिशा में हो रहा है।

प्रश्न 2. गति किसे कहते हैं? गति की सापेक्षता से आप क्या समझते हैं?

उत्तर– कुछ वस्तुओं में समय के साथ-साथ उनकी स्थिति में परिवर्तन होता है, उसे **गति** कहते हैं; जैसे– रेलगाड़ी, वायुयान, पैदल चलता हुआ मनुष्य, सड़क पर चलते हुए वाहन आदि।

गति की सापेक्षता– ब्रह्मांड में ऐसी कोई वस्तु नहीं है जो किसी अन्य वस्तु के सापेक्ष गतिशील न हो। यदि पृथ्वी पर कोई वस्तु स्थिर है तो वह पृथ्वी के सापेक्ष तो स्थिर अवस्था में होगी, परन्तु अंतरिक्ष से देखने पर वह वस्तु गतिशील अवस्था में होगी। इसका अर्थ है कि पृथ्वी पर रखी कोई भी वस्तु निरपेक्ष विराम की स्थिति में नहीं होती। गति और विराम शब्द परस्पर आपेक्षिक हैं। एक ही वस्तु एक समय में गति एवं विराम की अवस्था में हो सकती है। यह 'गति की सापेक्षता' कहलाती है। उदाहरणस्वरूप– माना हम किसी चलती हुई गाड़ी में बैठे हैं, तो गाड़ी में बैठी अन्य सवारियाँ हमारे सापेक्ष विरामावस्था में हैं जबकि पृथ्वी पर खड़े व्यक्ति को गाड़ी सहित सभी सवारियाँ गतिशील अवस्था में दिखाई देती हैं। स्पष्ट है कि एक ही वस्तु एक प्रेक्षक के सापेक्ष विरामावस्था में तथा दूसरे प्रेक्षक के सापेक्ष गति अवस्था में हो सकती है। अत: किसी वस्तु की गतिशील अवस्था अथवा विरामावस्था ज्ञात करने के लिए एक निश्चित स्थिर बिंदु अवश्य होना चाहिए।

इस निश्चित बिंदु को मूल बिंदु कहते हैं। किसी वस्तु की अवस्था का वर्णन करने के लिए उस वस्तु की मूल बिंदु से दूरी तथा मूल बिंदु के सापेक्ष उसकी दिशा बतानी होती है। गतिशील अवस्था में समय के साथ-साथ, वस्तु की मूल बिंदु से दूरी तथा मूल बिंदु के सापेक्ष उसकी दिशा दोनों में ही परिवर्तन होता है।

प्रश्न 3. गति के प्रकार लिखिए तथा उनका उदाहरण सहित संक्षिप्त वर्णन कीजिए।

उत्तर– गतियाँ विभिन्न प्रकार की होती हैं जो निम्नलिखित हैं–

(i) **ऋजुरेखीय या रैखिक गति–** यदि कोई वस्तु एक सरल रेखा में गति करती है तो इसे ऋजुरेखीय गति कहा जाता है, जैसे– किसी मीनार से ऊर्ध्वाधरत: नीचे गिराई गई गेंद की गति, सीधी सड़क पर दौड़ती हुई गाड़ी की गति आदि ऋजुरेखीय गतियाँ हैं।

(ii) **वृत्तीय गति या वक्ररेखीय–** यदि वस्तु एक वक्र रेखा या वृत्तीय आकार में गति करती है तो इसे वक्ररेखीय या वृत्तीय गति कहते हैं, जैसे– किसी घुमावदार स्थान पर किसी साइकिल सवार की गति आदि।

(iii) **दोलन गति–** जब कोई पिंड एक निश्चित बिंदु के इधर-उधर एक ही पथ पर गति करता रहता है तो यह दोलन गति कहलाती है, जैसे– दीवार घड़ी में पेन्डुलम की गति।

(iv) **अनियमित गति–** जब कोई वस्तु गति करते हुए अपनी दिशा निरंतर बदलती रहती है तो उस वस्तु की गति अनियमित गति कहलाती है, जैसे—फूलों पर मँडराते भौंरों की गति।

प्रश्न 4. चाल, दूरी, वेग तथा विस्थापन की परिभाषा लिखिए। चाल तथा वेग व दूरी तथा विस्थापन में अंतर भी स्पष्ट कीजिए।

उत्तर– **चाल–** किसी वस्तु द्वारा एकांक समयांतराल में चली गई दूरी को वस्तु की चाल कहते हैं, दूसरे शब्दों में वस्तु की स्थिति-परिवर्तन की दर को उस वस्तु की चाल कहा जाता है, चाल एक अदिश राशि है, इसे v से प्रदर्शित करते हैं।

दूरी– किसी गतिशील वस्तु द्वारा एक निश्चित समय में तय किए गए मार्ग की लंबाई को उस वस्तु द्वारा चली गई दूरी कहते हैं। यह एक अदिश राशि है। इसे s से प्रदर्शित करते हैं।

वेग— वस्तु की चाल के साथ दिशा ज्ञात होने से वस्तु का वेग प्राप्त होता है। अत: किसी वस्तु द्वारा एकांक समयांतराल में एक निश्चित दिशा में तय की गई दूरी को उस वस्तु का वेग कहते हैं। यह सदिश राशि है। इसको $\vec{v}$ से प्रदर्शित करते हैं।

विस्थापन– किसी गतिशील वस्तु की एक निश्चित दिशा में प्रारंभिक तथा अंतिम स्थितियों के बीच की न्यूनतम दूरी को उस वस्तु का विस्थापन कहते हैं। यह एक सदिश राशि है।

चाल तथा वेग में अंतर

क्र० सं०	चाल	वेग
1.	किसी वस्तु द्वारा एकांक समयांतराल में चली गई दूरी को उस वस्तु की चाल कहते हैं।	किसी वस्तु द्वारा एकांक समयांतराल में तय किए गए विस्थापन को उस वस्तु का वेग कहते हैं।
2.	चाल में केवल परिमाण होता है दिशा नहीं।	वेग में परिमाण के साथ-साथ दिशा भी होती है।
3.	किसी वस्तु की चाल उस वस्तु के परिमाण के बराबर या उससे भी अधिक हो सकती है।	किसी वस्तु के वेग का परिमाण उस वस्तु की चाल से अधिक नहीं हो सकता है।
4.	चाल एक अदिश राशि है।	वेग एक सदिश राशि है।
5.	चाल = दूरी / समयांतराल	वेग = विस्थापन / समयांतराल

दूरी और विस्थापन में अंतर

क्र० सं०	दूरी	विस्थापन
1.	दूरी सदैव धनात्मक होती है।	विस्थापन धनात्मक, ऋणात्मक या शून्य भी हो सकता है।
2.	दूरी केवल परिमाण को व्यक्त करती है।	विस्थापन परिमाण तथा दिशा दोनों को व्यक्त करता है।
3.	यह अदिश राशि है।	यह सदिश राशि है।
4.	किसी गतिशील वस्तु द्वारा किसी समय में तय किए गए मार्ग की लंबाई को उस वस्तु द्वारा चली गई दूरी कहते हैं।	किसी निश्चित दिशा में किसी गतिशील वस्तु की अंतिम तथा प्रारंभिक स्थितियों के बीच की दूरी को वस्तु का विस्थापन कहते हैं।
5.	इसका मान शून्य नहीं हो सकता है।	इस मान शून्य भी हो सकता है।

प्रश्न 5. वेग के प्रमुख प्रकारों का उदाहरण सहित उल्लेख कीजिए।

उत्तर– वेग के प्रकार निम्नलिखित हैं—

(i) असमान वेग– यदि कोई गतिशील वस्तु निश्चित दिशा में समान समयांतरालों में असमान दूरियाँ तय करें तो उसका वेग असमान वेग कहलाता है या यदि कोई गतिशील वस्तु समान समय में समान दूरी तय करे, परंतु उसकी दिशा परिवर्तित होती हो तो वस्तु का वेग असमान वेग होता है।

उदाहरण– रेलगाड़ी, मोटरकार आदि।

(ii) एकसमान वेग– जब कोई वस्तु किसी निश्चित दिशा में, समान समयांतराल में, समान दूरी तय करती है, तो वेग एकसमान कहलाता है; उदाहरण— जैसे कोई वस्तु निश्चित दिशा में चलती हुई प्रत्येक सेकंड में 6 मीटर दूरी तय करे तो यह कहा जाता है कि वस्तु 6 मीटर/सेकंड के समान वेग से चल रही है।

(iii) तात्क्षणिक वेग– किसी गतिशील वस्तु का निश्चित क्षण पर वेग, तात्क्षणिक वेग कहलाता है; जैसे— रॉकेट का अपनी कक्षा में भ्रमण करना।

(iv) औसत वेग– जब किसी निश्चित दिशा में गतिशील वस्तु का वेग समय के साथ निरंतर परिवर्तित होता है तो वस्तु के कुल विस्थापन में समयांतर को भाग देकर उसका औसत वेग ज्ञात किया जाता है।

माना t समय पर किसी गतिशील वस्तु की स्थिति s_1 तथा t_2 समय पर वस्तु की स्थिति s_2 है, तो समयांतर $(t_2 - t_1)$ में वस्तु का विस्थापन $(s_2 - s_1)$ होगा।

अत: औसत वेग, $v = \frac{\text{विस्थापन}}{\text{समयांतर}} = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$

जहाँ; Δs = विस्थापन, Δt = समयांतराल

प्रश्न 6. चाल के प्रमुख प्रकारों को समझाइए।

उत्तर– चाल निम्नलिखित प्रकार की होती हैं—

(i) एकसमान चाल– यदि कोई गतिशील वस्तु समान समयांतरालों में समान दूरी तय करती है तब वस्तु की चाल एकसमान चाल कहलाती है।

(ii) **असमान चाल-** यदि कोई गतिशील वस्तु समान समयांतरालों में अलग-अलग दूरी तय करती है, तब वस्तु की चाल असमान चाल कहलाती है।

(iii) **औसत चाल-** जब कोई गतिशील वस्तु समान समयांतरालों में अलग-अलग दूरियाँ तय करती है, तब वस्तु द्वारा चली गई कुल दूरी को यात्रा में लगे कुल समय से भाग करके वस्तु की औसत चाल ज्ञात कर लेते हैं, अर्थात् वस्तु द्वारा एकांक समय में तय की गई औसत दूरी को वस्तु की औसत चाल कहते हैं।

(iv) **तात्क्षणिक चाल-** किसी निश्चित क्षण या विशेष समय पर गतिशील चाल को तात्क्षणिक चाल कहते हैं अर्थात् किसी क्षण पर उत्पन्न सूक्ष्म समयांतराल में वस्तु द्वारा चली गई दूरी तथा सूक्ष्म समयांतराल के अनुपात को वस्तु की तात्क्षणिक चाल कहते हैं।

प्रश्न 7. त्वरण किसे कहते हैं? इसका मात्रक क्या है? त्वरण के प्रमुख प्रकारों का उल्लेख कीजिए।

उत्तर- **त्वरण-** यदि किसी गतिशील वस्तु के वेग में निरंतर परिवर्तन होता है तो उसकी गति त्वरित गति कहलाती है। एकांक समय में किसी गतिशील वस्तु के वेग में हुए परिवर्तन को त्वरण कहते हैं अर्थात् किसी वस्तु के वेग-परिवर्तन की दर को उस वस्तु का त्वरण कहते हैं। त्वरण को प्राय: a से प्रदर्शित करते हैं। यह एक सदिश राशि है। इसका मात्रक मीटर/सेकंड^2 होता है।

$$\text{त्वरण} = \frac{\text{वेग में परिवर्तन}}{\text{समयांतराल}} \Rightarrow \vec{a} = \frac{v-u}{t}$$

त्वरण के प्रकार- त्वरण निम्नलिखित प्रकार के होते हैं—

(i) **एकसमान त्वरण-** यदि किसी वस्तु में, समान समयांतरालों में वेग-परिवर्तन समान हो तो उसका त्वरण एकसमान त्वरण कहलाता है; जैसे— गुरुत्व के प्रभाव में स्वतंत्र रूप से नीचे गिरती हुई वस्तु का त्वरण एकसमान होता है।

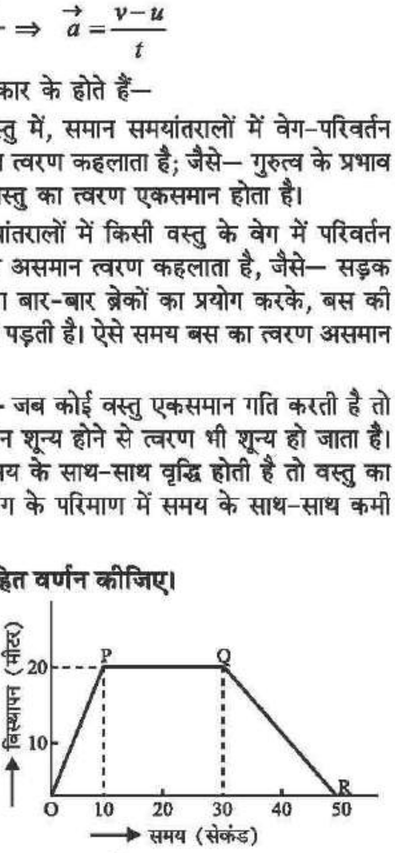
(ii) **असमान त्वरण-** जब समान समयांतरालों में किसी वस्तु के वेग में परिवर्तन अलग-अलग हो तो वस्तु का त्वरण असमान त्वरण कहलाता है, जैसे— सड़क पर अत्यधिक ट्रैफिक होने के कारण बार-बार ब्रेकों का प्रयोग करके, बस की चाल कभी धीमी या कभी तेज करनी पड़ती है। ऐसे समय बस का त्वरण असमान होता है।

धनात्मक, ऋणात्मक तथा शून्य त्वरण- जब कोई वस्तु एकसमान गति करती है तो उसका वेग नियत रहता है। वेग में परिवर्तन शून्य होने से त्वरण भी शून्य हो जाता है। अब यदि वस्तु के वेग के परिमाण में समय के साथ-साथ वृद्धि होती है तो वस्तु का त्वरण धनात्मक होता है। यदि वस्तु के वेग के परिमाण में समय के साथ-साथ कमी होती है तो त्वरण ऋणात्मक होता है।

प्रश्न 8. विस्थापन-समय ग्राफ का उदाहरण सहित वर्णन कीजिए।

उत्तर- **विस्थापन-समय ग्राफ-** यदि किसी गतिशील वस्तु का अलग-अलग समयों पर विस्थापन मापकर, समय (t) व विस्थापन (s) में ग्राफ खींचें तो इसे 'विस्थापन-समय ग्राफ' कहते हैं।

संलग्न-चित्र में समय-विस्थापन ग्राफ *OPQR* दिखाया गया है। इससे स्पष्ट है



विस्थापन-समय ग्राफ

कि वस्तु पहले 10 सेकंडों में प्रारंभिक बिंदु O से P तक धनात्मक दिशा में 20 मीटर तक चलती है तथा फिर ठहर जाती है। 30 वें सेकंड के अंत तक वस्तु ठहरी रहती है। फिर लौटने लगती है तथा 50 वें सेकंड के अंत में यह प्रारम्भिक बिंदु O पर लौट आती है। इस ग्राफ से हम वस्तु का अलग-अलग समयों पर वेग ज्ञात कर सकते हैं। विस्थापन-समय ग्राफ से वेग ज्ञात करने के लिए रेखा का ढलान ज्ञात करना होता है।

चित्रानुसार–

पहले 10 सेकंडों के दौरान वेग $= \dfrac{\text{विस्थापन}}{\text{समयांतराल}} = \dfrac{20-0}{10-0} = 2.0$ मीटर/सेकंड

10 से 30 सेकंडों के दौरान वेग $= \dfrac{20-20}{10-10} = 0$

शून्य वेग का अर्थ है कि वस्तु 10 से 30 सेकंडों के दौरान ठहरी रही।

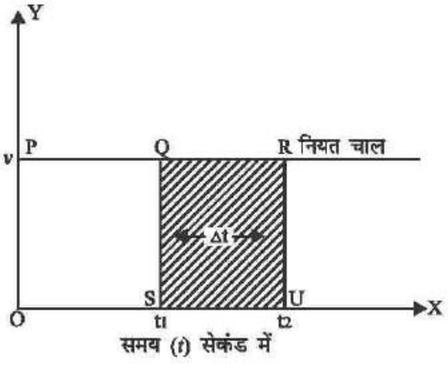
30 से 50 सेकंडों के दौरान वेग $\dfrac{0-20}{50-30} = -1.0$ मीटर/सेकंड। ऋणात्मक वेग का अर्थ है कि वस्तु लौट रही है तथा 50 सेकंड में मूल स्थान 0 पर वापस आ जाती है।

प्रश्न 9. चाल-समय ग्राफ का उदाहरण सहित वर्णन कीजिए।

उत्तर– **चाल-समय ग्राफ–** किसी गतिशील वस्तु की चाल, समय के साथ नियत रह सकती है, अर्थात् वस्तु एकसमान चाल से गति कर सकती है। यदि वस्तु की चाल समय के साथ परिवर्तित हो रही हो, तो ऐसी गति को त्वरित गति कहते हैं।

समय को x-अक्ष पर तथा चाल को y-अक्ष पर लेकर खींचा गया ग्राफ 'चाल-समय ग्राफ' कहलाता है।

(i) **जब वस्तु की चाल एकसमान या नियत है, तब चाल-समय ग्राफ से दूरी ज्ञात करना–** चित्र में एकसमान चाल से गतिशील वस्तु के लिए चाल-समय ग्राफ दिखाया गया है, जो समय x-अक्ष के समांतर एक क्षैतिज सरल रेखा है। इससे स्पष्ट है कि समय t तो बढ़ रहा है, परंतु चाल OP नियत है।



$\because$ दूरी = चाल × समय

$\therefore$ समयांतराल $(t_2 - t_1)$ में नियत चाल v से गतिमान वस्तु द्वारा तय की गई दूरी

$$= v \times (t_2 - t_1) \qquad \ldots(1)$$

$SQRU$ चित्रानुसार-

$$v \times (t_2 - t_1) = OP \times (OU - OS) = SQ \times SU$$

= आयत $SQRU$ का छायांकित क्षेत्रफल ...(2)

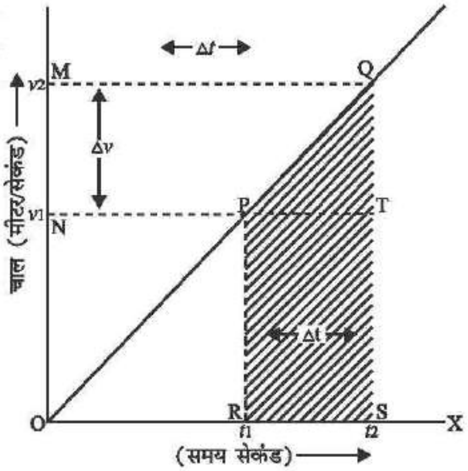
समीकरण (1) व (2) से–

दूरी = आयत $SQRU$ का क्षेत्रफल

$\Rightarrow$ दूरी = चाल-समय ग्राफ तथा समय-अक्ष के बीच घिरा क्षेत्रफल

अत: स्पष्ट है कि किसी समयांतराल में वस्तु द्वारा चली गई दूरी, उस समयांतराल में चाल-समय ग्राफ के समयांतराल के संगत समय-अक्ष के बीच घिरे क्षेत्रफल के बराबर होती है।

(ii) **जब वस्तु की चाल एक निश्चित दर से परिवर्तित होती है, तब चाल-समय ग्राफ से दूरी ज्ञात करना-** यदि कोई वस्तु विरामावस्था से चलना प्रारंभ करती है तथा उसकी चाल एक नियत दर से निरंतर बदलती है, तब उसकी चाल, समय के समानुपाती होगी। चाल समय ग्राफ में मूल बिंदु से गुजरने वाली एक झुकी हुई सरल रेखा प्राप्त होती है।



चित्रानुसार, माना समय t_1 तथा t_2 पर गतिशील वस्तु की चाल क्रमश: v_1 तथा v_2 हैं।

तब समयांतराल $(t_2 - t_1)$ में वस्तु द्वारा तय की दूरी

= औसत चाल × समय-अंतराल

$$= \frac{v_1 + v_2}{2} \times (t_2 - t_1) \qquad ...(1)$$

चित्र से,

$$\frac{1}{2}(v_1 + v_2)(t_2 - t_1) = \frac{1}{2}(ON + OM)(OS - OR)$$

$$= \frac{1}{2}[(RP + SQ)(RS)]$$

$= \frac{1}{2}$ (समांतर भुजाओं का योग)× (उनके बीच की लंबवत् दूरी)

= समलंब चतुर्भुज $PQSR$ का क्षेत्रफल ...(2)

समीकरण (1) व (2) से,

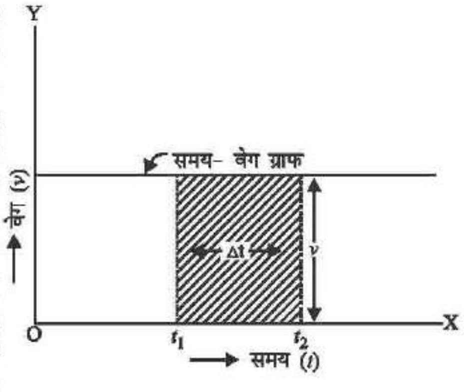
दूरी = समलंब चतुर्भुज $PQSR$ का क्षेत्रफल

अत: स्पष्ट है कि एक निश्चित दर से बदलती चाल से गतिशील वस्तु की किसी भी समयांतराल में चली गई दूरी, चाल-समय ग्राफ तथा समयांतराल के संगत समय-अक्ष के बीच घिरे क्षेत्रफल के बराबर होती है।

प्रश्न 10. वेग-समय ग्राफ का वर्णन कीजिए तथा इससे त्वरण ज्ञात करने की प्रक्रिया लिखिए।

उत्तर- यदि किसी गतिशील वस्तु का अलग-अलग समयों पर वेग मापकर समय (t) व वेग (v) के बीच ग्राफ खींचें तो इसे 'वेग-समय ग्राफ' कहते हैं। इससे गतिशील वस्तु का त्वरण तथा विस्थापन दोनों ही ज्ञात किए जा सकते हैं।

(i) **एकसमान वेग से गतिशील वस्तु के वेग-समय ग्राफ से विस्थापन ज्ञात करना**– यदि किसी वस्तु का वेग (v) नियत है तो वेग-समय ग्राफ समय-अक्ष के समांतर एक सरल रेखा होगी। चित्रानुसार इस रेखा के नीचे, t_1 तथा t_2 समयों के बीच आयत का क्षेत्रफल $v \times (t_2 - t_1)$ अर्थात् $V \times \Delta t$ है। परिभाषा के अनुसार, यदि Δt समयांतराल के दौरान वस्तु का विस्थापन Δs हो, तो

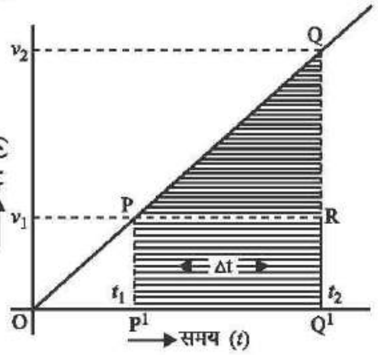


$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

या $$\Delta s = v \times \Delta t = \text{आयत का क्षेत्रफल}$$

अत: आयत का क्षेत्रफल मापकर वस्तु का विस्थापन ज्ञात कर सकते हैं।

(ii) **एकसमान त्वरित गति से गतिशील वस्तु के वेग-समय ग्राफ से विस्थापन ज्ञात करना**– यदि वस्तु का वेग एक निश्चित दर से निरंतर बदल रहा है तो समय-वेग ग्राफ एक झुकी हुई सरल रेखा के रूप में होगा। चित्रानुसार माना कि t_1 व t_2 समयों पर वस्तु का वेग क्रमश: v_1 व v_2 है। तब इस रेखा के नीचे, t_1 व t_2 के बीच क्षेत्रफल



= त्रिभुज PQR का क्षेत्रफल + आयत $PRQ^1 p^1$ का क्षेत्रफल

$$= \frac{1}{2}(PR \times QR) + (PR \times PP^1)$$

$$= \frac{1}{2}(t_2 - t_1) \times (v_2 - v_1) + (t_2 - t_1) \times v_1$$

$$= \left[\frac{1}{2}(v_2 - v_1) + v_1\right] \times (t_2 - t_1)$$

$$= \left[\frac{v_1 + v_2}{2}\right] \times (t_2 - t_1) = v \times \Delta t$$

जहाँ v समयांतराल Δt के दौरान वस्तु का वेग है। परिभाषा के अनुसार यदि समयांतराल Δt में वस्तु का विस्थापन Δs हो, तब

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

या $\Delta s = v \times \Delta t =$ क्षेत्रफल

अत: इस क्षेत्रफल को मापकर वस्तु का विस्थापन ज्ञात कर सकते हैं। इस प्रकार, किसी समयांतराल में वस्तु का विस्थापन उस समयांतराल के लिए, वेग-समय ग्राफ तथा समय-अक्ष के बीच घिरे क्षेत्रफल के बराबर होता है।

(iii) वेग-समय ग्राफ से त्वरण ज्ञात करना- वेग-समय ग्राफ से त्वरण ज्ञात करने के लिए, झुकी हुई सरल रेखा का ढलान ज्ञात करते हैं। इसके लिए, रेखा पर दो बिंदु P तथा Q लेते हैं। चित्रानुसार P पर वेग v_1 तथा समय t_1 है। Q पर वेग v_2 तथा समय t_2 है। अत:

वेग में परिवर्तन $= v_2 - v_1 = \Delta v = QR$

समयांतराल $= t_2 - t_1 = \Delta t = RP$

इस प्रकार गतिशील वस्तु का त्वरण, उसके वेग-समय ग्राफ के ढलान के बराबर होता है जिस रेखा का ढलान अधिक होगा, उस वस्तु का त्वरण अधिक होगा।

प्रश्न 11. पृथ्वी के गुरुत्व के अंतर्गत गति की समीकरणों के विषय में समझाइए।

उत्तर- **पृथ्वी के गुरुत्व के अंतर्गत गति-** यदि किसी वस्तु को ऊँचाई से मुक्त रूप से छोड़ दें तो वह नीचे की ओर उर्ध्वाधर दिशा में गिरने लगती है। वस्तु के गिरने का वेग लगातार एकसमान दर से बढ़ता जाता है, अर्थात् इसमें एक नियत त्वरण उत्पन्न हो जाता है। इससे पता चलता है कि पृथ्वी प्रत्येक वस्तु को अपने केंद्र की ओर आकर्षित करती है। इसी आकर्षण के कारण मुक्त रूप से गिरने वाली वस्तु में एक नियत त्वरण उत्पन्न होता है तथा यह सभी वस्तुओं के लिए समान होता है। इस त्वरण को **'गुरुत्वीय त्वरण'** कहते हैं इसे 'g'से प्रदर्शित करते हैं। इसका मान 9.8 मीटर/सेकंड^2 होता है। पृथ्वी की ओर गिरती हुई वस्तुओं की गति को गुरुत्वीय गति कहते हैं।

यदि हम गति के समीकरणों में a के स्थान पर g तथा s के स्थान पर h रख दें तो हमें गुरुत्वीय गति के समीकरण प्राप्त हो जाएँगे। यदि वस्तु नीचे की ओर गिर रही है तो गति के लिए निम्न समीकरण होंगे—

(i) $v = u + gt$, (ii) $h = ut + \frac{1}{2}gt^2$, (iii) $v^2 = u^2 + 2gh$

यदि वस्तु मुक्त रूप से छोड़ी गई है तो वस्तु का प्रारंभिक वेग $u = 0$ होगा, तब वस्तु की गति के लिए निम्नलिखित समीकरण होंगे—

(i) $v = gt$ (ii) $h = \frac{1}{2}gt^2$, (iii) $v^2 = 2gh$

गुरुत्वीय त्वरण g की दिशा पृथ्वी के केंद्र की ओर होती है, अत: जब हम किसी वस्तु को पृथ्वी से ऊपर की ओर फेंकते हैं तो इसमें गुरुत्वीय मंदन उत्पन्न होता है, जिसके कारण इसका वेग लगातार घटता जाता है तथा कुछ ऊँचाई तक पहुँचने के बाद इसका वेग शून्य हो जाता है, यह पुन: गुरुत्वीय त्वरण के कारण बढ़ते हुए वेग से पृथ्वी पर आ जाती है। पृथ्वी से ऊपर की ओर जाती हुई वस्तु की गति के समीकरण प्राप्त करने के लिए हम गति के समीकरणों में a के स्थान पर $-g$ रखेंगे—

(i) $v = u - gt$, (ii) $h = ut - \frac{1}{2}gt^2$, (iii) $v^2 = u^2 - 2gh$

प्रश्न 12. ऋजुरेखीय गति की प्रथम, द्वितीय और तृतीय समीकरणों का निगमन कीजिए।

उत्तर- माना कोई वस्तु एक सीधी रेखा में वेग u से चलना प्रारंभ करती है तथा इसमें एकसमान (नियत) त्वरण (a) है। माना t सेकंड में यह दूरी s तय कर लेती है तथा इसका वेग v हो

जाता है। तब u, a, t, s और v के संबंधों को निम्नलिखित समीकरणों से व्यक्त कर सकते हैं–

(i) $v = u + at$ (ii) $s = ut + \frac{1}{2}at^2$ (iii) $v^2 = u^2 + 2as$

प्रथम समीकरण– माना वस्तु का प्रारंभिक वेग u तथा उसमें नियत त्वरण a है। t सेकंड के बाद वेग v हो जाता है। अत:

1 सेकंड में वेग-वृद्धि $= a$

t सेकंड में वेग-वृद्धि $= a \times t$

t सेकंड के पश्चात् वेग = प्रारंभिक वेग + वेग में वृद्धि

या $$v = u + at \quad \ldots(1)$$

द्वितीय समीकरण– प्रत्येक अगले सेकंड बाद वस्तु के वेग में a वृद्धि होती है। अत:

गति आरंभ होने के 1 सेकंड बाद वस्तु का वेग $= (u + a)$

गति समाप्त होने के 1 सेकंड पहले वस्तु का वेग $= (v - a)$

$\therefore$ औसत वेग $= \frac{(u+a)+(v-a)}{2} = \left(\frac{u+v}{2}\right)$

इसी प्रकार, गति आरंभ होने के 2 सेकंड बाद, वस्तु का वेग $= (u + 2a)$

गति समाप्त होने के 2 सेकंड पहले वस्तु का वेग $= (v - 2a)$

$\therefore$ औसत वेग $= \frac{(u+2a)+(v-2a)}{2} = \left(\frac{u+v}{2}\right)$

इस प्रकार, त्वरण के नियत होने पर औसत वेग $\left(\frac{u+v}{2}\right)$ ही रहता है।

अत: जहाँ तक दूरी तय करने का संबंध है, हम यह कह सकते हैं कि वस्तु t सेकंडों तक इसी औसत वेग से चलती रही है, अत: वस्तु द्वारा t सेकंडों में तय की गई दूरी

$$s = \text{औसत वेग} \times \text{समय} = \left(\frac{u+v}{2}\right) \times t$$

प्रथम समीकरण $(v = u + at)$ से v का मान रखने पर

$$s = \left(\frac{u+u+at}{2}\right) \times t = \frac{2ut + at^2}{2}$$

$$s = ut + \frac{1}{2}at^2 \quad \ldots(2)$$

तृतीय समीकरण– समीकरण (1) का वर्ग करने पर

$$v^2 = (u + at)^2 = u^2 + a^2t^2 + 2atu$$

$$v^2 = u^2 + 2a\left(ut + \frac{1}{2}at^2\right)$$

परंतु, $ut + \frac{1}{2}at^2 = s$ (द्वितीय समीकरण से)

$$v^2 = u^2 + 2as \quad \ldots(3)$$

यहाँ यह बात विशेष है कि ये समीकरणें तभी लागू होती हैं, जब त्वरण नियत हो तथा गति सरल रेखा में हो।

प्रश्न 13. n वें सेकंड में चली गई दूरी के लिए व्यंजक स्थापित कीजिए।

उत्तर– **किसी विशेष समय में वस्तु द्वारा चली गई दूरी ज्ञात करना–** माना किसी गतिशील वस्तु का प्रारंभिक वेग u तथा एक समान त्वरण a है।

माना n सेकंड में चली गई दूरी s है।

तब, n वें सेकंड में चली गई दूरी = n सेकंड में चली गई दूरी – $(n-1)$ सेकंड में चली गई दूरी

$$= \left(un + \frac{1}{2}an^2\right) - [u(n-1) + \frac{1}{2}a(n-1)^2]$$

$$= un + \frac{1}{2}an^2 - u(n-1) - \frac{1}{2}a(n-1)^2$$

$$= un + \frac{1}{2}an^2 - un + u - \frac{1}{2}a(n^2 + 1 - 2n)$$

$$= \frac{1}{2}an^2 + u - \frac{1}{2}an^2 - \frac{1}{2}a + an$$

$$= u + a\left(n - \frac{1}{2}\right) = u + \frac{1}{2}(2n-1)$$

$\therefore$ n वें सेकंड में चली गई दूरी $s = u + \frac{1}{2}a(2n-1)$

▶ लघु उत्तरीय प्रश्न

प्रश्न 1. गति किसे कहते हैं? उदाहरण देकर समझाइए।

उत्तर– कुछ वस्तुओं में समय के साथ-साथ उनकी स्थिति में परिवर्तन होता है, उसे गति कहते हैं। जैसे— रेलगाड़ी, वायुयान आदि।

उदाहरण– सड़क पर चलते वाहन, पैदल चलता हुआ मनुष्य, आकाश में उड़ते वायुयान आदि गतिशील हैं।

प्रश्न 2. निम्नलिखित राशियों को अदिश तथा सदिश राशियों में विभक्त कीजिए।

विस्थापन, चाल, दूरी, बल, घनत्व, दाब, संवेग, आयतन, समय, ऊर्जा, त्वरण, बल-आघूर्ण।

उत्तर– **अदिश राशियाँ–** दूरी, घनत्व, आयतन, समय, ऊर्जा, चाल।

सदिश राशियाँ– विस्थापन, बल, संवेग, दाब, बल-आघूर्ण, त्वरण।

प्रश्न 3. दोलन गति तथा अनियमित गति से आप क्या समझते हैं ?

उत्तर– **दोलन गति–** जब कोई पिंड एक निश्चित बिंदु के इधर-उधर एक ही पथ पर गति करता है तो यह गति दोलन गति कहलाती है; जैसे— दीवार घड़ी में पेंडुलम की गति।

अनियमित गति– जब कोई वस्तु गति करते हुए अपनी दिशा निरंतर बदलती रहती है, तो उस वस्तु की गति अनियमित गति कहलाती है; जैसे— फूलों पर मँडराते भौरों की गति।

प्रश्न 4. दूरी व विस्थापन किसे कहते हैं?

उत्तर– **दूरी–** गतिशील वस्तु द्वारा किसी समय में तय किए मार्ग की लंबाई को उस वस्तु द्वारा चली गई दूरी कहते हैं।

विस्थापन– किसी गतिशील वस्तु की एक निश्चित दिशा में प्रारंभिक तथा अंतिम स्थितियों के बीच की न्यूनतम दूरी को उस वस्तु का विस्थापन कहते हैं।

प्रश्न 5. चाल तथा वेग के बारे में समझाइए तथा इनके मात्रक भी लिखिए।

उत्तर– **चाल–** किसी वस्तु द्वारा एकांक समयांतराल में चली गई दूरी को वस्तु की चाल कहते हैं। दूसरे शब्दों में वस्तु की स्थिति–परिवर्तन की दर को उस वस्तु की चाल कहा जाता है। चाल एक अदिश राशि है और इसे v से प्रदर्शित करते हैं। इसका मात्रकर मीटर/सेकंड होता है।

$$\text{चाल } (s) = \frac{\text{दूरी}(s)}{\text{समय } (t)}$$

वेग– किसी वस्तु द्वारा एकांक समयांतराल में एक निश्चित दिशा में तय की गई दूरी को उस वस्तु का वेग कहते हैं। वेग एक सदिश राशि है। इसको $\vec{v}$ से प्रदर्शित करते हैं। वेग का मात्रक मीटर/सेकंड होता है।

$$\text{वेग } (\vec{v}) = \frac{\text{विस्थापन } (\vec{s})}{\text{समयांतराल } (t)}$$

प्रश्न 6. तात्क्षणिक वेग तथा औसत वेग के बारे में समझाइए।

उत्तर– **तात्क्षणिक वेग–** किसी गतिशील वस्तु का किसी निश्चित क्षण पर वेग, तात्क्षणिक वेग कहलाता है।

औसत वेग– जब किसी निश्चित दिशा में गतिशील वस्तु का वेग समय के साथ निरंतर परिवर्तित होता है, तो वस्तु के कुल विस्थापन में समयांतर का भाग देकर उसका औसत वेग ज्ञात किया जाता है।

प्रश्न 7. मंदन किसे कहते हैं?

उत्तर– यदि वस्तु के वेग के परिमाण समय के साथ–साथ घट रहा है तो उसका त्वरण ऋणात्मक होता है, जिसे मंदन कहते हैं; जैसे— तेज दौड़ती हुई कार के ब्रेक लगने पर कार की गति का कम हो जाना।

प्रश्न 8. एक समान गति तथा असमान गति के विषय में समझाइए।

उत्तर– **एक समान गति–** जब कोई गतिशील वस्तु समान समयांतरालों में एक ही दिशा में समान दूरियाँ तय करती है तो उसकी गति एक समान कहलाती है।

असमान गति– यदि कोई गतिशील वस्तु समान समयांतरालों में अलग–अलग दूरियाँ तय करती है तो उसकी गति असमान गति कहलाती है।

प्रश्न 9. विरामावस्था से आप क्या समझते हैं?

उत्तर– किसी वस्तु की गतिशील अवस्था तथा विरामावस्था ज्ञात करने के लिए एक निश्चित स्थिर बिंदु अवश्य होना चाहिए, जिसको मूल बिंदु कहते हैं। गतिशील अवस्था में समय के साथ–साथ, वस्तु की मूल बिंदु से दूरी तथा मूल बिंदु के सापेक्ष उसकी दिशा दोनों में ही परिवर्तन होता है, परंतु यदि यह परिवर्तन न हो तो वस्तु विरामावस्था में कहलाती है।

प्रश्न 10. ऋणात्मक तथा धनात्मक त्वरण से आप क्या समझते हैं?

उत्तर– यदि वस्तु के वेग के परिमाण में समय के साथ–साथ वृद्धि होती है तो वस्तु का त्वरण धनात्मक होता है और यदि वस्तु के वेग का परिमाण समय के साथ–साथ घट रहा है तो त्वरण ऋणात्मक होता है।

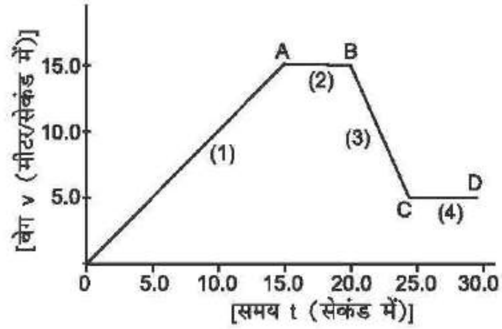
प्रश्न 11. नीचे दिए गए ऋजुरेखीय गति के वेग-समय ग्राफ का अध्ययन कीजिए तथा दिए गए प्रश्नों के उत्तर दीजिए।

(i) *OA* द्वारा गति का कौन-सा प्रकार निरूपित है?

(ii) *CD* द्वारा गति का कौन-सा प्रकार निरूपित है?

उत्तर- (i) *OA* द्वारा गति-नियत वेग।

(ii) *CD* द्वारा गति-एक समान वेग।



प्रश्न 12. निम्नलिखित में से कौन-सा कथन विस्थापन के लिए सत्य है?

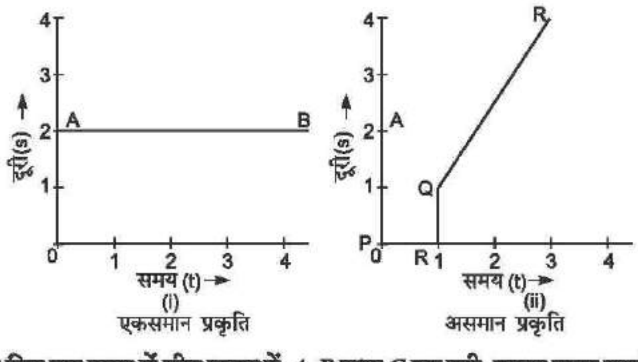
(i) यह शून्य हो सकता है।

(ii) इसका परिमाण वस्तु द्वारा तय की गई दूरी से बड़ा होता है।

उत्तर- किसी निश्चित दिशा में किसी गतिशील वस्तु की अंतिम तथा प्रारंभिक स्थितियों के बीच की दूरी को वस्तु का विस्थापन कहते हैं। इसका मान शून्य भी हो सकता है। यह तय किए गए मार्ग पर निर्भर नहीं करता है। अत: प्रथम कथन सत्य है।

प्रश्न 13. एक वस्तु की एक समान तथा असमान गति के दूरी-समय ग्राफों को निरूपित कीजिए तथा उसकी प्रकृति लिखिए।

उत्तर-



प्रश्न 14. नीचे दिए गए ग्राफ में तीन वस्तुओं *A*, *B* तथा *C* का दूरी-समय ग्राफ दर्शाया गया है। ग्राफ का अध्ययन कीजिए तथा निम्नलिखित प्रश्नों के उत्तर लिखिए-

(i) तीनों वस्तुओं में से कौन-सी सबसे तेज गति कर रही है?

(ii) क्या तीनों वस्तुएँ गति करते हुए कभी एक निश्चित समान बिंदु पर मिलती है?

(iii) जब *B* और *A*, *m* बिंदु पर मिलती है, तो *C* कितनी गति तय करती है?

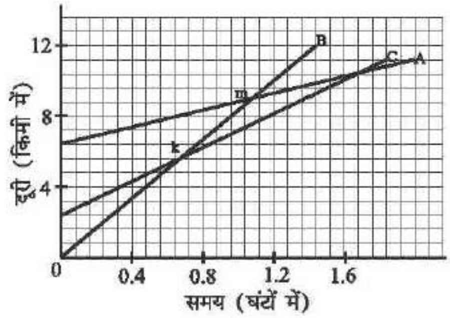
(iv) जब *B*, बिंदु *k* पर *C* से मिलती है, तो *B* कितनी गति तय करती है?

उत्तर- (i) सबसे तेज गति वस्तु B कर रही है।

(ii) तीनों वस्तुएँ गति करते हुए एक निश्चित समान बिंदु पर नहीं मिलती है।

(iii) जब B और A, m बिंदु पर मिलती है, तो C द्वारा तय की गई गति 7.2 किमी/घंटा है।

(iv) जब बिंदु B, बिंदु k पर C से मिलता है तो B द्वारा 7.14 किमी/घंटा की गति तय करता है।



▶ अतिलघु उत्तरीय प्रश्न

(इसके लिए अपनी पाठ्य-पुस्तक में पृष्ठ संख्या 52 देखें।)

▶ आंकिक प्रश्न

प्रश्न 1. एक कार 20 मीटर/सेकंड की चाल से चल रही है। ब्रेक लगाने पर यह 10 सेकंड में रुकती है। ब्रेक लगाने से उत्पन्न मंदन ज्ञात कीजिए।

हल: $u = 20$ मीटर/सेकंड, $v = 0$ मीटर/सेकंड, $t = 10$ सेकंड, $a = ?$

$$v = u + at$$
$$0 = 20 + a \times 10$$
$$-20 = 10a$$
$$a = -2 \text{ मीटर/सेकंड}^2$$

(यहाँ पर ब्रेक लगने के कारण वस्तु का वेग एक समान दर से घट रहा है।)

अत: ब्रेक लगाने से उत्पन्न मंदन 2 मीटर/सेकंड^2 होगा। उत्तर

प्रश्न 2. कोई वस्तु 50 किमी/घंटा की चाल से चल रही है। 2 सेकंड पश्चात् उसकी चाल 52 किमी/घंटा हो जाती है। उसका त्वरण ज्ञात कीजिए।

हल: $u = 50 \text{ किमी/घंटा} = 50 \times \frac{5}{18} = 13.88$ मीटर/सेकंड

$v = 52 \text{ किमी/घंटा} = 52 \times \frac{5}{18} = 14.44$ मीटर/सेकंड

$t = 2$ सेकड, $a = ?$

$$v = u + at$$
$$14.44 = 13.88 + a \times 2$$
$$2a = 14.44 - 13.88$$
$$\Rightarrow \quad a = \frac{0.56}{2} = 0.28 \text{ मीटर/सेकंड}$$

उत्तर

प्रश्न 3. एक व्यक्ति को अपने घर से रेलवे स्टेशन तक पहुँचने में 20 मिनट लगते हैं। यदि रेलवे स्टेशन घर से 5 किमी दूर है तो उसकी औसत चाल ज्ञात कीजिए।

हल: $t = 20$ मिनट $= 20 \times 60 = 1200$ सेकंड

$s = 5$ किमी $= 5 \times 1000 = 5000$ मीटर, $v = ?$

$v = \frac{s}{t} = \frac{5000}{1200} = 4.17$ मीटर/सेकंड उत्तर

प्रश्न 4. एक वस्तु समतल पर 12 मीटर/सेकंड के प्रारंभिक वेग से फिसलती है। घर्षण के कारण उसका वेग 0.6 मीटर/सेकंड^2 की दर से घटता है। वस्तु के रुकने में कितना समय लगेगा?

हल: $u = 12$ मीटर/सेकंड, $a = -0.6$ मीटर/सेकंड^2 (गुरुत्वाकर्षण के कारण ऋणात्मक होगा)

$v = 0, \; t = ?$

$v = u + at$

$0 = 12 + (-0.6) \times t = 12 - 0.6t = 12 - 0.6t$

$t = \frac{12}{0.6} = 20$ सेकंड उत्तर

प्रश्न 5. एक कार 40 किमी की दूरी 50 किमी/घंटा की समान चाल से तय करती है तथा अगली 40 किमी की दूरी 30 किमी/घंटा की समान चाल से तय करती है। कार की औसत चाल ज्ञात कीजिए।

हल: $s_1 = 40$ किमी, $s_2 = 40$ किमी, $v_1 = 50$ किमी/घंटा, $v_2 = 30$ किमी/घंटा, $v = ?$

$v_1 = \frac{s_1}{t_1} \quad \Rightarrow \quad t_1 = \frac{s_1}{v_1} = \frac{40}{50} = 0.8$ घंटा

$v_2 = \frac{s_2}{t_2} \quad \Rightarrow \quad t_2 = \frac{s_2}{v_2} = \frac{40}{30} = 1.33$ घंटा

अत: औसत चाल $(v) = \frac{\text{कुल दूरी}(s)}{\text{कुल समय }(t)} = \frac{(s_1 + s_2)}{(t_2 + t_2)}$

$= \frac{40 + 40}{0.8 + 1.33} = \frac{80}{2.13} = 37.5$ किमी/घंटा उत्तर

प्रश्न 6. कोई पिंड विरामावस्था में 20 मीटर/सेकंड^2 के समान त्वरण से गति करता है। कितने समय में पिंड का वेग 60 मीटर/सेकंड और इतने समय में पिंड कितनी दूरी तय करेगा?

हल: $u = 0, a = 20$ मीटर/सेकंड^2, $v = 60$ मीटर/सेकंड, $t = ?, \quad s = ?$

$v = u + at \quad \Rightarrow \quad 60 = 0 + 20t$

$t = \frac{60}{20} = 3$ सेकंड उत्तर

$s = ut + \frac{1}{2}at^2$

$s = 0 + \frac{1}{2} \times 20 \times 9 = 90$ मीटर उत्तर

प्रश्न 7. एक कार 40 मीटर/सेकंड के प्रारंभिक वेग तथा समान मंदन से 10 सेकंड में विरामावस्था में पहुँच जाती है। कार की 10 सेकंड में चली गई दूरी की गणना कीजिए।

हल: $u = 40$ मीटर/सेकंड, $a = ?$, $t = 10$ सेकंड, $v = 0$

$$v = u + at$$
$$0 = 40 \times a \times 10$$
$$\Rightarrow \quad a = -4 \text{ मीटर/सेकंड}$$
$$v^2 = u^2 + 2as$$
$$0 = 1600 + 2 \times (-4)s$$
$$s = \frac{1600}{8} = 200 \text{ मीटर}$$

उत्तर

प्रश्न 8. एक गेंद को एक मीनार से भूमि तक गिरने में 5 सेकंड का समय लगता है। यदि गिरते समय एक समान त्वरण 10 मीटर/सेकंड^2 हो तो मीनार की ऊँचाई ज्ञात कीजिए।

हल: $t = 5$ सेकंड, $u = 0$, $g = 10$ मीटर/सेकंड^2, $v = ?$, $h = ?$

$$v = u + gt \quad \Rightarrow \quad 0 + 10 \times 5 = 50 \text{ मीटर/सेकंड}$$
$$h = ut + \frac{1}{2}gt^2 \quad \Rightarrow \quad 0 + \frac{1}{2} \times 10 \times 25 \text{ मीटर/सेकंड}$$
$$= 125 \text{ मीटर}$$

उत्तर

प्रश्न 9. एक प्रयोग के दौरान, एक अंतरिक्ष यान से सिगनल पृथ्वी पर स्थित किसी स्टेशन पर 5 मिनट में पहुँचे। स्टेशन से अंतरिक्षयान तक की दूरी ज्ञात करो, यदि प्रकाश का वेग (सिगनल की यात्रा यदि प्रकाश के वेग के बराबर हो) 3×10^8 मीटर/सेकंड है।

हल: $s = ?$, $v = 3 \times 10^8$ मीटर/सेकंड, $t = 5$ मिनट $= 5 \times 60 = 300$ सेकंड

$$v = \frac{s}{t} \quad \Rightarrow \quad s = v \times t = 3 \times 10^8 \times 300 = 9 \times 10^{10} \text{ मीटर}$$
$$= 9 \times 10^7 \text{ किमी}$$

उत्तर

प्रश्न 10. एक साइकिल सवार किसी दूरी को 3 मीटर/सेकंड की चाल से t सेकंड में तय करता है तथा आगे की दूरी समान समय में 5 मीटर/सेकंड की चाल से तय करता है। साइकिल सवार की औसत चाल की गणना कीजिए।

हल: $v_1 = 3$ मीटर/सेकंड, $t_1 = t$, $t_2 = t$, $v_2 = 5$ मीटर/सेकंड

$$\text{दूरी} = \text{चाल} \times \text{समय} = v_1 \times t_1$$
$$= 3 \times t = 3t \quad \ldots(1)$$
$$= v_2 \times t_2 = 5t \quad \ldots(2)$$

समीकरण (1) तथा (2) से

कुल दूरी $3t + 5t = 8t$

कुल समय $t + t = 2t$

$$\text{औसत चाल} = \frac{\text{कुल दूरी}}{\text{कुल समय}} = \frac{8t}{2t} = 4 \text{ मीटर/सेकंड}$$

उत्तर

प्रश्न 11. एक कार का वेग 5 सेकंड में 80 किमी/घंटा हो जाता है, कार का त्वरण ज्ञात कीजिए।

हल: $u = 80$ किमी/घंटा $= 80\times\frac{5}{18} = 22.22$ मीटर/सेकंड

$v = 60$ किमी/घंटा $= 60\times\frac{5}{18} = 16.66$ मीटर/सेकंड, $t = 5$ सेकंड, $a = ?$

$$v = u + at$$

$$\Rightarrow \quad 16.66 = 22.22 + 5\times a$$

$$5a = -5.56$$

$a = -1.11$ मीटर/सेकंड^2 उत्तर

प्रश्न 12. एक ट्रेन 90 किमी/घंटा की चाल से गति कर रही है। ब्रेक लगने के बाद उस पर –0.5 मीटर/सेकंड^2 की दर से समान त्वरण उत्पन्न होता है। ज्ञात कीजिए कि ट्रेन विरामावस्था में जाने से पहले कितनी दूरी जाएगी?

हल: $u = 90$ किमी/घंटा $= 90\times\frac{5}{18} = 25$ मीटर/सेकंड, $v = 0$

$a = 0.5$ मीटर/सेकंड^2, $s = ?$

$v = u + at \Rightarrow 0 = 25 + (-0.5)t \Rightarrow 50$ सेकंड

$$s = ut + \frac{1}{2}at^2$$

$$= 25\times 50 + \frac{1}{2}(-0.5)\times 50\times 50$$

$$= 25\times 50 - \frac{1}{2}\times 0.5\times 50\times 50$$

$= 25\times 50\left(1-\frac{1}{2}\right) = 25\times 25 = 625$ मीटर उत्तर

प्रश्न 13. एक ट्राली ढलान से नीचे जाते समय 2 सेमी/सेकंड^2 की दर से त्वरण उत्पन्न करती है। 3 सेकंड के बाद उसका वेग क्या होगा?

हल: $a = 2$ सेमी/सेकंड^2, $t = 3$ सेकंड, $v = ?$, $u = 0$

$v = u + at \Rightarrow v = 0 + 2\times 3 = 6$ सेमी/सेकंड उत्तर

प्रश्न 14. एक रेसिंग कार 4 मीटर/सेकंड^2 का समान त्वरण उत्पन्न करती है। 10 सेकंड के बाद वह कितनी दूरी तय करेगी?

हल: $u = 0$, $a = 4$ मीटर/सेकंड^2, $t = 10$ सेकंड, $s = ?$

$$s = ut + \frac{1}{2}at^2 = 0 + \frac{1}{2}\times 4\times 10\times 10$$

$= 200$ मीटर उत्तर

प्रश्न 15. एक ट्रेन 72 किमी/घंटा की चाल से गति कर रही है। यह 500 मीटर लंबे एक पुल को 1 मिनट में पार करती है। ट्रेन की लंबाई की गणना कीजिए।

हल: चाल $= 72$ किमी/घंटा $= 72\times\frac{5}{18} = 20$ मीटर/सेकंड

पुल की लंबाई $= 500$ मीटर, $t = 1$ मिनट $= 60$ सेकंड

$$\text{पुल पार करने में लगा समय} = \frac{\text{गाड़ी की लंबाई} + \text{पुल की लंबाई}}{\text{चाल}}$$

$$60 = \frac{\text{गाड़ी की लंबाई} + 500}{20}$$

$$\text{गाड़ी की लंबाई} = 20 \times 60 - 500 = 1200 - 500$$

$$= 700 \text{मीटर}$$ उत्तर

प्रश्न 16. 52 किमी/घंटा की चाल से चलती हुई एक कार ब्रेक लगाने के बाद विपरीत दिशा में समान रूप से त्वरित होती है। वह कार 5 सेकंड में रुक जाती है। दूसरी कार 3 किमी/घंटा की चाल से चल रही है। ब्रेक लगाने के बाद वह 10 सेकंड में रुकती है। दोनों कारों के लिए चाल-समय ग्राफ निरूपित कीजिए। ज्ञात कीजिए कि ब्रेक लगाने के पश्चात् दोनों कारों में से कौन-सी कार अधिक दूरी तथा कितनी दूरी तय करेगी?

हल: $u_1 = 52 \text{ किमी/घंटा} = 52 \times \frac{5}{18} = 14.44 \text{ मीटर/सेकंड}$

$v_1 = 0,\ t_1 = 5 \text{ सेकंड},\ v_2 = 0,\ t_2 = 10 \text{ सेकंड}$

$u_2 = 3 \text{ किमी/घंटा} = 3 \times \frac{5}{18} = 0.83 \text{ मीटर/सेकंड}$

$v_1 = u_1 + a_1 t_1 \qquad 0 = 14.44 + a_1 \times 5$

$a_1 = \frac{14.44}{5} = 2.898 = 2.89 \text{ मीटर/सेकंड}^2$ (लगभग)

$v_2 = u_2 + a_2 t_2 \Rightarrow 0 = 0.83 + a_2 \times 10$

$a_2 = \frac{0.83}{10} = 0.083 \text{ मीटर/सेकंड}^2$

$s_1 = u_1 t_1 + \frac{1}{2} a_1 (t_1)^2 = 14.44 \times 5 + \frac{1}{2}(-2.89) \times 25$

$= 72.2 - 36.1 = 36.1 \text{ मीटर}$

$s_2 = u_2 t_2 + \frac{1}{2} a_2 (t_2)^2 = 0.83 \times 10 + \frac{1}{2}(-0.083) \times 100$

$= 8.3 - 4.15 = 4.15 \text{ मीटर}$ उत्तर

अत: पहली कार, दूसरी कार की अपेक्षा अधिक दूरी तय करेगी,

पहली कार की दूरी = 36.1 मीटर

पहली कार की दूरी = 4.15 मीटर (लगभग)

▶ प्रयोगात्मक कार्य

प्रश्न 1. आँकड़ों की सहायता से वेग-समय ग्राफ खींचना तथा इससे त्वरण ज्ञात करना।

उत्तर– विद्यार्थी स्वयं करें।

प्रश्न 2. आँकड़ों की सहायता से विस्थापन-समय ग्राफ खींचना तथा इससे वेग ज्ञात करना।

उत्तर– विद्यार्थी स्वयं करें।

■■■

4 बल

▶ दीर्घ उत्तरीय प्रश्न

प्रश्न 1. बल की परिभाषा उदाहरण सहित दीजिए। बल के क्या प्रभाव हैं?

उत्तर- **बल**-किसी भी वस्तु में गति उत्पन्न करने के लिए किसी बाह्य प्रभाव की आवश्यकता होती है, जिसे बल कहा जाता है। अत: बल वह धकेल या खिंचाव या बाह्य कारक है, जो किसी वस्तु की विरामावस्था या गतिशील अवस्था में परिवर्तन करता है या परिवर्तन करने का प्रयास करता है। बल लगाने की क्रिया सदैव दो वस्तुओं के बीच होती है। एक वस्तु जो बल लगाती है तथा दूसरी वस्तु जिस पर बल लगाया जाता है।

उदाहरणस्वरूप- यदि एक व्यक्ति ट्रक को धकेलकर गति में लाना चाहे, तो वह व्यक्ति असफल रहता है, जबकि इसमें भी उस व्यक्ति ने बल का प्रयोग किया। अत: ट्रक की स्थिति में परिवर्तन लाने के लिए कई व्यक्तियों को मिलकर ट्रक पर अधिक बल लगाना पड़ेगा। स्पष्ट है कि बल व गति में परस्पर गहरा संबंध है।

- चुंबक लोहे की वस्तु को अपनी ओर खींच लेता है, इसका अर्थ है कि चुंबक लोहे की वस्तु पर बल लगाता है।
- किसी भारी मेज को आगे की ओर खिसकाने के लिए अपनी मांसपेशियों पर तनाव डालकर मेज को आगे की ओर धकेलते हैं तो यही कहा जाएगा कि हम मेज पर बल लगाते हैं।

"वस्तु पर लगाया गया बल उस वस्तु के द्रव्यमान तथा उस वस्तु में बल की दिशा में उत्पन्न त्वरण के गुणनफल के अनुक्रमानुपाती होता है।" इसका मात्रक किग्रा-मीटर/सेकंड^2 या न्यूटन होता है। बल एक सदिश राशि है। इसे F से प्रदर्शित करते हैं।

बल के प्रभाव- किसी वस्तु पर बल लगाने के निम्नलिखित प्रभाव हो सकते हैं-

(i) बल द्वारा वस्तु के आकार अथवा रूप में परिवर्तन हो सकता है; जैसे- प्लास्टिक की एक मुलायम गेंद को हाथ में दबाने पर उसका आकार बदला जा सकता है।

(ii) बल लगाने पर किसी गतिशील वस्तु की चाल परिवर्तित हो सकती है। बल रुकी हुई वस्तु को गति में ला सकता है अथवा गतिशील वस्तु को रोक सकता है।

(iii) बल वस्तु की गति की दिशा परिवर्तित कर सकता है; जैसे- हॉकी के खेल में खिलाड़ी अपनी स्टिक द्वारा बल लगाकर गेंद को किसी भी दिशा में मोड़ देता है।

प्रश्न 2. बल के प्रकारों का उदाहरण सहित वर्णन कीजिए।

उत्तर- **बलों के प्रकार-** बल निम्नलिखित दो प्रकार के होते हैं-

(i) संतुलित बल- यदि किसी वस्तु पर दो या दो से अधिक बल एक साथ लग रहे हों और उनका परिणामी बल शून्य हो, तो वस्तु की स्थिति अथवा अवस्था में कोई परिवर्तन नहीं होता। वस्तु पर लगे ऐसे बल को संतुलित बल कहते हैं। जैसे- रबड़ की गेंद को दोनों हथेलियों के बीच रखकर बराबर व विपरीत बल लगाकर दबाने पर गेंद का रूप बदल जाएगा अर्थात् गेंद गोल न रहकर कुछ चपटी हो जाएगी। ऐसे बल को संतुलित बल कहते हैं।

(ii) **असंतुलित बल-** किसी वस्तु पर दो या अधिक बल इस प्रकार लगते हैं कि वस्तु की स्थिति, गति अथवा गति की दिशा में परिवर्तन हो जाता है अर्थात वस्तु किसी एक बल की दिशा में गति करने लगती है, तो वस्तु पर लगने वाले इस बल को असंतुलित बल कहते हैं; स्पष्ट है कि वस्तु पर लगे बलों का परिणामी बल शून्य नहीं होता। जैसे- रस्साकसी के खेल में एक टीम दूसरी से शक्तिशाली होती है तो वह रस्से को दुर्बल टीम को अपनी ओर खींच लेती है। इस अवस्था में लगे बल को अंसतुलित बल कहते हैं।

प्रश्न 3. संतुलित तथा असंतुलित बल में क्या अंतर है?

उत्तर- **संतुलित तथा असंतुलित बल में अंतर-** संतुलित तथा असंतुलित बलों में निम्नलिखित अंतर है-

क्र०सं०	संतुलित बल	असंतुलित बल
1.	संतुलित बल विरामावस्था में स्थित वस्तु को गतिशील नहीं कर सकते हैं।	असंतुलित बल विरामावस्था में स्थित वस्तु को गतिशील कर सकते हैं।
2.	जब किसी वस्तु पर संतुलित बल एक साथ लगते हैं तो इसका परिणामी बल शून्य होता है।	जब किसी वस्तु पर असंतुलित बल एक साथ लगते हैं, तो इसका परिणामी बल शून्य नहीं होता है।
3.	संतुलित बल गतिशील वस्तु की चाल तथा दिशा में परिवर्तन नहीं कर सकते हैं।	असंतुलित बल गतिशील वस्तु की चाल तथा दिशा में परिवर्तन कर सकते हैं।
4.	संतुलित बल वस्तु के आकार में परिवर्तन कर देते हैं।	असंतुलित बल वस्तु के आकार में परिवर्तन नहीं करते हैं।

प्रश्न 4. न्यूटन के गति विषयक प्रथम नियम की व्याख्या कीजिए।

उत्तर- **न्यूटन का गति विषयक प्रथम नियम-** यदि कोई वस्तु विरामावस्था में है, तो यह विरामावस्था में ही बनी रहेगी और यदि यह गतिशील अवस्था में है, तो गतिशील अवस्था में ही रहेगी, जब तक कि उस पर कोई बाह्य बल लगाकर उसकी वर्तमान अवस्था में परिवर्तन न किया जाए। यह न्यूटन का गति का प्रथम नियम कहलाता है। इसे गैलीलियो का नियम अथवा जड़त्व का नियम भी कहते हैं। प्रत्येक वस्तु में अपनी विरामावस्था अथवा एक समान गति की अवस्था को बनाए रखने की प्रवृत्ति होती है। यह प्रवृत्ति ही जड़त्व कहलाती है। उदाहरणस्वरूप

(i) चलती गाड़ी से उतरते समय यात्री को उतरकर गाड़ी के साथ-साथ थोड़ी दूर दौड़ना पड़ता है।

(ii) मेज पर रखी हुई कोई पुस्तक तब तक उसी अवस्था में स्थिर रहेगी जब तक उस पर कोई बाह्य बल न लगाया जाए।

(iii) किसी गेंद को जमीन पर लुढ़काने पर वह कुछ दूर जाकर रुक जाती है। यदि यह घर्षण बल न हो तो गेंद उसी गति से बिना रुके चलती रहेगी।

प्रश्न 5. न्यूटन के गति के द्वितीय नियम का स्पष्टीकरण देते हुए किसी वस्तु पर लगाए गए बल उसके द्रव्यमान तथा बल के कारण उत्पन्न त्वरण में अंतर स्पष्ट कीजिए।

उत्तर- **न्यूटन का गति का द्वितीय नियम-**किसी वस्तु पर बाहर से लगाया गया बल (F) उस वस्तु के द्रव्यमान (m) तथा उस वस्तु के बल की दिशा में उत्पन्न त्वरण (a) के गुणनफल के बराबर होता है।

$$F \propto ma$$

या $F = Kma$ ... (i)

जहाँ K एक नियतांक है।

यदि हम बल (F) के मात्रक इस प्रकार चुने की एकांक बल, एकांक द्रव्यमान की वस्तु में एकांक त्वरण उत्पन्न कर सके, तब समीकरण (1) में,

$F = 1, m = 1$ तथा $a = 1$ रखने पर

$$1 = K \times 1 \times 1$$

अथवा $K = 1$

अत: समीकरण (1) से,

$$\boldsymbol{F = m \times a}$$

अर्थात् बल = द्रव्यमान × त्वरण

यही न्यूटन का गति का द्वितीय नियम है।

यदि $F = 0$ है, तो $a = 0$

अर्थात् यदि वस्तु पर बाह्य बल न लगाया जाए, तो वस्तु में त्वरण भी उत्पन्न नहीं होता। अत: न्यूटन का प्रथम नियम, द्वितीय नियम का ही रूप है। बल का मात्रक न्यूटन है। 1 न्यूटन बल उस बल के बराबर होता है, जो 1 किग्रा द्रव्यमान की वस्तु पर आरोपित करने पर उसमें 1 मीटर/सेकंड^2 का त्वरण उत्पन्न करता है।

1 न्यूटन = 1 किग्रा × 1 मीटर/सेकंड^2

या 1 न्यूटन = 1 किग्रा-मीटर/सेकंड^2

प्रश्न 6. न्यूटन के गति के तृतीय नियम की व्याख्या कीजिए तथा इसका गणितीय सूत्र भी लिखिए।

उत्तर- **न्यूटन का गति का तृतीय नियम-** प्रत्येक क्रिया के लिए उसके बराबर परंतु विपरीत दिशा में, प्रतिक्रिया होती है अर्थात् यदि कोई वस्तु किसी दूसरी वस्तु पर बल लगाती है तो दूसरी वस्तु भी परिमाण में उतना ही बल, परंतु विपरीत दिशा में पहली वस्तु पर लगाती है। इसे क्रिया-प्रतिक्रिया का नियम भी कहते हैं।

माना A तथा B दो पिंड एक-दूसरे पर बल आरोपित कर रहे हैं। तब इस नियम के अनुसार,

A पिंड द्वारा B पिंड पर आरोपित बल = B पिंड द्वारा A पर विपरीत दिशा में आरोपित बल

$$F_{AB} = -F_{AB}$$

उदाहरण- जब कोई गेंद बल्ले से टकराती है तो बल्ला गेंद पर एक बल (F_1) लगाता है तथा गेंद भी बल्ले पर बल (F_2) लगाती है। ये दोनों क्रिया और प्रतिक्रिया बल परिमाण में बराबर होते हैं, परंतु विपरीत दिशा में लगते हैं,

अत: $\vec{F_1} = -\vec{F_2}$

प्रश्न 7. न्यूटन के गति के क्रिया-प्रतिक्रिया नियम का पालन करने वाले कुछ उदाहरणों पर प्रकाश डालिए।

उत्तर- **क्रिया-प्रतिक्रिया नियम-** "प्रत्येक क्रिया के लिए उसके बराबर परंतु विपरीत दिशा में प्रतिक्रिया होती है।" अर्थात् यदि कोई वस्तु किसी दूसरी वस्तु पर बल लगाती है तो दूसरी वस्तु भी परिमाण में उतना ही बल, परंतु विपरीत दिशा में पहली वस्तु पर लगाती है। इसे क्रिया-प्रतिक्रिया का नियम कहते हैं।

उदाहरण-

(i) **घोड़े का गाड़ी खींचना-** घोड़ा, गाड़ी को खींचते समय अपनी पिछली टाँगों से भूमि को पीछे की ओर दबाता है जिससे प्रतिक्रिया के रूप में भूमि घोड़े पर आगे की ओर बल लगाती है और गाड़ी आगे बढ़ जाती है।

(ii) **मनुष्य द्वारा भूमि पर चलना-** जब हम भूमि पर चलते हैं तो हम पैर से भूमि को पीछे धकेलते हैं, जो क्रिया बल है। इसके परिणामस्वरूप एक प्रतिक्रिया बल भूमि द्वारा हमारे पैरों पर लगाता है, जिससे हम आगे की ओर चल पाते हैं।

(iii) **बंदूक से गोली दागने पर-** जब बंदूक से गोली छोड़ी जाती है तो उसमें उपस्थित बारूद की तुरंत गैस बन जाती है जोकि फैलकर गोली को तेजी से बाहर की ओर धकेल देती है। गोली भी बंदूक पर एकसमान परंतु विपरीत दिशा में, प्रतिक्रिया बल लगाती है जिससे गोली चलाने वाले को पीछे की ओर झटका लगता है।

(iv) **तैरते समय-** तैराक तैरते समय पानी को पीछे की ओर धकेलता है, प्रतिक्रिया के फलस्वरूप पानी तैराक को आगे की ओर धकेल देता है। अत: स्पष्ट है कि तैराक जितनी तेजी से पानी को पीछे की ओर धकेलेगा, उतना ही तेज तैरेगा।

(v) **रॉकेट की गति-** रॉकेट में आंतरिक दहन द्वारा ज्वलनशील पदार्थ को जलाकर बहुत अधिक मात्रा में उत्पन्न गैस को जेट नली द्वारा अत्यधिक वेग से बाहर निकाला जाता है। गैस द्वारा आरोपित बल के विपरीत दिशा में समान प्रतिक्रिया बल रॉकेट पर लगता है जो उसे ऊपर की ओर बढ़ाता है।

प्रश्न 8. जड़त्व किसे कहते हैं? यह कितने प्रकार का होता है?

उत्तर- जड़त्व वस्तुओं का वह गुण है, जिसके कारण वस्तुएँ अपनी विरामावस्था या गति की अवस्था को बनाए रखने का प्रयत्न करती है। यदि वस्तु विरामावस्था में है तो विरामावस्था में ही रहेगी और यदि वह समान वेग से किसी दिशा में चल रही है तो वह उसी वेग से उसी दिशा में चलती रहेगी। वस्तुओं की इस प्रवृति को, कि वे स्वयं अपनी विराम अथवा गति की अवस्था को नहीं बदलती, जड़त्व कहते हैं। जड़त्व के कारण ही वस्तु अपनी अवस्था में परिवर्तन का विरोध करती है। अवस्था परिवर्तन के लिए बाह्य बल की आवश्यकता पड़ती है। जड़त्व का अर्थ परिवर्तन न होना है। किसी वस्तु का जड़त्व, उसके द्रव्यमान के अनुक्रमानुपाती होता है। वस्तु का द्रव्यमान जितना अधिक होगा, उसका जड़त्व भी उतना ही अधिक होगा अर्थात् वस्तु का द्रव्यमान ही उसके जड़त्व की माप है। उदाहरण के लिए माना समान आकार की तथा भिन्न-भिन्न द्रव्यमान की दो वस्तुएँ हैं; जैसे- एक क्रिकेट गेंद तथा एक पत्थर। दोनों में पूरी शक्ति से ठोकर मारने पर गेंद गतिशील होकर बहुत दूर चली जाती है जबकि पत्थर थोड़ी दूर पर ही लुढ़ककर रुक जाता है।

जड़त्व निम्नलिखित प्रकार के होते हैं—

(i) **विराम का जड़त्व-** यदि कोई वस्तु विरामावस्था में है तो विरामावस्था में ही रहेगी जब तक कि उस पर कोई बाह्य बल लगाकर उसकी स्थिर अवस्था को बदल नहीं दिया जाता। वस्तुओं की इस प्रवृत्ति को विराम का जड़त्व कहते हैं।

(ii) **गति का जड़त्व-** यदि कोई वस्तु एक समान चाल से सीधी रेखा में चल रही है तो वह उस समय तक उसी दिशा में चलती रहेगी जब तक कि उस पर कोई बाह्य बल लगाकर उसकी गति की अवस्था में परिवर्तन न कर दिया जाए। वस्तुओं की इस प्रवृत्ति को गति का जड़त्व कहते हैं।

प्रश्न 9. वस्तुओं में जड़त्व के किन्ही छः उदाहरणों का संक्षिप्त वर्णन कीजिए।

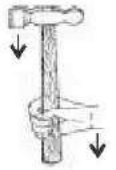
उत्तर- **वस्तुओं में जड़त्व के उदाहरण-** वस्तुओं में जड़त्व के कुछ उदाहरण निम्नलिखित हैं-

(i) **बोतल पर रखे गत्ते को अचानक हटा देने पर उस पर रखी गेंद बोतल में गिर जाती है-** 1 काँच की बोतल पर एक गत्ता रखा है जिस पर एक गेंद रखी हुई है। जब गत्ते को अचानक अंगुली से टकराकर हटा देते हैं तो गेंद बोतल में गिर जाती है। क्योंकि प्रारंभ में गत्ता तथा गेंद दोनों विरामावस्था में हैं। अंगुली से टकराने पर गत्ते में गति उत्पन्न हो जाती है जबकि जड़त्व के कारण गेंद उसी स्थान पर ठहरी रहती है। अत: गत्ता हटकर आगे बढ़ जाता है तथा गेंद बोतल में गिर जाती है।

(ii) **खिड़की के शीशे में बंदूक की गोली मारने पर शीशे में एक गोल छेद हो जाता है परंतु पत्थर का एक छोटा-सा टुकड़ा मारने पर शीश चटक जाता है-** जिस स्थान पर गोली लगती है उस स्थान के शीशे में तेज गति पैदा हो जाती है, परंतु शीशे का शेष भाग जड़त्व के कारण विरामावस्था में ही रहता है, जब तक वह भाग गतिशील हो, तब तक गोली आर-पार निकल चुकी होती है। अत: गोली लगने के स्थान पर छेद हो जाता है। परंतु पत्थर का वेग कम हो जाता है, अत: उसके शीशे के पार निकलने से पहले ही शेष शीशा भी वेग ले लेता है, इसलिए चटक जाता है।

(iii) **कंबल को हाथ से पकड़कर डंडे से पीटने पर धूल के कण झड़कर गिर पड़ते हैं-** डंडे से पीटने पर कंबल तो गतिशील हो जाता है, परंतु धूल के कण जड़त्व के कारण वहीं ठहरे रहते हैं। अत: कण कंबल से अलग हो जाते हैं तथा नीचे गिर पड़ते हैं। यही कारण है कि पेड़ को हिलाने से उसके फल टूटकर नीचे गिरने लगते हैं।

(iv) **हथौड़े को हत्थे में कसने के लिए हत्थे को पृथ्वी पर उर्ध्वाधर पटकते हैं-** जब हथौड़े के हत्थे को नीचे की ओर करके पृथ्वी पर पटकने के लिए तीव्र वेग से लाते हैं तो हथौड़ा तथा हत्था दोनों गतिशील अवस्था में होते हैं। हत्थे का सिरा पृथ्वी पर लगते ही विरामावस्था में आ जाता है, परंतु हथौड़ा अब भी जड़त्व के कारण गति की अवस्था में रहता है, जिससे वह नीचे आकर हत्थे में और कस जाता है।



(v) **ठहरी हुई मोटर या रेलगाड़ी के अचानक चल पड़ने पर उसमें बैठे यात्री पीछे की ओर गिर पड़ते हैं-** यात्री के शरीर का निचला भाग गाड़ी के संपर्क में होने के कारण गाड़ी के चलने पर तुरंत ही चल पड़ता है परंतु ऊपरी भाग जड़त्व के कारण अभी वहीं ठहरा रहना चाहता है, इसलिए पीछे रह जाता है। इसी प्रकार चलती हुई गाड़ी पर चढ़ने वाले यात्री के पैर गाड़ी पर चढ़ते ही गतिशील हो जाते हैं परंतु शरीर अपनी विरामावस्था में ही रहता है जिसके कारण यात्री पीछे की ओर गिर पड़ता है। अत: चलती गाड़ी पर चढ़ने से पहले कुछ दूर गाड़ी की दिशा में दौड़ना चाहिए।

(vi) **चलती हुए मोटरकार के अचानक रुकने पर उसमें बैठे यात्री आगे को झुक जाते हैं-** मोटरकार के रुकने पर उसका फर्श तथा उस पर टिके यात्रियों के पैर तुरंत ठहर जाते हैं, परंतु शरीर का शेष भाग जड़त्व के कारण अभी भी गतिशील रहता है। इसलिए यात्री आगे की ओर झुक जाते हैं। यही कारण है कि तेज दौड़ता हुआ घोड़ा जब अचानक रुक जाता है तो उस पर ढीला-ढाला बैठा हुआ सवार

आगे की ओर गिर जाता है। इसी प्रकार जब कोई यात्री जल्दी में गाड़ी से उतरता है तो वह आगे की ओर गिर जाता है। उसके पैर पृथ्वी को छूते ही विरामावस्था में आ जाते हैं, परंतु शरीर का ऊपरी भाग उसी वेग से चलते रहने का प्रयत्न करता है। अत: वह गाड़ी के चलने की दिशा में ही गिर पड़ता है। इसलिए चलती गाड़ी से उतरने पर थोड़ी दूर गाड़ी के साथ-साथ दौड़ना चाहिए। ऐसा करके यात्री अपनी मांसपेशियों द्वारा उपयुक्त बल लगाकर पूरे शरीर को एक साथ रोक लेता है।

प्रश्न 10. संवेग की परिभाषा लिखिए तथा वस्तु के संवेग परिवर्तन तथा आरोपित बल में संबंध ज्ञात कीजिए।

उत्तर- किसी वस्तु का संवेग उसके द्रव्यमान तथा वेग के गुणनफल के बराबर होता है। इसे P से प्रदर्शित करते हैं। यह एक सदिश राशि है तथा इसकी दिशा वही होती है, जो वेग की होती है।

यदि वस्तु का द्रव्यमान m तथा वेग v हो, तो

संवेग = द्रव्यमान × वेग

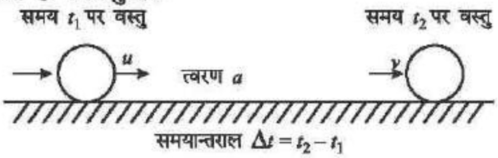
$$\vec{P} = m \times \vec{v} \quad \Rightarrow \quad \vec{P} = m\vec{v}$$

मात्रक- संवेग का मात्रक = द्रव्यमान का मात्रक × वेग का मात्रक

= किग्रा × मीटर/सेकंड

संवेग का मात्रक किग्रा-मीटर/सेकंड होता है। इसे न्यूटन/सेकंड भी लिख सकते हैं। सी०जी० एस० प्रणाली में संवेग का मात्रक ग्राम-सेमी/सेकंड है इसे डाइन-सेकंड भी लिख सकते हैं।

संवेग-परिवर्तन और बल में संबंध- यदि m द्रव्यमान वाली किसी गतिशील वस्तु का प्रारंभिक वेग u है तथा बाह्य बल F लगाने पर Δt समय के अंतराल के बाद उसका वेग v हो जाता है। चित्रानुसार-



तब, वस्तु का प्रारंभिक संवेग $\vec{P_1} = m\vec{v}$

या Δt समयांतराल के बाद वस्तु का अंतिम संवेग $\vec{P_2} = m\vec{v}$

संवेग में परिवर्तन $\Delta\vec{P}$= अंतिम संवेग − प्रारम्भिक संवेग $= \vec{P_2} - \vec{P_1}$

$$\text{संवेग-परिवर्तन की दर} = \frac{\Delta\vec{P}}{\Delta t} = \frac{\vec{P_2} - \vec{P_1}}{\Delta t} = \frac{m\vec{v} - m\vec{u}}{\Delta t}$$

$$= \frac{m(\vec{v} - \vec{u})}{\Delta t} = \frac{m\Delta\vec{v}}{\Delta t} \quad ...(1)$$

परन्तु $\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$ वस्तु के वेग-परिवर्तन की दर है, जिसे वस्तु का त्वरण a कहते हैं। अत: समीकरण (1) से,

$$\text{संवेग-परिवर्तन की दर} = \frac{\Delta\vec{P}}{\Delta t} = m\vec{a} \quad ...(2)$$

परन्तु न्यूटन के द्वितीय नियम से,

$$F = m\vec{a} \quad ...(3)$$

समीकरण (2) व (3) की तुलना करने पर,

संवेग-परिवर्तन की दर = आरोपित बल

या $\dfrac{\Delta \vec{P}}{\Delta t} = \vec{F}$ या $\vec{F} = \dfrac{\Delta \vec{P}}{\Delta t}$

अत: संवेग-परिवर्तन की दर किसी वस्तु अथवा पिंड पर आरोपित बल के बराबर होती है अर्थात् पिंड के द्रव्यमान एवं त्वरण के गुणनफल के बराबर होती है। संवेग-परिवर्तन बल की दिशा होता है। स्पष्ट है कि यदि वस्तु पर कोई बाह्य बल लग रहा हो ($\vec{F} = 0$) तो वस्तु के संवेग में परिवर्तन शून्य होगा अर्थात् संवेग नियत रहेगा।

उपर्युक्त बल व संवेग में संबंध निम्न प्रकार से भी ज्ञात कर सकते हैं-

न्यूटन के द्वितीय नियम के अनुसार,

बल = द्रव्यमान × त्वरण

$$F = ma \quad ...(1)$$

माना F बल लगाने पर m द्रव्यमान वाली वस्तु का वेग t समय में v_1 से v_2 हो जाता है। अत: वस्तु में उत्पन्न त्वरण

$$a = \frac{\text{वेग - परिवर्तन}}{\text{समय}} = \frac{\text{अंतिम वेग - प्रारंभिक वेग}}{\text{समय}}$$

$$a = \frac{v_2 - v_1}{t} \quad ...(2)$$

समीकरण (2) से a का मान समीकरण (1) में रखने पर

$$F = \frac{m(v_2 - v_1)}{t} = \frac{mv_2 - mv_1}{t}$$

$$a = \frac{P_2 - P_1}{t} \quad [\because \text{संवेग}\, P = mv]$$

$$\text{बल} = \frac{\text{संवेग - परिवर्तन}}{\text{समय}}$$

या बल = संवेग-परिवर्तन की दर

प्रश्न 11. संवेग-संरक्षण के नियम को समझाइए।

उत्तर- **संवेग-संरक्षण का नियम-** यदि दो या दो से अधिक वस्तुओं के समुदाय पर कोई बाह्य बल कार्य न करे तो समुदाय का संयुक्त संवेग नियत रहता है। इसे 'संवेग-संरक्षण का नियम' कहते हैं। माना m_1 तथा m_2 द्रव्यमानों के दो पिंड एक चिकने क्षैतिज तल पर क्रमश: u_1 व u_2 वेगों से चल रहे हैं। इनके संवेग क्रमश: $P_1 = m_1v_1$ तथा $P_2 = m_2v_2$ हैं।

माना कि पिंड परस्पर टकराकर एक-दूसरे से अलग-अलग हो जाते हैं। यदि टकराने के पश्चात् पिंडों के वेग क्रमश: v_1 व v_2 हों तो उनके संवेग क्रमश: m_1v_1 व m_2v_2 होंगे।

तब $m_1u_1 + m_2u_2 = m_1v_1 + m_2v_2$

या $-m_1(v_1 - u_2) = m_2(v_2 - u_2)$

अत: स्पष्ट है कि एक पिंड में जितना संवेग-परिवर्तन होगा, दूसरे में भी उतना ही विपरीत संवेग-परिवर्तन हो जाएगा। इस प्रकार दोनों पिंडों के संयुक्त संवेग का मान नियत रहेगा।

उदाहरणस्वरूप- जब बंदूक से गोली छोड़ी जाती है तो बंदूक गोली को बड़े वेग से आगे की ओर फेंकती है। इससे गोली में आगे की दिशा में संवेग उत्पन्न हो जाता है। गोली भी बंदूक पर प्रतिक्रिया-बल लगाती है, जिससे कि बंदूक में पीछे की दिशा में उतना ही संवेग उत्पन्न हो जाता है तथा वह पीछे की ओर को हटती है। बंदूक का द्रव्यमान गोली के द्रव्यमान से कहीं अधिक है, अत: बंदूक के पीछे हटने का वेग गोली बढ़ने के वेग की अपेक्षा बहुत कम होता है। बंदूक छोड़ने वाला बंदूक को कंधे से दबाकर रखता है ताकि बंदूक व शरीर एक हो जाएँ। इस प्रकार द्रव्यमान बढ़ जाने से शरीर को भारी धक्का नहीं लगता है।

प्रश्न 12. बल का आवेग से आप क्या समझते हैं? आवेग तथा संवेग-परिवर्तन में संबंध ज्ञात कीजिए।

उत्तर- जब कोई बड़ा बल किसी वस्तु पर थोड़े समयांतराल के लिए लगता है तो बल तथा समयांतराल के गुणनफल को बल का आवेग कहते हैं अथवा जब कोई बल (F) किसी वस्तु पर अल्प समयांतराल (Δt) के लिए लगता है, तो बल (F) और समयांतराल (Δt) के गुणनफल को बल का आवेग कहते हैं। बल एंव संवेग के संबंध को आवेग द्वारा परिभाषित किया जा सकता है।

$$\vec{F} = \frac{\Delta \vec{P}}{\Delta t}$$

या बल × समयांतराल = संवेग-परिवर्तन

बल का आवेग = संवेग-परिवर्तन = बल × समयांतराल

$$\Delta \vec{P} = \vec{F} \times \Delta t$$

आवेग एक सदिश राशि है तथा आवेग का मात्रक न्यूटन-सेकंड या किग्रा-मीटर/सेकंड है।

आवेग तथा संवेग परिवर्तन में संबंध- आवेग की परिभाषा से,

$$\text{आवेग} = \vec{F} \cdot \Delta t$$

परंतु न्यूटन के द्वितीय गति नियम से

$$F = ma$$

$$\text{आवेग} = m \cdot a \cdot \Delta t = m \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t} \Delta t \qquad \left[\because a = \frac{\Delta v}{\Delta t}\right]$$

$$= m \cdot \Delta v$$

$$= m(v - u) = mv - mu$$

= अंतिम संवेग - प्रारंभिक संवेग = संवेग - परिवर्तन

अत: **आवेग = संवेग - परिवर्तन**

▶ लघु उत्तरीय प्रश्न

प्रश्न 1. बल क्या है?

उत्तर- **बल**-बल वह बाह्य कारक है, जो किसी वस्तु की विरामावस्था अथवा गतिशील अवस्था में परिवर्तन करता है अथवा करने का प्रयत्न करता है। यह गतिशील वस्तु की गति, उसकी दिशा तथा वस्तु की आकृति भी परिवर्तित कर सकता है।

अत: किसी वस्तु पर बाहर से लगाया गया बल (F) उस वस्तु के द्रव्यमान (m) तथा उस वस्तु के बल की दिशा में उत्पन्न त्वरण (a) के गुणनफल के बराबर होता है। बल एक सदिश राशि है।

$$\text{बल } (F) = \text{द्रव्यमान } (m) \times \text{त्वरण } (a)$$

$$F = ma$$

बल का मात्रक न्यूटन है। बल की माप का S.I. मात्रक किग्रा-मीटर/सेकंड है।

प्रश्न 2. बल के कोई दो प्रभाव लिखिए।

उत्तर- **बल के प्रभाव-** किसी वस्तु पर बल लगाने के निम्नलिखित प्रभाव हो सकते हैं-

(i) बल द्वारा वस्तु के आकार अथवा रूप में परिवर्तन हो सकता है; जैसे- प्लास्टिक की एक मुलायम गेंद को हाथ से दबाने पर उसका आकार बदला जा सकता है।

(ii) बल लगाने पर किसी गतिशील वस्तु की चाल परिवर्तित हो सकती है। बल रुकी हुई वस्तु को गति में ला सकता है अथवा गतिशील वस्तु को रोक सकता है।

(iii) बल वस्तु की गति की दिशा परिवर्तित कर सकता है।

प्रश्न 3. जड़त्व व द्रव्यमान का आपस में क्या संबंध है?

उत्तर- किसी वस्तु का जड़त्व, उसके द्रव्यमान के अनुक्रमानुपाती होता है। वस्तु का द्रव्यमान जितना अधिक होगा, उसका जड़त्व भी उतना ही अधिक होगा अर्थात् वस्तु का द्रव्यमान ही उसके जड़त्व की माप है। उदाहरण के लिए, माना समान आकार तथा भिन्न-भिन्न द्रव्यमान की दो वस्तुएँ हैं; जैसे- एक क्रिकेट गेंद तथा एक पत्थर। दोनों में पूरी शक्ति से ठोकर मारने पर गेंद गतिशील होकर बहुत दूर चली जाती है। जबकि पत्थर थोड़ी दूरी पर ही लुढ़ककर रुक जाता है।

प्रश्न 4. जड़त्व किसे कहते हैं?

उत्तर- जड़त्व वस्तुओं का वह गुण है, जिसके कारण वस्तुएँ अपनी विरामावस्था या गति की अवस्था को बनाए रखने का प्रयत्न करती हैं। यदि वस्तु विरामावस्था में है तो विरामावस्था में ही रहेगी और यदि वह समान वेग से किसी दिशा में चल रही है तो वह उसी दिशा में चलती रहेगी। वस्तुओं की इस प्रवृति को, कि वे स्वयं अपनी विराम अथवा गति की अवस्था को नहीं बदलती, जड़त्व कहते हैं। किसी वस्तु का जड़त्व, उसके द्रव्यमान के अनुक्रमानुपाती होता है। वस्तु का द्रव्यमान जितना अधिक होगा, उसका जड़त्व भी उतना ही अधिक होगा अर्थात् वस्तु का द्रव्यमान ही उसके जड़त्व की माप है।

प्रश्न 5. किसी चलती गाड़ी से उतरने पर यात्री गिर पड़ते हैं। क्यों?

उत्तर- किसी चलती गाड़ी से उतरने पर यात्री गिर पड़ते हैं। क्योंकि पृथ्वी को छूते ही पैर विरामावस्था में आ जाते हैं। परंतु शरीर का ऊपरी भाग उसी वेग से चलते रहने का प्रयत्न करता है। अत: वह गाड़ी चलने की दिशा में ही गिर पड़ता है। इसलिए चलती गाड़ी से उतरने पर थोड़ी दूर गाड़ी के साथ-साथ दौड़ना चाहिए। ऐसा करके यात्री अपनी मांसपेशियों द्वारा उपयुक्त बल लगाकर पूरे शरीर को एक साथ रोक लेता है।

प्रश्न 6. बंदूक की गोली शीशे में गोल छिद्र कर देती है, जबकि पत्थर मारने पर शीशा चटक जाता है। क्यों?

उत्तर- बंदूक की गोली शीशे मे गोल छिद्र कर देती है, जबकि पत्थर मारने पर शीशा चटक जाता है। क्योंकि जिस स्थान पर गोली लगती है उस स्थान के शीशे में तेज गति पैदा हो जाती है, परंतु शीशे का शेष भाग जड़त्व के कारण विरामावस्था में ही रहता है। जब तक वह भाग गतिशील हो, तब तक गोली आर-पार निकल चुकी होती है। अत: गोली लगने के स्थान पर छेद हो जाता है। परंतु पत्थर का वेग कम होता है, अत: उसके शीशे के पार निकलने से पहले ही शीशा भी वेग ले लेता है, इसलिए चटक जाता है।

प्रश्न 7. गैलीलियो का जड़त्व का नियम क्या है?

उत्तर– **गैलीलियों का जड़त्व का नियम–** इस नियम के अनुसार यदि कोई वस्तु विरामावस्था में है, तो यह विरामावस्था में ही बनी रहेगी और यदि यह गतिशील अवस्था में है, तो गतिशील अवस्था में ही रहेगी, जब तक कि उस पर कोई बाह्य बल लगातार उसकी वर्तमान अवस्था में परिवर्तन न किया जाए। इस नियम को न्यूटन का गति का प्रथम नियम, जड़त्व का नियम या 'गैलीलियो का नियम' भी कहते हैं। उदाहरण-चलती गाड़ी से उतरते समय यात्री को उतरकर गाड़ी के साथ-साथ थोड़ी दूर तक दौड़ना पड़ता है।

प्रश्न 8. 1 डाइन से आप क्या समझते हैं?

उत्तर– "1 डाइन बल, वह बल है जो एक ग्राम द्रव्यमान की किसी वस्तु में 1 सेमी/सेकंड^2 का त्वरण उत्पन्न कर दे" इस प्रकार–

1 डाइन = 1 ग्राम × 1 सेमी/सेकंड^2

प्रश्न 9. 1 न्यूटन की परिभाषा दीजिए।

उत्तर– न्यूटन बल का M.K.S. प्रणाली या S.I. प्रणाली में मात्रक है। 1 न्यूटन बल उस बल के बराबर होता है, जो 1 किग्रा द्रव्यमान की वस्तु पर आरोपित करने पर उसमें 1 मीटर/सेकंड^2 का त्वरण उत्पन्न करता है।

1 न्यूटन = 1 किग्रा × 1 मीटर/सेकंड^2

बल की माप का S.I. प्रणाली में मात्रक किग्रा-मीटर/सेकंड^2 भी होता है।

प्रश्न 10. संवेग किसे कहते हैं? इसका अंतर्राष्ट्रीय पद्धति में मात्रक लिखिए।

उत्तर– **संवेग**–किसी वस्तु का संवेग उसके द्रव्यमान तथा वेग के गुणनफल के बराबर होता है। इसे P से प्रदर्शित करते हैं। यह एक सदिश राशि है तथा इसकी दिशा वही होती है, जो वेग की होती है। यदि वस्तु का द्रव्यमान m तथा वेग v हो, तो

संवेग = द्रव्यमान × वेग

$$\vec{P} = m \times \vec{v} \Rightarrow \vec{P} = m \times \vec{v}$$

संवेग का मात्रक = द्रव्यमान का मात्रक × वेग का मात्रक

= किग्रा × मीटर/सेकंड

संवेग का मात्रक किग्रा-मीटर/सेकंड या न्यूटन-सेकंड भी लिख सकते हैं।

प्रश्न 11. समान चाल से गति करती हुई एक क्रिकेट की गेंद तथा टेनिस की गेंद में से टेनिस की गेंद को रोकना आसान क्यों है?

उत्तर– हम जानते हैं कि क्रिकेट की गेंद का द्रव्यमान, टेनिस की गेंद के द्रव्यमान की अपेक्षा अधिक होता है। अत: स्पष्ट है कि क्रिकेट की गेंद का जड़त्व व संवेग भी, टेनिस की गेंद के जड़त्व व संवेग से अधिक होंगे तथा क्रिकेट की गेंद को रोकने में अधिक बल लगाना पड़ेगा। अत: टेनिस की गेंद को रोकना क्रिकेट की गेंद की अपेक्षा आसान होता है।

प्रश्न 12. किसी कालीन को छड़ से पीटने पर उसमें से काफी धूल निकलने लगती है? क्यों?

उत्तर– जब एक कालीन को छड़ से पीटा जाता है तो उससे धूल के कण नीचे गिर जाते हैं क्योंकि धूल के कण जड़त्व के कारण विराम की अवस्था में ही रहना चाहते हैं, परंतु कालीन को छड़ से पीटे जाने के कारण कालीन आगे-पीछे गति करने लगता है। इसी के परिणामस्वरूप धूल के कण नीचे गिर जाते हैं।

प्रश्न 13. बल का आवेग किसे कहते हैं? इसका मात्रक लिखिए।

उत्तर– जब कोई बड़ा बल किसी वस्तु पर थोड़े समयांतराल के लिए लगता है तो बल तथा समयांतराल के गुणनफल को बल का आवेग कहते हैं अथवा जब कोई बल (F) किसी

वस्तु पर अल्प समयांतराल (Δt) के लिए लगता है, तो बल (F) और समयांतराल (Δt) के गुणनफल को बल का आवेग कहते हैं। बल एवं संवेग के संबंध को आवेग द्वारा परिभाषित किया जा सकता है।

$$\vec{F} = \frac{\Delta \vec{P}}{\Delta t}$$

बल × समयांतराल = संवेग–परिवर्तन

बल का आवेग = संवेग–परिवर्तन = बल × समयांतराल

$$\Delta \vec{P} = \vec{F} \times \Delta t$$

बल का आवेग एक सदिश राशि है तथा इसका मात्रक न्यूटन–सेकंड या किग्रा–मीटर/सेकंड है।

प्रश्न 14. न्यूटन के गति के द्वितीय नियम को समझाइए।

उत्तर– किसी वस्तु पर बाहर से लगाया गया बल उस वस्तु के द्रव्यमान तथा उस वस्तु के बल की दिशा में उत्पन्न त्वरण के गुणनफल के अनुक्रमानुपाती होता है।

$$F \propto m \times a$$

$$F = K \cdot m \cdot a, \quad \text{जहाँ } K \text{ एक नियतांक है।} \quad ...(i)$$

यदि हम बल F के मात्रक इस प्रकार चुने, कि 1 न्यूटन बल, 1 किग्रा द्रव्यमान की वस्तु में 1 मीटर/सेकंड^2 त्वरण उत्पन्न कर सके, तब समीकरण (i) में,

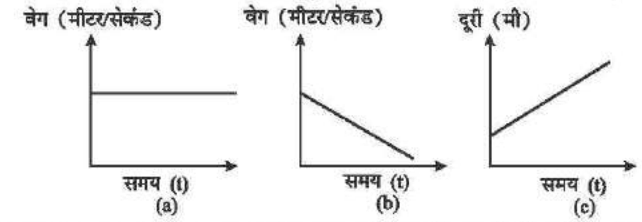
$$F = a = m = 1$$

$$K = 1$$

अत: समीकरण (i) से, $F = m \times a$

इसका मात्रक न्यूटन या किग्रा–मीटर/सेकंड^2 है। सी०जी०एस० प्रणाली में बल के मात्रक को डाइन कहते हैं।

प्रश्न 15. निम्न ग्राफों में से कौन–सा असंतुलित बल को निरूपित करता है और क्यों?



उत्तर– चित्र (b) तथा चित्र (c) असंतुलित बल को प्रदर्शित करते हैं क्योंकि चित्रानुसार (a) में वेग परिवर्तन नियत है अर्थात् वस्तु का त्वरण नियत है। इसलिए चित्र (a) असंतुलित बल नहीं है। चित्रानुसार (b) तथा (c) में वेग परिवर्तन हो रहा है अर्थात् वस्तु का त्वरण और मंदन हो रहा है। इसलिए (b) तथा (c) संतुलित बल हैं।

प्रश्न 16. क्रिया और प्रतिक्रिया बल से आप क्या समझते हैं?

उत्तर– **क्रिया और प्रतिक्रिया बल–** "प्रत्येक क्रिया के लिए उसके बराबर परंतु विपरीत दिशा में प्रतिक्रिया बल लगता है।" क्रिया और प्रतिक्रिया बल सदैव युग्म के रूप में विद्यमान रहते हैं। क्रिया और प्रतिक्रिया बल सदैव अलग–अलग वस्तुओं पर लगते हैं,

जैसे– जब कोई गेंद बल्ले से टकराती है तो बल्ला गेंद पर एक बल (F_1) लगाता है तथा गेंद भी बल्ले पर बल (F_2) लगाती है। ये दोनों क्रिया और प्रतिक्रिया बल परिमाण में बराबर होते हैं, परंतु विपरीत दिशा में लगते हैं,

अत: $\vec{F_1} = -\vec{F_2}$

प्रश्न 17. संवेग संरक्षण के नियम को निगमित कीजिए।

उत्तर– यदि दो या दो से अधिक वस्तुओं के समुदाय पर कोई बाह्य बल कार्य न करे तो समुदाय का संयुक्त संवेग नियत रहता है। इसे 'संवेग संरक्षण का नियम' कहते हैं।

माना कि M_1 तथा M_2 द्रव्यमानों के दो पिंड एक चिकने क्षैतिज तल पर क्रमशः u_1 व u_2 वेगों से चल रहे हैं इनके संवेग क्रमशः $P_1 = m_1u_1$ तथा $P_2 = m_2u_2$ हैं।

माना कि पिंड परस्पर टकराकर एक-दूसरे से अलग-अलग हो जाते हैं। यदि टकराने के पश्चात् पिंडो के वेग क्रमशः v_1 व v_2 हों तो उनके संवेग क्रमशः m_1v_1 व m_2v_2 होंगे।

तब $$m_1u_1 + m_2u_2 = m_1v_1 + m_2v_2$$

अथवा $$-m(v_1 - u_1) = m_2(v_2 - u_2)$$

अतः स्पष्ट है कि एक पिंड में जितना संवेग परिवर्तन होगा, दूसरे में भी उतना ही विपरीत संवेग परिवर्तन हो जाएगा। इस प्रकार दोनों पिंडों के संयुक्त संवेग का मान नियत होगा।

▶ अतिलघु उत्तरीय प्रश्न

(इसके लिए अपनी पाठ्य-पुस्तक में पृष्ठ संख्या 68 देखें।)

▶ आंकिक प्रश्न

प्रश्न 1. एक कार का द्रव्यमान 1000 किग्रा है। 5 मीटर/सेकंड^2 की दर से त्वरित होने के लिए कार के आवश्यक बल की गणना कीजिए।

हल: $m = 1000$ किग्रा, $a = 5$ मीटर/सेकंड^2, $F = ?$

$$F = ma = 1000 \times 5 = 5000 \text{ न्यूटन}$$ उत्तर

प्रश्न 2. किसी वाहन को 3 मीटर /सेकंड^2 की दर से त्वरित करने के लिए कितने बल की आवश्यकता होगी, यदि वाहन का द्रव्यमान 100 किग्रा हो?

हल: $a = 3$ मीटर/सेकंड^2 , $m = 100$ किग्रा, $F = ?$

$$F = ma = 3 \times 100 = 300 \text{ न्यूटन}$$ उत्तर

प्रश्न 3. 50 किग्रा द्रव्यमान की किसी वस्तु में 2 मीटर/सेकंड^2 त्वरण उत्पन्न करने के लिए कितने बल की आवश्यकता होगी?

हल: $m = 50$ किग्रा, $a = 2$ मीटर/सेकंड^2, $F = ?$

$$F = ma = 50 \times 2 = 100 \text{ न्यूटन}$$ उत्तर

प्रश्न 4. किसी पिंड को 2 मीटर/सेकंड^2 की दर से त्वरित करने के लिए न्यूटन बल की आवश्यकता पड़ती है। पिंड का द्रव्यमान ज्ञात कीजिए।

हल: $F = 10$ न्यूटन, $a = 2$ मीटर/सेकंड^2, $m = ?$

$$F = ma \Rightarrow m = \frac{F}{a} = \frac{10}{2} = 5 \text{ किग्रा}$$ उत्तर

प्रश्न 5. 1000 न्यूटन का बल लगाने के बाद, 2000 किग्रा की वस्तु पर उत्पन्न त्वरण क्या होगा?

हल: $F = 1000$ न्यूटन, $m = 2000$ किग्रा, $a = ?$

$$F = ma$$

$$a = \frac{F}{m} = \frac{1000}{2000} = 0.5 \text{ मीटर/सेकंड}^2$$ उत्तर

प्रश्न 6. 100 न्यूटन का बल लगाने पर किसी पिंड पर a मीटर/सेंकड^2 त्वरण उत्पन्न होता है। यदि पिंड का द्रव्यमान 500 किग्रा हो तो a का मान ज्ञात कीजिए।

हल: $F = 100$ न्यूटन, $m = 500$ किग्रा, $a = ?$

$$F = ma$$

$$a = \frac{F}{m} = \frac{100}{500} = 0.2 \text{ मीटर/सेकंड}^2$$ उत्तर

प्रश्न 7. 25 किग्रा द्रव्यमान की एक वस्तु का संवेग 125 किग्रा-मीटर/सेकंड है। वस्तु का वेग क्या होगा?

हल: $m = 25$ किग्रा, $P = 125$ किग्रा-मीटर/सेकंड, $v = ?$

$$P = mv$$

$$v = \frac{P}{m} = \frac{125}{5} = 5 \text{ मीटर/सेकंड}$$ उत्तर

प्रश्न 8. 500 ग्राम द्रव्यमान के एक हथौड़े से 50 मीटर/सेकंड के वेग से एक कील को ठोका जाता है। यदि कील को ठोकने में लगा समय 0.01 सेकंड हो तो हथौड़े पर कील द्वारा लगा बल कितना होगा?

हल: $m = 500$ ग्राम $= 0.5$ किग्रा, $v = 50$ मीटर/सेकंड, $F = ?$

$P_1 = 0.5 \times 50 = 25$ किग्रा-मीटर/सेकंड, $P_2 = 0$

$$F = \frac{P_2 - P_1}{t} = \frac{0-25}{0.01} = \frac{-25}{0.01} = -2500 \text{ न्यूटन}$$ उत्तर

प्रश्न 9. 5 किग्रा द्रव्यमान का कोई पिंड 4 मीटर/सेकंड के वेग से गति कर रहा है। इस पिंड पर 20 न्यूटन का स्थिर बल कार्य कर रहा है। 3 सेकंड के बाद पिंड का वेग क्या होगा?

हल: $m = 5$ किग्रा, $v_1 = 4$ मीटर/सेकंड, $F = 20$ न्यूटन, $t = 3$ सेकंड, $v = ?$

$$F = \frac{m(v_2 - v_1)}{t} \Rightarrow \frac{F \times t}{m} = v_2 - v_1$$

$$v_2 = \left(\frac{F \times t}{m}\right) + v_1 = \left(\frac{20 \times 3}{5}\right) + 4 = 16 \text{ मीटर/सेकंड}$$ उत्तर

प्रश्न 10. एक व्यक्ति 50 किग्रा द्रव्यमान के किसी बॉक्स को 80 न्यूटन के बल से धक्का मारता है। उस बल के दौरान बॉक्स पर उत्पन्न त्वरण क्या होगा? यदि द्रव्यमान दुगुना कर दिया जाए तो उत्पन्न त्वरण क्या होगा?

हल: $F = 80$ न्यूटन, $m_1 = 50$ किग्रा, $a_1 = ?$

$a_2 = ?$, $m_2 = 2 \times m_1 = 2 \times 50 = 100$ किग्रा

$$a_1 = \frac{F}{m_1} = \frac{80}{50} = 1.6 \text{ मीटर/सेकंड}^2$$

$$a_2 = \frac{F}{m_2} = \frac{80}{100} = 0.8 \text{ मीटर/सेकंड}^2$$ उत्तर

प्रश्न 11. किसी वाहन का द्रव्यमान 1500 किग्रा है। यदि वाहन को 1.7 मीटर/सेकंड^2 के मंदन से रोका जाता है तो सड़क और वाहन के बीच लगा बल कितना होगा?

हल: $m = 1500$ किग्रा, $a = -1.7$ मीटर/सेकंड^2, $F = ?$

$$F = ma = 1500 \times -1.7 = -2550 \text{ न्यूटन}$$ उत्तर

प्रश्न 12. किसी पिंड का संवेग 75 सेकंड में 700 किग्रा-मीटर/सेकंड से बढ़कर 900 किग्रा-मीटर/सेकंड हो जाता है। लगे हुए बल की गणना कीजिए।

हल: $P_1 = 700$ किग्रा-मीटर/सेकंड, $P_2 = 900$ किग्रा-मीटर/सेकंड, $t = 75$ सेकंड

$$F = ?$$

$$F = \frac{P_2 - P_1}{t} = \frac{900 - 700}{75} = 2.67 \text{ न्यूटन}$$ उत्तर

प्रश्न 13. दो पिंडों के द्रव्यमान क्रमशः 70 किग्रा व 30 किग्रा हैं। वे क्रमशः 20 मीटर/सेकंड तथा 40 मीटर/सेकंड के वेग से एक-दूसरे की ओर आ रहे हैं। यदि वे टकराकर परस्पर जुड़ जाएँ तो संयुक्त पिंड का वेग क्या होगा?

हल: $m_1 = 70$ किग्रा, $m_2 = 30$ किग्रा, $v_1 = 20$ मीटर/सेकंड, $v_2 = -40$ मीटर/सेंकड, $v = ?$

संवेग संरक्षण के नियम से-

$$m_1 u_1 + m_2 u_2 = m_1 v + m_2 v$$

$$70 \times 20 + 30 \times (-40) = 70 \times v + 30 \times v$$

$$1400 - 1200 = (70 + 30)v$$

$$200 = 100v \Rightarrow v = \frac{200}{100} = 2 \text{ मीटर/सेकण्ड}$$ उत्तर

प्रश्न 14. एक बंदूक का द्रव्यमान 3 किग्रा तथा इसकी गोली का द्रव्यमान 18 ग्राम है। यदि गोली 120 मीटर/सेकंड के वेग से छूटे, तो बंदूक किस वेग से पीछे हटेगी?

हल: बंदूक का द्रव्यमान = 3 किग्रा, गोली का द्रव्यमान = 18 ग्राम

गोली का द्रव्यमान $= \frac{18}{1000}$ किग्रा

गोली का द्रव्यमान = 0.018 किग्रा

गोली तथा बंदूक का प्रारंभिक वेग

गोली का वेग = 120 मीटर/सेकंड

बंदूक का संवेग = द्रव्यमान × वेग $= 3 \times v$

$= 3v$ किग्रा-मीटर/सेकंड

गोली का संवेग $= 0.018 \times 120 = 2.16$ किग्रा-मीटर/सेकंड

दोनों का संयुक्त संवेग $= 3v + 2.16$

संवेग संरक्षण के नियम से-

गोली छोड़ने के बाद कुल संवेग = गोली छोड़ने से पहले कुल संवेग

$$3v + 2.16 = 0$$

$$v = -\frac{2.16}{3} \Rightarrow v = -0.72 \text{ मीटर/सेकंड}$$

(यहाँ ऋणात्मक चिह्न से अर्थ है कि गोली बंदूक की विपरीत दिशा में गति करेगी)

अत: बंदूक 0.72 मीटर/सेकंड की चाल से पीछे हटेगी। उत्तर

▶ प्रयोगात्मक कार्य

प्रश्न. दो कमानीदार तुलाओं की सहायता से न्यूटन के गति के तृतीय नियम का सत्यापन करना।

उत्तर- विद्यार्थी स्वयं करें।

□□□

5 गुरुत्वाकर्षण

▶ दीर्घ उत्तरीय प्रश्न

प्रश्न 1. गुरुत्वाकर्षण बल को परिभाषित कीजिए। न्यूटन के गुरुत्वाकर्षण के सिद्धांत का प्रतिपादन कीजिए।

उत्तर- **गुरुत्वाकर्षण बल-** किन्हीं दो वस्तुओं के बीच कार्य करने वाला आकर्षण बल वस्तुओं के द्रव्यमानों के गुणनफल के अनुक्रमानुपाती तथा उनके बीच की दूरी के वर्ग के व्युत्क्रमानुपाती होता है।

अर्थात् अपने द्रव्यमानों के कारण दो वस्तुओं या पिंडों द्वारा एक-दूसरे को जिस बल से आकर्षित किया जाता है, उसे गुरुत्वाकर्षण बल कहते हैं। वास्तव में पृथ्वी सभी वस्तुओं को अपनी ओर आकर्षित करती है, जिसके कारण ऊँचाई से वस्तुएँ अपने-आप पृथ्वी पर गिरती हैं; जैसे- वृक्षों से टूटकर पृथ्वी पर गिरने वाले फल व पत्तियाँ।

न्यूटन के सिद्धांत का प्रतिपादन- न्यूटन ने बताया कि विश्व में सभी वस्तुएँ एक-दूसरे को अपनी ओर आकर्षित करती है तथा यह आकर्षण-बल, वस्तुओं के द्रव्यमान के कारण होता है, जिसे गुरुत्वाकर्षण बल कहते हैं। अत: दो वस्तुओं या पिंडों द्वारा एक-दूसरे के आकर्षण के गुण को गुरुत्वाकर्षण कहते हैं।

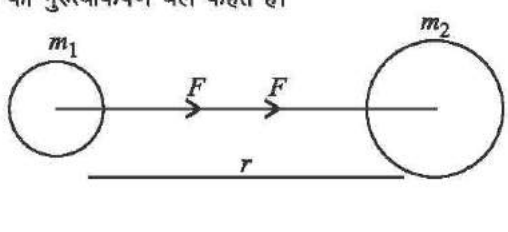
उदाहरण- पृथ्वी के चारों ओर चंद्रमा का घूमना, गुरुत्वाकर्षण बल के कारण ही होता है।

दूसरे शब्दों में, यह बल ही सभी ग्रहों तथा उपग्रहों की गति के लिए उत्तरदायी है। गुरुत्वाकर्षण बल, तब भी कार्य करता है, जब वस्तुएँ किसी प्रकार भी एक-दूसरे से न जुड़ी हो। यदि वस्तुओं का द्रव्यमान बहुत ही कम है तो उनके बीच गुरुत्वाकर्षण बल बहुत ही क्षीण होगा; जिसका प्रभाव सरलता से नहीं देखा जा सकता। इस प्रकार यह स्पष्ट है कि यह आकर्षण बल वस्तुओं के द्रव्यमानों तथा इनके बीच की दूरी पर निर्भर करता है।

प्रश्न 2. न्यूटन का गुरुत्वाकर्षण स्थिरांक किसे कहते हैं? न्यूटन के गुरुत्वाकर्षण नियम का निगमन कीजिए।

उत्तर- **न्यूटन का गुरुत्वाकर्षण स्थिरांक-** गुरुत्वाकर्षण स्थिरांक परिमाण में उस आकर्षण बल के बराबर है, जो एक-दूसरे से एकांक दूरी पर स्थित एकांक द्रव्यमान वाले दो पिंडों के बीच कार्य करता है।

न्यूटन का गुरुत्वाकर्षण का नियम- सन् 1686 में न्यूटन ने बताया कि विश्व में पदार्थ का प्रत्येक कण, प्रत्येक दूसरे कण को अपनी ओर आकर्षित करता है। इस सार्वभौमिक आकर्षण बल को गुरुत्वाकर्षण बल कहते हैं।



न्यूटन के अनुसार, "किन्हीं दो पिंडों के बीच लगने वाला आकर्षण बल पिंडों के द्रव्यमानों के गुणनफल के अनुक्रमानुपाती तथा उनके बीच की दूरी के व्युत्क्रमानुपाती होता है। इसकी दिशा दोनों को मिलाने वाली रेखा की सीध में होती है।"

माना दो पिंड जिनके द्रव्यमान m_1 व m_2 हैं, जो एक-दूसरे से r दूरी पर स्थित हैं। यदि उनके बीच कार्य करने वाला आकर्षण बल F है, तो गुरुत्वाकर्षण के नियमानुसार,

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

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$$

जहाँ G एक अनुक्रमानुपाती स्थिरांक है, जिसे न्यूटन का गुरुत्वाकर्षण स्थिरांक कहते हैं। इसका मान पिंडों की प्रकृति, माध्यम, समय एवं ताप इत्यादि पर निर्भर नहीं करता। अतः यह सार्वभौमिक या सार्वत्रिक स्थिरांक है।

उपर्युक्त सूत्र में, यदि

$$m_1 = m_2 = 1 \text{ तथा } r = 1 \text{ हो, तो } F = G$$

$$G = \frac{Fr^2}{m_1 m_2}$$

***G* का मात्रक**

M.K.S. पद्धति में बल (F) का मात्रक न्यूटन, दूरी (r) का मात्रक मीटर तथा द्रव्यमान m_1 तथा m_2 के मात्रक किग्रा हैं।

अतः M.K.S. पद्धति में G का मात्रक $= \frac{\text{न्यूटन} \times \text{मीटर}^2}{\text{किग्रा} \times \text{किग्रा}}$

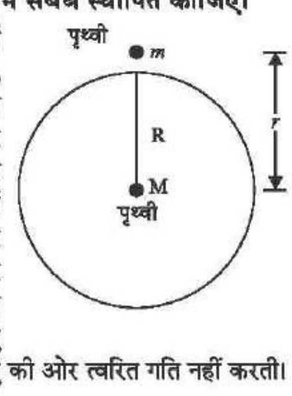
$$G \text{ का मात्रक} = \frac{\text{न्यूटन} - \text{मीटर}^2}{\text{किग्रा}^2}$$

C.G.S. प्रणाली में G का मात्रक डाइन-सेमी^{2}/ग्राम^2 है।

स्थिरांक G एक अदिश राशि है। G का मान प्रयोगों से ज्ञात हुआ है कि 6.67×10^{-11} न्यूटन-मीटर^2/किग्रा^{2} है।

प्रश्न 3. न्यूटन के गति के तीसरे नियम तथा गुरुत्वाकर्षण में संबंध स्थापित कीजिए।

उत्तर- **न्यूटन के गति के तीसरे नियम तथा गुरुत्वाकर्षण में संबंध-** न्यूटन के गति के तृतीय नियम के अनुसार, "यदि कोई वस्तु किसी अन्य वस्तु पर कोई बल आरोपित करती है, तो दूसरी वस्तु भी पहली वस्तु पर उतना ही बल विपरीत दिशा में लगाती है।" यह नियम गुरुत्व बल के लिए भी सत्य पाया जाता है। इसका अर्थ है कि पृथ्वी जितने बल से किसी वस्तु को अपनी ओर आकर्षित करती है, उतना ही बल वस्तु भी पृथ्वी पर विपरीत दिशा में लगाती है और अपनी ओर आकर्षित करती है, परंतु व्यवहार में यह पाया जाता है कि वस्तु पृथ्वी की ओर त्वरित गति करती है, जबकि पृथ्वी वस्तु की ओर त्वरित गति नहीं करती। इसका कारण निम्न प्रकार से समझा जा सकता है—



माना 1 किग्रा की कोई वस्तु पृथ्वी की सतह के निकट है, तब वस्तु व पृथ्वी के बीच लगा गुरुत्वाकर्षण बल,

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

जहाँ पृथ्वी का द्रव्यमान, $m = 6\times10^{24}$ किग्रा

वस्तु का द्रव्यमान, $m = 1$ किग्रा, $G = 6.67\times10^{-11}$ न्यूटन/मीटर^2/किग्रा^{2}

पृथ्वी की त्रिज्या, $r = R = 6.4\times10^6$ मीटर

अत: $$F = \frac{(6.67\times10^{-11})\times(6\times10^{24})\times1}{(6.4\times10^6)^2}$$

$\Rightarrow$ $$F = 9.8 \text{ न्यूटन} \quad ...(1)$$

अब न्यूटन के गति के द्वितीय नियम से,

$$\text{त्वरण } (a) = \frac{\text{बल } (F)}{\text{द्रव्यमान } (m)}$$

इससे स्पष्ट है कि किसी वस्तु में उत्पन्न त्वरण, उसके द्रव्यमान के व्युत्क्रमानुपाती होता है। चूँकि यहाँ वस्तु का द्रव्यमान बहुत कम है, अत:

बल के कारण वस्तु में त्वरण,

$$a_{\text{वस्तु}} = \frac{F}{m} = \frac{9.8}{1} = 9.8 \text{ मीटर/सेकंड}^2$$

अत: स्पष्ट है कि गुरुत्व बल वस्तु में बहुत अधिक त्वरण उत्पन्न करता है; जिस कारण वस्तु तेजी से गिरती हुई दिखाई देती है। इसके विपरीत वस्तु भी पृथ्वी को अपनी ओर उसी बल से खींचती है। तब पृथ्वी में त्वरण

$$a_{\text{पृथ्वी}} = \frac{F}{m} = \frac{9.8 \text{ न्यूटन}}{6\times10^{24} \text{ किग्रा}}$$

$$= 1.63\times10^{-24} \text{ मीटर/सेकंड}^2$$

पृथ्वी में उत्पन्न यह त्वरण बहुत ही कम है। त्वरण के इस बहुत कम मान के कारण ही पृथ्वी को वस्तु की ओर गति करते हुए देखना संभव नहीं हो पाता।

प्रश्न 4. पृथ्वी के गुरुत्व बल से आप क्या समझते हैं? गुरुत्व बल के व्यावहारिक उपयोग लिखिए।

उत्तर- **पृथ्वी का गुरुत्व बल**-न्यूटन के गुरुत्वाकर्षण के नियम के अनुसार, प्रत्येक दो वस्तुओं के बीच एक आकर्षण बल कार्य करता है, जिसे गुरुत्वाकर्षण बल कहते हैं।

यदि इन वस्तुओं में से एक वस्तु पृथ्वी हो, तो इस गुरुत्वाकर्षण बल को गुरुत्व बल कहते हैं। अत: पृथ्वी जिस बल से किसी वस्तु को अपने केंद्र की ओर खींचती है, उसे गुरुत्व बल कहते हैं। इस गुरुत्व बल के कारण ही पृथ्वी से ऊपर की ओर फेंकी गई वस्तुएँ पुन: पृथ्वी पर आकर गिरती हैं।

गुरुत्व बल के कुछ व्यवहारिक उपयोग-

(i) गुरुत्व बल कृत्रिम उपग्रहों को चक्कर लगाने के लिए आवश्यक अभिकेंद्र बल प्रदान करता है।

(ii) इस गुरुत्व बल के कारण ही मनुष्य पृथ्वी पर अपनी समस्त गतिविधियाँ करता है।

(iii) वायुमंडल की उपस्थिति भी इसी बल के कारण है।

प्रश्न 5. गुरुत्वीय त्वरण से आप क्या समझते हैं? गुरुत्वीय त्वरण (g) तथा गुरुत्वाकर्षण नियतांक (G) में संबंध स्थापित कीजिए।

उत्तर- **गुरुत्वीय त्वरण-** स्वतंत्रतापूर्वक पृथ्वी की ओर गिरती हुई किसी वस्तु के वेग में 1 सेकंड में होने वाली वृद्धि को गुरुत्वीय त्वरण कहते हैं। यदि किसी वस्तु का द्रव्यमान m है तो इस पर लगने वाला गुरुत्वीय बल, वस्तु के भार (mg) के बराबर होता है।

गुरुत्वीय त्वरण परिमाण में उस बल के बराबर होता है, जिस बल से पृथ्वी एकांक द्रव्यमान वाली वस्तु को अपने केंद्र की ओर आकर्षित करती है।

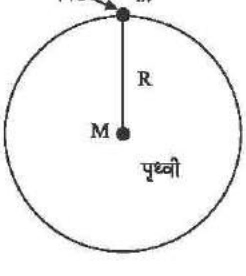
मात्रक- S.I. प्रणाली में गुरुत्वीय त्वरण (g) का मात्रक मीटर/सेकंड^2 या न्यूटन किग्रा है। C.G.S. प्रणाली में इसका मात्रक सेमी/सेकंड^2 होता है।

'g' का आंकिक मान- विभिन्न स्थानों पर g का मान भिन्न-भिन्न पाया जाता है, परन्तु सामान्य कार्यों के लिए g का मान नियत लिया जाता है-

$$g = 9.81 \text{ मीटर/सेकंड}^2$$

g का मान वस्तु के पदार्थ, आकार, द्रव्यमान आदि पर निर्भर नहीं करता है।

गुरुत्वीय त्वरण (g) तथा गुरुत्वाकर्षण नियतांक (G) में संबंध- मान लीजिए कि पृथ्वी का द्रव्यमान M तथा त्रिज्या R है। पृथ्वी का कुल द्रव्यमान उसके केंद्र पर संकेंद्रित माना जाता है। माना m द्रव्यमान का कोई पिंड पृथ्वी की सतह पर अथवा उसकी सतह से कुछ ऊँचाई पर है। पृथ्वी की त्रिज्या की तुलना में पृथ्वी की सतह से पिंड की ऊँचाई नगण्य है। अतः पिंड की, पृथ्वी के केंद्र से दूरी R मान लेते हैं। अब गुरुत्वाकर्षण के नियमानुसार, पृथ्वी द्वारा पिंड पर लगाया गया आकर्षण बल,



$$F = G\frac{Mm}{R^2} \quad ...(1)$$

गुरुत्व बल F के कारण पिंड में गुरुत्वीय त्वरण g उत्पन्न होता है। न्यूटन के गति के द्वितीय नियम से,

$$\text{बल} = \text{द्रव्यमान} \times \text{त्वरण}$$

$$F = mg \quad ...(2)$$

समीकरण (1) व (2) की तुलना करने पर,

$$mg = G\frac{Mm}{R^2} \text{ या } g = G\frac{M}{R^2} \quad ...(3)$$

इस सूत्र में m नहीं है; अतः स्पष्ट है कि गुरुत्वीय त्वरण g का मान, पिंड के द्रव्यमान m पर निर्भर नहीं करता।

प्रश्न 6. गुरुत्वीय त्वरण g का मान पृथ्वी के विभिन्न स्थानों पर भिन्न-भिन्न होता है। सिद्ध कीजिए।

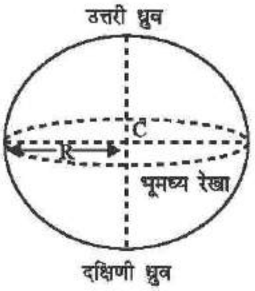
उत्तर- गुरुत्वीय त्वरण g का मान पृथ्वी के विभिन्न स्थानों पर भिन्न-भिन्न होता है। यह पृथ्वी के अक्षांश पर निर्भर करता है।

(i) **पृथ्वी पर g का मान भूमध्य रेखा पर सबसे कम तथा ध्रुवों पर सबसे अधिक होता है-** इसके दो कारण हैं-

(a) पृथ्वी की आकृति

(b) पृथ्वी का अपने अक्ष के परितः घूमना

(a) पृथ्वी की आकृति के कारण : पृथ्वी पूरी तरह गोल नहीं है। यह दोनों ध्रुवों पर चपटी है। पृथ्वी का व्यास ध्रुवों पर कम तथा भूमध्य रेखा पर (लगभग 42 किमी) अधिक है।

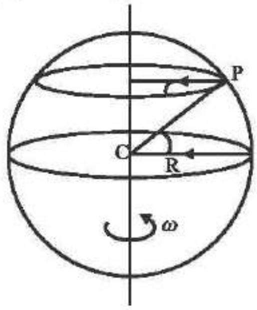


गुरुत्वीय त्वरण के समीकरण $g = G\dfrac{M}{R^2}$ के अनुसार g का मान, पृथ्वी के द्रव्यमान M तथा त्रिज्या R पर निर्भर करता है। यहाँ G तथा M नियत हैं।

अत: $$g \propto \frac{1}{R^2}$$

चूँकि भूमध्य रेखा पर R का मान सर्वाधिक है, अत: g का मान न्यूनतम होता है। ध्रुवों पर R का मान कम होने के कारण g का मान अधिकतम होता है। इसका अर्थ है कि, भूमध्य रेखा से ध्रुवों की ओर जाने पर ज्यों-ज्यों R का मान कम होता जाता है, त्यों-त्यों g का मान बढ़ता जाता है।

(b) पृथ्वी का अपने ध्रुवीय अक्ष के चारों ओर घूमने के कारण- पृथ्वी अपने अक्ष के परित: एक निश्चित कोणीय वेग ω से घूमती है। जब कोई वस्तु P पृथ्वी की सतह पर रखी होती है तो वह भी पृथ्वी के साथ-साथ उसी कोणीय वेग ω से, r त्रिज्या के पथ पर घूमती है। वृत्ताकार पथ का केंद्र घूर्णन अक्ष पर ही स्थित होता है। इसके लिए आवश्यक अभिकेंद्र बल ($\omega^2 r$) पृथ्वी के गुरुत्वीय आकर्षण बल (अथवा त्वरण) g से ही प्राप्त होता है। अत: गुरुत्वीय त्वरण का मान घटकर $g' = g - \omega^2 r$ रह जाता है। अब



भूमध्य रेखा पर, $r = R$ (जहाँ पृथ्वी की त्रिज्या अधिकतम है।)

$$g' = g - \omega^2 R$$

R अधिकतम होने से g का मान न्यूनतम होगा।

ध्रुवों पर, $r = 0$ (त्रिज्या न्यूनतम)

अत: $g' = g$ (इसका मान अधिकतम होगा)

अत: स्पष्ट है कि g का मान ध्रुवों पर अधिकतम तथा भूमध्य रेखा पर न्यूनतम होता है।

(ii) पृथ्वी तल से ऊपर जाने पर g का मान घटता है- पृथ्वी तल पर गुरुत्वीय त्वरण होता है—

$$g = G\frac{M}{R^2} \qquad ...(1)$$

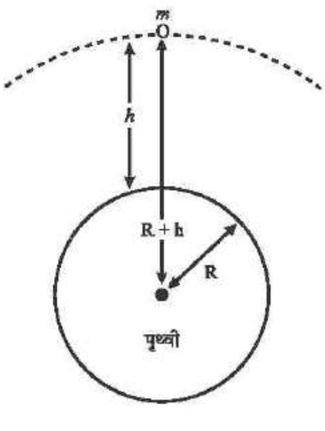
पृथ्वी के तल से h ऊँचाई पर जाने पर उस स्थान की पृथ्वी के केंद्र से दूरी $(R+h)$ होगी। अत: इस ऊँचाई पर g का प्रभावी मान

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

चूँकि $(R+h)$ का मान, R की तुलना में अधिक है, अत: समीकरण (1) व (2) की तुलना करने पर

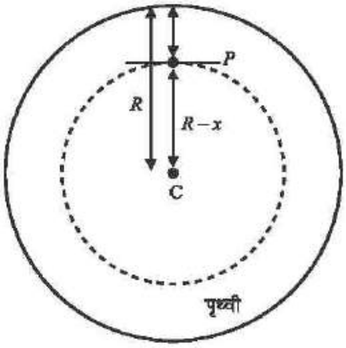
$$g' < g$$

अत: स्पष्ट है कि पृथ्वी तल से ऊपर जाने पर अर्थात् h बढ़ने पर g का मान घटता जाता है और अनंत दूरी पर इसका मान शून्य हो जाता है। यही कारण है कि पहाड़ों पर g का मान समुद्र तल की अपेक्षा कम होता है।



(iii) पृथ्वी के अंदर गहराई में जाने पर g का मान घटता जाता है तथा पृथ्वी के केंद्र पर इसका मान शून्य हो जाता है।

सूत्र $g = G\dfrac{M}{R^2}$ पृथ्वी तल के अंदर की ओर सत्य नहीं है। इसके लिए न्यूटन ने अपने प्रयोग द्वारा यह सिद्ध किया कि ठोस गोले के अंदर किसी बिंदु पर आकर्षण बल, बिंदु की गोले के केंद्र से दूरी के अनुक्रमानुपाती होता है। चूँकि पृथ्वी भी गोलाकार है, अत: पृथ्वी के अंदर किसी बिंदु P पर, g का मान पृथ्वी के केंद्र c से उस बिंदु की दूरी $(R-x)$ के भी अनुक्रमानुपाती होगा। अत: पृथ्वी के केंद्र की ओर जाने पर g का मान कम होता जाएगा और केंद्र पर ($r = 0$ होने से) बल अथवा त्वरण का मान शून्य होगा। केंद्र से सतह की ओर आने पर r में वृद्धि होगी तथा बल का मान बढ़ता जाएगा। अत: स्पष्ट है कि g का मान पृथ्वी की सतह पर अधिकतम होता है।



प्रश्न 7. मुक्त रूप से पृथ्वी पर गिरते पिंडों की गति के समीकरण निगमित कीजिए।

उत्तर– यदि किसी पिंड को किसी ऊँचाई तक ले जाकर, मुक्त रूप से छोड़ दिया जाए तो नीचे गिरते हुए इसका वेग एकसमान त्वरण g से निरंतर बढ़ता जाता है क्योंकि मुक्त रूप से गिरते हुए पिंडों की गति गुरुत्व के अंतर्गत होती है। इसलिए गति के समीकरणों में त्वरण a के स्थान पर g तथा दूरी s के स्थान h प्रयोग किया जाता है। अत: मुक्त रूप से नीचे गिरते हुए पिंडों के लिए गति के समीकरण निम्न प्रकार से होंगे–

$$v = u + gt$$

$$h = ut + \frac{1}{2}gt^2$$

$$v^2 = u^2 + 2gh$$

जहाँ u प्रारंभिक वेग, v अंतिम वेग, g गुरुत्वीय त्वरण, h ऊँचाई तथा t समय है।

प्रश्न 8. द्रव्यमान तथा भार से आप क्या समझते हैं? सिद्ध कीजिए कि किसी वस्तु का भार उसके द्रव्यमान तथा गुरुत्वीय त्वरण के गुणनफल के बराबर होता है।

उत्तर- **द्रव्यमान-** किसी वस्तु में निहित पदार्थ की मात्रा को द्रव्यमान कहते हैं तथा किसी वस्तु के द्रव्यमान में स्थानीय परिवर्तन होने पर कोई परिवर्तन नहीं होता है। अत: किसी वस्तु में उपस्थित पदार्थ के परिमाण को उस वस्तु का द्रव्यमान कहते हैं। इसका मान प्रत्येक स्थान पर समान होता है। किसी वस्तु का द्रव्यमान तब तक नहीं बदलता जब तक कि उस वस्तु का कोई भाग उससे अलग नहीं कर दिया जाता या उसमें कोई वस्तु नहीं मिला दी जाती। किसी वस्तु के द्रव्यमान पर पदार्थ की दिशा-परिवर्तन का कोई प्रभाव नहीं पड़ता। द्रव्यमान एक अदिश राशि है। इसका मात्रक किग्रा है। सी०जी०एस० प्रणाली में इसका मात्रक ग्राम है।

भार- पृथ्वी द्वारा प्रत्येक वस्तु को अपने केंद्र की ओर आकर्षित करने के लिए उस वस्तु पर लगाया गया आकर्षण बल वस्तु का भार कहलाता है। इसकी दिशा हमेशा केंद्र की ओर होती है। क्योंकि इसमें दिशा एवं परिमाण दोनों होते हैं, अत: भार एक सदिश राशि है। इसका मात्रक न्यूटन होता है। इसका मान विभिन्न स्थानों पर भिन्न-भिन्न होता है।

माना किसी वस्तु का द्रव्यमान m किग्रा हो और उसे ऊपर से पृथ्वी पर मुक्त रूप से छोड़ दिया जाए, तो उस वस्तु का भार W = वस्तु पर पृथ्वी द्वारा लगाया गया आकर्षण बल

$W = G\frac{M_e m}{r^2}$, जहाँ M_e पृथ्वी का द्रव्यमान एवं r उसकी त्रिज्या है।

या $$W = m\frac{GM_e}{r^2}$$

परंतु हमें ज्ञात है कि $G\frac{M_e}{r^2} = g$ होता है।

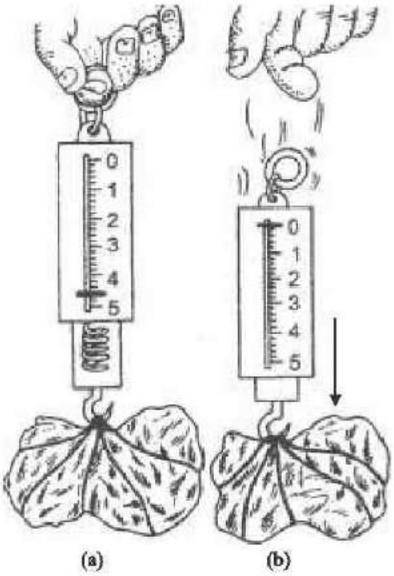
अत: $W = mg$ से,

भार = द्रव्यमान × गुरुत्वीय त्वरण

अर्थात् किसी वस्तु का भार उसके द्रव्यमान तथा गुरुत्वीय त्वरण के गुणनफल के बराबर होता है।

प्रश्न 9. भारहीनता पर विस्तृत टिप्पणी लिखिए।

उत्तर- किसी वस्तु का भार वह बल है, जिसके द्वारा पृथ्वी उसे अपनी ओर आकर्षित करती है। यदि कोई वस्तु अपने भार के बराबर बल से पृथ्वी तल को नीचे दबाती है तो न्यूटन के तृतीय नियम के अनुसार पृथ्वी के इस आकर्षण बल के विरुद्ध पृथ्वी का तल भी वस्तु पर उतना ही प्रतिक्रिया बल लगाता है अर्थात् यदि कोई वस्तु किसी अन्य वस्तु पर कोई बल आरोपित करती है तो दूसरी वस्तु भी पहली वस्तु पर उतना ही बल विपरीत दिशा में लगाती है। परंतु किसी कारण से प्रतिक्रिया बल शून्य हो जाए तो वस्तु का भार भी शून्य हो जाएगा। इसे **भारहीनता** की अवस्था कहते हैं।



(a) (b)

प्राय: वस्तु का भार फर्श पर रखी मशीन पर रखकर मापा जाता है। परंतु फर्श को अचानक हटा देने पर वस्तु तथा मशीन दोनों ही पृथ्वी की ओर समान त्वरण से गिरेंगे। इस स्थिति में वस्तु मशीन पर बल नहीं लगा सकेगी, क्योंकि पृथ्वी वस्तु को भी उतनी ही तेजी से अपनी ओर खींचती है, जितनी तेजी से यह मशीन को। इस अवस्था में मशीन द्वारा दर्शित भार शून्य होगा।

उदाहरण- आप किसी कमानीदार तुला पर कोई भार लटकाकर इसकी पुष्टि कर सकते हैं। एक कमानीदार तुला को अपने हाथ में पकड़कर उस पर कोई पिंड लटकाएँ (चित्रानुसार)। तुला का संकेतक पिंड का भार दर्शाता है, अब तुला को नीचे छोड़ दो तथा ऐसा करने से संकेतक शून्य पर पहुँच जाता है अर्थात् पिंड का भार शून्य प्रदर्शित करता है। इस स्थिति में पिंड तुला पर कोई बल नहीं लगाता, क्योंकि पृथ्वी पिंड को भी उतनी ही तेजी से खींचती है, जितनी तेजी से कमानीदार तुला को। इस प्रकार पिंड द्वारा तुला पर शून्य बल लगता है और पिंड का भार शून्य प्रतीत होता है।

अत: स्पष्ट है कि कोई वस्तु उस समय भारहीनता की अवस्था में होती है जब वह पृथ्वी के गुरुत्व के अंतर्गत स्वतंत्रतापूर्वक गिरती है।

▶ लघु उत्तरीय प्रश्न

प्रश्न 1. सार्वत्रिक स्थिरांक क्या है? M.K.S. पद्धति तथा C.G.S. पद्धति में G का मात्रक लिखिए।

उत्तर- **सार्वत्रिक स्थिरांक-** इसे न्यूटन का गुरुत्वाकर्षण स्थिरांक कहते हैं। इसका मान वस्तुओं की प्रकृति, माध्यम, समय तथा ताप इत्यादि पर निर्भर नहीं करता। अत: यह एक सार्वत्रिक स्थिरांक या सार्वभौमिक स्थिरांक है। इसका मान 6.67×10^{-11}न्यूटन-मीटर$^{-2}$/किग्रा^{2} होता है। यह एक अदिश राशि है।

अत: "गुरुत्वाकर्षण स्थिरांक परिमाण में उस आकर्षण बल के बराबर है, जो एक-दूसरे से एकांक दूरी पर एकांक द्रव्यमान वाले दो पिण्डों के बीच कार्य करता है।"

$$G=\frac{F\times r^2}{m_1 m_2}$$

M.K.S. पद्धति में G का मात्रक न्यूटन-मीटर^2/किग्रा^{2} तथा C.G.S. पद्धति में G का मात्रक डाइन-सेमी^{2}/ग्राम^2 है।

प्रश्न 2. न्यूटन का गुरुत्वाकर्षण का नियम क्या है? इसका सूत्र लिखिए।

उत्तर- किन्हीं दो पिंडों के बीच लगने वाला आकर्षण बल पिंडों के द्रव्यमानों के गुणनफल के अनुक्रमानुपाती तथा उनके बीच की दूरी के व्युत्क्रमानुपाती होता है। इसकी दिशा दोनों पिंडों को मिलाने वाली रेखा की सीध में होती है।

माना दो पिंड जिनके द्रव्यमान m_1 एवं m_2 हैं, जो एक-दूसरे से r दूरी पर स्थित हैं। यदि उनके बीच कार्य करने वाला आकर्षण बल F है, तो गुरुत्वाकर्षण के नियमानुसार,

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

$$F=G\frac{m_1 m_2}{r^2},$$ जहाँ G एक गुरुत्वाकर्षण स्थिरांक है।

या $$G = \frac{F \times r^2}{m_1 m_2}$$

इसका मात्रक न्यूटन-मीटर^2/किग्रा^{2} है।

प्रश्न 3. पृथ्वी का गुरुत्व बल क्या है?

उत्तर- **पृथ्वी का गुरुत्व बल-** पृथ्वी जिस बल से किसी वस्तु को अपने केंद्र की ओर खींचती है, उसे **गुरुत्व बल** कहते हैं। इस गुरुत्व बल के कारण ही पृथ्वी से ऊपर की ओर फेंकी गई वस्तुएँ पुन: पृथ्वी पर आकर गिरती हैं।

प्रश्न 4. गुरुत्वीय त्वरण किसे कहते हैं? इसका मात्रक लिखिए।

उत्तर- **गुरुत्वीय त्वरण-** स्वतंत्रतापूर्वक पृथ्वी की ओर गिरती हुई किसी वस्तु के वेग में 1 सेकंड में होने वाली वृद्धि को गुरुत्वीय त्वरण कहते हैं।

यदि किसी वस्तु का द्रव्यमान m है तो इस पर लगने वाला गुरुत्वीय बल, वस्तु के भार (mg) के बराबर होता है।

S.I. प्रणाली में गुरुत्वीय त्वरण (g) का मात्रक मीटर/सेकंड^2 (m/s^2) अथवा न्यूटन/किग्रा है। C.G.S. प्रणाली में इसका मात्रक सेमी/सेकंड^2 होता है।

इसका मान विभिन्न स्थानों पर भिन्न-भिन्न होता है, परंतु सामान्य कार्यों के लिए g का मान नियत लिया जाता है—

$$g = 9.81 \text{ मीटर/सेकंड}^2$$

g का मान वस्तु के पदार्थ, आकार, द्रव्यमान आदि पर निर्भर नहीं करता है।

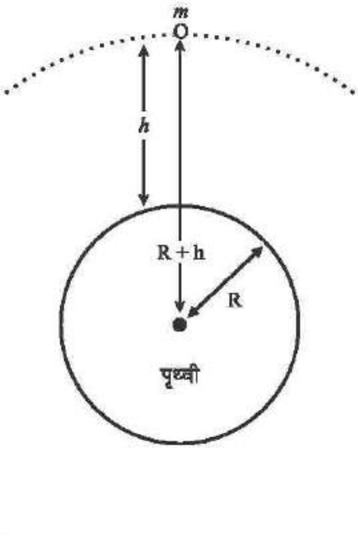
प्रश्न 5. पृथ्वी तल से ऊपर जाने पर g का मान घटता है। सिद्ध कीजिए।

उत्तर- **पृथ्वी तल से ऊपर जाने पर g का मान घटता है-** पृथ्वी तल पर गुरुत्वीय त्वरण होता है—

$$g = G\frac{M}{R^2} \qquad ...(1)$$

पृथ्वी के तल से h ऊँचाई पर जाने पर उस स्थान की पृथ्वी के केंद्र से दूरी $(R+h)$ होगी। अत: इस ऊँचाई पर g का प्रभावी मान

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



चूँकि $(R+h)$ का मान, R की तुलना में अधिक है, अत: समीकरण (1) व (2) की तुलना करने पर

$$g' < g$$

अत: स्पष्ट है कि पृथ्वी तल से ऊपर जाने पर अर्थात् h बढ़ने पर g का मान घटता जाता है और अनंत दूरी पर इसका मान शून्य हो जाता है। यही कारण है कि पहाड़ों पर g का मान समुद्र तल की अपेक्षा कम होता है।

प्रश्न 6. गुरुत्वीय त्वरण g तथा सार्वत्रिक गुरुत्वाकर्षण स्थिरांक G में अंतर ज्ञात कीजिए।

उत्तर- **गुरुत्वीय त्वरण g तथा सार्वत्रिक गुरुत्वाकर्षण स्थिरांक G में अंतर-**

क्र०सं०	गुरुत्वीय त्वरण (g)	सार्वत्रिक गुरुत्वाकर्षण स्थिरांक (G)
1.	यह गुरुत्वीय त्वरण को प्रदर्शित करता है।	यह गुरुत्वाकर्षण स्थिरांक को प्रदर्शित करता है।
2.	इसका मान भिन्न-भिन्न स्थानों पर भिन्न-भिन्न होता है।	इसका मान पूरे ब्रह्मांड के प्रत्येक स्थान पर एक ही होता है।
3.	इसका मान 9.8 मीटर/सेकंड^2 होता है।	इसका मान 6.67×10^{-11} न्यूटन-मीटर^2/किग्रा^{2} होता है।
4.	यह एक सदिश राशि है।	यह एक अदिश राशि है।
5.	इसका मात्रक मीटर/सेकंड^2 होता है।	इसका मात्रक न्यूटन-मीटर^2/किग्रा^{2} होता है।

प्रश्न 7. द्रव्यमान तथा भार में अंतर ज्ञात कीजिए।

उत्तर- **द्रव्यमान तथा भार में अंतर-**

क्र०सं०	द्रव्यमान	भार
1.	किसी वस्तु में निहित कुल द्रव्य की मात्रा वस्तु का द्रव्यमान कहलाती है।	जिस गुरुत्वीय बल से पृथ्वी किसी वस्तु को अपने केंद्र की ओर खींचती है, वह वस्तु का भार कहलाता है।
2.	किसी वस्तु का द्रव्यमान सभी स्थानों पर समान रहता है।	वस्तु का भार भिन्न-भिन्न स्थानों पर भिन्न-भिन्न होता है।
3.	द्रव्यमान एक अदिश राशि है।	भार एक सदिश राशि है।
4.	द्रव्यमान का मापन भौतिक तुला द्वारा किया जाता है।	भार का मापन कमानीदार तुला द्वारा किया जाता है।
5.	किसी स्थान पर g का मान शून्य होने पर भी द्रव्यमान का परिमाण शून्य नहीं होता है।	किसी स्थान पर g का मान शून्य होने पर वस्तु का भार भी शून्य हो जाता है।

प्रश्न 8. विभिन्न द्रव्यमानों की छोटे आकार की वस्तुओं के बीच गुरुत्वाकर्षण बल किस प्रकार ज्ञात करेंगे?

उत्तर- **विभिन्न द्रव्यमानों की छोटे आकार की वस्तुओं के बीच गुरुत्वाकर्षण बल-** माना छोटे आकार की दो वस्तुएँ, जिनमें प्रत्येक का द्रव्यमान 1 किग्रा है, एक-दूसरे से 1 मीटर की दूरी पर हैं, तब दोनों वस्तुओं के बीच गुरुत्वाकर्षण बल,

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$$

इनमें मान रखने पर,

$$F = 6.67 \times 10^{-11} \times \frac{1 \times 1}{1^2} \text{ न्यूटन}$$

$$= 6.67 \times 10^{-11} \text{ न्यूटन}$$

इस प्रकार स्पष्ट है कि गुरुत्वाकर्षण स्थिरांक G का मान बहुत कम होने के कारण ही पृथ्वी पर रखी किन्हीं दो वस्तुओं के बीच आकर्षण बल भी बहुत कम होता है।

प्रश्न 9. भारहीनता की अवस्था से आप क्या समझते हैं?

उत्तर– यदि कोई वस्तु किसी अन्य वस्तु पर कोई बल आरोपित करती है तो दूसरी वस्तु भी पहली वस्तु पर उतना ही विपरीत दिशा में बल लगाती है। परंतु किसी कारण से प्रतिक्रिया बल शून्य हो जाए तो वस्तु का भार भी शून्य हो जाएगा। इसे **भारहीनता** की अवस्था कहते हैं।

अतः कोई वस्तु उस समय भारहीनता की अवस्था में होती है, जब वह पृथ्वी के गुरुत्व के अंतर्गत स्वतंत्रतापूर्वक गिरती है।

प्रश्न 10. किसी अंतरिक्ष यात्री की भारहीनता के बारे में समझाइए।

उत्तर– **अंतरिक्ष यात्री की भारहीनता–** पृथ्वी की कक्षा में गतिशील अंतरिक्ष यान, अंतरिक्ष यात्री समान त्वरण से पृथ्वी की ओर गिरते हैं, क्योंकि अंतरिक्ष यात्री यान पर कोई बल नहीं लगाता है, इसलिए वह भारहीन (तैरता हुआ) प्रतीत होता है।

▶ अति लघु उत्तरीय प्रश्न

(इसके लिए अपनी पाठ्य-पुस्तक में पृष्ठ संख्या 84 देखें।)

▶ आंकिक प्रश्न

प्रश्न 1. सूर्य और पृथ्वी के बीच लगने वाले गुरुत्वाकर्षण बल की गणना कीजिए। यदि दोनों के बीच की औसत दूरी 1.5×10^{11} मीटर है। (पृथ्वी का द्रव्यमान $= 6\times10^{24}$ किग्रा, सूर्य का द्रव्यमान $= 2\times10^{30}$ किग्रा)

हल: $G = 6.67\times10^{-11}$ न्यूटन-मीटर^2/किग्रा^{2},

$$r = 1.5\times10^{11} \text{ मीटर}$$

$$M_s = 2\times10^{30} \text{ किग्रा},$$

$$M_e = 6\times10^{24} \text{ किग्रा}$$

$$F = G\frac{M_s\times M_e}{r^2}$$

$$= \frac{6.67\times10^{-11}\times2\times10^{30}\times6\times10^{24}}{1.5\times1.5\times10^{22}}$$

$$= 3.56\times10^{22} \text{ न्यूटन}$$ उत्तर

प्रश्न 2. भूमि पर गिरते हुए किसी फल का द्रव्यमान 150 ग्राम है। उसका भार ज्ञात कीजिए। ($g = 9.8$ मीटर/सेकंड^2)

हल: $m = 150$ ग्राम $= 150\times10^{-3} = 1.5\times10^{-1}$ किग्रा, $g = 9.8$ मीटर/सेकंड^2

$$W = mg$$

$$= 1.5\times10^{-1}\times9.8$$

$$= 1.47 \text{ न्यूटन}$$ उत्तर

प्रश्न 3. दो पिंडों के द्रव्यमान क्रमशः 40 किग्रा तथा 60 किग्रा हैं। वे एक-दूसरे से 1 मीटर की दूरी पर रखे हैं। उनके बीच लगने वाले गुरुत्वाकर्षण बल की गणना कीजिए।

हल: $m_1 = 40$ किग्रा, $m_2 = 60$ किग्रा, $r = 1$ मीटर

$G = 6.67\times10^{-11}$ न्यूटन-मीटर^2/किग्रा^{2}

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$$

$$= \frac{6.67\times 10^{-11}\times 40\times 60}{1\times 1}$$

$$F = 1.6\times 10^{-7}$$ न्यूटन **उत्तर**

प्रश्न 4. दो वस्तुओं के बीच लगने वाला बल (F) क्या होगा, यदि–

(i) एक वस्तु का द्रव्यमान दुगुना कर दिया जाए?

(ii) दोनों वस्तुओं के बीच की दूरी पहले दुगुनी तथा उसके बाद तीन गुनी कर दी जाए?

(iii) दोनों वस्तुओं का द्रव्यमान दुगुना कर दिया जाए?

हल: (i)

$$F_1 = \frac{Gm_1 m_2}{r^2} \quad ...(1)$$

जहाँ G एक सार्वत्रिक स्थिरांक, m_1 व m_2 दोनों वस्तुओं के द्रव्यमान तथा r उनके बीच की दूरी है।

एक वस्तु का द्रव्यमान दुगुना करने पर—

$$F_2 = \frac{G\times 2\times m_1\times m_2}{r^2} = \frac{2Gm_1 m_2}{r^2} \quad ...(2)$$

समीकरण (2) को (1) से भाग देने पर,

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{2Gm_1 m_2\cdot r^2}{Gm_1 m_2\cdot r^2} = \frac{2}{1}$$

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{2}{1}$$

$$\Rightarrow \quad F_2 = 2F_1$$

अत: बल पहले से दुगुना हो जाएगा। **उत्तर**

(ii) दोनों वस्तुओं के बीच की दूरी दुगुनी करने पर,

$$F_1 = \frac{Gm_1 m_2}{r^2} \quad ...(1)$$

$$F_2 = \frac{Gm_1 m_2}{(2r)^2} = \frac{Gm_1 m_2}{4r^2} \quad ...(2)$$

समीकरण (2) में (1) से भाग करने पर,

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{Gm_1 m_2\times r^2}{Gm_1 m_2\times 4r^2} = \frac{1}{4}$$

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{1}{4}$$

$$\Rightarrow \quad F_2 = \frac{F_1}{4}$$

अत: बल पहले से चौथाई रह जाएगा।

अब, दूरी तीन गुनी करने पर,

$$F_2 = \frac{Gm_1 m_2}{(3r)^2} = \frac{Gm_1 m_2}{9r^2} \quad ...(3)$$

समीकरण (3) को (1) से भाग करने पर,

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{Gm_1 m_2 \times r^2}{Gm_1 m_2 \times 9r^2} = \frac{1}{9}$$

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{1}{9}$$

$$\Rightarrow \quad F_1 = 9F_2$$

अत: पहली वस्तु के बीच लगने वाला बल दूसरी वस्तु के बीच लगने वाले बल का 9 गुणा हो जाएगा। **उत्तर**

(iii)
$$F_1 = \frac{Gm_1 m_2}{r^2} \quad ...(1)$$

दोनों वस्तुओं का द्रव्यमान दुगुना करने पर,

$$F_2 = \frac{G \times 2m_1 \times 2m_2}{r^2} = \frac{4Gm_1 m_2}{r^2} \quad ...(2)$$

समीकरण (2) को (1) से भाग करने पर,

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{4Gm_1 m_2 \times r^2}{Gm_1 m_2 \times r^2} = \frac{4}{1}$$

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{4}{1}$$

$$\Rightarrow \quad F_2 = 4F_1$$

अत: बल पहले से चार गुणा हो जाएगा। **उत्तर**

प्रश्न 5. एक वस्तु पृथ्वी के केंद्र से R दूरी पर पृथ्वी की सतह पर रखी जाती है। उस पर लगने वाला गुरुत्वाकर्षण बल 180 न्यूटन है। यदि वस्तु को पृथ्वी के केंद्र से $3R$ दूरी पर रखा जाए तो उसका भार क्या होगा?

हल: $F_1 = 180$ न्यूटन

$$F_1 = \frac{GMm}{R^2} \quad ...(1)$$

दूरी $3R$ करने करने,

$$F_2 = \frac{GMm}{(3R)^2} = \frac{GMm}{9R^2} \quad ...(2)$$

समीकरण (2) को (1) से भाग करने पर,

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{GMm \times R^2}{GMm \times 9R^2} = \frac{1}{9}$$

$$\Rightarrow \quad \frac{F_2}{F_1} = \frac{1}{9} \quad ...(3)$$

F_1 का मान (3) रखने पर,

$$\frac{F_2}{180} = \frac{1}{9}$$

$$\Rightarrow \qquad F_2 = \frac{180}{9} = 20 \text{ न्यूटन}$$ उत्तर

प्रश्न 6. एक पिंड का भार 3 न्यूटन है। उसका द्रव्यमान ज्ञात कीजिए। ($g = 9.8$ मीटर/सेकंड^2)

हल: $W = 3$ न्यूटन, $g = 9.8$ मीटर/सेकंड^2

$$W = m \times g$$
$$3 = m \times 9.8$$
$$m = \frac{3}{9.8} = 0.3061 \text{ किग्रा}$$
$$m = \frac{0.3061}{1000} \text{ ग्राम}$$
$$= 306 \text{ ग्राम (लगभग)}$$ उत्तर

प्रश्न 7. 60 न्यूटन भार वाले एक पिंड का द्रव्यमान ज्ञात कीजिए।

($g = 10$ मीटर/सेकंड^2)

हल: $W = 60$ न्यूटन, $g = 10$ मीटर/सेकंड^2

$$W = m \times g$$
$$60 = m \times 10$$
$$m = \frac{60}{10} = 6 \text{ किग्रा}$$ उत्तर

प्रश्न 8. पृथ्वी और इसकी सतह पर रखी 1 किग्रा की वस्तु के बीच लगने वाले गुरुत्वाकर्षण बल की गणना कीजिए। (पृथ्वी का द्रव्यमान $= 6 \times 10^{24}$ किग्रा, पृथ्वी की त्रिज्या $= 6.4 \times 10^6$ मीटर)

हल: $G = 6.67 \times 10^{-11}$ न्यूटन-मीटर^2/किग्रा^{2}, $M = 6 \times 10^{24}$ किग्रा, $m = 1$ किग्रा, $R = 6.4 \times 10^6$ मीटर

$$F = \frac{GMm}{R^2}$$
$$= \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6 \times 10^{24} \times 1}{(6.4 \times 10^6)^2}$$
$$F = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6 \times 10^{24}}{6.4 \times 6.4 \times 10^{12}}$$
$$= \frac{40.02 \times 10^{13}}{40.96 \times 10^{12}}$$
$$F = 9.8 \text{ न्यूटन}$$ उत्तर

प्रश्न 9. किसी वस्तु को 40 मीटर/सेकंड के प्रारंभिक वेग से उर्ध्वाधरत: ऊपर की ओर फेंका जाता है। वह अधिकतम कितनी ऊँचाई तक पहुँचेगा? ($g = 9.8$ मीटर/सेकंड^2)

हल: $u = 40$ मीटर/सेकंड, $g = 9.8$ मीटर/सेकंड^2

वस्तु को ऊपर की ओर फेंकने पर,

$$v = 0,\ g = -9.8 \text{ मीटर/सेकंड}^2$$

न्यूटन के गति के तृतीय नियम से,

$$v^2 = u^2 - 2gh$$

$$0 = (40)^2 - 2 \times 9.8 \times h$$

$$h = \frac{1600}{2 \times 9.8} = 81.63 \text{ मीटर}$$ उत्तर

प्रश्न 10. किसी पिंड को 80 मीटर की ऊँचाई से गिराने पर इसे भूमि पर पहुँचने में कितना समय लगेगा? भूमि से टकराते समय इसके वेग की भी गणना कीजिए। ($g = 10$ मीटर/सेकंड^2)

हल: $h = 80$ मीटर, $g = 10$ मीटर/सेकंड^2, $u = 0$

$$h = ut + \frac{1}{2}gt^2$$

$$80 = 0 + \frac{1}{2} \times 10t^2$$

$$t^2 = \frac{80 \times 2}{10} = 16$$

$$\Rightarrow \quad t = \sqrt{16} = 4 \text{ सेकंड}$$ उत्तर

$$v = u + gt$$

$$= 0 + 10 \times 4 = 40 \text{ मीटर/सेकंड}$$ उत्तर

प्रश्न 11. चंद्रमा पर किसी वस्तु का भार पृथ्वी की अपेक्षा $\frac{1}{6}$ गुणा होता है। 10 किग्रा द्रव्यमान की वस्तु का भार पृथ्वी व चंद्रमा पर क्या होगा? चंद्रमा की सतह पर गुरुत्वीय त्वरण के मान की गणना भी कीजिए।

हल: पृथ्वी पर वस्तु का द्रव्यमान $m = 10$ किग्रा

पृथ्वी पर वस्तु का गुरुत्वीय त्वरण, $g = 9.8$ मीटर/सेकंड^2

पृथ्वी पर वस्तु का भार, $W = m \times g$

$$= 10 \times 9.8 = 98 \text{ न्यूटन}$$

चंद्रमा पर वस्तु का भार, $W_1 = m \times g \times \frac{1}{6} = 10 \times 9.8 \times \frac{1}{6} = 16.34$ न्यूटन

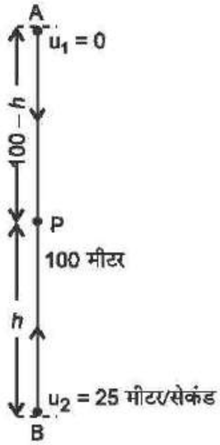
चंद्रमा की सतह पर गुरुत्वीय त्वरण $g_1 = \frac{W_1}{m}$ $[\because W = mg]$

$$g_1 = \frac{16.34}{10} = 1.63$$

$$g_1 = 1.63 \text{ मीटर/सेकंड}^2$$ उत्तर

प्रश्न 12. 100 मीटर की ऊँचाई वाली एक मीनार से किसी पत्थर को स्वतंत्रतापूर्वक नीचे गिराया जाता है। उसी समय दूसरे पत्थर को 25 मीटर/सेकंड के वेग से भूमि से ऊपर की ओर फेंका जाता है। गणना कीजिए कि दोनों पत्थर एक-दूसरे को कब व कहाँ मिलते हैं?

हल: माना दोनों P बिंदु पर मिलते हैं।



पहली वस्तु के लिए, $h = ut + \frac{1}{2}gt^2$

$$100 - h = 0 + \frac{1}{2} \times 10 \times t^2$$

$$100 - h = 5t^2 \qquad ...(1)$$

दूसरी वस्तु के लिए, $h = ut - \frac{1}{2}gt^2$

$$= 25 \times t - \frac{1}{2} \times 10 \times t^2$$

$$= 25t - 5t^2 \qquad ...(2)$$

समीकरण (1) व (2) जोड़ने पर,

$$(100 - h) + h = 5t^2 + 25t - 5t^2$$

$$100 = 25t$$

$$t = \frac{100}{25} = 4 \text{ सेकंड}$$

t का मान (1) में रखने पर,

$$100 - h = 5 \times (4)^2$$

$$100 - h = 5 \times 16$$

$$100 - h = 80$$

$$h = 100 - 80$$

$$h = 20 \text{ मीटर}$$

अत: दोनों वस्तुएँ 4 सेकंड बाद 20 मीटर की ऊँचाई पर एक-दूसरे से मिलेंगी।

उत्तर

प्रश्न 13. एक गेंद को 20 मीटर/सेकंड के वेग से एक टावर के नीचे ऊपर की ओर फेंका जाता है। भूमि से 15 मीटर ऊपर टावर की एक खिड़की है। गेंद को उस खिड़की तक पहुँचने में कितना समय लगेगा?

हल: $u = 20$ मीटर/सेकंड, $h = 15$ मीटर

$$h = ut - \frac{1}{2}gt^2$$

$$15 = 20t - \frac{1}{2} \times 10t^2$$

$$15 = 20t - 5t^2$$

$$3 = 4t - t^2$$

$$t^2 - 4t + 3 = 0$$

$$t^2 - 3t - t + 3 = 0$$

$$t(t-3)-1(t-3)=0$$
$$(t-3)(t-1)=0$$
$$t=1, 3$$
$t=1$ सेकंड, या 3 सेकंड **उत्तर**

प्रश्न 14. एक गेंद को u मीटर/सेकंड के वेग से ऊपर फेंका जाता है। दिखाइए कि स्वतंत्रतापूर्वक नीचे गिरने पर यह उसी वेग से नीचे गिरेगी।

हलः माना ऊपर जाने में गेंद द्वारा चली दूरी = ऊपर से नीचे आने में गेंद द्वारा तय दूरी = h होगी।

अतः ऊपर की ओर जाने पर अंतिम वेग शून्य हो जाएगा तथा अधिकतम ऊँचाई पर गेंद का गुरुत्वीय त्वरण $(-g)$ घट जाएगा। इस प्रकार

$$v^2 = u^2 - 2as$$
$$0 = u^2 - 2gh$$
$$u^2 = 2gh$$
$$h = \frac{u^2}{2g} \quad ...(1)$$

अब गेंद के स्वतंत्र रूप से नीचे गिरने पर,

प्रारंभिक वेग = 0 तथा गुरुत्वीय त्वरण धनात्मक हो जाएगा। माना अंतिम वेग v है।

अतः
$$v^2 = u^2 + 2as$$
$$v^2 = 0 + 2gh$$
$$v^2 = 2gh \quad ...(2)$$

अतः समीकरण (2) में (1) का मान रखने पर,

$$v^2 = 2g \times \frac{u^2}{2g}$$
$$v^2 = u^2$$
$$v = u$$

अतः स्वतंत्रतापूर्वक नीचे गिरने पर गेंद उसी वेग से नीचे गिरेगी। **उत्तर**

▶ प्रयोगात्मक कार्य

प्रश्न 1. मूल द्रव्यमान तथा किसी छड़ के द्रव्यमान के बीच आकर्षण बल ज्ञात करना।

उत्तर- विद्यार्थी स्वयं करें।

प्रश्न 2. कमानीदार तुला की सहायता से किसी वस्तु की भारहीनता की अवस्था का अध्ययन करना।

उत्तर- विद्यार्थी स्वयं करें।

6 कार्य, ऊर्जा एवं सामर्थ्य

▶ दीर्घ उत्तरीय प्रश्न

प्रश्न 1. कार्य को परिभाषित कीजिए। कार्य की माप के लिए इसका सूत्र स्थापित कीजिए।

उत्तर- **कार्य-** दैनिक जीवन में मनुष्य द्वारा किया जाने वाला किसी भी प्रकार का परिश्रम कार्य कहलाता है। हम अपने दैनिक जीवन में अनेक प्रकार की क्रियाएँ करते हैं; जैसे— साइकिल चलाना, पढ़ना-लिखना, खेत में हल चलाना, चक्की पीसना, कुएँ से जल खींचना इत्यादि।

इस प्रकार उन सभी क्रियाओं को जिनमें बल लगाने से वस्तु की स्थिति में परिवर्तन हो जाता है, कार्य कहा जाता है। परंतु यदि बल लगाने से कोई वस्तु अपने स्थान से नहीं टूटती, चाहे हम बल लगाते-लगाते थक जाएँ; फिर भी कार्य किया हुआ नहीं माना जाएगा।

वैज्ञानिक दृष्टि से- "कार्य वह भौतिक क्रिया है, जिसमें किसी वस्तु पर बल लगाकर वस्तु को बल की दिशा में विस्थापित किया जाता है।" कार्य के लिए दो बातों का होना आवश्यक है—

(i) बल, (ii) बल की दिशा में विस्थापन।

कार्य की माप- किसी वस्तु पर किए गए कार्य की माप, वस्तु पर आरोपित बल तथा बल की दिशा में वस्तु के विस्थापन के गुणनफल के बराबर होती है।

कार्य = बल × बल की दिशा में विस्थापन

कार्य एक अदिश राशि है। क्योंकि बल तथा विस्थापन दोनों ही सदिश राशि हैं। यदि किसी वस्तु पर बल (F) लगाने पर, वस्तु का बल की दिशा में विस्थापन (d) हो, तो कुल कार्य

$$\boxed{W = F \times d}$$

अत: स्पष्ट है कि मनुष्य द्वारा किया गया कार्य, बल के परिमाण तथा विस्थापन पर निर्भर करता है। किसी वस्तु को विस्थापित करने के लिए जितना अधिक बल लगाना पड़ता है, किए गए कार्य की मात्रा उतनी ही अधिक होती है।

कार्य के मात्रक- M.K.S. प्रणाली में कार्य का मात्रक जूल है।

कार्य = बल × विस्थापन

कार्य का मात्रक = बल का मात्रक × विस्थापन का मात्रक

= न्यूटन × मीटर

= जूल

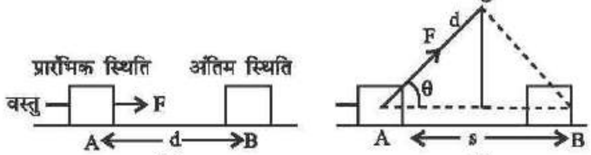
अत: कार्य का मात्रक न्यूटन-मीटर अथवा जूल है।

जूल की परिभाषा- "यदि किसी वस्तु पर 1 न्यूटन बल लगाने पर वस्तु का बल की दिशा में विस्थापन 1 मीटर हो, तो मनुष्य द्वारा किया गया कार्य 1 जूल होगा।" C.G.S. प्रणाली में कार्य का मात्रक अर्ग है।

जूल व अर्ग में संबंध : 1 जूल = 10^7 अर्ग

कार्य का व्यापक सूत्र- यदि किसी वस्तु पर बल F लगाने पर वह वस्तु बल की दिशा में विस्थापित नहीं होती है, बल्कि बल की दिशा में θ कोण बनाती हुई विस्थापित होती है, तो कार्य की गणना के लिए विस्थापन के घटक ज्ञात करने पड़ते हैं।

माना वस्तु का विस्थापन A से B तक तो हुआ परंतु विस्थापन d की दिशा तथा बल F की दिशा एक-दूसरे से θ कोण बनाती है। अत: बल की दिशा में d का घटक AC होगा, जिसका मान $d\cos\theta$ होगा।



(a) (b)

अत: बल F द्वारा किया गया कार्य,

$$W = F \times d\cos\theta$$

यह कार्य ज्ञात करने का व्यापक सूत्र है।

प्रश्न 2. सामर्थ्य किसे कहते हैं? किलोवाट-घंटा को जूल में व्यक्त कीजिए।

उत्तर- **सामर्थ्य अथवा शक्ति-** किसी कारक के कार्य करने की दर को उसकी सामर्थ्य अथवा शक्ति कहते हैं। इसे P से प्रदर्शित करते हैं।

$$\text{सामर्थ्य} = \frac{\text{कार्य}}{\text{समय}}$$

यदि किसी कारक द्वारा t सेकंड में W कार्य होता है तो उसकी सामर्थ्य,

$$\boxed{P = \frac{W}{t}}$$

यदि $t = 1$ सेकंड हो, तो $P = W$

अर्थात् एकांक समय में किसी मशीन द्वारा किया गया कार्य उसकी सामर्थ्य के बराबर होता है। सामर्थ्य एक अदिश राशि है। क्योंकि कार्य (W) का मात्रक जूल है, अत: सामर्थ्य का मात्रक 'जूल/सेकंड' होगा। इसे 'वाट' कहते हैं।

यदि 1 जूल कार्य 1 सेकंड में किया जाए तो कारक की सामर्थ्य 1 वाट होगी।

$$1 \text{ वाट} = 1 \text{ जूल/सेकंड}$$

सामर्थ्य का मात्रक 'वाट' छोटा मात्रक है, अत: सामर्थ्य 'किलोवाट' तथा 'मेगावाट' में भी नापी जाती है।

$$1 \text{ किलोवाट} = 10^3 \text{ वाट} = 1{,}000 \text{ वाट}$$

$$1 \text{ मेगावाट} = 10^6 \text{ वाट} = 10{,}00{,}000 \text{ वाट}$$

इंजीनियरिंग में मशीनों की सामर्थ्य 'अश्व-सामर्थ्य' में व्यक्त की जाती है। यह F.P.S. प्रणाली का मात्रक है।

$$1 \text{ अश्व-सामर्थ्य (H.P.)} = 746 \text{ वाट या } 746 \text{ जूल/सेकंड}$$

$$1 \text{ वाट} = \frac{1 \text{ अश्व-सामर्थ्य}}{746}$$

$$1 \text{ किलोवाट} = \frac{10^3}{746} \text{ अश्व-सामर्थ्य}$$

$$= 1.34 \text{ अश्व-सामर्थ्य}$$

अत: सामान्य व्यक्ति की सामर्थ्य 0.05 से 0.1 अश्व-सामर्थ्य तक होती है।

किलोवाट-घंटा- एक किलोवाट-घंटा वह कार्य है जो एक किलोवाट सामर्थ्य वाली वस्तु एक घंटे में करती है।

क्योंकि 1 किलोवाट-घंटा = 1000 वाट = 1000 जूल/सेकंड

अत: हम कह सकते हैं कि 1 किलोवाट घंटा वह कार्य है, जो 1000 वाट सामर्थ्य का कारक 1 घंटे में करता है।

अत:

$$\begin{aligned} 1 \text{ किलोवाट-घंटा} &= (1000 \text{ वाट}) \times (1 \text{ घंटा}) \\ &= (1000 \text{ वाट}) \times (3600 \text{ सेकंड}) \\ &= 1000 \frac{\text{जूल}}{\text{सेकंड}} \times 3600 \text{ सेकंड} \\ &= 1000 \times 3600 \text{ जूल} \end{aligned}$$

अर्थात्

$$1 \text{ किलोवाट-घंटा} = 3.6 \times 10^6 \text{ जूल}$$

$$1 \text{ kWh} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

प्रश्न 3. सामर्थ्य और वेग में संबंध स्थापित कीजिए।

उत्तर- सामर्थ्य और वेग में संबंध- यदि किसी वस्तु या पिंड पर एक नियत बल (F) लगाने पर, वस्तु का बल की दिशा में विस्थापन (d) हो, तो कुल कार्य

$$W = F \times d \qquad ...(1)$$

तथा किसी कारक द्वारा t सेकंड में W कार्य होता है तो उसकी सामर्थ्य

$$P = \frac{W}{t} \qquad ...(2)$$

समीकरण (2) में (1) का मान रखने पर,

$$P = \frac{F \times d}{t} \quad \Rightarrow \quad F \times \frac{d}{t}$$

$$\boxed{P = F \cdot v} \qquad \left[\because v = \frac{d}{t}\right]$$

प्रश्न 4. ऊर्जा की अभिधारणा क्या है? ऊर्जा का मात्रक लिखिए।

उत्तर- ऊर्जा की अभिधारणा- किसी वस्तु की कार्य करने की क्षमता को उस वस्तु की ऊर्जा कहते हैं। कार्य करने वाली प्रत्येक वस्तु में कुछ-न-कुछ ऊर्जा अवश्य होती है तथा जब यह वस्तु कार्य करती है तो उसकी ऊर्जा खर्च होने लगती है; जैसे— चाबी भरी घड़ी की स्प्रिंग घड़ी को चलाती है, जलता हुआ कोयला पानी को भाप में बदल सकता है इत्यादि। इसी प्रकार मनुष्य को भी कार्य करने के लिए अपनी कुछ ऊर्जा खर्च करनी पड़ती है।

दूसरे शब्दों में, जब ऊर्जा का एक रूप से दूसरे रूप में अथवा एक स्थान से दूसरे स्थान को हस्तांतरण होता है, तभी कार्य संपन्न होता है। यही स्थिति मशीनों तथा इंजनों की भी है। इनमें भी जब ईंधनरूपी ऊर्जा समाप्त हो जाती है तो वे कार्य करना बंद कर देती है; जैसे— कार चलाने के लिए पेट्रोल, विद्युत बल्ब जलाने के लिए विद्युत ऊर्जा आवश्यक होती है। अत: किसी वस्तु, मशीन अथवा मनुष्य द्वारा कार्य करने की क्षमता को उसकी ऊर्जा कहते हैं।

ऊर्जा के मात्रक- ऊर्जा व कार्य के मात्रक एक ही हैं अर्थात् ऊर्जा का M.K.S. तथा S.I. प्रणाली में मात्रक जूल है। यह एक अदिश राशि है।

ऊर्जा के अन्य मात्रक- जूल ऊर्जा का छोटा मात्रक है। औद्योगिक क्षेत्र में ऊर्जा के बड़े मात्रक वाट-घंटा तथा किलोवाट-घंटा का प्रयोग किया जाता है।

वाट-घंटा- 1 वाट-घंटा ऊर्जा उस कार्य के बराबर होती है जो एक वाट सामर्थ्य वाली वस्तु एक घंटे में करती है। अत:

$$1 \text{ वाट-घंटा} = 1 \text{ वाट} \times 1 \text{ घंटा}$$
$$= \frac{1 \text{ जूल}}{\text{सेकंड}} \times (60 \times 60 \text{ सेकंड})$$
$$= 3600 \text{ जूल}$$

किलोवाट-घंटा- एक किलोवाट-घंटा वह कार्य है जो एक किलोवाट सामर्थ्य वाली वस्तु एक घंटे में करती है।

क्योंकि $\quad 1 \text{ किलोवाट-घंटा} = 1000 \text{ वाट} = 1000 \text{ जूल/सेकंड}$

अत: हम कह सकते हैं कि 1 किलोवाट घंटा वह कार्य है जो 1000 वाट सामर्थ्य का कारक 1 घंटे में करता है।

अत: $\quad 1 \text{ किलोवाट-घंटा} = (1000 \text{ वाट}) \times (1 \text{ घंटा})$

$$= (1000 \text{ वाट}) \times (3600 \text{ सेकंड})$$
$$= 1000 \frac{\text{जूल}}{\text{सेकंड}} \times 3600 \text{ सेकंड}$$

अर्थात् $\quad 1 \text{ किलोवाट-घंटा} = 3.6 \times 10^6 \text{ जूल}$

$$1 \text{ kWh} = 3.6 \times 10^6 \text{ जूल}$$

प्रश्न 5. गतिज ऊर्जा किसे कहते हैं? इसका क्या मात्रक है?

उत्तर- **गतिज ऊर्जा-** किसी गतिशील वस्तु में उसकी गति के कारण कार्य करने की क्षमता को उस वस्तु की गतिज ऊर्जा कहते हैं।

उदाहरण- आँधी में टीन उड़ाने की क्षमता होती है, बंदूक से छूटी गोली में लक्ष्य को भेदने की क्षमता होती है। गतिशील हथौड़े में कील गाड़ने की क्षमता होती है। अत: इन सभी में गतिज ऊर्जा है।

किसी गतिशील वस्तु की गतिज ऊर्जा की माप 'कार्य' के उस परिमाण से की जाती है, जो उस वस्तु को विरामावस्था से वर्तमान अवस्था तक लाने में किया गया है।

माना कोई वस्तु, जिसका द्रव्यमान m है, विरामावस्था में है। इस पर एक अचर बल F लगाने पर इसमें a त्वरण उत्पन्न हो जाता है।

तब न्यूटन के द्वितीय नियम के अनुसार,

$$a = \frac{F}{m}$$

माना कि s दूरी चलने में वस्तु की चाल v हो जाती है। गति के तृतीय समीकरण $v^2 = u^2 + 2as$ के अनुसार, (यहाँ पर $u = 0$) क्योंकि वस्तु प्रारंभ में विरामावस्था में थी।

$$v^2 = 2as = 2 \times \left(\frac{F}{m}\right) \times s$$

अथवा $$F \times s = \frac{1}{2} m v^2$$

परंतु $F \times s$ वह कार्य है जो कि बल F ने वस्तु पर s दूरी चलने के दौरान किया है। इसी के कारण वस्तु की चाल शून्य से बढ़कर v हुई है और वस्तु को कार्य करने की क्षमता प्राप्त हुई है। अत: यही वस्तु की गतिज ऊर्जा की माप है। यदि हम गतिज ऊर्जा को K से प्रदर्शित करें, तब

$$K = F \times s = \frac{1}{2}mv^2$$

$$\boxed{K = \frac{1}{2}mv^2}$$

अत: किसी गतिशील वस्तु की गतिज ऊर्जा उसके द्रव्यमान तथा उसकी चाल के वर्ग के गुणनफल के आधे के बराबर होती है।

गतिज ऊर्जा का मात्रक- M.K.S. प्रणाली में इसका मात्रक जूल है। इसका C.G.S. प्रणाली में मात्रक अर्ग है।

प्रश्न 6. सिद्ध कीजिए कि किसी गतिशील वस्तु की गतिज ऊर्जा उसके द्रव्यमान तथा उसकी चाल के वर्ग के गुणनफल के आधे के बराबर होती है।

उत्तर- माना m द्रव्यमान का कोई वस्तु विरामावस्था में है। यदि वस्तु पर एक अचर बल (F) लगाया जाए तो वस्तु में त्वरण a उत्पन्न हो जाता है। अत: न्यूटन के गति-विषयक द्वितीय नियम के अनुसार, वस्तु में उत्पन्न त्वरण

$$a = \frac{F}{m} \qquad ...(1)$$

यदि इस बल के अधीन वस्तु s दूरी चले तो बल F द्वारा वस्तु पर किया गया कार्य

$$W = F \times s \qquad ...(2)$$

यदि s दूरी चलने में वस्तु की चाल शून्य $(u = 0)$ से बढ़कर v हो जाती है तो गति के तृतीय समीकरण $v^2 = u^2 + 2as$ से,

$$v^2 = 0 + 2as$$

समीकरण (1) से a का मान रखने पर,

$$v^2 = 2 \times \left(\frac{F}{m}\right) \times s$$

अत: $$F \times s = \frac{1}{2}mv^2 \qquad ...(3)$$

समीकरण (2) व (3) की तुलना करने पर,

$$W = F \times s = \frac{1}{2}mv^2$$

चूँकि इस कार्य (W) के कारण ही वस्तु की चाल शून्य से बढ़कर v हुई है। अत: यही गतिज ऊर्जा की माप है; यदि गतिज ऊर्जा को K से प्रदर्शित करें, तब

$$K = W = F \times s = \frac{1}{2}mv^2$$

अत: $$\boxed{K = \frac{1}{2}mv^2}$$

$$\boxed{K = \frac{1}{2} \times \text{द्रव्यमान} \times (\text{चाल})^2}$$

अत: किसी गतिशील वस्तु की गतिज ऊर्जा उसके द्रव्यमान तथा उसकी चाल के वर्ग के गुणनफल के आधे के बराबर होती है।

प्रश्न 7. स्थितिज ऊर्जा से आप क्या समझते हैं? गुरुत्वीय, प्रत्यास्थ तथा स्थिर विद्युत स्थितिज ऊर्जा पर प्रकाश डालिए।

उत्तर- स्थितिज ऊर्जा- किसी वस्तु में उसकी स्थिति अथवा विकृत अवस्था के कारण जो ऊर्जा होती है, उसे उसकी स्थितिज ऊर्जा कहते हैं। किसी वस्तु में स्थितिज ऊर्जा कई रूपों में निहित हो सकती है; जैसे— प्रत्यास्थ गुरुत्वीय, चुंबकीय, स्थिर विद्युत, रासायनिक इत्यादि। इसे 'U' से प्रदर्शित करते हैं तथा इसका मात्रक जूल है; जैसे— तनी हुई कमान में, ऊँचाई पर स्थित झरने के जल में।

माना m द्रव्यमान का एक पिंड पृथ्वी तल से h ऊँचाई तक ले जाया जाता है। पिंड को ऊपर ले जाने की क्रिया में पिंड पर लगे गुरुत्व बल $F = mg$ के विरुद्ध कार्य करना पड़ता है। यह कार्य ही पिंड में स्थितिज ऊर्जा के रूप में संचित हो जाता है।

अत: पिंड की स्थितिज ऊर्जा U = पिंड का गुरुत्व बल $(F = mg)$ के विरुद्ध h ऊँचाई तक उठाने में किया गया

= पिंड का भार × ऊँचाई

$= (mg) \times h$

$= mgh$

अत: $\boxed{U = mgh}$

गुरुत्वीय स्थितिज ऊर्जा- "किसी वस्तु की गुरुत्वीय स्थितिज ऊर्जा उस कार्य के बराबर होती है, जो गुरुत्वाकर्षण बल के विरूद्ध वस्तु को पृथ्वी तल से उच्चतम स्थिति तक ले जाने में किया जाता है।" पृथ्वी तल पर वस्तु की स्थितिज ऊर्जा को शून्य माना जाता है।

प्रत्यास्थ स्थितिज ऊर्जा- किसी वस्तु में उसकी आकृति अथवा विन्यास के कारण भी स्थितिज ऊर्जा हो सकती है, इस ऊर्जा को प्रत्यास्थ स्थितिज ऊर्जा कहते हैं; जैसे— यदि किसी स्प्रिंग को खींचा जाए तो खींचने की क्रिया में उसकी प्रत्यास्थता के विरुद्ध जो कार्य किया जाएगा, वह स्प्रिंग में उसकी स्थितिज ऊर्जा के रूप में संचित हो जाता है।

उदाहरण- जब हम घड़ी में चाबी भरते हैं तो घड़ी के भीतर की स्प्रिंग दब जाती है, जो धीरे-धीरे खुलकर घड़ी की सुइयों को चलाती रहती है। स्प्रिंग में दबी हुई (विकृत) अवस्था के कारण जो स्थितिज ऊर्जा संचित होती है, उसे प्रत्यास्थ स्थितिज ऊर्जा कहते हैं।

स्थिर विद्युत स्थितिज ऊर्जा- विद्युत आवेश भी एक-दूसरे को आकर्षित अथवा प्रतिकर्षित करते हैं। अत: आवेशों के निकाय में भी स्थितिज ऊर्जा होती है, जिसे स्थिर विद्युत स्थितिज ऊर्जा कहते हैं। यदि आवेश विपरीत प्रकार के हैं तो उनके बीच आकर्षण-बल होता है। तब उन्हें एक-दूसरे से दूर ले जाने में आकर्षण बल के विरुद्ध कार्य करना पड़ता है यदि आवेश समान प्रकार के हैं, तो वे एक-दूसरे को प्रतिकर्षित करते हैं। अब उन्हें एक-दूसरे के समीप लाने में प्रतिकर्षण बल के विरुद्ध कार्य करना पड़ता है, जिससे निकाय की स्थिर विद्युत स्थितिज ऊर्जा बढ़ती है।

प्रश्न 8. ऊर्जा के विभिन्न स्वरूपों का वर्णन कीजिए।

उत्तर- ऊर्जा के विभिन्न स्वरूप- ऊर्जा विभिन्न प्रकार की होती हैं, जैसे—

(i) **सौर ऊर्जा-** सूर्य द्वारा विकरित ऊर्जा को सौर ऊर्जा कहते हैं। आजकल इसके उपयोग पर अधिक जोर दिया जा रहा है, क्योंकि ऊर्जा के अन्य स्रोत समाप्त होते जा रहे हैं। इसके उपयोग के लिए अनेक उपकरण; जैसे— सोलर कुकर, सोलर पैनल, सोलर हीटर आदि प्रयोग में लाए जा रहे हैं।

(ii) **नाभिकीय ऊर्जा-** रेडियोधर्मी पदार्थों के नाभिकों के विखंडन अथवा संलयन से मुक्त ऊर्जा को नाभिकीय ऊर्जा कहते हैं; जैसे— यूरेनियम, हीलियम, हाइड्रोजन आदि से मुक्त ऊर्जा नाभिकीय ऊर्जा होती हैं।

(iii) **यांत्रिक ऊर्जा-** चाबी भरी घड़ी की स्प्रिंग, फेंके गए पत्थर, खींचा हुआ तीर आदि की ऊर्जा यांत्रिक ऊर्जा है। किसी वस्तु की गति के कारण उसमें संचित ऊर्जा को गतिज ऊर्जा कहते हैं तथा वस्तु की स्थिति के कारण उसमें संचित ऊर्जा को स्थितिज ऊर्जा कहते हैं। वस्तु की गतिज ऊर्जा तथा स्थितिज ऊर्जा को ही संयुक्त रूप से यांत्रिक ऊर्जा कहते हैं।

(iv) **उष्मीय ऊर्जा-** गर्म वस्तु द्वारा संचित वह ऊर्जा, जिसके कारण हमें गर्माहट का आभास होता है; उष्मीय ऊर्जा कहलाती है; जैसे— भाप की ऊर्जा।

(v) **प्रकाश ऊर्जा-** वह ऊर्जा जिसके कारण हमें वस्तुएँ दिखाई देती है, प्रकाश ऊर्जा कहलाती है; जैसे— विद्युत बल्ब एवं सूर्य आदि से प्राप्त ऊर्जा।

(vi) **रासायनिक ऊर्जा-** किसी रासायनिक प्रक्रिया में मुक्त हुई ऊर्जा को रासायनिक ऊर्जा कहते हैं; जैसे— कोयला, गैस एवं पेट्रोल आदि विभिन्न प्रकार के ईंधनों की ऊर्जा।

(vii) **ध्वनि ऊर्जा-** वह ऊर्जा जिसके कारण हमें सुनाई देने का आभास होता है, ध्वनि ऊर्जा कहलाती है; जैसे-लाउडस्पीकर से प्राप्त ऊर्जा ध्वनि ऊर्जा है।

(viii) **जल ऊर्जा-** बहते हुए जल में बहुत अधिक गतिज ऊर्जा होती है। जल ऊर्जा से ही पनचक्की चलाई जाती है। पानी को रोककर, टरबाइन के ब्लेडों पर गिराकर उन्हें घुमाया जाता है, जिससे जल-विद्युत उत्पन्न होती है। हमारे देश में कुल शक्ति का 23% से भी अधिक भाग जल-विद्युत से आता है।

(ix) **पवन ऊर्जा-** चलती वायु में गतिज ऊर्जा होती है, जिसे पवन ऊर्जा कहते हैं। इसके उपयोग से पवन-चक्कियों को चलाया जाता है, जिनमें बिजली के पंखों की भाँति ही ब्लेड लगे होते हैं, जो गतिशील वायु के टकराने से घूमने लगते हैं। घूमते हुए ब्लेडों की घूर्णन गति से जल पंप तथा आटा पीसने की चक्की चलाई जाती है।

(x) **विद्युत ऊर्जा-** विद्युत धारा द्वारा संचरित ऊर्जा को विद्युत ऊर्जा कहते हैं; जैसे— विद्युत मोटर से प्राप्त ऊर्जा।

प्रश्न 9. ऊर्जा के स्थानांतरण पर टिप्पणी लिखिए।

उत्तर- **ऊर्जा का स्थानांतरण या रूपांतरण-** जब कोई कारक किसी वस्तु पर कार्य करता है तो उसकी ऊर्जा खत्म होकर किसी अन्य प्रकार की ऊर्जा में बदल जाती है तथा जिस वस्तु पर कार्य किया गया, उसकी ऊर्जा बढ़ जाती है। इसका अर्थ है कि कार्य करने में ऊर्जा का स्थानांतरण ही होता है; जैसे— घड़ी में चाबी भरने पर हमारी शारीरिक ऊर्जा खर्च होती है, जो घड़ी की स्प्रिंग में यांत्रिक ऊर्जा के रूप में संचित हो जाती है। इस यांत्रिक ऊर्जा के कारण ही घड़ी की सुइयाँ चलती हैं। कार में प्रयुक्त ईंधन (पेट्रोल) की ऊर्जा, कार को गतिज ऊर्जा के रूप में प्राप्त होती है। इस प्रकार, किसी वस्तु पर कार्य करने पर आवश्यकता के अनुसार एक प्रकार की ऊर्जा को दूसरे प्रकार की ऊर्जा में रूपांतरित कर लिया जाता है। इस किए गए कार्य की माप स्थानांतरित ऊर्जा की माप होती है। अर्थात् ऊर्जा रूपांतरण में स्थितिज ऊर्जा पहले गतिज ऊर्जा में बदलती है तत्पश्चात् गतिज ऊर्जा, ऊर्जा के अन्य किसी रूप में बदलती है। स्थितिज ऊर्जा सीधे ऊर्जा के किसी अन्य रूप में नहीं बदलती।

प्रश्न 10. ऊर्जा रूपांतरण या स्थानांतरण के व्यावहारिक उपयोग लिखिए।

उत्तर- **ऊर्जा रूपांतरण या स्थानांतरण के व्यावहारिक उपयोग-** इसके उपयोग निम्न प्रकार हैं—

(i) **विद्युत हीटर में-** बिजली के हीटर में धारा प्रवाहित होने पर वह गर्म होकर चमकने लगता है। इस प्रक्रिया में विद्युत ऊर्जा उष्मीय ऊर्जा में परिवर्तित होती है।

(ii) **बिजली के बल्ब में-** बिजली के बल्ब में विद्युत धारा प्रवाहित होने पर वह गर्म हो जाता है तथा चमक देने लगता है। इस प्रक्रिया में विद्युत ऊर्जा, प्रकाश ऊर्जा व उष्मीय ऊर्जा में बदलती है।

(iii) **सरल लोलक में कंपन करता गोलक-** सरल लोलक में गोलक की स्थितिज ऊर्जा का गतिज ऊर्जा में व गतिज ऊर्जा का स्थितिज ऊर्जा में रूपांतरण होता है। माध्य स्थिति में गतिज ऊर्जा अधिकतम व स्थितिज ऊर्जा न्यूनतम होती है। किनारों वाली स्थितियों पर स्थितिज ऊर्जा अधिकतम व गतिज ऊर्जा शून्य होती है।

(iv) **ऊँचाई से गिरने वाली वस्तु-** ऊँचाई से गिरती वस्तु की स्थितिज ऊर्जा गतिज ऊर्जा में रूपांतरित हो जाती है।

(v) **सौर-सेल-** सौर-सेल में सौर ऊर्जा विद्युत ऊर्जा में बदलती है।

(vi) **उष्मा इंजन-** उष्मा इंजन में उष्मीय ऊर्जा यांत्रिक ऊर्जा में बदलती है।

(vii) **लाउडस्पीकर में-** विद्युत ऊर्जा का ध्वनि ऊर्जा में रूपांतरण होता है।

(viii) **बैटरी में-** एक बैटरी में रासायनिक ऊर्जा विद्युत ऊर्जा में बदलती है।

(ix) **पत्थर के टुकड़ों का आपस में रगड़ना-** इस प्रक्रिया में गतिज ऊर्जा का उष्मीय ऊर्जा में रूपांतरण होता है।

(x) **बिजली के पंखे में-** इस प्रक्रिया में विद्युत ऊर्जा, यांत्रिक ऊर्जा (गतिज ऊर्जा) में परिवर्तित होती है।

(xi) **उष्मीय पावर स्टेशन में-** इस प्रक्रिया में रासायनिक ऊर्जा विद्युत ऊर्जा में बदलती है।

(xii) **जल-विद्युत पावर स्टेशन में-** जल की स्थितिज ऊर्जा पहले गतिज ऊर्जा में व फिर गतिज ऊर्जा विद्युत ऊर्जा में बदलती है।

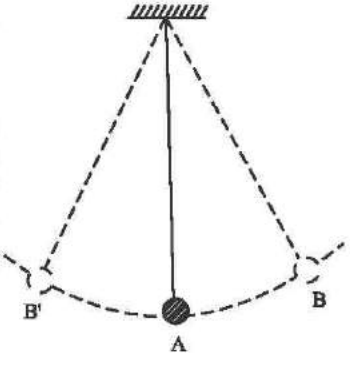
प्रश्न 11. ऊर्जा संरक्षण का क्या नियम है? ऊर्जा संरक्षण की सत्यता को प्रदर्शित करने के लिए कोई दो उदाहरण दीजिए।

उत्तर- **ऊर्जा संरक्षण का नियम-** इस नियम के अनुसार, "ऊर्जा न तो उत्पन्न की जा सकती है और न हीं नष्ट की जा सकती है, परंतु यह केवल एक रूप से दूसरे रूप में रूपांतरित की जा सकती है। अर्थात् विश्व की संपूर्ण ऊर्जा का परिमाण नियत रहता है।" यही ऊर्जा संरक्षण का नियम है।

यदि ऊर्जा किसी रूप में लुप्त होती है तो ठीक उतनी ही ऊर्जा अन्य रूपों में प्रकट हो जाती है।

ऊर्जा संरक्षण के उदाहरण-

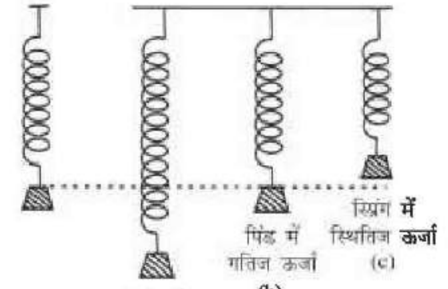
(i) **सरल लोलक का उदाहरण-** माना किसी सरल लोलक की साम्य स्थिति A है। चित्रानुसार जब गोलक को A से हटाकर B पर लाते हैं तो उसका गुरुत्व-केंद्र कुछ ऊपर उठता है, अतः गुरुत्व बल के विरुद्ध 'कार्य' किया जाता है। यह कार्य गोलक में स्थितिज ऊर्जा के रूप में संचित रहता है। इस प्रकार स्थिति B में होने पर गोलक में केवल स्थितिज ऊर्जा होती है।



जब गोलक को स्थिति B पर स्वतंत्र छोड़ देते हैं तो वह साम्य स्थिति A की ओर आने लगता है। इससे उसका गुरुत्व-केंद्र नीचे होने लगता है तथा उसका वेग बढ़ने लगता है। अत: उसकी स्थितिज ऊर्जा कम होने लगती है तथा गतिज ऊर्जा बढ़ने लगती है। साम्य स्थिति में आने पर गोलक की संपूर्ण स्थितिज ऊर्जा गतिज ऊर्जा में बदल जाती है।

जब गोलक स्थिति B' की ओर जाता है तो गुरुत्व-केंद्र फिर उठने लगता है तथा उसका वेग कम होने लगता है। अत: गोलक की स्थितिज ऊर्जा बढ़ने लगती है तथा गतिज ऊर्जा घटने लगती है। स्थिति B' में, जहाँ वह कुछ पल के लिए ठहरता है, उसकी संपूर्ण गतिज ऊर्जा स्थितिज ऊर्जा में बदल जाती है। इस प्रकार, स्थितियों B तथा B' में गोलक में केवल स्थितिज ऊर्जा होती है, साम्य स्थिति A में केवल गतिज ऊर्जा होती है तथा अन्य स्थितियों में उसमें दोनों प्रकार की ऊर्जाएँ होती हैं। गणना द्वारा यह देखा जा सकता है कि प्रत्येक स्थिति में गोलक की कुल यांत्रिक ऊर्जा उतनी ही रहती है। परंतु वायु के घर्षण के कारण गोलक की यांत्रिक ऊर्जा धीरे-धीरे समाप्त होती रहती है और आखिरकार गोलक ठहर जाता है।

(ii) **स्प्रिंग से लटके द्रव्यमान की गति में ऊर्जा-** किसी एक स्प्रिंग को किसी दृढ़ आधार से लटका लेते हैं, जिसके दूसरे सिरे पर एक पिंड बँधा हो। जब पिंड को थोड़ा-सा नीचे खींचकर छोड़ा जाता है, तो पिंड ऊपर-नीचे कंपन करने लगता है। इसका कारण यह है कि जब पिंड को नीचे की ओर खींचा जाता है तो स्प्रिंग भी खिंचती है। स्प्रिंग को खींचने की इस प्रक्रिया में किया गया कार्य स्प्रिंग में स्थितिज ऊर्जा के रूप में संचित हो जाता है। पिंड की इस निम्नतम अवस्था में निकाय की कुल ऊर्जा, स्प्रिंग में स्थितिज ऊर्जा के रूप में संचित रहती है।



जब स्प्रिंग को स्वतंत्र छोड़ दिया जाता है, तो वह अपनी साम्यावस्था में आने लगती है और इस पर लटका पिंड ऊपर की ओर गति करने लगता है इससे स्प्रिंग की स्थितिज ऊर्जा घटने लगती है, जबकि पिंड की गतिज ऊर्जा बढ़ने लगती है। साम्यावस्था में स्प्रिंग की स्थितिज ऊर्जा शून्य होती है अर्थात् कुल ऊर्जा, गतिज ऊर्जा में परिवर्तित हो जाती है।

स्प्रिंग से लटका पिंड जड़त्व के कारण ऊपर जाता है, जिससे स्प्रिंग दबने लगती है। पुन: पिंड की गतिज ऊर्जा, स्प्रिंग की स्थितिज ऊर्जा में बदलने लगती है। पिंड की इस उच्चतम स्थिति में, गतिज ऊर्जा शून्य होती है तथा निकाय की कुल ऊर्जा, स्प्रिंग में स्थितिज ऊर्जा के रूप में संचित रहती है। इस प्रकार पिंड के दोलन में ऊर्जाओं का रूपांतरण होता रहता है, परंतु प्रत्येक स्थिति में कुल ऊर्जा का मान नियत रहता है।

▶ लघु उत्तरीय प्रश्न

प्रश्न 1. कार्य किस कहते हैं? इसका सूत्र तथा मात्रक लिखिए।

उत्तर- **कार्य-** "कार्य वह भौतिक क्रिया है, जिसमें किसी वस्तु पर बल F लगाकर वस्तु को बल की दिशा में विस्थापित d किया जाता है।"

कार्य = बल × बल की दिशा में विस्थापन

$$\boxed{W = F \times d}$$

कार्य का मात्रक = बल का मात्रक × विस्थापन का मात्रक

= न्यूटन × मीटर = जूल

प्रश्न 2. 1 अर्ग की परिभाषा दीजिए।

उत्तर- 1 अर्ग कार्य का वह परिमाण है, जो एक डाइन का बल आरोपित करने पर वस्तु में उसकी दिशा में 1 सेमी का विस्थापन कर दे।

अर्ग C.G.S. प्रणाली में कार्य का मात्रक है।

जूल व अर्ग में संबंध- 1 जूल $= 10^7$ अर्ग

प्रश्न 3. 1 जूल से आप क्या समझते हैं?

उत्तर- यदि किसी वस्तु पर 1 न्यूटन बल लगाने पर वस्तु का बल की दिशा में विस्थापन 1 मीटर हो, तो मनुष्य द्वारा किया गया कार्य 1 जूल होगा।

कार्य का मात्रक न्यूटन-मीटर अथवा जूल है।

1 जूल = 1 न्यूटन × 1 मीटर

प्रश्न 4. 1 वाट से आप क्या समझते हैं?

उत्तर- यदि 1 जूल कार्य 1 सेकंड में किया जाए तो कारक की सामर्थ्य 1 वाट होगी।

$$1 \text{ वाट} = 1\frac{\text{जूल}}{\text{सेकंड}}$$

सामर्थ्य का मात्रक 'वाट' छोटा मात्रक है, अत: सामर्थ्य किलोवाट या मेगावाट में भी नापी जाती है।

1 किलोवाट = 1000 वाट $= 10^3$ वाट

1 मेगावाट = 1000000 वाट $= 10^6$ वाट

F.P.S. प्रणाली में सामर्थ्य को अश्व-सामर्थ्य भी कहा जाता है।

1 अश्व-सामर्थ्य (H.P.) = 746 वाट

प्रश्न 5. ऊर्जा तथा सामर्थ्य में अंतर स्पष्ट कीजिए।

उत्तर- **ऊर्जा तथा सामर्थ्य में अंतर-**

क्र०सं०	ऊर्जा	सामर्थ्य
1.	ऊर्जा का S.I. मात्रक जूल है।	सामर्थ्य का S.I. मात्रक जूल/सेकंड अथवा वाट है।
2.	ऊर्जा का मान समय पर निर्भर नहीं करता।	सामर्थ्य का मान समय पर निर्भर करता है।
3.	किसी वस्तु के कार्य करने की क्षमता को ऊर्जा कहते हैं। ऊर्जा, कार्य की कुल मात्रा होती है, जो कोई कारक कर सकता है।	किसी वस्तु के कार्य करने की दर को सामर्थ्य कहते है। सामर्थ्य एक सेकंड में होने वाले कार्य को दर्शाती है।

प्रश्न 6. ऊर्जा किसे कहते हैं? 1 किलोवाट-घंटा को परिभाषित कीजिए।

उत्तर- ऊर्जा- किसी वस्तु की कार्य करने की क्षमता को उस वस्तु की ऊर्जा कहते हैं। ऊर्जा एक अदिश राशि है तथा इसका मात्रक जूल है।

1 किलोवाट-घंटा- एक किलोवाट-घंटा वह कार्य है जो एक किलोवाट सामर्थ्य वाली वस्तु एक घंटे में करती है।

क्योंकि 1 किलोवाट-घंटा = 1000 वाट = 1000 जूल/सेकंड

अत: हम कह सकते हैं कि 1 किलोवाट-घंटा वह कार्य है जो 1000 वाट सामर्थ्य का कारक 1 घंटे में करता है।

अत:
$$1 \text{ किलोवाट-घंटा} = (1000 \text{ वाट}) \times (1 \text{ घंटा})$$
$$= (1000 \text{ वाट}) \times (3600 \text{ सेकंण्ड})$$
$$= 1000 \frac{\text{जूल}}{\text{सेकेण्ड}} \times 3600 \text{ सेकंड}$$
$$= 1000 \times 3600 \text{ जूल}$$

अर्थात्
$$1 \text{ किलोवाट-घंटा} = 3.6 \times 10^6 \text{ जूल}$$
$$\boxed{1 \text{ kWh} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}}$$

प्रश्न 7. गतिज ऊर्जा किसे कहते हैं? इसका सूत्र लिखिए।

उत्तर- गतिज ऊर्जा- किसी गतिशील वस्तु में उसकी गति के कारण कार्य करने की क्षमता को उस वस्तु की गतिज ऊर्जा कहते हैं।

गतिज ऊर्जा के सूत्र का निगमन- माना कोई m द्रव्यमान की वस्तु विरामावस्था में है, उस पर F बल लगने के कारण त्वरण 'a' उत्पन्न हो जाता है। इस त्वरण के कारण वस्तु का वेग s दूरी चलने के बाद v हो जाता है।

वस्तु की गतिज ऊर्जा = किया गया कार्य = बल × विस्थापन
$$= F \times s = m \times a \times s \quad ...(1)$$

गति के तृतीय नियम से,
$$v^2 = u^2 + 2as$$

किंतु वस्तु प्रारंभ में विरामावस्था में है, अत: $u = 0$

$\therefore$
$$v^2 = 0 + 2as$$

या
$$v^2 = 2as = as = \frac{v^2}{2} \quad ...(2)$$

समीकरण (2) से $a \cdot s$ का मान समीकरण (1) में रखने पर,

$$\text{वस्तु की गतिज ऊर्जा} = K.E. = m \times \frac{v^2}{2}$$
$$\boxed{K.E. = \frac{1}{2} mv^2}$$

प्रश्न 8. प्रत्यास्थ स्थितिज ऊर्जा को समझाइए।

उत्तर- प्रत्यास्थ स्थितिज ऊर्जा- किसी वस्तु में उसकी आकृति अथवा विन्यास के कारण जो स्थितिज ऊर्जा होती है, इस ऊर्जा को 'प्रत्यास्थ स्थितिज ऊर्जा' कहते हैं; जैसे— यदि किसी स्प्रिंग को खींचा जाए तो खींचने की प्रक्रिया में उसकी प्रत्यास्थता के विरुद्ध जो कार्य किया जाएगा, वह स्प्रिंग में उसकी स्थितिज ऊर्जा के रूप में संचित हो जाता है।

उदाहरण- जब हम घड़ी में चाबी देते हैं तो घड़ी की स्प्रिंग दब जाती है, जो धीरे-धीरे खुलकर घड़ी की सुइयों को चलाती रहती है। स्प्रिंग में दबी हुई (विकृत) अवस्था के कारण जो स्थितिज ऊर्जा संचित होती है, उसे प्रत्यास्थ स्थितिज ऊर्जा कहते हैं।

प्रश्न 9. द्रव्यमान ऊर्जा से आप क्या समझते हैं?

उत्तर- **द्रव्यमान ऊर्जा-** आइन्स्टीन ने यह बताया कि प्रत्येक पदार्थ में उसके द्रव्यमान के कारण ऊर्जा होती है, उसे द्रव्यमान ऊर्जा कहते हैं। आइन्स्टीन के अनुसार द्रव्यमान को ऊर्जा में तथा ऊर्जा को द्रव्यमान में बदला जा सकता है।

यदि m द्रव्यमान की वस्तु को पूर्णत: ऊर्जा में परिवर्तित कर दिया जाए तो उससे उत्पन्न कुल ऊर्जा

$$E = mc^2$$

जहाँ $c = 3\times10^8$ मीटर/सेकंड प्रकाश की चाल है। इस समीकरण को ही आइन्स्टीन का द्रव्यमान-ऊर्जा समीकरण कहते हैं। चूँकि प्रकाश की चाल बहुत अधिक होती है इसलिए द्रव्यमान-ऊर्जा का मान भी बहुत अधिक होगा।

प्रश्न 10. ऊर्जा स्थानांतरण के कोई पाँच उपयोग लिखिए।

उत्तर- **ऊर्जा स्थानांतरण के उपयोग-** ऊर्जा स्थानांतरण के उपयोग निम्न हैं—

(i) **विद्युत हीटर में-** विद्युत ऊर्जा उष्मीय ऊर्जा में परिवर्तित होती है।

(ii) **बिजली के बल्ब में-** विद्युत ऊर्जा, प्रकाश ऊर्जा तथा उष्मीय ऊर्जा में बदलती है।

(iii) **बिजली के पंखे में-** विद्युत ऊर्जा यांत्रिक ऊर्जा (गतिज ऊर्जा) में परिवर्तित होती है।

(iv) **उष्मीय पावर स्टेशन में-** रासायनिक ऊर्जा विद्युत ऊर्जा में बदलती है।

(v) **सौर-सेल में-** सौर-सेल में सौर ऊर्जा विद्युत ऊर्जा में बदलती है।

प्रश्न 11. ऊर्जा संरक्षण का क्या नियम है?

उत्तर- **ऊर्जा संरक्षण का नियम-** "ऊर्जा न तो उत्पन्न की जा सकती है और न ही नष्ट की जा सकती है, परंतु यह एक रूप से दूसरे रूप में रूपांतरित की जा सकती है अर्थात् विश्व की संपूर्ण ऊर्जा का परिमाण नियत रहता है।" यही ऊर्जा संरक्षण का नियम है।

यदि ऊर्जा किसी रूप में लुप्त होती है तो ठीक उतनी ही ऊर्जा अन्य रूपों में प्रकट हो जाती है।

प्रश्न 12. सिद्ध कीजिए कि गिरती हुई वस्तु के प्रत्येक बिंदु पर गतिज ऊर्जा तथा स्थितिज ऊर्जा का योग नियत बना रहता है।

उत्तर- माना m द्रव्यमान की कोई वस्तु पृथ्वी तल से h ऊँचाई पर स्थित बिंदु A पर विरामावस्था में है। A पर वस्तु का वेग शून्य है, अत: गतिज ऊर्जा का मान शून्य होगा, यहाँ केवल स्थितिज ऊर्जा ही होगी।

$\therefore$ A बिन्दु पर वस्तु में कुल ऊर्जा = गतिज ऊर्जा + स्थितिज ऊर्जा

$$= 0 + mgh$$

$$= mgh \quad ...(1)$$

माना वस्तु बिंदु A से गिरना शुरू करती है तो अपनी प्रारंभिक स्थिति से x दूरी तक गिरने के बाद माना वस्तु किसी क्षण B बिंदु पर पहुँचती है जहाँ वस्तु का वेग v है, अत: गति के तृतीय समीकरण से,

$$v^2 = u^2 + 2as$$

या $$v^2 = 0 + 2gx$$

$$= 2gx$$

$\therefore$ बिंदु B पर वस्तु की गतिज ऊर्जा $= \frac{1}{2}mv^2$

$$= \frac{1}{2}m \times 2gx$$

$$= mgx$$

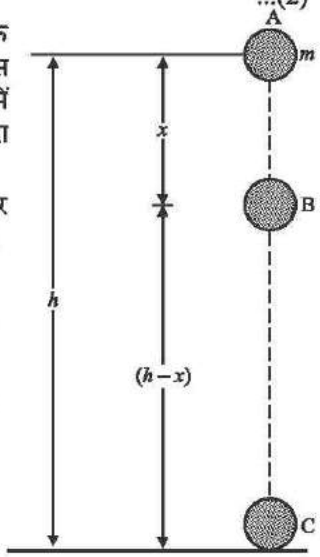
बिंदु B की पृथ्वी तल C से ऊँचाई $= h - x$

बिंदु B पर वस्तु की स्थितिज ऊर्जा $= mg(h-x)$

$\therefore$ बिंदु B पर वस्तु की कुल ऊर्जा = गतिज ऊर्जा + स्थितिज ऊर्जा

$$= mgx + mg(h-x)$$

$$= mgh \quad ...(2)$$



अब माना वस्तु पृथ्वी तल पर स्थित बिंदु C के ठीक ऊपर है तथा पृथ्वी से वस्तु टकराने वाली ही है। इस समय उसकी स्थितिज ऊर्जा शून्य है तथा उसमें केवल गतिज ऊर्जा ही है। इस स्थिति में वस्तु द्वारा गिरने के बाद तय की गई दूरी $= h$

गति के तृतीय समीकरण $v^2 = u^2 + 2as$ से C पर (जहाँ $a = g$ तथा $s = h$ है) वस्तु का वेग होगा।

$$v'^2 = 0 + 2gh \neq 2gh$$

$\therefore$ C पर वस्तु की गतिज ऊर्जा $= \frac{1}{2}m(v')^2$

$$= \frac{1}{2}m \times 2gh$$

$$= mgh$$

$\therefore$ C पर वस्तु की कुल ऊर्जा

= गतिज ऊर्जा + स्थितिज ऊर्जा

$= mgh + 0$

$= mgh \quad ...(3)$

अत: समीकरण (1), (2) व (3) के अनुसार, गिरती हुई वस्तु के प्रत्येक बिंदु पर गतिज ऊर्जा तथा स्थितिज ऊर्जा का योग नियत बना रहता है।

प्रश्न 13. ऊर्जा तथा सामर्थ्य में अंतर स्पष्ट कीजिए।

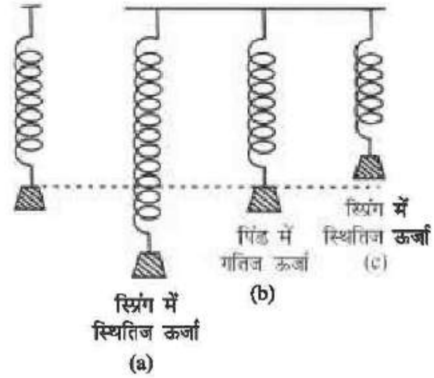
उत्तर– **ऊर्जा तथा सामर्थ्य (शक्ति) में अंतर–** किसी कारक की 'ऊर्जा' तथा शक्ति में स्पष्ट अंतर है। 'ऊर्जा' किए जाने वाले कार्य के कुल परिमाण को बताती है, इसका समय से कोई प्रयोजन नहीं। शक्ति कार्य करने की दर को बताती है, इसका कार्य के कुल परिमाण से कोई प्रयोजन नहीं।

उदाहरण– एक मजदूर 100 ईंटें मकान की छत पर 1 घंटे में चढ़ाता है, जबकि दूसरा मजदूर 100 ईंटों को 2 घंटों में चढ़ाता है। इस दशा में दोनों ने बराबर कार्य किया है अर्थात् दोनों की बराबर ऊर्जा व्यय हुई है। परंतु पहले मजदूर ने वही कार्य आधे समय में किया है, अत: वह दूसरे मजदूर से दुगुनी शक्ति रखता है।

प्रश्न 14. स्प्रिंग से लटके द्रव्यमान की गति में ऊर्जा का स्थानांतरण समझाइए।

उत्तर– **स्प्रिंग से लटके द्रव्यमान की गति में ऊर्जा का स्थानांतरण–** किसी एक स्प्रिंग को किसी दृढ़ आधार से लटका लेते हैं, जिसके दूसरे सिरे पर एक पिंड बँधा हो। जब पिंड

को थोड़ा-सा नीचे खींचकर छोड़ा जाता है, तो पिंड ऊपर-नीचे कंपन करने लगता है। इसका कारण यह है कि जब पिंड को नीचे की ओर खींचा जाता है तो स्प्रिंग भी खींचती है। स्प्रिंग को खींचने की इस प्रक्रिया में किया गया कार्य स्प्रिंग में स्थितिज ऊर्जा के रूप में संचित हो जाता है। पिंड की इस निम्नतम अवस्था में निकाय की कुल ऊर्जा, स्प्रिंग में स्थितिज ऊर्जा के रूप में संचित रहती है।



जब स्प्रिंग को स्वतंत्र छोड़ दिया जाता है, तो वह अपनी साम्यावस्था में आने लगती है और इस पर लटका पिंड ऊपर की ओर गति करने लगता है। इससे स्प्रिंग की स्थितिज ऊर्जा घटने लगती है, जबकि पिंड की गतिज ऊर्जा बढ़ने लगती है। साम्यावस्था में स्प्रिंग की स्थितिज ऊर्जा शून्य होती है अर्थात् कुल ऊर्जा, गतिज ऊर्जा में परिवर्तित हो जाती है।

स्प्रिंग से लटका पिंड जड़त्व के कारण ऊपर जाता है, जिससे स्प्रिंग दबने लगती है। पुन: पिंड की गतिज ऊर्जा, स्प्रिंग की स्थितिज ऊर्जा में बदलने लगती है। पिंड की इस उच्चतम स्थिति में, गतिज ऊर्जा शून्य होती है तथा निकाय की कुल ऊर्जा, स्प्रिंग में स्थितिज ऊर्जा के रूप में संचित रहती है। इस प्रकार पिंड के दोलन में ऊर्जाओं का रूपांतरण होता रहता है, परंतु प्रत्येक स्थिति में कुल ऊर्जा का मान नियत रहता है।

▶ अति लघु उत्तरीय प्रश्न

(इसके लिए अपनी पाठ्य-पुस्तक में पृष्ठ संख्या 101 देखें)

▶ आंकिक प्रश्न

प्रश्न 1. एक वस्तु पर 160 न्यूटन का बल लगाने पर उसमें बल की दिशा में 2 मीटर का विस्थापन होता है। किए गए कार्य की गणना कीजिए।

हल: $F = 160$ न्यूटन, $d = 2$ मीटर

$$W = F \times d$$
$$= 160 \times 2$$
$W = 320$ जूल — उत्तर

प्रश्न 2. एक कुली 60 किग्रा की वस्तु को लेकर 3 मीटर की ऊँची बस की छत पर चढ़ता है। गुरुत्वीय बल के विरुद्ध किए गए कार्य की गणना कीजिए। ($g = 9.8$ मीटर/सेकंड^2)

हल: $m = 60$ किग्रा, $d = 3$ मीटर, $W = ?$, $g = 9.8$ मीटर/सेकंड^2

$$W = F \times d$$
$$W = m \times g \times d$$
$$= 60 \times 9.8 \times 3$$
$$W = 1764 \text{ जूल}$$ उत्तर

प्रश्न 3. 10 न्यूटन का बल लगाने से कोई वस्तु बल की दिशा में 2 मीटर विस्थापित होती है। बल द्वारा किए गए कार्य की गणना कीजिए।

हल: $F = 10$ न्यूटन, $d = 2$ मीटर

$$W = F \times d$$
$$= 10 \times 2$$
$$W = 20 \text{ जूल}$$ उत्तर

प्रश्न 4. एक वस्तु पर 40 न्यूटन का बल लगाने पर विस्थापन दिशा में 45° का कोण बनता है। यदि वस्तु 2 मीटर विस्थापित हुई हो तो किए गए कार्य की गणना कीजिए।

हल: $F = 40$ न्यूटन, $d = 2$ मीटर, $\theta = 45°$

$$W = F \times d \times \cos\theta \qquad \left[\because \cos 45° = \frac{1}{\sqrt{2}}\right]$$
$$= 40 \times 2 \times \cos 45°$$
$$= 80 \times \frac{1}{\sqrt{2}}$$
$$= \frac{80 \times \sqrt{2}}{2}$$
$$= 40 \times 1.414$$
$$W = 56.56 \text{ जूल}$$ उत्तर

प्रश्न 5. यदि किसी कारक द्वारा किसी वस्तु पर लगाए गए बल से वस्तु में बल की दिशा में 3 मीटर का विस्थापन करने के लिए 6 जूल कार्य करना पड़ता है, तो कारक द्वारा वस्तु पर लगाया गया बल ज्ञात कीजिए।

हल: $F = ?$, $d = 3$ मीटर, $W = 6$ जूल

$$W = F \times d$$
$$6 = F \times 3$$
$$\Rightarrow \quad F = \frac{6}{3} = 2 \text{ न्यूटन}$$ उत्तर

प्रश्न 6. एक इंजन 6000 न्यूटन का बल लगाने पर 54000 जूल कार्य करता है। बल का विस्थापन ज्ञात कीजिए।

हल: $W = 54000$ जूल, $F = 6000$ न्यूटन, $d = ?$

$$W = F \times d$$
$$54000 = 6000 \times d$$
$$d = \frac{54000}{6000} = 9 \text{ मीटर}$$ उत्तर

प्रश्न 7. 7 ग्राम द्रव्यमान को ऊर्जा में बदल देने पर कितनी ऊर्जा प्राप्त होगी? (प्रकाश का वेग $c = 3 \times 10^8$ मीटर/सेकंड) (संकेत- $E = mc^2$)

हल: $m = 7$ ग्राम $= 7\times10^{-3}$ किग्रा, ऊर्जा $E = ?$

$c = 3\times10^{8}$ मीटर/सेकंड

$$E = mc^2$$
$$= 7\times10^{-3}\times(3\times10^{8})^2$$
$$= 7\times10^{-3}\times9\times10^{16}$$
$$= 63\times10^{13}$$
$$E = 6.3\times10^{14} \text{ जूल}$$

उत्तर

प्रश्न 8. एक कार को आनत तल द्वारा ट्रक में चढ़ाने के लिए 6.0×10^{3} न्यूटन का बल लगाना पड़ता है। कार को 6 मीटर/सेकंड के वेग से खींचकर ट्रक में अंदर पहुँचने में 5 मिनट का समय लगता है। किए गए कार्य का परिकलन कीजिए।

हल: $F = 6\times10^{3}$ न्यूटन, $v = 6$ मीटर/सेकंड, $W = ?$,

$t = 5$ मिनट $= 5\times60 = 300$ सेकंड

$$W = F\times s$$
$$= F\times v\times t \qquad \left[\because \text{चाल} = \frac{\text{दूरी}}{\text{समय}}\right]$$
$$W = 6\times10^{3}\times6\times300$$
$$= 10800\times10^{3}$$
$$W = 10.8\times10^{6} \text{ जूल}$$

उत्तर

प्रश्न 9. 1800 किग्रा द्रव्यमान की कोई कार 60 किमी/घंटा की चाल से चल रही है। ब्रेक लगाने पर वह 30 मीटर चलकर रुक जाती है। ब्रेक लगने से कार पर आरोपित बल की गणना कीजिए।

हल: $m = 1800$ किग्रा, $s = 30$ मीटर, $v = 0$,

$u = 60$ किमी/घंटा $= 60\times\frac{5}{18} = \frac{50}{3} = 16.66$ मीटर/सेकंड

$$v^2 = u^2 + 2as$$
$$0 = \left(\frac{50}{3}\right)^2 + 2\times a\times30$$
$$a = -\frac{277.8}{60}$$
$$= -4.63 \text{ मीटर/सेकंड}$$

(ऋणात्मक चिह्न मंदन को प्रदर्शित करता है।)

$$F = m\cdot a$$
$$= 1800\times4.63$$
$$F = 8334 \text{ न्यूटन (लगभग)}$$

उत्तर

प्रश्न 10. एक मशीन 24 सेकंड में 192 जूल कार्य करती है। मशीन की सामर्थ्य ज्ञात कीजिए।

हल: $W = 192$ जूल, $t = 24$ सेकंड, $P = ?$

$$P = \frac{W}{t} = \frac{192}{24} = 8 \text{ वाट}$$

उत्तर

प्रश्न 11. 50 किग्रा का बोझ लेकर कोई व्यक्ति 20 सेकंड में किसी पहाड़ी पर चढ़ने के लिए 10 मीटर तक दौड़ता है। उसकी सामर्थ्य की गणना कीजिए। ($g = 9.8$ मीटर/सेकंड^2)

हल: $m = 50$ किग्रा, $t = 20$ सेकंड, $d = 10$ मीटर, $g = 9.8$ मीटर/सेकंड^2, $P = ?$

$$P = \frac{W}{t} = \frac{F \times d}{t}$$

$$= \frac{m \times g \times d}{t} \qquad [\because W = F \times d \text{ तथा } F = ma]$$

$$P = \frac{50 \times 9.8 \times 10}{20} = 245 \text{ वाट}$$ उत्तर

प्रश्न 12. 60 वाट का बल्ब 3000 जूल ऊर्जा को खर्च करने के लिए कितना समय लगाएगा?

हल: $P = 60$ वाट, $W = 3000$ जूल, $t = ?$

$$P = \frac{W}{t}$$

या $$t = \frac{W}{P} = \frac{3000}{60}$$

$$t = 50 \text{ सेकंड}$$ उत्तर

प्रश्न 13. 1.5 किग्रा द्रव्यमान की कोई वस्तु 3 मीटर/सेकंड के वेग से चल रही है। वस्तु की गतिज ऊर्जा की गणना कीजिए।

हल: $m = 1.5$ किग्रा, $v = 3$ मीटर/सेकंड, $K.E. = ?$

$$K.E. = \frac{1}{2} mv^2$$

$$= \frac{1}{2} \times 1.5 \times (3)^2 = \frac{1}{2} \times 1.5 \times 9$$

$$K.E. = 6.75 \text{ जूल}$$ उत्तर

प्रश्न 14. दो मशीनें एक ही कार्य को करने में क्रमशः 20 सेकंड तथा 15 सेकंड का समय लगाती हैं। यदी पहली मशीन की सामर्थ्य 300 वाट है तो दूसरे मशीन की सामर्थ्य ज्ञात कीजिए।

हल: $P_1 = 300$ वाट, $t_1 = 20$ सेकंड, $t_2 = 15$ सेकंड, $P_2 = ?$

$$W_1 = W_2$$

$$W_1 = P_1 \times t_1$$

$$W_1 = 300 \times 20 = 6000 \text{ जूल}$$

$$W_2 = 6000 \text{ जूल} \qquad [\because W_1 = W_2]$$

$$P_2 = \frac{W_2}{t_2} = \frac{6000}{15}$$

$$P_2 = 400 \text{ वाट}$$ उत्तर

प्रश्न 15. एक तोप के गोले का द्रव्यमान 150 ग्राम है। यदि यह 50 मीटर/सेकंड के वेग से फेंका जाता है तो इसकी गतिज ऊर्जा ज्ञात कीजिए।

हल: $m = 150$ ग्राम $= 150 \times 10^{-3}$ किग्रा $= 1.5 \times 10^{-1}$ किग्रा

$v = 50$ मीटर/सेकंड, $K.E. = ?$

$$K.E. = \frac{1}{2}mv^2$$
$$= \frac{1}{2} \times 1.5 \times 10^{-1} \times 50 \times 50$$
$$K.E. = 187.5 \text{ जूल}$$ उत्तर

प्रश्न 16. 3 किग्रा द्रव्यमान की एक वस्तु 150 मीटर की ऊँचाई से स्वतंत्रतापूर्वक नीचे गिराई जाती है। भूमि तक पहुँचने पर इसका वेग तथा कुल ऊर्जा ज्ञात कीजिए।

($g = 10$ मीटर/सेकंड^2)

हल: $m = 3$ किग्रा, $h = 150$ मीटर, $g = 10$ मीटर/सेकंड^2, $u = 0$, $v = ?$, ऊर्जा $U = ?$

$$v^2 = u^2 + 2gh$$
$$v^2 = 0 + 2 \times 10 \times 150 = 3000$$
$$v = \sqrt{3000} = 54.77$$
$$v = 54.8 \text{ मीटर/सेकंड}$$
$$U = mgh = 3 \times 10 \times 150$$
$$U = 4500 \text{ जूल}$$ उत्तर

प्रश्न 17. 15 ग्राम द्रव्यमान की एक गोली 110 मीटर/सेकंड के वेग से किसी काँच में छेद करती है। काँच में छेद करने के बाद उसका वेग घटकर 90 मीटर/सेकंड रह जाता है। ज्ञात कीजिए कि गोली ऊर्जा में कितना ह्रास हुआ?

(संकेत- गोली की ऊर्जा में ह्रास = प्रारंभिक गतिज ऊर्जा – अंतिम गतिज ऊर्जा)

हल: $m = 15$ ग्राम $= 15 \times 10^{-3}$ किग्रा, $v_1 = 110$ मीटर/सेकंड,

$v_2 = 90$ मीटर/सेकंड, ह्रास = ?

गोली की ऊर्जा में ह्रास = प्रारंभिक गतिज ऊर्जा – अंतिम गतिज ऊर्जा

$$= \frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{1}{2}mv_2^2 = \frac{1}{2}m(v_1^2 - v_2^2)$$
$$= \frac{1}{2} \times 15 \times 10^{-3} \times [(110)^2 - (90)^2]$$
$$= \frac{1}{2} \times 15 \times 10^{-3} \times 4000$$

गोली की ऊर्जा में ह्रास = 30 जूल

अत: गोली की ऊर्जा में ह्रास 30 जूल होगा। उत्तर

▶ प्रयोगात्मक कार्य

प्रश्न 1. स्कूल की सीढ़ियों पर चढ़ते हुए व उतरते हुए प्रयुक्त सामर्थ्य का तुलनात्मक अध्ययन करना।

उत्तर– विद्यार्थी स्वयं करें।

प्रश्न 2. सरल लोलक के गोलक की सहायता से सिद्ध करना कि ऊर्जा का कुल योग नियत रहता है।

उत्तर– विद्यार्थी स्वयं करें।

■■■

7 ध्वनि

▶ दीर्घ उत्तरीय प्रश्न

प्रश्न 1. ध्वनि क्या है? ध्वनि की प्रकृति लिखिए।

उत्तर– **ध्वनि**– जो कुछ हम अपने कानों द्वारा सुनते हैं, उसे ही 'ध्वनि' कहते हैं। दूसरे शब्दों में, ध्वनि एक प्रकार की अनुभूति है जिसका अनुभव हम अपने कानों द्वारा कर सकते हैं। प्रयोगों द्वारा यह सिद्ध हो चुका है कि ध्वनि भी प्रकाश, विद्युत आदि की भाँति एक प्रकार की ऊर्जा है जिसका प्रभाव हमारे कानों पर पड़ता है। "ध्वनि विक्षोभ तरंगों के रूप में वायु में फैलकर श्रोता के कानों तक पहुँचती है जिससे कान के पर्दे में स्पंदन होते हैं और हमें ध्वनि का अनुभव होता है।"

ध्वनि की प्रकृति– ध्वनि सदैव किसी न किसी वस्तु के कंपन करने से उत्पन्न होती है। जब हम किसी घंटे पर चोट मारते हैं तो हमें ध्वनि सुनाई पड़ती है तथा घंटे को हल्का सा छूने पर उसमें झनझनाहट (कंपनों) का अनुभव होता है। जैसे ही घंटे के कंपन बंद हो जाते हैं, ध्वनि का सुनाई देना भी बंद हो जाता है। इसी प्रकार, जब सारंगी, वायलिन, सितार इत्यादि बजाए जाते हैं तो तारों की झनझनाहट अथवा कंपनों के कारण ध्वनि निकलने लगती है। मनुष्य तथा अन्य जीवधारी भी अपने गले की झिल्ली को कंपित करके ध्वनि उत्पन्न करते हैं। अत: यह निश्चित है कि ध्वनि सदैव कंपनों के कारण उत्पन्न होती है, बिना कंपनों के ध्वनि उत्पन्न नहीं हो सकती। हम किसी वस्तु से ध्वनि तभी सुन सकते हैं जब वह एक सेकंड में 20 से अधिक कंपन कर रही हो। इसके अतिरिक्त यदि कोई वस्तु एक सेकंड में 20,000 से अधिक कंपन कर रही हो तब भी ध्वनि सुनाई नहीं देती। ध्वनि निर्वात् में होकर नहीं चल सकती, अर्थात् ध्वनि के लिए माध्यम की आवश्यकता है।

प्रश्न 2. ध्वनि के संचरण से आप क्या समझते हैं? व्याख्यात्मक रूप से वर्णन कीजिए।

उत्तर– **ध्वनि का संचरण**– ध्वनि के एक स्थान से दूसरे स्थान तक जाने के लिए किसी-न-किसी पदार्थिक माध्यम (गैस, द्रव अथवा ठोस) का होना आवश्यक है; क्योंकि ध्वनि का संचरण भी यांत्रिक तरंगों की भाँति किसी पदार्थ के कणों के दोलन के द्वारा होता है।

गैसों में ध्वनि का संचरण केवल अनुदैर्ध्य तरंगों के रूप में ही संभव है जबकि ठोसों एवं द्रवों में अनुप्रस्थ तथा अनुदैर्ध्य दोनों प्रकार की तरंगों के माध्यम से ध्वनि ऊर्जा का संचरण संभव है। चूँकि माध्यम के क्रमागत कणों के दोलन से ही ध्वनि ऊर्जा का संचरण होता है, अत: निर्वात् में होकर ध्वनि नहीं चल सकती।

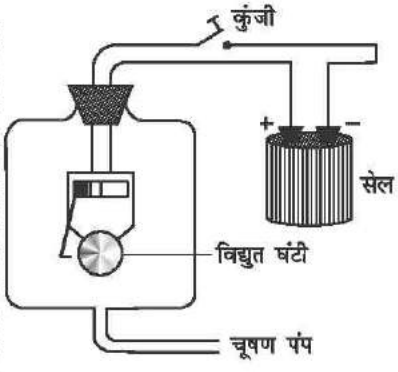
ध्वनि संचरण की व्याख्या– किसी माध्यम में स्रोत द्वारा उत्पन्न तरंग को यांत्रिक तरंग कहते हैं। ध्वनि तरंगें इन यांत्रिक तरंगों में से एक हैं। जब किसी माध्यम में यांत्रिक तरंगें उत्पन्न की जाती है तो माध्यम के कण अपनी माध्य स्थिति के दोनों ओर आवर्त गति करते हैं।

माध्यम में प्रत्यास्थता गुण के कारण हलचल या विक्षोभ माध्यम की एक परत से दूसरी परत में संचरित हो जाता है। इस प्रकार तरंग माध्यम में आगे बढ़ती है। दूसरे शब्दों में,

उत्पन्न तरंगें वायु के एक कण से दूसरे कण को दे दी जाती है परंतु कण अपनी माध्य स्थिति पर ही दोलन करते रहते हैं; अर्थात् माध्यम स्वयं स्थानांतरित नहीं होता।

निम्न प्रयोगों से सिद्ध किया जा सकता है कि यांत्रिक तरंगों (ध्वनि तरंगों) के संचरण के लिए माध्यम की आवश्यकता होती है।

प्रयोग- काँच का एक बेलजार लेते हैं, जिसके ऊपर वायुरोधी डाट लगी होती है। इसमें एक विद्युत घंटी को लटकाकर इसे एक सेल तथा कुंजी से जोड़ देते हैं। बेलजार का संबंध नीचे एक चूषण पंप से कर लेते हैं। कुंजी *k* को दबाने पर घंटी बजने लगती है तथा आवाज बाहर सुनाई देती है। अब यदि चूषण पंप द्वारा बेलजार के अंदर की वायु धीरे-धीरे निकालते हैं तो विद्युत घंटी की ध्वनि मंद पड़ती जाती है और जब बेलजार के अंदर पूर्ण निर्वात् हो जाता है, तो ध्वनि बिल्कुल सुनाई नहीं पड़ती है। अब यदि वायु या कोई अन्य गैस पुन: जार में पहुँचाते हैं, तो ध्वनि फिर सुनाई पड़ने लगती है, इससे सिद्ध होता है कि ध्वनि निर्वात् में नहीं चल सकती, इसके लिए माध्यम की आवश्यकता पड़ती है।



इस प्रयोग से यह निष्कर्ष निकलता है कि-

(i) ध्वनि के संचरण के लिए माध्यम होना आवश्यक है।
(ii) ध्वनि के संचरण में माध्यम के कण गमन नहीं करते।
(iii) ध्वनि माध्यम के अंदर तरंग के रूप में चलती है।
(iv) ध्वनि में यांत्रिक तरंगें होती हैं।

प्रश्न 3. ध्वनि तरंगों की आवृत्ति के अनुसार इनका वर्गीकरण कीजिए।

उत्तर- **ध्वनि तरंगों का आवृत्ति के अनुसार वर्गीकरण-** ध्वनि तरंगों को आवृत्तियों के एक बड़े परिसर तक उत्पन्न किया जा सकता है। इस आधार पर यांत्रिक तरंगों को निम्नलिखित श्रेणियों में विभाजित किया जा सकता है-

श्रव्य तरंगें- जिन तरंगों को हमारा कान सुन सकता है, उन तरंगों को श्रव्य तरंगें कहते हैं। इन तरंगों की आवृत्ति 20 से 20,000 हर्ट्ज तक होती है। इस निम्नतम (20 हर्ट्ज) तथा उच्चतम (20,000 हर्ट्ज) आवृत्तियों को श्रव्यता की सीमाएँ कहते हैं।

20 हर्ट्ज से कम आवृत्ति की तरंगें कान के पर्दे को संवेदित नहीं कर पाती हैं तथा 20,000 हर्ट्ज से उच्च आवृत्ति की तरंगों की आवृत्ति इतनी अधिक होती है कि कान का पर्दा इतनी शीघ्रता से कंपन नहीं कर पाता। अत: ये तरंगें हमें सुनाई नहीं देती।

श्रव्य तरंगों के स्रोत- वाक्-तंतु (मनुष्यों और जानवरों की आवाजें), कंपित वायु स्तंभ (बाँसुरी, शहनाई), कंपित प्लेटें व झिल्लियाँ (घंटा, ढोल, तबला) इत्यादि।

अपश्रव्य तरंगें- जिन अनुदैर्ध्य (यांत्रिक) तरंगों की आवृत्ति 20 हर्ट्ज से कम होती है, (निम्नतम श्रव्य आवृत्ति) उन्हें अपश्रव्य तरंगें कहते हैं। मनुष्य के कान इन तरंगों के लिए संवेदनशील नहीं होते। इस प्रकार की तरंगों को बहुत बड़े

आकार के स्रोतों के कंपनों द्वारा उत्पन्न किया जा सकता है; जैसे भूचाल के समय पृथ्वी के कंपन से उत्पन्न तरंगें।

पराश्रव्य तरंगें- उन अनुदैर्घ्य (यांत्रिक) तरंगों को जिनकी आवृत्ति 20,000 हर्ट्ज से अधिक होती है, पराश्रव्य तरंगें कहते हैं। लगभग 20,000 हर्ट्ज से अधिक आवृत्ति की तरंगें होने के कारण ये तरंगें मनुष्य को सुनाई नहीं देती हैं। चमगादड़ 1,00,000 हर्ट्ज तक की तरंगों को सुन लेता है। इन पराश्रव्य तरंगों को गाल्टन की सीटी द्वारा तथा दाब-विद्युत प्रभाव की विधि द्वारा क्वार्ट्ज के क्रिस्टल के कंपनों से उत्पन्न करते हैं। उच्च आवृत्ति तरंगें होने के कारण ये तरंगें अपने साथ बहुत अधिक ऊर्जा ले जाती हैं तथा कम तरंग दैर्ध्य होने के कारण ये माध्यम में बहुत अधिक दूरी तक चली जाती हैं।

पराश्रव्य तरंगों के उपयोग-

(i) संकेत भेजना,
(ii) समुद्र की गहराई ज्ञात करना व छिपे पदार्थों का पता लगाना,
(iii) उद्योगों में,
(iv) कृषि में,
(v) जीव तथा चिकित्सा विज्ञान में

प्रश्न 4. तरंगें कितने प्रकार की होती हैं?

उत्तर- तरंगें दो प्रकार की होती हैं-

(i) विद्युत चुंबकीय तरंगें, (ii) यांत्रिक तरंगें

विद्युत चुंबकीय तरंगें- वे तरंगें, जिनके संचरण के लिए भौतिक माध्यम आवश्यक नहीं होता, विद्युत चुंबकीय तरंगें कहलाती हैं।

उदाहरण- प्रकाश तरंगें, रेडियो तरंगें, गामा किरणें तथा एक्स किरणें आदि।

विद्युत-चुंबकीय तरंगों में विद्युत क्षेत्र तथा चुंबकीय क्षेत्र परस्पर लंबवत् तलों में कंपन करते हैं तथा निर्वात् में प्रकाश की चाल से आगे बढ़ते जाते हैं। इस प्रकार विद्युत-चुंबकीय तरंग सदैव अनुप्रस्थ होती है तथा सभी तरंगों की चाल प्रकाश की चाल के बराबर होती है।

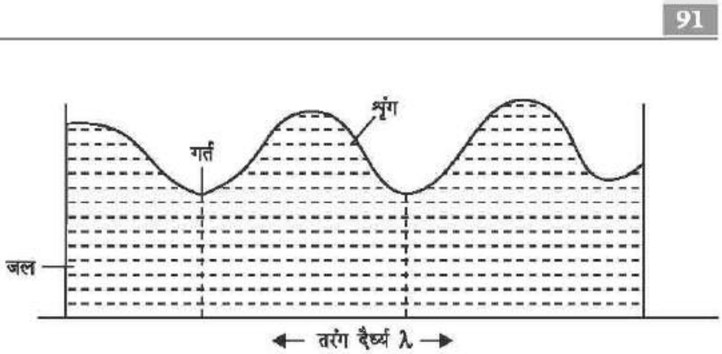
यांत्रिक तरंगें- वे तरंगें, जिनके संचरण के लिए भौतिक माध्यम की आवश्यकता होती है, यांत्रिक तरंगें अथवा प्रत्यास्थ तरंगें कहलाती हैं अथवा वे तरंगें जो किसी (ठोस, द्रव अथवा गैस) पदार्थ के कणों के दोलनों द्वारा उत्पन्न होती हैं तथा आगे बढ़ती हैं, यांत्रिक तरंगें कहलाती हैं; जैसे- जल के तल पर उत्पन्न तरंगें, रस्सी में उत्पन्न तरंगें एवं ध्वनि तरंगें आदि। इन तरंगों के अंतर्गत माध्यम के कणों में दोलन, यांत्रिकी के नियमों के अनुसार होते हैं। ये यांत्रिक तरंगें माध्यम की प्रत्यास्थता के गुण पर भी निर्भर करती हैं। इसके लिए दो गुण निम्नलिखित हैं-

(a) जड़त्व, (b) प्रत्यास्थता

जड़त्व के कारण माध्यम के कण गतिज ऊर्जा संचित करते हैं, जबकि प्रत्यास्थता के गुण के कारण वे निकटवर्ती कणों को विक्षोभ देकर अपनी स्थिति में लौट आते हैं तथा दोलन करते हैं।

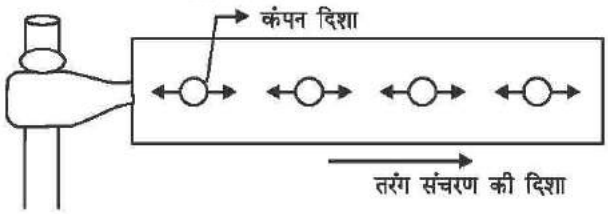
तरंग गति की दिशा तथा कणों के कंपन की दिशा के आधार पर तरंगें दो प्रकार की होती हैं—

1. **अनुप्रस्थ तरंगें-** जिस तरंग में माध्यम के कण तरंग गति की दिशा के लंबवत् दिशा में कंपन करते हैं। उस तरंग को अनुप्रस्थ तरंग कहते हैं; जैसे- सितार के तार से अनुप्रस्थ तरंगें उत्पन्न होती हैं।



गुण- यह केवल ठोसों तथा द्रवों की सतहों पर ही उत्पन्न होती है। इनमें माध्यम में पृष्ठ पर श्रृंग एवं गर्त बनते हैं।

2. **अनुदैर्ध्य तरंगें-** जब किसी माध्यम में तरंग के संचरित होने पर माध्यम का प्रत्येक कण तरंग के चलने की दिशा में समांतर कंपन करता है, तो उस तरंग को अनुदैर्ध्य तरंग कहते हैं। अनुदैर्ध्य तरंगों में माध्यम के कण अगर आस-पास आते हैं, तो यह संपीडन कहलाता है और दूर-दूर होते हैं, वहाँ विरलन कहलाता है।



गुण- अनुदैर्ध्य तरंगें ठोस, द्रव तथा गैस तीनों ही माध्यमों में उत्पन्न होती हैं। वायु में ध्वनि इन्हीं तरंगों द्वारा एक स्थान से दूसरे स्थान तक जाती है। द्रवों के अंदर केवल अनुदैर्ध्य तरंगें संचरित होती हैं।

प्रश्न 5. अनुप्रस्थ तरंगों तथा अनुदैर्ध्य तरंगों के बारे में समझाइए। अनुप्रस्थ तथा अनुदैर्ध्य तरंगों में क्या अंतर है?

उत्तर- यांत्रिक तरंगें दो प्रकार की होती हैं-

(i) अनुप्रस्थ तरंगें, (ii) अनुदैर्ध्य तरंगें

अनुप्रस्थ तरंगें- जब किसी तरंग के चलने पर माध्यम के कण तरंग के चलने की दिशा के लंबवत् कंपन करते हैं तो उस तरंग को अनुप्रस्थ तरंग कहते हैं। उदाहरण- पानी के अंदर पत्थर फेंकने पर पानी की सतह पर बनने वाली तरंगें अनुप्रस्थ तरंगें कहलाती हैं, क्योंकि इनमें पानी के कणों की दोलन गति तरंग की गति के लंबवत् होती है।

अनुदैर्ध्य तरंगें- जब किसी तरंग के चलने पर माध्यम के कण तरंग के चलने की दिशा में समांतर कंपन करते हैं तो उस तरंग को अनुदैर्ध्य तरंग कहते हैं। उदाहरण- वायु या गैस में ध्वनि अनुदैर्ध्य तरंगों में चलती है, क्योंकि माध्यम के कण तरंग गति की दिशा में ही गति करते हैं।

अनुप्रस्थ तथा अनुदैर्ध्य तरंगों में अंतर-

क्र०सं०	अनुप्रस्थ तरंगें	अनुदैर्ध्य तरंगें
1.	माध्यम के कणों का दोलन तरंग की दिशा के लंबवत् होता है।	माध्यम के कणों का दोलन तरंग की दिशा के समांतर होता है।
2.	इसमें तरंगें शृंग तथा गर्त के रूप में चलती हैं। एक शृंग तथा एक गर्त मिलकर एक अनुप्रस्थ तरंग बनती है।	इसमें तरंगें संपीडन तथा विरलन के रूप में चलती हैं। एक संपीडन तथा एक विरलन मिलकर एक अनुदैर्ध्य तरंग बनती है।
3.	इसमें घनत्व में परिवर्तन नहीं होता।	संपीडन में घनत्व बढ़ता है तथा विरलन में घनत्व घटता है।
4.	ये तरंगें केवल ठोस या द्रव के ऊपरी तल पर उत्पन्न होती हैं।	ये तरंगें ठोस, द्रव तथा गैस सभी में उत्पन्न हो सकती हैं।
5.	किन्हीं दो समीपस्थ शृंगों या गर्तों के बीच की दूरी तरंगदैर्ध्य (λ) कहलाती है।	किन्हीं दो संपीडन या विरलनों के मध्य की दूरी तरंगदैर्ध्य (λ) कहलाती है।

प्रश्न 6. आवर्तकाल तथा आवृत्ति में संबंध स्थापित कीजिए।

उत्तर- **आवर्तकाल-** तरंग के मार्ग में माध्यम के कणों के एक दोलन के समय को आवर्तकाल कहते हैं। इसे T से प्रदर्शित करते हैं और इसका मात्रक सेकंड है। इसे दोलन काल भी कहते हैं।

आवृत्ति- तरंग के मार्ग में माध्यम के कणों के दोलनों की संख्या प्रति एकांक समय को तरंग की आवृत्ति कहते हैं। इसे n से प्रदर्शित करते हैं। इसका मात्रक हर्ट्ज होता है।

आवर्त (दोलन) काल तथा आवृत्ति में संबंध- माना किसी दोलन करने वाली वस्तु की आवृत्ति n हर्ट्ज है तथा आवर्तकाल T है। चूँकि वस्तु 1 सेकंड में n दोलन करती है। अत:

n दोलन करने में वस्तु द्वारा लिया गया समय = 1 सेकंड

$\therefore$ 1 दोलन करने में वस्तु द्वारा लिया गया समय $= \frac{1}{n}$ सेकंड

परंतु एक दोलन में लगे समय को आवर्तकाल कहते हैं। अत:

$$T = \frac{1}{n}$$

या

$$n = \frac{1}{T}$$

$$n \times T = 1$$

आवृत्ति $\times$ आवर्तकाल = 1

प्रश्न 7. तरंग दैर्ध्य, आवृत्ति तथा तरंग वेग में संबंध स्थापित कीजिए।

उत्तर- **तरंग दैर्ध्य-** किसी माध्यम में कंपन करते हुए किसी कण के एक आवर्तकाल में तरंग, संचरण की दिशा से जितनी दूरी तय कर लेती है, उसे तरंगदैर्ध्य कहते हैं। इसे λ से प्रदर्शित करते हैं। इसका मात्रक M.K.S. प्रणाली में मीटर होता है।

आवृत्ति- तरंग के मार्ग में माध्यम के कणों के दोलनों की संख्या प्रति एकांक समय को तरंग की आवृत्ति कहते हैं। इसे n से प्रदर्शित करते हैं। इसका मात्रक हर्ट्ज होता है।

तरंग-वेग- किसी तरंग द्वारा 1 सेकंड में तय की गई दूरी को तरंग की चाल या वेग कहते हैं। इसे v से प्रदर्शित करते हैं। इसका मात्रक मीटर/सेकंड है।

तरंगदैर्ध्य, आवृत्ति तथा तरंग वेग में संबंध- माना कंपन करती हुई किसी वस्तु का आवर्तकाल T, आवृत्ति n तथा तरंगदैर्ध्य λ है। इस वस्तु द्वारा उत्पन्न तरंग T सेकंड में λ दूरी तय करेगी।

$\because T$ सेकंड में तरंग द्वारा चली गई दूरी $= \lambda$

$\therefore 1$ सेकंड में तरंग द्वारा चली गई दूरी $= \dfrac{\lambda}{T}$

परंतु एक सेकंड में चली गई दूरी को तरंग की चाल v कहते हैं।

$$\therefore \quad v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \times \frac{1}{T} \qquad \left[\because \frac{1}{T} = n\right]$$

अत: $$v = n \times \lambda$$

$$\boxed{\text{तरंग वेग} = \text{आवृत्ति} \times \text{तरंगदैर्ध्य}}$$

प्रश्न 8. संगीतिक ध्वनि के अभिलक्षण कितने होते हैं? इनका वर्णन कीजिए।

उत्तर- संगीतिक ध्वनि के अभिलक्षण- संगीतिक स्वर एक-दूसरे से केवल तीन प्रकार से भिन्न हो सकते हैं। यह भिन्नता 'तारत्व', 'प्रबलता' अथवा 'गुणता' के आधार पर हो सकती है। ये तीन संगीतिक ध्वनि के अभिलक्षण कहलाते हैं।

तारत्व- तारत्व (पिच) संगीतिक स्वर का वह अभिलक्षण है, जिससे यह पता चलता है कि स्वर महीन है अथवा मोटा। स्त्रियों व बच्चों का स्वर प्राय: महीन होता है, जबकि पुरुषों का स्वर मोटा होता है। स्वर जितना महीन होता है, वह उतने ही ऊँचे तारत्व का माना जाता है। किसी इंजन की सीटी की ध्वनि महीन तथा सायरन की ध्वनि अपेक्षाकृत मोटी होती है। अत: सीटी का तारत्व सायरन के तारत्व से ऊँचा होता है। इसी प्रकार शेर की दहाड़ से मच्छर की भिनभिनाहट का तारत्व अधिक होता है।

किसी स्वर का तारत्व केवल उस स्वर की आवृत्ति पर निर्भर करता है। आवृत्ति जितनी अधिक होगी, तारत्व उतना ही ऊँचा होगा।

प्रबलता- प्रबलता ध्वनि का वह अभिलक्षण है, जिसके कारण ध्वनि कान को धीमी अथवा तेज सुनाई पड़ती है।

गुणता- गुणता संगीतिक स्वर का वह अभिलक्षण है, जिसके कारण समान तारत्व तथा समान प्रबलता की दो ध्वनियों को, जो दो भिन्न-भिन्न वाद्य यंत्रों से उत्पन्न की जाती हैं, अलग-अलग पहचाना जा सकता है।

तीव्रता- तीव्रता एक भौतिक राशि है, जो तरंगों द्वारा ऊर्जा के स्थानांतरण की दर को व्यक्त करती है। प्रबलता ध्वनि की तीव्रता के साथ-साथ कान की सुग्राहिता पर भी निर्भर करती है।

प्रश्न 9. ध्वनि तरंगों का परावर्तन विस्तृत रूप से समझाइए।

उत्तर- ध्वनि तरंगों का परावर्तन- एक सामान्य अनुभव की बात है कि जब हम किसी कुएँ के भीतर की ओर अथवा किसी खाली हाल में अथवा किसी गुंबद के भीतर चिल्लाते हैं तो कुछ समय पश्चात् हम स्वयं अपनी ही ध्वनि सुनते हैं। ऐसा इसलिए होता है क्योंकि ध्वनि दीवारों से टकराकर परावर्तित हो जाती है, इसे ध्वनि का परावर्तन कहते हैं। स्वयं अपनी ध्वनि को वापस सुनने की इस परिघटना को प्रतिध्वनि कहते हैं। मेघ गर्जन की गड़गड़ाहट का मुख्य कारण, बादलों व भूमि द्वारा ध्वनि का बार-बार परावर्तित होना है। ध्वनि तरंगों के परावर्तन के लिए विस्तृत बड़े आकार के अवरोधों की आवश्यकता होती है और इनका चिकना या चमकीला पृष्ठ होना आवश्यक नहीं है।

मनुष्य के कान की विशेषता है कि वह प्रतिध्वनि को सुन सकता है। प्रतिध्वनि तभी सुनी जा सकती है यदि मूल ध्वनि और परावर्तित ध्वनि का कानों तक पहुँचने में कम-से-कम 1/10 सेकंड का अंतर हो। 0°C पर हवा में ध्वनि का वेग 332 मीटर/सेकंड है। अत: 1/10 सेकंड में ध्वनि 33.2 मीटर की दूरी तय करेगी। इसलिए प्रतिध्वनि सुनने के लिए ध्वनि द्वारा तय की गई दूरी 33.2 मीटर से अधिक होनी चाहिए अर्थात् वस्तु ध्वनि के उद्गम से 16.6 मीटर से अधिक दूरी पर होनी चाहिए।

ध्वनि तरंगों के परावर्तन के नियम निम्नलिखित हैं-

(i) आपतन कोण सदैव परावर्तन कोण के बराबर होता है।

(ii) परिवर्तित ध्वनि, अभिलंब तथा आपतित ध्वनि तरंग एक ही तल में होने चाहिए।

प्रश्न 10. ध्वनि परावर्तन के कुछ उपयोग लिखिए।

उत्तर- **ध्वनि परावर्तन के उपयोग-** ध्वनि परावर्तन के उपयोग निम्नलिखित हैं-

ध्वनि परावर्तक- बड़े-बड़े व्याख्यान भवनों में मंच पर वक्ता के पीछे अवतल अथवा परवलयकार परावर्तक बोर्ड लगे होते हैं। वक्ता की ध्वनि की तरंगें इन बोर्डों से परावर्तित होकर समांतर हो जाती हैं तथा दूर बैठे श्रोताओं तक पहुँच जाती हैं।

बातचीत करने की नली- यह एक धातु की लंबी नली होती है, जिसका एक सिरा फनल के आकार का होता है। जब कोई व्यक्ति इस फनल पर मुँह रखकर बोलता है तो उसकी ध्वनि नली की दीवारों से बार-बार परावर्तित होकर दूसरे सिरे तक पहुँच जाती है जहाँ यह सुनी जा सकती है। इस प्रकार की नलियाँ बड़े-बड़े भवनों में तथा पानी के जहाजों में लगाई जाती है।

कान के पीछे हाथ रखकर सुनना- किसी धीमी ध्वनि को सुनने के लिए हम अपनी हथेली को अवतल मोड़कर कान के पीछे लगा लेते हैं। तब कान पर आने वाली ध्वनि हथेली से परावर्तित होकर कान में पहुँच जाती है।

स्टैथॉस्कोप- डॉक्टरों का स्टैथॉस्कोप जिससे वे हृदय तथा फेफड़ों की परीक्षा करते हैं, ध्वनि के परावर्तन पर ही आधारित है। इसमें एक डिबिया होती है, जिसमें तनुपट लगा रहता है। इस डिबिया से दो नलियाँ जुड़ी रहती हैं। डॉक्टर डिबिया को रोगी के सीने पर रखता है तथा नलियों को कानों में लगा लेता है। सीने की धड़कन के कारण डिबिया का तनुपट कंपन करने लगता है, जिससे कि डिबिया के भीतर वायु में ध्वनि तरंगें उत्पन्न हो जाती हैं। ये तरंगें नलियों की दीवारों से बार-बार परावर्तित होकर डॉक्टर के कानों तक पहुँच जाती हैं तथा वह सीने की धड़कन को सुन लेता है।

समुद्र की गहराई ज्ञात करना- समुद्र की गहराई ज्ञात करने के लिए ध्वनि परावर्तन का उपयोग किया जाता है। जहाज पर रखे यंत्र की सहायता से बहुत ऊँची आवृत्ति की ध्वनि की तरंगें जिन्हें पराश्रव्य तरंगें कहते हैं, जल में नीचे भेजते हैं। परावर्तित तरंगें एक दूसरे यंत्र से ग्रहण कर लेते हैं। तरंगों की इस पूरी यात्रा का समय ज्ञात कर लेते हैं, जिससे समुद्र की गहराई ज्ञात की जा सकती है।

▶ लघु उत्तरीय प्रश्न

प्रश्न 1. ध्वनि क्या है?

उत्तर- **ध्वनि-** ध्वनि एक प्रकार की ऊर्जा है। जब हम धातु के बड़े घंटे पर चोट करते हैं तो घंटा कंपन करने लगता है, जिससे वायु में विक्षोभ उत्पन्न हो जाता है अर्थात् वायु में ध्वनि का संचरण होता है। यह विक्षोभ तरंगों के रूप में वायु में फैलकर श्रोता के कानों तक पहुँचता है जिससे कान के पर्दे में स्पंदन होते हैं और हमें ध्वनि का अनुभव होता है। जिन तरंगों की आवृत्ति लगभग 20 हर्ट्ज से 20,000 हर्ट्ज के बीच होती है, उनकी अनुभूति हमें ध्वनि का एहसास कराती है।

प्रश्न 2. अपश्रव्य व पराश्रव्य तरंगों में अंतर समझाइए।

उत्तर– अपश्रव्य व पराश्रव्य तरंगों में अंतर–

क्र०सं०	अपश्रव्य तरंगें	पराश्रव्य तरंगें
1.	जिन तरंगों की आवृत्ति 20 हर्ट्ज से कम होती है, अपश्रव्य तरंगें कहलाती हैं।	जिन तरंगों की आवृत्ति 20,000 हर्ट्ज से अधिक होती है, पराश्रव्य तरंगें कहलाती हैं।
2.	यह बहुत बड़े आकार के स्रोतों के कंपनों द्वारा उत्पन्न की जा सकती है; जैसे- भूचाल।	यह गाल्टन की सीटी द्वारा तथा दाब विद्युत प्रभाव की विधि द्वारा क्वार्ट्ज के क्रिस्टल के कंपनों से उत्पन्न की जा सकती है; जैसे- समुद्र की गहराई नापना।
3.	यह कम ऊर्जा ग्रहण करती है।	यह अधिक ऊर्जा ग्रहण करती है।
4.	अधिक तरंग दैर्ध्य होने के कारण माध्यम में कम दूरी तक जाती है।	कम तरंग दैर्ध्य होने के कारण माध्यम में अधिक दूरी तक जाती है।

प्रश्न 3. विद्युत-चुंबकीय तरंगों से आप क्या समझते हैं?

उत्तर– **विद्युत-चुंबकीय तरंगें-** वे तरंगें जिनके संचरण के लिए किसी भौतिक माध्यम की आवश्यकता नही होती, विद्युत-चुंबकीय तरंगें कहलाती हैं; जैसे- प्रकाश तरंगें, रेडियो तरंगें आदि। ये तरंगें निर्वात में प्रकाश के वेग के समान $C = 3 \times 10^8$ मीटर/सेकंड से चलती हैं। विद्युत-चुंबकीय तरंगों में ऊर्जा का संचरण विद्युत व चुंबकीय क्षेत्र सदिशों द्वारा होता है। चूँकि विद्युत-चुंबकीय तरंगों के संचरण के लिए माध्यम आवश्यक नहीं है; अतः इनमें कोई कण दोलन नहीं करता बल्कि विद्युत व चुंबकीय क्षेत्र सदिश ही दोलन करते हैं। ये सदिश परस्पर तथा तरंग के संचरण की दिशा के लंबवत् होते हैं।

प्रश्न 4. अनुप्रस्थ तथा अनुदैर्ध्य तरंगों में अंतर लिखिए।

उत्तर– अनुप्रस्थ तथा अनुदैर्ध्य तरंगों में अंतर–

क्र०सं०	अनुप्रस्थ तरंगें	अनुदैर्ध्य तरंगें
1.	इसमें माध्यम के कण तरंग के चलने की दिशा के लंबवत् कंपन करते हैं।	इसमें माध्यम के कण तरंग के चलने की दिशा के समांतर कंपन करते हैं।
2.	ये तरंगें शृंगों तथा गर्तों के रूप में संचरित होती हैं। एक शृंग तथा एक गर्त से मिलकर एक अनुप्रस्थ तरंग बनती है।	ये तरंगें संपीडनों तथा विरलनों के रूप में संचरित होती हैं। एक संपीडन तथा एक विरलन से मिलकर एक अनुदैर्ध्य तरंग बनती है।
3.	ये तरंगें ठोस माध्यमों में तथा द्रवों के ऊपरी तल पर उत्पन्न होती हैं, द्रवों के अंदर तथा गैसों में नहीं।	ये तरंगें ठोस तथा द्रव तथा गैस तीनों प्रकार के माध्यमों में उत्पन्न हो सकती हैं।
4.	इनके संचरित होने से माध्यम में दाब तथा घनत्व में परिवर्तन होते हैं।	इनके संचरित होने से माध्यम में दाब तथा घनत्व में परिवर्तन होते हैं।

प्रश्न 5. ध्वनि तरंग के वेग तथा तरंग दैर्ध्य में संबंध का सूत्र स्थापित कीजिए।

उत्तर– **ध्वनि तरंग के वेग तरंग दैर्ध्य में संबंध का सूत्र–**

माना कंपन करती हुई किसी वस्तु का आवर्तकाल T, आवृत्ति n तथा तरंग दैर्ध्य λ है। इस वस्तु द्वारा उत्पन्न तरंग T सेकंड में λ दूरी तय करेगी।

$\because$ T सेकंड में तरंग द्वारा चली गई दूरी $= \lambda$

$\therefore$ 1 सेकंड में तरंग द्वारा चली गई दूरी $= \frac{\lambda}{T}$

परंतु एक सेकंड में चली गई दूरी को तरंग की चाल v कहते हैं।

$$\therefore \quad v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \times \frac{1}{T} \quad \left[\because \frac{1}{T} = n\right]$$

अत: $\quad v = n \times \lambda$

अर्थात् **तरंग चाल = आवृत्ति × तरंगदैर्ध्य**

अत: तरंग की चाल तरंग दैर्ध्य के अनुक्रमानुपाती होती है।

प्रश्न 6. तरंगें कितने प्रकार की होती हैं? एक-एक उदाहरण दीजिए।

उत्तर– तरंगें दो प्रकार की होती हैं–

(i) यांत्रिक तरंगें (ii) विद्युत चुंबकीय तरंगें

यांत्रिक तरंगें– वे तरंगें, जिनके संचरण के लिए भौतिक माध्यम अति आवश्यक है, यांत्रिक तरंगें अथवा प्रत्यास्थ तरंगें कहलाती हैं अथवा वे तरंगें जो किसी पदार्थ के कणों के दोलनों द्वारा उत्पन्न होती हैं तथा आगे बढ़ती हैं, यांत्रिक तरंगें कहलाती हैं।

उदाहरण– रस्सी में उत्पन्न तरंगें आदि।

विद्युत चुंबकीय तरंगें– वे तरंगें, जिनके संचरण के लिए भौतिक माध्यम आवश्यक नहीं होता, विद्युत-चुंबकीय तरंगें कहलाती हैं। विद्युत चुंबकीय तरंगों में विद्युत क्षेत्र तथा चुंबकीय क्षेत्र परस्पर लंबवत् तलों में कंपन करते हैं और निर्वात में प्रकाश की चाल से आगे बढ़ते हैं।

उदाहरण– रेडियो तरंगें आदि।

प्रश्न 7. अनुप्रस्थ तरंग से क्या तात्पर्य है? उदाहरण दीजिए।

उत्तर– **अनुप्रस्थ तरंग–** "वह तरंग, जिसमें माध्यम के कण तरंग के चलने की दिशा के लंबवत् कंपन करते हैं, अनुप्रस्थ तरंग कहलाती है। उदाहरण– वायलिन, सितार आदि की तनी हुई डोरियों में उत्पन्न तरंगें, जल की सतह पर उत्पन्न तरंगें।

अनुप्रस्थ तरंगें केवल ठोसों में तथा द्रवों के सतह पर ही उत्पन्न की जा सकती हैं। एक शृंग तथा एक गर्त मिलकर एक अनुप्रस्थ तरंग बनती है। किन्हीं दो समीपस्थ शृंगों या गर्तों के बीच की दूरी को तरंगदैर्ध्य (λ) कहते हैं।

प्रश्न 8. अनुदैर्ध्य तरंग से क्या तात्पर्य है? उदाहरण दीजिए।

उत्तर. **अनुदैर्ध्य तरंगें–** वह तरंग, जिसमें माध्यम के कण तरंग के चलने की दिशा के समांतर कंपन करते हैं, अनुदैर्ध्य तरंगें कहलाती हैं। ये तरंगें संपीडन तथा विरलन के रूप में चलती हैं। एक संपीडन तथा एक विरलन मिलकर एक अनुदैर्ध्य तरंग बनती है। यह ठोस, द्रव तथा गैस सभी में उत्पन्न हो सकती है। किन्हीं दो संपीडन या विरलनों के मध्य की दूरी को तरंग दैर्ध्य कहते हैं। उदाहरण– ध्वनि तरंगें, स्प्रिंग से उत्पन्न तरंगें आदि।

प्रश्न 9. अनुदैर्ध्य तरंगों की विशेषताएँ लिखिए।

उत्तर– **अनुदैर्ध्य तरंगों की विशेषताएँ–** इनकी विशेषताएँ निम्नलिखित हैं–

(i) इस प्रकार की तरंगों के माध्यम के कण तरंग के चलने की दिशा के समांतर कंपन करते हैं।

(ii) ये तरंगें एक संपीडन तथा एक विरलन से मिलकर बनी होती हैं।
(iii) ये ठोस, द्रव तथा गैस तीनों में उत्पन्न की जा सकती हैं।

प्रश्न 10. ध्वनि का परावर्तन किसे कहते हैं?

उत्तर- **ध्वनि का परावर्तन-** प्रकाश की भाँति, ध्वनि भी एक माध्यम से चलकर दूसरे माध्यम के पृष्ठ से टकराने पर पहले माध्यम में लौट सकती है। ध्वनि का दीवारों से टकराकर वापस लौटना ही ध्वनि का परावर्तन कहलाता है; जैसे- कुएँ, धातु की चादर आदि। ध्वनि भी प्रकाश की भाँति परिवर्तित होती है तथा प्रकाश के परावर्तन के नियम ध्वनि के लिए भी लागू होते हैं। इसके लिए सतह का चमकीला या चिकना होना आवश्यक नहीं है। ध्वनि तरंगों के परावर्तन के लिए बड़े आकार के पृष्ठों की आवश्यकता होती है। उदाहरण- यदि हम किसी कुएँ में झाँककर बोलते हैं तो हमें अपनी आवाज कुएँ से आती हुई सुनाई देती है।

प्रश्न 11. निम्नलिखित में से अनुप्रस्थ तथा अनुदैर्ध्य तरंगें छाँटिए-
(a) स्प्रिंग में उत्पन्न तरंगें, (b) तने तार में उत्पन्न तरंगें,
(c) जल के तल पर उत्पन्न तरंगें, (d) वायु में उत्पन्न तरंगें

उत्तर- **अनुप्रस्थ तरंगें-** (b) तने तार में उत्पन्न तरंगें, (c) जल के तल पर उत्पन्न तरंगें।
अनुदैर्ध्य तरंगें- (a) स्प्रिंग में उत्पन्न तरंगें, (d) वायु में उत्पन्न तरंगें।

प्रश्न 12. ध्वनि तरंगों व प्रकाश तरंगों में कोई दो प्रमुख अंतर बताइए।

उत्तर- ध्वनि तरंगों व प्रकाश तरंगों में अंतर-

क्र० सं०	ध्वनि तरंगें	अनुदैर्ध्य तरंगें
1.	इनके संचरण के लिए माध्यम की आवश्यकता होती है, इसलिए ये अनुदैर्ध्य तरंगें कहलाती हैं।	इनके संचरण के लिए माध्यम की आवश्यकता नहीं होती है, इसलिए ये अनुप्रस्थ तरंगें होती हैं।
2.	ये यांत्रिक तरंगें होती हैं। अत: इनकी चाल पर वायु के ताप व नमी का प्रभाव पड़ता है।	ये विद्युत-चुंबकीय तरंगें होती हैं। अत: इनकी चाल पर वायु के ताप व नमी का कोई प्रभाव नहीं पड़ता है।

प्रश्न 13. प्रतिध्वनि से आप क्या समझते हैं? इसको सुनने के लिए क्या शर्त आवश्यक है?

उत्तर- **प्रतिध्वनि-** किसी स्थान पर उत्पन्न ध्वनि जब किसी दूर के तल से परावर्तित होकर पुन: सुनाई देती है, तो उसे प्रतिध्वनि कहते हैं। यदि परावर्तक पृष्ठ श्रोता के समीप होता है, तो प्रतिध्वनि स्पष्ट सुनाई नहीं देती है; क्योंकि दोनों लगभग एक साथ सुनाई देती हैं। यदि परावर्तक तल हमारे कानों से अधिक दूरी पर हो तो हमें परावर्तित ध्वनि स्रोत से उत्पन्न ध्वनि के कुछ क्षणों बाद सुनाई देती है। उदाहरण- जब हम कुएँ में उसके मुँह पर कोई ध्वनि उत्पन्न करते हैं, तो थोड़ी देर बाद वैसी ही ध्वनि फिर सुनाई पड़ती है। यह दूसरी ध्वनि प्रतिध्वनि होती है।

शर्त-

(i) परावर्तक तल का क्षेत्रफल अधिक हो तथा प्रारंभिक ध्वनि लघु तथा उच्च आवृत्ति की हो।
(ii) परावर्तक तल ध्वनि स्रोत से कम-से-कम 16.6 मीटर की दूरी पर होना चाहिए।

प्रश्न 14. तरंग गति के अंतर्गत निम्नलिखित की परिभाषाएँ लिखिए।
(a) आयाम, (b) आवृत्ति, (c) आवर्तकाल, (d) कंपन, (e) तरंग चाल

उत्तर- (a) **आयाम-** तरंग के मार्ग में माध्यम के कणों के दोलन में माध्य स्थिति से अधिकतम विस्थापन को तरंग का आयाम कहते हैं।

(b) **आवृत्ति-** तरंग के मार्ग में माध्यम के कणों के दोलनों की संख्या प्रति एकांक समय को तरंग की आवृत्ति कहते हैं। इसे n से प्रदर्शित करते हैं। इसका मात्रक हर्ट्ज होता है।

(c) **आवर्तकाल-** तरंग के मार्ग में माध्यम के कणों के एक दोलन के समय को आवर्तकाल कहते हैं। इसे T से प्रदर्शित करते हैं और इसका मात्रक सेकंड है।

(d) **कंपन-** तरंग अपनी माध्य स्थिति से चलकर उसके दोनों ओर गति करके, जब फिर उसी स्थिति में वापस पहुँचता है, तो पूर्ण एक चक्कर को एक कंपन कहते हैं।

(e) **तरंग चाल-** किसी तरंग द्वारा 1 सेकंड में तय की गई दूरी को तरंग की चाल कहते हैं। इसे v से प्रदर्शित हैं। इसका मात्रक मीटर/सेकंड है।

प्रश्न 15. समुद्र की गहराई किस प्रकार ज्ञात की जाती है?

उत्तर- समुद्र की गहराई ज्ञात करने के लिए ध्वनि परावर्तन का उपयोग किया जाता है। जहाज पर रखे यंत्र की सहायता से बहुत ऊँची आवृत्ति की ध्वनि की तरंगें, जिन्हें पराश्रव्य तरंगें कहते हैं, जल में नीचे भेजते हैं। परावर्तित तरंगें एक-दूसरे यंत्र से ग्रहण कर लेते हैं। तरंगों की इस पूरी यात्रा का समय ज्ञात कर लेते हैं, जिससे समुद्र की गहराई ज्ञात की जा सकती है।

▶ अतिलघु उत्तरीय प्रश्न

(इसके लिए अपनी पाठ्य-पुस्तक में पृष्ठ संख्या 117 देखें।)

▶ आंकिक प्रश्न

प्रश्न 1. एक स्वरित्र द्विभुज 5 सेकंड में 2500 कंपन करता है। इस स्वरित्र द्विभुज की आवृत्ति तथा आवर्तकाल की गणना कीजिए।

हल: 5 सेकंड में दोलनों की संख्या = 2500

अत: 1 सेकंड में दोलनों की संख्या $= \frac{2500}{5} = 500$

∴ आवृति $n = 500$ हर्ट्ज

आवर्तकाल, $T = \frac{1}{n} = \frac{1}{500} = 0.002$ सेकंड उत्तर

प्रश्न 2. एक तरंग की आवृत्ति 120 हर्ट्ज है। तरंग का वेग 480 मीटर/सेकंड हो, तो तरंग की तरंगदैर्ध्य का मान क्या होगा?

हल: $n = 120$ हर्ट्ज, $v = 480$ मीटर/सेकंड

तरंगदैर्ध्य, $\lambda = \frac{v}{n} = \frac{480}{120} = 4$ मीटर उत्तर

प्रश्न 3. एक तरंग की आवृत्ति 130 हर्ट्ज है। यदि तरंग का वेग 520 मीटर/सेकंड हो, तो तरंगदैर्ध्य की गणना कीजिए।

हल: $n = 130$ हर्ट्ज, $v = 520$ मीटर/सेकंड

तरंगदैर्ध्य, $\lambda = \frac{v}{n} = \frac{520}{130} = 4$ मीटर उत्तर

प्रश्न 4. एक कंपित वस्तु 1 सेकंड में 240 कंपन करती है। बताइए कि इसके द्वारा किए गए 15 कंपनों में ध्वनि कितनी दूर जाएगी? वायु में ध्वनि का वेग 320 मीटर/सेकंड है।

हल: 240 कंपन करने में लगा समय = 1 सेकंड

$\therefore$ 1 कंपन करने में लगा समय $= \frac{1}{240}$

15 कंपन करने में लगा समय $= \frac{1}{240} \times 15 = 0.0625$ सेकंड

$\because$ दूरी = चाल × समय

अत: 15 कंपनों को करने में दूरी = ध्वनि का वेग × 15 कंपन करने में लगा समय

$= 320 \times 0.0625 = 20$ मीटर **उत्तर**

प्रश्न 5. एक मनुष्य रेल की पटरी पर हथौड़ा मारता है। उसकी ध्वनि वायु की अपेक्षा पटरी में होकर 2.0 सेकंड पहले आपको सुनाई दे जाती है। आप से मनुष्य की दूरी क्या होगी? (वायु में ध्वनि की चाल 340 मीटर/सेकंड, लोहे में 5000 मीटर/सेकंड)

हल: लोहे में ध्वनि समय, $t_1 = t - 2$

या $n_1 = \frac{1}{T_1} = \frac{1}{(t-2)}$

वायु में ध्वनि का समय, $T_2 = t$

या $n_2 = \frac{1}{T_2} = \frac{1}{t}$

$$\lambda = \lambda_1 = \lambda_2$$

वायु में ध्वनि की चाल, $v_2 = 340$ मीटर/सेकंड

लोहे में ध्वनि की चाल, $v_1 = 5000$ मीटर/सेकंड

$$v_2 = n_2 \lambda_2$$

$$340 = \frac{1}{t} \times \lambda_2$$

$$\lambda_2 = 340t$$

या $$t = \frac{\lambda_2}{340} \quad \ldots(1)$$

अत: लोहे का वेग, $v_1 = n_1 \times \lambda_1$

$$5000 = \left(\frac{1}{t-2}\right) \times \lambda_1$$

$$5000(t-2) = \lambda_1 \Rightarrow 5000\left(\frac{\lambda_2}{340} - 2\right) = \lambda_1$$

$$5000\left(\frac{\lambda_2 - 680}{340}\right) = \lambda_1 \Rightarrow 5000(\lambda_2 - 680) = 340\lambda_1$$

$$500\lambda_2 - 3{,}40{,}000 = 34\lambda_2 \quad [\because \lambda = \lambda_1 = \lambda_2]$$

$$500\lambda - 34\lambda = 3{,}40{,}000$$

$$466\lambda = 3{,}40{,}000$$

$$\lambda = \frac{3{,}40{,}000}{466} = 729.6$$

$\lambda = 730$मीटर (लगभग) **उत्तर**

प्रश्न 6. एक माध्यम में तरंग का वेग 300 मीटर/सेकंड तथा तरंगदैर्घ्य 0.60 मीटर हैं। आवृत्ति ज्ञात कीजिए। ऐसे माध्यम में जिसमें तरंग वेग 500 मीटर/सेकंड है, तरंग की तरंग दैर्घ्य की गणना कीजिए।

हल: $v_2 = 300$ मीटर/सेकंड, $\lambda_2 = 0.60$ मीटर

$v_2 = 500$ मीटर/सेकंड, $\lambda_2 = ?$

$n_1 = n_2$

$\because \quad n_1 = \frac{v_1}{\lambda_1} = \frac{300}{0.60} = 500$ हर्ट्ज

$\lambda_2 = \frac{v_2}{n_2} = \frac{500}{500}$ $[\because n_1 = n_2 = 500$हर्ट्ज$]$

$\lambda_2 = 1$मीटर उत्तर

प्रश्न 7. 680 कंपन/सेकंड आवृत्ति की एक ध्वनि तरंग की वायु में तरंगदैर्ध्य 0.50 मीटर है। इसकी चाल ज्ञात कीजिए। जल में उसकी तरंगदैर्ध्य 2.1 मीटर हो जाती है। इसका कारण क्या है? आवृत्ति का परिवर्तन अथवा चाल का परिवर्तन व संगत परिवर्तन की गणना कीजिए।

हल: वायु में तरंग की आवृत्ति, $n = 680$ हर्ट्ज

वायु में तरंगदैर्ध्य, $\lambda = 0.5$ मीटर

$v = n\lambda = 680 \times 0.50 = 340$ मीटर/सेकंड

जल में तरंग की आवृत्ति, $n = 680$ हर्टज

जल में तरंग दैर्ध्य, $\lambda = 2.1$ मीटर

$v = n.\lambda = 680 \times 2.1 = 1428$मीटर/सेकंड उत्तर

प्रश्न 8. वायु में ध्वनि का वेग 330 मीटर/सेकंड है तथा किसी ध्वनि तरंग की वायु में तरंग दैर्ध्य 1.50 मीटर है, तो उस ध्वनि की आवृत्ति ज्ञात कीजिए।

हल: $v = 330$मीटर/सेकंड, $\lambda = 1.50$ मीटर, $n = ?$

$n = \frac{v}{\lambda} = \frac{330}{1.5} = 220$हर्ट्ज उत्तर

प्रश्न 9. एक स्वरित्र की आवृत्ति 200 हर्ट्ज है। इसका दोलनकाल क्या होगा?

हल: $n = 200$हर्ट्ज, $T = ?$

$n = \frac{1}{T}$ या $T = \frac{1}{n} = \frac{1}{200}$

$T = 0.005$ सेकंड उत्तर

प्रश्न 10. वायु में ध्वनि की चाल 330 मीटर/सेकंड है। एक स्वरित्र के कंपन का आवर्तकाल 4.0×10^{-3} सेकंड है। उत्पन्न ध्वनि का वायु में तरंग दैर्ध्य ज्ञात कीजिए।

हल: $v = 330$मीटर/सेकंड, $T = 4.0 \times 10^{-3}$ सेकंड, $\lambda = ?$

$n = \frac{1}{T} = \frac{1}{4.0 \times 10^{-3}} = \frac{10^3}{4} = 250$

$\lambda = \frac{v}{n} = \frac{330}{250} = 1.32$ मीटर उत्तर

प्रश्न 11. एक तरंग की चाल 300 मीटर/सेकंड तथा आवृत्ति 300 हर्ट्ज है। तरंग की तरंगदैर्ध्य तथा आवर्तकाल ज्ञात कीजिए।

हल: $v = 300$मीटर/सेकंड, $n = 300$हर्ट्ज, $T = ?$, $\lambda = ?$