अध्याय 9

बल और गति
(Force and Motion)

इस अध्याय में हम बल व गति का अध्ययन करेगें। बल एवं गति के अध्ययन से पूर्व विभिन्न भौतिक राशियों को किस प्रकार व्यक्त करते हैं की जानकारी करेंगे।

सामान्यतः किसी भी भौतिक राशि को उसके मात्रक एवं आंकिक मान द्वारा व्यक्त करते हैं। कुछ भौतिक राशियों को व्यक्त करने के लिए, भौतिक राशि के आंकिक मान के साथ–साथ दिशा की जानकारी भी आवश्यक है। सामान्यतः भौतिक राशियों को दो भागों में वर्गीकृत किया गया है।

(i) अदिश राशियाँ (Scalar quantities)

(ii) सदिश राशियाँ (Vector quantities)

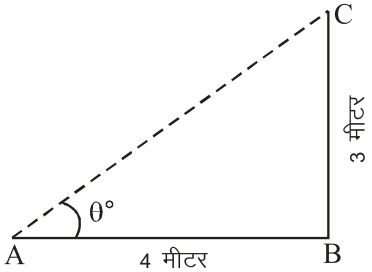
9.1 अदिश एवं सदिश राशियाँ (Scalar and vector quantities)

(क) अदिश राशियाँ– जिन भौतिक राशियों को व्यक्त करने के लिए केवल परिमाण की आवश्यकता होती है, अदिश राशियां कहलाती हैं। इन राशियों में दिशा बोध नहीं होता है। द्रव्यमान, समय, चाल, घनत्व, ऊर्जा, शक्ति आदि इसके उदाहरण है। जैसे किसी वस्तु का द्रव्यमान 5 kg है तो इसको व्यक्त करने की लिए किसी दिशा की आवश्यकता नहीं है।

(ख) सदिश राशियाँ – कई भौतिक राशियां इस प्रकार की होती हैं कि केवल परिमाण से हमें उनके बारे में पूर्ण जानकारी प्राप्त नहीं होती है। इसे हम निम्न उदाहरणों से समझ सकते हैं–

1. चित्र 9.1 (अ) तथा (ब) में एक छात्र द्वारा तय की गई दूरियों को दिखाया गया है। दूरी AB = 4 मीटर तथा दूरी BC = 3 मीटर हैं। इन दोनों यात्राओं में छात्र द्वारा तय की गई दूरियां 7 मीटर हैं, जबकि प्रारम्भिक स्थिति A से अंतिम स्थिति B के मध्य विस्थापन अलग–अलग है।

चित्र 9.1 (अ) सीधी रेखा में दो विस्थापन



चित्र 9.1 (ब) दो लम्बवत विस्थापन

प्रथम स्थिति में विस्थापन 7 मीटर है, जिसकी दिशा AB के अनुदिश है। दूसरी स्थिति में विस्थापन AC = 5 मीटर है तथा इसकी दिशा AB से θ° पर है।

2. M द्रव्यमान की एक वस्तु पर चित्र 9.2 में बताए अनुसार दो समान बल F कार्य कर कर रहे हैं। (यहाँ तीर के निशान बल की दिशा को प्रदर्शित कर रहे हैं।)

चित्र 9.2 एक वस्तु पर बल

चित्र 9.2 (अ) को देखकर हम कह सकते है कि बल लगाने पर वस्तु स्थिर रहेगी [चित्र 9.2(अ)], जबकि चित्र 9.2 (ब) की अवस्था में बल लगाने पर वस्तु गति करेगी।

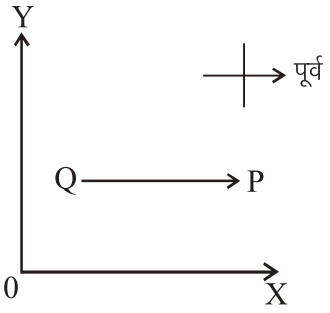
इन उदाहरणों से स्पष्ट है कि इस प्रकार कि भौतिक राशियों जैसे बल, विस्थापन आदि को व्यक्त करने के लिए हमें परिमाण के साथ–साथ दिशा का ज्ञान होना भी आवश्यक है। इस प्रकार की राशियों को सदिश राशियां कहते हैं।

वे भौतिक राशियां, जिनकी पूर्ण जानकारी के लिये परिमाण के साथ–साथ दिशा के निर्देश भी आवश्यक हैं सदिश राशियां कहलाती हैं।

सदिश प्रदर्शन– सदिश को तीरनुमा रेखा से दर्शाते हैं। इस तीरनुमा रेखा खण्ड की लम्बाई परिमाण के समानुपातिक रहती है तथा तीर का निशान सदिश की दिशा को प्रदर्शित करता है।

उदाहरणार्थ यदि हमको पूर्व दिशा में 30 m / s के वेग को सदिश द्वारा प्रदर्शित करना है, तो हम सुविधाजनक स्केल (जैसे 10 m / s को 1 cm) लेकर उचित लम्बाई के एक रेखा खण्ड पर चित्र 9.3 में दर्शाए अनुसार तीर, जिसकी दिशा पूर्व की ओर हो बनाएंगे। इस प्रकार सदिश QP उपर्युक्त वेग को परिमाण एवं दिशा में व्यक्त करेगा।

बिन्दु Q को इस सदिश का मूल बिन्दु (पुच्छ) एवं बिन्दु P को शीर्ष कहते हैं। Q से P तक के सदिश रेखा खण्ड को हम $\overrightarrow{QP}$ द्वारा व्यक्त करते है। (यहाँ तीर का चिन्ह Q से P की ओर सदिश की दिशा में होता है)



चित्र 9.3 सदिश का प्रदर्शन

सदिश संकेतन– किसी भी सदिश को लिखने के निम्न तरीके हो सकते है–

(i) पुच्छ का अक्षर पहले तथा शीर्ष का अक्षर बाद में लिखकर उसके ऊपर एक तीर लगा दिया जाता है। उदाहरणार्थ – उपर्युक्त सदिश को $\overrightarrow{QP}$ लिखेगें।

(ii) सदिश को गहरे अक्षरों द्वारा अथवा अक्षर के ऊपर एक क्षैतिज तीर लगाकर भी संकेतित किया जाता है। उदाहरणार्थ – सदिश $\overrightarrow{QP}$ को **A** या $\vec{A}$ से भी प्रदर्शित किया जा सकता है। $\left(\vec{A}=\overrightarrow{QP}\right)$ पुस्तकों में उक्त दोनों तरीकों का प्रयोग किया जाता है। परन्तु हाथ से लिखने पर अक्षर के ऊपर तीर लगा देना सुविधा जनक रहता है। सदिश राशि के परिमाण को व्यक्त करने के लिये संकेत $|\vec{A}|$ अथवा सामान्य अक्षर A का उपयोग करते है। सदिश के परिमाण को सदिश का मापांक भी कहते हैं।

सदिश $\vec{A}$ का परिमाण = $|\vec{A}|$ या A

एकांक सदिश (Unit Vector)–

किसी सदिश $\vec{A}$ का एकांक सदिश वह सदिश है जिसका परिमाण इकाई एवं दिशा सदिश $\vec{A}$ की दिशा है। सदिश $\vec{A}$ के इकाई सदिश को $\hat{A}$ द्वारा प्रदर्शित किया जाता है। (नोट– $\hat{A}$ को ए केप से उच्चारण करते हैं)।

इसे हम निम्न प्रकार व्यक्त करते हैं–

$$\vec{A}=|\vec{A}|\,\hat{A}$$

अर्थात्
$$\hat{A}=\frac{\vec{A}}{|\vec{A}|}$$

$$=\frac{\textit{सदिश}}{\textit{सदिश का परिमाण}}$$

अतएवं किसी सदिश में उसके परिमाण का भाग देने पर उसकी दिशा में एकांक सदिश प्राप्त होता है।

9.2 गति (Motion)

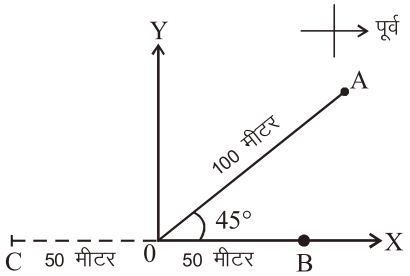
सामान्य जीवन में हम कुछ वस्तुओं को स्थिर तो कुछ को गतिशील पाते हैं। हमारे आस पास के मकान, पेड़–पौधे आदि हमारे लिए विराम में होते है वहीं सड़क पर चलने वाली कार, चलता या दौड़ता बालक, बहता हुआ पानी, उड़ता पक्षी आदि हमें गति का अहसास करवाते हैं। कई बार हमें वस्तुओ की गति की अनुभूति प्रत्यक्ष रूप से नहीं हो पाती है, परन्तु अप्रत्यक्ष प्रमाणों से हमें उनकी गति का आभास होता है। उदाहरण के लिए वायु की गति का आभास हमें पेड़ की पत्तियों एवं टहनियों के हिलने से होता है।

किसी वस्तु, कण अथवा पिण्ड की स्थिति का समय के साथ, निरन्तर बदलना गति कहलाता है। इसी प्रकार समय के साथ स्थिति का नहीं बदलना वस्तु की विराम अवस्था को व्यक्त करता है।

एक ही वस्तु किसी व्यक्ति को गति करती हुई एवं दूसरे व्यक्ति को विराम अवस्था में प्रतीत हो सकती है, उदाहरण के लिए चलती हुई रेलगाड़ी में बैठे हुए यात्रियों को पटरी के किनारे खड़े व्यक्ति देखते हैं तो रेलगाड़ी और उसमें बैठे यात्री आगे की ओर गति करते महसूस होते हैं। वहीं चलती रेलगाड़ी में बैठे प्रत्येक यात्री को लगता है कि उसके साथी गति में नहीं है क्योंकि उनके मध्य की परस्पर दूरी में कोई परिवर्तन नहीं हो रहा है। इन प्रेक्षणों से स्पष्ट है कि स्थिति का बदलना किसी अन्य वस्तु के सापेक्ष ही हो सकता है। **अतः गति या स्थिर अवस्था सदैव ही किसी निर्देश बिन्दु जिसे मूल बिन्दु कहते हैं के सापेक्ष मापी जाती है।**

निर्देश बिन्दु :

किसी वस्तु की स्थिति की पूर्ण जानकारी के लिए उस वस्तु की मूल बिन्दु (निर्देश बिन्दु) से दूरी तथा वस्तु और मूल बिन्दु को मिलाने वाली रेखा द्वारा निर्देश अक्ष के साथ बना कोण , जो वस्तु की दिशा कहलाता है, की जानकारी आवश्यक है।



चित्र 9.4 निर्देश बिन्दू के सापेक्ष स्थिति

चित्र 9.4 में वस्तु A मूल बिन्दु O से 100 मीटर पर स्थित है। OA रेखा OX अक्ष से 45° कोण पर है तथा OX पूर्व दिशा में है। यहां रेखा OA पूर्व से उत्तर की और 45° कोण बनाती है, अतः वस्तु A, मूल बिन्दू से 100 मीटर दूर है तथा पूर्व से उत्तर की ओर 45° के कोण पर है। इसी प्रकार वस्तु B मूल बिन्दु से 50 मीटर पूर्व की ओर स्थित है। वस्तु C मूल बिन्दु O से 50 मीटर पश्चिम की ओर स्थित है। अतः व्यापक रूप से गति को निम्नानुसार परिभाषित करते हैं–

"निर्देश बिन्दु के सापेक्ष वस्तु की स्थिति में समय के साथ अनवरत परिवर्तन को वस्तु की गति कहते हैं" वस्तु की गति कई प्रकार की हो सकती है। कुछ मुख्य गतियाँ हैः–

(i) **सरल रेखीय गतिः–** यदि वस्तु एक सरल रेखा के अनुदिश गति करती है तो इसे सरल रेखीय गति कहते है। उदाहरण– किसी लम्बे पाइप में गेंद की गति

(ii) **वृत्ताकार गतिः–** जब कोई कण अथवा वस्तु वृत्ताकार पथ पर गतिशील होता है तो इसे वृत्ताकार अथवा वर्तुल गति कहते हैं। उदाहरण–एक हल्की रस्सी से बंधे पत्थर को क्षैतिज दिशा में घुमाने पर पत्थर की गति।

(iii) **दोलनी गतिः–** किसी माध्य स्थिति के इर्द गिर्द नियत समय अन्तराल में दोहराई जाने वाली गति को दोलनी गति कहते हैं। उदाहरण– पेण्डूलम वाली घडी में पेण्डूलम की गति।

पिण्ड अथवा कण :

प्रायः हम वस्तुओं की गति का अध्ययन करते समय उन्हें पिण्ड अथवा कण मान लेते हैं। यदि वस्तु गति करते समय टुकडों में नहीं टूटे तो वह प्रभावी रूप से एक इकाई की तरह देखी जा सकती है, जिसे पिण्ड नाम दिया जाता है। पिण्ड का सारा द्रव्यमान एक बिन्दु पर केन्द्रित माना जाता है। जिसे द्रव्यमान केन्द्र कहते हैं।

जब वस्तु का आकार उसके द्वारा तय की गई दूरी की तुलना में नगण्य होता है, तो उसे कण मानते हैं। जैसे किसी मैदान में गेंद द्वारा पार की गई दूरी की तुलना में गेंद के आकार को कण मानते हैं।

9.3 दूरी तथा विस्थापन (Distance and Displacement)

चित्र 9.1 (अ) एवं (ब) में AB एवं BC दूरियां क्रमशः 3.0 मीटर और 4.0 मीटर है। परन्तु AC दूरियां अलग–अलग है। **वस्तु की प्रारम्भिक एवं अन्तिम स्थिति के बीच की सरल रेखीय दूरी को वस्तु का विस्थापन कहते हैं।** यह सदिश राशि है। वहीं प्रारंभिक स्थिति से अंतिम स्थिति तक पहुंचने में तय की गई कुल दूरी अदिश राशि है। विस्थापन में हम उस दिशा को भी निर्दिष्ट करते हैं, जिस दिशा में दूरी को मापना है। दूरी एवं विस्थापन दोनों लम्बाई के माप से सम्बन्धित हैं। अतः इनको लम्बाई के मात्रकों में व्यक्त किया जाता है। दोनों का अन्तर्राष्ट्रीय मात्रक (एस.आई.) मीटर (m) है। यदि विस्थापन की माप को उसकी दिशा को छोड़कर व्यक्त करें तो इसे विस्थापन का परिमाण कहा जाता है।

चित्र 9.1 (अ) में तय की गई दूरी एवं विस्थापन का परिमाण बराबर है। जो 7 मीटर है। चित्र 9.1 (ब) में दूरी AB + BC = 7.0 मीटर है, जबकि विस्थापन AC = 5 मीटर AB से $\theta°$ के कोण पर है।

9.4 चाल (Speed)

गतिशील वस्तु द्वारा एकांक समय में तय की गई दूरी को वस्तु की चाल कहते हैं। प्रायः वस्तु असमान गति में होती है, अतः ऐसी स्थिति में हम वस्तु की गति को औसत चाल से व्यक्त करते हैं। किसी भी वस्तु की चाल ज्ञात करने के लिये वस्तु द्वारा किसी समय अन्तराल में तय की गई दूरी में उस समय अन्तराल का भाग देते हैं।

$$\text{चाल} = \frac{\textit{वस्तु द्वारा तय की गई दू}}{\textit{दूरी तय करने में लगा सम}}$$

$$v_{av} = \frac{d}{t}$$

यहाँ t समय में वस्तु d दूरी तय कर रही है।

चाल अदिश राशि है। इसका एस.आई. पद्धति में मात्रक मीटर/सैकण्ड (m/s) है। यात्रा हेतु प्रयुक्त वाहनों की चाल को प्रायः किलोमीटर/घण्टा (km/h) में व्यक्त करते है।

उदाहरण 9.1 : एक छात्र अपने वाहन से 100 किलोमीटर दूरी 2 घण्टे मे तय करता है। छात्र के वाहन की औसत चाल ज्ञात करिये।

हल – $\text{चाल} = \frac{\textit{दूरी}}{\textit{समय}}$

$$= \frac{100\,\text{km}}{2\,\text{h}}$$

$$= 50\ \text{km/h}$$

9.5 वेग (Velocity)

किसी वस्तु की चाल के साथ–साथ यह जानना भी आवश्यक है कि वस्तु किस दिशा मे गतिमान है। किसी **निश्चित दिशा में किसी वस्तु द्वारा एकांक समय में तय कि गई दूरी को उसका वेग कहते हैं।** वेग सदिश राशि है। किसी वस्तु का वेग ज्ञात करने के लिए वस्तु द्वारा तय किए गये विस्थापन में इसमें लगे समय का भाग देते हैं। यदि विस्थापन को s से, समय t से तथा वेग को v से प्रकट करें तो

$$\text{वेग} = \frac{\textit{दूरी (निचित दिा में)}}{\textit{समय}}$$

$$= \frac{\textit{विस्थापन}}{\textit{समय}}$$

$$\vec{v} = \frac{\vec{s}}{t} \qquad \ldots (9.1)$$

समय t सदैव धनात्मक होता है, अतः वेग $\vec{v}$ की दिशा वही होती है जो विस्थापन $\vec{s}$ की दिशा है। यदि एक विमीय गति में मूल बिन्दु से दाहिनी ओर की दूरी को धनात्मक तथा बांयी ओर की दूरी को ऋणात्मक मान ले तो विस्थापन के धनात्मक होने से वेग भी धनात्मक होगा तथा विस्थापन के ऋणात्मक होने से वेग भी ऋणात्मक होगा। वेग का एस. आई. मात्रक मीटर/सैकण्ड (m / s) है।

समान वेग से कोई वस्तु 't' समय में निश्चित दिशा मे s दूरी तय करती है तो वस्तु का वेग

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

या $$\vec{s} = \vec{v} \times t$$

केवल मापांक लेने पर

$$s = v \times t \qquad \ldots (9.2)$$

उदाहरण 9.2 : एक बस पूर्व दिशा में गतिमान है। यह 4 घण्टे में 200 किलोमीटर चलती है, बस का वेग ज्ञात कीजिए?

हल– $$\text{वेग} = \frac{\text{विस्थापन}}{\text{समय}}$$

यहां दूरी 200 किलोमीटर (पूर्व दिशा में), समय $= 4\,\text{h}$

$$= \frac{200\,\text{km}}{4\,\text{h}}$$

$$= 50\ \text{km / h (पूर्व में)}$$

अतः बस का वेग 50 km / h पूर्व की ओर है।

9.6 चाल एवं वेग में अन्तर (Difference between Speed and Velocity)

चाल किसी भी वस्तु की गति के परिमाण का बोध कराती है उदाहरर्णाथ यदि दो स्कूटर 40 km / h की रफ्तार से भिन्न–भिन्न दिशाओं में जा रहे हैं तो भी उनकी चाल समान होगी परन्तु वेग भिन्न–भिन्न होगा। चाल एक अदिश राशि है जबकि वेग सदिश राशि।

9.7 एक समान गति (Uniform motion)

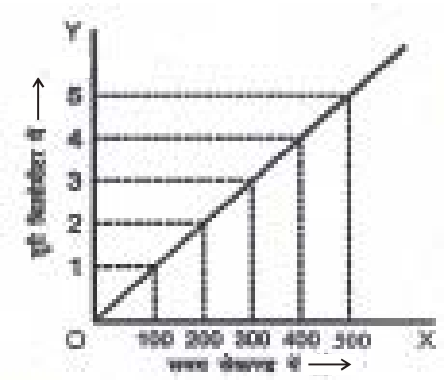
यदि कोई वस्तु समान समय अन्तराल में समान दूरी तय करती है तो वस्तु की गति को एक समान गति कहते हैं। उदाहरण के लिए हम एक कार में यात्रा कर रहे हैं तथा हमारे हाथ पर एक घड़ी बंधी है जिसमें हम समय को सेकण्ड तक की शुद्धता तक माप सकते हैं। सडक पर लगे किलोमीटर पत्थरों में से किसी एक को मूल बिन्दु मानकर हम प्रत्येक आने वाले किलोमीटर पत्थर के क्षण को अपनी घड़ी से मापते हैं।

माना हमारे प्रेक्षण निम्न प्रकार प्राप्त होते हैं

किलोमीटर पत्थर की संख्या (दूरी)	समय (सेकण्ड मे)
मूल किलोमीटर पत्थर	0
1 किलोमीटर पत्थर	100 सेकण्ड
2 किलोमीटर पत्थर	200 सेकण्ड
3 किलोमीटर पत्थर	300 सेकण्ड
4 किलोमीटर पत्थर	400 सेकण्ड
5 किलोमीटर पत्थर	500 सेकण्ड

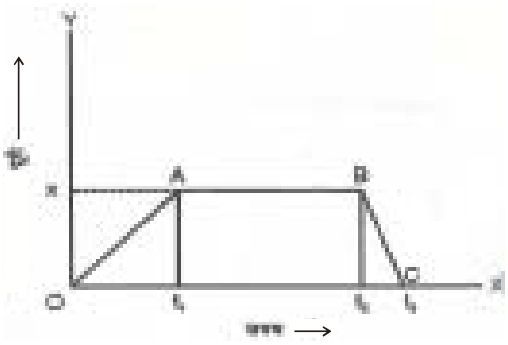
इन प्रेक्षणों की सहायता से कार द्वारा तय की गई दूरी और समय में ग्राफ खीचने पर ग्राफ चित्र 9.5 में दर्शाए अनुसार एक सीधी रेखा प्राप्त होती है। यह सीधी रेखा, एक समान गति को प्रदर्शित करती है। दूरी समय आलेख का ढ़ाल वस्तु की चाल को व्यक्त करता है।

किसी यात्रा का समय–स्थिति वक्र हमको उस यात्रा के बारे में महत्वपूर्ण जानकारी देता है। वक्र का ढाल हमको चाल के कम या अधिक होने का आभास कराता है। चित्र 9.6 में एक अन्य कार के यात्रा वक्र को बताया गया है। वक्र से स्पष्ट है कि आरंभ से t_1 समय तक कार एक समान चाल से चल कर दूरी x के स्थान पर पहुंचती है।



चित्र 9.5 एक समान गति में स्थिति–समय वक्र

t_1 से t_2 समय तक कार उसी स्थिति x पर स्थिर रहती है अर्थात् इस समय अन्तराल में कार रूकी हुई हैं। यहां रेखा AB का ढाल शून्य है अतः चाल शून्य है। अंत में t_2 से t_3 समय में कार दूरी x से लौटकर पुनः उसी स्थान पर आ जाती है, जहां से वह प्रारम्भ में चलती थी। यात्रा के इस भाग में चाल एक समान रहती है। परन्तु वक्र BC का ढाल OA से अधिक है, जिसका अर्थ यह है कि लौटते समय कार की चाल, जाते समय की चाल से अधिक है।



चित्र 9.6 असमान वेग का स्थिति–समय वक्र

9.8 असमान गति तथा त्वरण (Non Uniform Motion and Acceleration)

हम जानते हैं कि किसी गतिशील कार, स्कूटर, साईकिल का वेग यात्रा के समय समान नहीं रहता है। प्रायः वाहन असमान वेग से चलते हैं। रेलगाड़ी से यात्रा करने का हम सभी को अनुभव है, दो रेलवे स्टेशनों के मध्य रेलगाड़ी का वेग समान नहीं रहता है। रेलवे स्टेशन से प्रारंभ होने पर रेलगाड़ी का वेग शून्य से बढ़ता है और दूसरे स्टेशन पहुंचने पर इसका वेग घटते हुए शून्य हो जाता है।

प्रति एक सेकण्ड में वेग के परिवर्तन को त्वरण (acceleration) कहते हैं। इसे प्रायः a प्रतीक से व्यक्त करते हैं। अतः **किसी वस्तु के वेग में परिवर्तन की दर को त्वरण कहते हैं।**

यदि किसी वस्तु का प्रारम्भिक वेग u है तथा t समय पश्चात वस्तु, का वेग v हो जाता है तो वस्तु का त्वरण होगा–

$$\text{त्वरण} = \frac{\textit{वेग में परिवर्तन}}{\textit{परिवर्तन में लगा सम}}$$

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{u}}{t} \qquad \ldots (9.3)$$

एक समान त्वरण की गति में किसी क्षण त्वरण व औसत त्वरण का मान समान होता है।

वेग में वृद्धि की अवस्था त्वरण धनात्मक तथा वेग में कमी की अवस्था में त्वरण ऋणात्मक होता है। सरल रेखीय गति में त्वरण की दिशा या तो वेग की दिशा में होगी या उसके विपरीत दिशा में होगी। ऋणात्मक त्वरण को मंदन भी कहते हैं। उपरोक्त समीकरण 9.3 से स्पष्ट हैं कि जब कोई वस्तु एक समान वेग से गतिमान है तो उस वस्तु का त्वरण शून्य होता है। अर्थात् $v = u$ हो तो $a = 0$

मात्रक – त्वरण का मात्रक वेग के मात्रक में समय के मात्रक का भाग देकर प्राप्त करते है।

$$\text{त्वरण का मात्रक} = \frac{\textit{वेग का मात्रक}}{\textit{समय का मात्रक}}$$

$$= \frac{\text{m/s}}{\text{s}}$$

$$= \text{m/s}^2$$

त्वरण का एस. आई. मात्रक मीटर/सेकण्ड^2 (m / s^2) है।

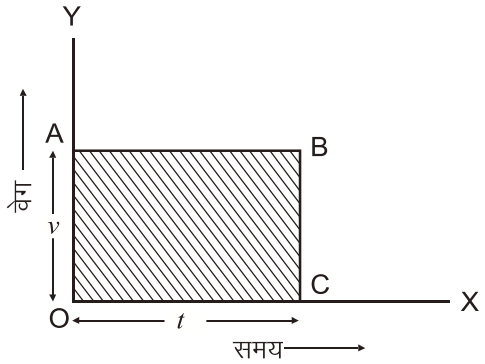
9.9 गति का ग्राफीय निरूपण (Graphical Representation of Motion)

गति का अध्ययन करने के लिये रेखा ग्राफ का उपयोग करते हैं। रेखा ग्राफ का उपयोग दो भौतिक राशियों की परस्पर निर्भरता को प्रदर्शित करने के लिये किया जाता है। उदाहरण के लिये गतिमय वस्तु के वेग, त्वरण, दूरी आदि किसी भी भौतिक राशि की समय पर निर्भरता प्रदर्शित करने के लिए रेखा ग्राफ का उपयोग कर सकते है।

वेग–समय ग्राफ (Velocity- time graph)

(i) वस्तु समान वेग से गतिशील है–एक समान वेग v से गति करने वाली वस्तु (साईकिल, स्कूटर, रेलगाड़ी, बस

आदि) का वेग–समय ग्राफ चित्र 9.7 में बताया गया है। चूंकि समय के साथ वेग नियत बना रहता है अतः ग्राफ में वक्र x–अक्ष के समान्तर सरल रेखा के रूप में प्राप्त होता हैं।



चित्र 9.7 वेग–समय वक्र

नियत वेग v से चलने वाली वस्तु t समय में s दूरी तय करती है तो कण द्वारा तय की गई दूरी सूत्र 9.2 से प्राप्त होती है।

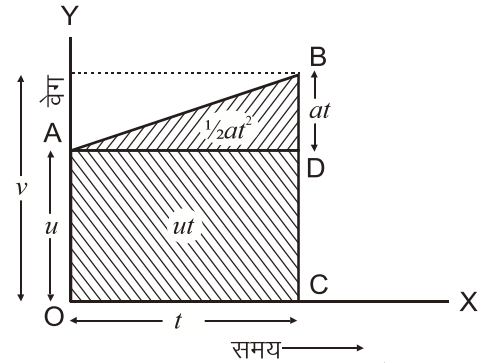
$$s = v \times t$$

चित्र 9.7 में OX अक्ष पर OC समय t को तथा OA अक्ष पर दूरी CA वेग v को प्रदर्शित कर रहा है। अतः आयत OABC का क्षेत्रफल

$$= v \times t$$

अर्थात वेग समय ग्राफ पर t समय में तय की गई दूरी का मान क्षेत्रफल ABCD कण द्वारा तय की दूरी के बराबर होता है। अतः वेग– समय ग्राफ में वक्र तथा OX अक्ष के बीच का क्षेत्रफल, समय t में वस्तु द्वारा तय की गई दूरी को बताता है।

(ii) वस्तु एक समान त्वरण से गतिशील है– एक समान त्वरण से गति कर रही वस्तु का वेग–समय ग्राफ को चित्र 9.8 में बताया गया है। इस वेग– समय ग्राफ से एक समान त्वरण से गतिशील वस्तु के गति समीकरण भी प्राप्त कर सकते है।



चित्र 9.8 एक समान त्वरण गति का वेग–समय वक्र

इस ग्राफ में प्रारम्भ में वस्तु का वेग u है जो t समय पर बढ़कर v हो जाता है। यदि वस्तु समान वेग u से चल रही होती तो इसके द्वारा t समय में तय की गई दूरी ग्राफ के अन्तर्गत क्षेत्र AOCD के क्षेत्रफल के बराबर होती है। यहां वस्तु त्वरित गति से गतिशील होने के कारण वेग बदल रहा है। इसके द्वारा t समय अन्तराल में तय की गई दूरी s ग्राफ AOCDB के क्षेत्रफल के बराबर होगी। आकृति AOCDB समलम्ब चतुर्भुज है।

अर्थात दूरी s = AOCDB का क्षेत्रफल

= आयत AOCD का क्षेत्रफल

+ ΔADB का क्षेत्रफल

$$= AO \times OC + \frac{1}{2} AD \times BD$$

यहाँ OC तथा AD समान्तर है, जो u के बराबर है।

तथा $BD = BC - CD = (v - u)$

अतः दूरी $s = ut + \frac{1}{2} t(v - u)$ . . . (9.4)

यदि वस्तु का एक समान त्वरण a है तो

त्वरण $a = \frac{v - u}{t}$

$\therefore$ $v - u = at$

या $v = u + at$ . . . (9.5)

समी. 9.5 से $(v - u)$ का मान समी. 9.4 में रखने पर

$$s = ut + \frac{1}{2} at^2 \quad \ldots (9.6)$$

समीकरण 9.6 एक समान त्वरण से गति करती हुई वस्तु द्वारा किसी दिये गये समय (t) में तय की गई दूरी ज्ञात करने के लिये सम्बन्ध को बताता है।

समीकरण 9.5 से $t = \frac{v - u}{a}$ को समीकरण 9.6 में रखने पर

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

इसको सरल करने पर

$$s = \frac{uv - u^2}{a} + \frac{v^2 + u^2 - 2uv}{2a}$$

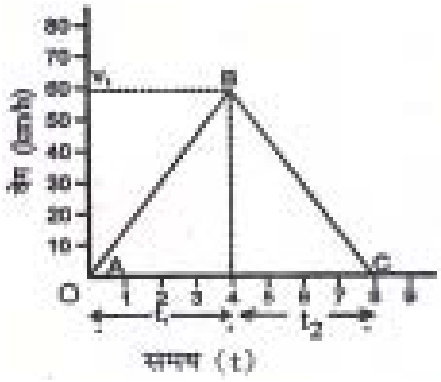
या $2as = v^2 - u^2$

या $v^2 - u^2 = 2a$

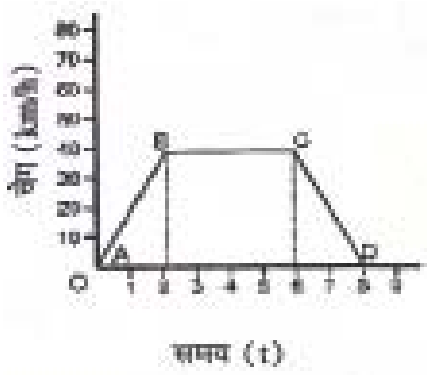
$$v^2 = u^2 + 2as \qquad \ldots (9.7)$$

समीकरण 9.5, 9.6 एवं समीकरण 9.7 को एक समान त्वरण गति के गति समीकरण कहते हैं।

(iii) असमान त्वरित गति की स्थिति में वेग समय के ग्राफों को चित्र 9.8 (अ) एवं (ब) में दिखाया गया है।



चित्र (अ)



चित्र (ब)

चित्र 9.9 असमान त्वरित गति

चित्र 9.9 (अ) में t_1 समय में वेग शून्य से बढ़कर v_1 हो जाता है। A से B तक वस्तु धनात्मक त्वरण से गतिशील है, जबकि B से C तक वस्तु में ऋणात्मक त्वरण है।

चित्र 9.9 (ब) में वस्तु प्रथम 2 सेकण्ड तक धनात्मक त्वरण से गतिशील है 2 से 6 सेकण्ड के मध्य तक वस्तु का वेग स्थिर है अर्थात् त्वरण शून्य है। 6 से 8 सेकण्ड के मध्य त्वरण ऋणात्मक है एवं 8 सेकण्ड पश्चात, वेग शून्य हो जाता है।

उदाहरण 9.4 विराम अवस्था से चलकर कोई रेलगाड़ी 10 मिनट में 72 km / h का वेग प्राप्त कर लेती है। रेलगाड़ी का त्वरण एक समान है तो (i) रेलगाड़ी का त्वरण, (ii) रेलगाड़ी द्वारा इस वेग तक पहुंचने में तय की गई दूरी ज्ञात कीजिए।

हल : दिया है $u = 0,\ v = 72\,\text{km/h}$

$$v = 72\frac{\text{km}}{\text{h}}$$

$$= \frac{72 \times 1000\text{m}}{60 \times 60\text{s}}$$

$$= 20\ \text{m / s.}$$

तथा $t = 10\,\text{min}$

$$= 600\ \text{s}$$

रेलगाड़ी का त्वरण a है तो $a = \dfrac{v-u}{t}$

$$= \frac{20-0}{600}$$

$$= \frac{1}{30}\text{m/s}^2$$

दूरी ज्ञात करने के लिए हम सूत्र $v^2 = u^2 + 2as$ का उपयोग करते है

$$2as = v^2 - u^2$$

या $$s = \frac{v^2 - u^2}{2a}$$

$$= \frac{(20)^2 - 0}{2 \times \frac{1}{30}}$$

$$= \frac{(20)^2 \times 30}{2}$$

$$= \frac{20 \times 20 \times 30}{2}$$

$$= 6000\ \text{m}$$

$$= 6.0\ \text{km}$$

उदाहरण 9.5 एक वस्तु का प्रारम्भिक वेग 4 m / s है। यह वस्तु 2 m / s^2 के त्वरण से गतिशील है। 5 s पश्चात वस्तु का वेग तथा उसके द्वारा तय की गई दूरी ज्ञात कीजिये।

हलः यहां $u = 4\,\text{m/s},\ t = 5\,\text{s}$

$$a = 2\,\text{m/s}^2$$

$$v = u + at$$

$$v = 4 + 2 \times 5$$

$$= 14\,\text{m/s}$$

दूरी $$s = ut + \frac{1}{2}at^2$$

$$= 4 \times 5 + \frac{1}{2} \times 2(5)^2$$

$$\therefore \quad s = 20 + 25 = 45\,\text{m}$$

9.10 बल (Force)

पिछले अनुच्छेद में हमने वस्तु की गति के बारे में अध्ययन किया। सामान्य जीवन में हम देखते हैं कि वस्तुओं को विरामावस्था से गतिशील करने अथवा गतिशील से विरामावस्था में लाने के लिए कुछ प्रयास करने होते हैं। जैसे कमरे में रखी मेज को विराम से गति में लाने के लिए हमें उसेधक्का लागना पड़ता है या चलती हुई गाड़ी को रोकने के लिए ब्रेक लगाया जाना। इस प्रकार वस्तु की विराम अवस्था अथवा गति की अवस्था में परिवर्तन लाने अथवा परिवर्तन लाने का प्रयास करने वाली भौतिक राशि ही बल है। यह आवश्यक नही कि बल लगाने पर वस्तु की गति की अवस्था में बदलाव हो जैसे दीवार पर हाथ से बल लगाने पर दीवार विरामावस्था में ही रहती है।

बल वह भौतिक राशि है जो वस्तु की गत्यावस्था अथवा विराम अवस्था में, परिवर्तन लाता है या लाने का प्रयास करता है। बल एक सदिश राशि है।

किसी वस्तु पर लग रहे बल के बारे में पूर्ण जानकारी प्राप्त करने के लिये हमको निम्नलिखित तीन बातों का ज्ञान होना आवश्यक है।

(i) बल का क्रिया बिन्दु अर्थात वह बिन्दु जिस पर बल कार्य कर रहा है।

(ii) बल का परिमाण

(iii) बल के कार्य करने की दिशा

अतः बल एक सदिश राशि है जिसमें परिमाण के साथ–साथ दिशा भी होती है।

9.11 न्यूटन की गति के नियम (Newton's Laws of Motion)

वस्तुओं की गति को नियंत्रित करने वाले नियमों को सबसे पहले सर आइजक न्यूटन ने स्थापित किये थे। इन नियमों से हमें बल की यथार्थ परिभाषा मिलती है। इनसे आरोपित बल एवं वस्तु की गति की अवस्था के बीच मात्रात्मक संबंध प्राप्त होता है। इस सम्बन्ध में वैज्ञानिक गैलीलियो ने सत्रहवीं शताब्दी में कुछ प्रयोग किये थे जिससे बाद में न्यूटन के नियमों की आधारशिला बनी। गैलीलियों ने अपने प्रयोगों के आधार पर बताया कि यदि कोई वस्तु सरल रेखीय गति में है तो वह उस सरल रेखा में तथा उसी वेग से निरन्तर गतिमय बनी रहेगी, बशर्ते उस पर किसी भी प्रकार का कोई बाह्य बल कार्य नहीं कर रहा हो। यह अन्तिम शर्त अत्यधिक महत्वपूर्ण तथा आवश्यक है। उदाहरणार्थ – जब हम किसी गेंद को फर्श पर लुढ़काते है तो वह कुछ दूर जाकर रुक जाती है। पृथ्वी के ऊपर की ओर फेंके गये पिण्ड का वेग जैसे–जैसे पिण्ड ऊपर की ओर उठता जाता है, वैसे–वैसे कम होता जाता है तथा अन्त में शून्य हो जाता है, तो पिण्ड पुनः पृथ्वी पर ही गिर पड़ता है। इन उदाहरणों में गति करने वाले पिण्ड पर कुछ बाहरी बल कार्य करते हैं, जिनके फलस्वरूप इनकी गतियों में परिवर्तन आ जाता है। पहले उदाहरण में गेंद तथा फर्श के बीच कार्य करने वाला घषर्ण बल गेंद की गति में बाधा उत्पन्न करता है, जिससे गति मन्द होकर समाप्त हो जाती है। दूसरे उदाहरण में पृथ्वी का गुरुत्वीय बल गति में बाधा डालता है। यदि पिण्ड पर से किसी प्रकार हम इन अवरोधक बलों को हटा सकें तो पिण्ड एक बार गति में आने के पश्चात, सदैव उसी वेग से चलता रहेगा।

9.12 न्यूटन की गति का प्रथम नियम (Newton's First law of motion)

इस नियम के अनुसार **यदि कोई वस्तु स्थिर अवस्था में है तो वह स्थिर अवस्था में ही बनी रहती है या कोई वस्तु किसी निश्चित वेग से एक दिशा में गति कर रही है तो वह उसी वेग से उसी दिशा में गति करती ही रहती है जब तक की उस पर कोई बाह्य बल कार्य नहीं करता है।** किसी भी वस्तु की विराम अथवा गति की अवस्था में परिवर्तन का वस्तु द्वारा विरोध किया जाता है। वस्तु के इस गुण को जड़त्व कहते हैं। वस्तु गति की जिस स्थिति में है उसी स्थिति में बनी रहती है जब तक कि उस पर कोई बाह्य बल कार्य नहीं करता। अतएव वस्तु की स्थिर अवस्था को परिवर्तित करनी हो या गतिमान वस्तु की गति की दिशा बदलनी हो, दोनों ही परिस्थितियों में बल लगाना पड़ता है।

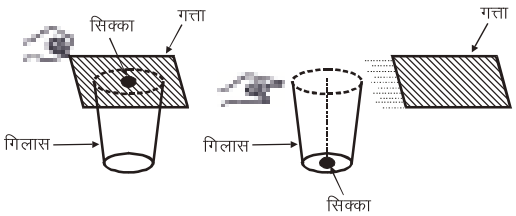
इसी कारण **न्यूटन के प्रथम नियम को जड़त्व का नियम भी कहते है।** गति के इस नियम को हम दो भागों में विभाजित कर सकते है।

1. स्थिर अवस्था के जड़त्व का नियम (Law of Inertia of Rest)

इस नियम के अनुसार यदि कोई वस्तु स्थिर अवस्था में है तो स्थिर अवस्था में ही बनी रहती है जब तक कि उस पर कोई बाह्य बल कार्य नहीं करता है।

स्थिर अवस्था के जड़त्व के नियमों के उदाहरण – इस नियम के अनेक उदाहरण हमें दैनिक जीवन में मिलते है, उनमें कुछ का वर्णन हम यहां करेंगे। जड़त्व के इस उदाहरण के लिये हम कुछ क्रिया कलाप करेंगे।

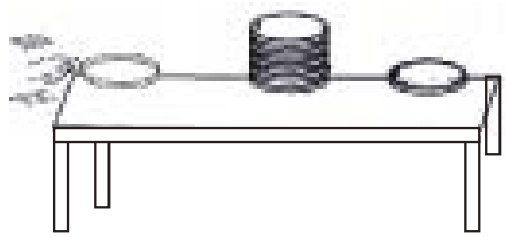
गतिविधि 9.1 : कांच का एक खाली गिलास लीजिए उसके खुले मुंह पर एक मोटा चिकना गत्ते का टुकड़ा रखकर उस पर एक पांच रूपया का सिक्का रखिये। अब चित्र 9.10 के अनुसार कार्ड को अपनी अँगुलियों से तेजी से धक्का दीजिए। आप देखेंगे की गत्ता तो आगे खिसक जाता है किन्तु सिक्का गिलास में गिर जाता है।



चित्र 9.10

सिक्का गत्ते के साथ ही क्यों नहीं चला जाता? इसलिए कि सिक्के का जड़त्व उसे विराम अवस्था में ही रखता है, जबकि गत्ता उस पर झटके से लगाये बल के कारण गति में आ जाता है।

गतिविधि 9.2 : एक ही प्रकार के कुछ सिक्कों (जैसे एक रुपये के सिक्को को) एक के ऊपर एक रखकर 8–10 सिक्को की एक ढेरी बनाइये। एक अन्य सिक्के को अपनी अंगुलियों से तीव्रता से झटका देकर ढेरी के सबसे नीचे वाले सिक्के पर टकराइये। जब सिक्का ढेरी से बाहर निकलता है सिक्कों की ढेरी से केवल नीचे वाला सिक्का ही बाहर निकलता है जब कोई अन्य सिक्का उस पर तीव्र गति से टकराता है और शेष ढेरी उसी प्रकार बनी रहती है क्योंकि शेष सिक्कों का जड़त्व उन्हें गति में आने से रोकता है।



चित्र 9.11

दैनिक जीवन में जड़त्व पर आधारित कुछ घटनाएं इस प्रकार हैं–

(i) स्थिर कार या बस को अचानक तेज चला देने पर उसमें बैठे यात्री को पीछे की ओर धक्का अनुभव होने का कारण यात्री का स्थिर अवस्था जड़त्व है।

(ii) कम्बल/गर्द लगे दरियों को लटकाकर जब डंडे से प्रहार किया जाता है तो धूल के कण पृथक हो जाने का भी यही कारण है।

(iii) घोड़े पर सवार बैठा है तथा घोड़ा अचानक दौड़ना आरंभ कर दे तो प्रायः सवार पीछे की ओर गिर पड़ता है। इसका कारण भी स्थिर अवस्था का जड़त्व ही है।

(iv) फल लगे पेड़ की डाल को जब हिलाते हैं तो उससे फल गिरने का भी कारण स्थिर अवस्था का जड़त्व है।

2. गति अवस्था के जड़त्व का नियम (Law of Inertia of Motion)

इस नियम के अनुसार यदि कोई वस्तु गति कर रही है तो वह समान वेग से सीधी रेखा में गति करती ही रहेगी जब तक कि उस पर कोई बाह्य बल कार्य नहीं करता है।

गति अवस्था में जड़त्व के उदाहरणः

(i) लम्बी कूद देखने का आपको अवसर मिला होगा। लम्बी कूद में खिलाड़ी कूदने से पहले तेज रफ्तार से दौड़ता हुआ आता है। कूदते समय जड़त्व के कारण उसके शरीर की सामने वाली गति बनी रहती है, अतः वह अधिक दूरी तक कूदने में सफल होता है।

(ii) तेज रफ्तार से चलती हुई बस को ब्रेक लगाकर एकाएक रोका जाता है तो बस में बैठे यात्री आगे की ओर झुक जाते हैं। इसका कारण गति अवस्था का जड़त्व है। जब बस गतिशील थी तब यात्री का पूरा शरीर बस के वेग से गतिमान था। ब्रेक लगाने पर यात्री के शरीर का निचला भाग जो बस के सम्पर्क में था बस के साथ स्थिर हो जाता है, परन्तु शरीर का ऊपरी भाग जो गतिशील अवस्था में था, वह गतिशील अवस्था में बना रहता है। अतः ब्रेक लगाने पर बस में बैठा यात्री आगे की ओर झुक जाता है। वायुयान एवं वाहनों में जहां वेग में एकाएक परिवर्तन होने की संभावना होती है। यात्री सीट बेल्ट लगाते हैं।

(iii) जब कोई व्यक्ति चलती हुई गाड़ी (बस/रेलगाड़ी) से कूदता है तब मुंह के बल आगे की ओर गिर जाता है क्योंकि जब व्यक्ति गाड़ी में था तब उसका पूरा शरीर भी गाड़ी के वेग से गतिमान था। जब वह कूदता है तब उसके पांव जमीन को स्पर्श करते ही स्थिर हो जाते हैं, पर

ऊपर का शरीर गाड़ी के वेग से गतिमान रहता है। फलस्वरूप व्यक्ति मुंह के बल आगे की ओर गिर जाता है। इसीलिए चलती गाड़ी से कूदते समय उसकी गति की दिशा में कुछ दूरी तक साथ–साथ दौड़ना चाहिए। जिससे उसका सारा शरीर गाड़ी की दिशा में कुछ देर तक गतिमान बना रहे। तत्पश्चात थोड़ी देर में वह अपने आप को संतुलित करके सुगमता से रुक सकता है। उचित यही है कि गाड़ी के रुकने पर ही उतरें।

जड़त्व तथा द्रव्यमान

सभी वस्तुओं का जड़त्व बराबर नहीं होता है। हमारा अनुभव है कि लोहे व रबड़ की समान त्रिज्या (समान आकार) की गेदों पर बल लगाकर जब उन्हें फेंकते हैं तो लोहे की गेंद के स्थान पर रबड़ की गेंद को फेंकना अधिक आसान होता है। इसी प्रकार पुस्तकों से भरे बैग की अपेक्षा खाली बैग को उठाना आसान होता है। अर्थात सभी वस्तुएं अपनी गति की अवस्था में परिवर्तन का समान रूप से प्रतिरोध नहीं करती हैं। वस्तुओं की अवस्था में परिवर्तन का प्रतिरोध वस्तु के द्रव्यमान पर निर्भर करता है।

वस्तु का द्रव्यमान जितना अधिक होगा, उतना अधिक उसका जड़त्व भी होगा। अतः किसी वस्तु का द्रव्यमान उसके जड़त्व की माप होती है।

9.13 न्यूटन की गति का दूसरा नियम (Newton's Second law of Motion)

संवेग (Momentum)

सामान्य वेग से गतिशील क्रिकेट की गेंद को क्षेत्ररक्षक आसानी से पकड लेता है, वहीं गेंद से बहुत कम द्रव्यमान की गोली जब बंदूक से दागी जाती है तो किसी व्यक्ति द्वारा गोली को रोके जाने का प्रयास उसके लिए घातक हो जाता है। अतः वस्तु के द्रव्यमान व उसके वेग के गुणनफल से प्राप्त राशि की विशेष सार्थकता है। न्यूटन ने अपने द्वितीय नियम के कथन से संवेग की धारणा को प्रस्तुत किया।

गति करती हुई किसी वस्तु का संवेग उसके द्रव्यमान एवं वेग के गुणनफल से परिभाषित किया जाता है। यदि किसी गतिशील वस्तु के द्रव्यमान को m तथा वेग को $\vec{v}$ से व्यक्त करे तो वस्तु का संवेग

$$\vec{p} = m\vec{v} \qquad \ldots (9.8)$$

केवल परिमाण लेने पर

$$p = mv$$

संवेग भी सदिश राशि है। संवेग का एस.आई. मात्रक किलोग्राम मीटर/सेकण्ड (kg m / s) है।

किसी गतिशील वस्तु के लिये न्यूटन के द्वितीय नियम को इस प्रकार व्यक्त करते हैं–

किसी वस्तु के संवेग परिवर्तन की दर उस पर आरोपित बल के समानुपाती होती है, और उसी दिशा में होती है जिसमें बल लगाया जाता है।

माना कि m द्रव्यमान की किसी वस्तु का वेग $\vec{u}$ है। वस्तु पर वेग की दिशा में $\vec{F}$ बल लगाने से t समय पश्चात वेग $\vec{u}$ से परिवर्तित होकर $\vec{v}$ हो जाता है, तब

प्रारम्भिक संवेग $\vec{p}_1 = m\vec{u}$ $\ldots (9.9)$

t समय पश्चात संवेग $\vec{p}_2 = m\vec{v}$ $\ldots (9.10)$

समय t में संवेग परिवर्तन $\Delta\vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1 = m(\vec{v} - \vec{u})$

अतः संवेग में परिवर्तन की दर $= \dfrac{m(\vec{v} - \vec{u})}{t}$

न्यूटन के दूसरे नियम से

$$\vec{F} \propto \frac{m(\vec{v} - \vec{u})}{t}$$

या $$\vec{F} = K\frac{m(\vec{v} - \vec{u})}{t}$$ (यहां K नियतांक है)

यहाँ $\dfrac{(\vec{v} - \vec{u})}{t}$ वस्तु के वेग में परिवर्तन की दर को बताता है, यह वस्तु में उत्पन्न त्वरण a है।

अतः $\vec{F} = Km \cdot \vec{a}$ $\ldots (9.11)$

हम बल के मात्रक को इस प्रकार लेते है कि नियतांक K का मान 1 रहे। समी. (9.11) में $K = 1$ रखने पर

$$\vec{F} = m\vec{a} \qquad \ldots (9.12)$$

समी. 9.12 से बल का मात्रक प्राप्त करते हैं। इस समी. में द्रव्यमान एवं त्वरण का अन्तर्राष्ट्रीय मात्रक प्रतिस्थापित करने पर

बल F का मात्रक $= \dfrac{\textit{किलोग्राम} \times \textit{मीटर}}{\textit{सेकण्ड}^2}$

$= \dfrac{\textit{किलोग्राममीटर}}{\textit{सेकण्डें}} = \dfrac{\text{kg m}}{\text{s}^2}$

बल के इस मात्रक को एक विशेष नाम **न्यूटन** दिया गया है, एवं इसका प्रतीक N है।

$$\left(\mathrm{N}=\frac{\mathrm{kg\,m}}{\mathrm{s}^2}\right)$$

न्यूटन के गति के दूसरे नियम से हमें बल मापने की एक विधि मिलती है। यदि किसी वस्तु का द्रव्यमान तथा किसी बल द्वारा वस्तु में उत्पन्न त्वरण ज्ञात हो तो हम उस बल को माप सकते हैं। बल के अन्य मात्रक डाइन और पाउण्डल है।

1 न्यूटन = 10^5 डाइन तथा

1 पाउण्डल = 13825.7 डाइन के बराबर है।

उदाहरण 9.6: 5 kg द्रव्यमान वाली वस्तु में 10 m /s^2 का त्वरण उत्पन्न करने के लिए कितने बल की आवश्यकता होगी? यदि बल को दो गुना कर दिया जाए तो त्वरण कितना हो जायेगा?

हल: वस्तु का द्रव्यमान $m = 5$ kg

वस्तु का उत्पन्न त्वरण $a = 10$ m /s^2

वस्तु पर आरोपित बल F का मान

सूत्र से $F = m \times a$

या $F = 5 \times 10 N$

$= 50$ N

आवश्यक बल का मान 50 N होगा।

बल को दुगना करने पर, बल का मान 100 न्यूटन हो जायेगा। अतः वस्तु में अब

त्वरण $a = \frac{F}{m}$

$= \frac{100\,\mathrm{N}}{5\,\mathrm{kg}}$

$= 20\,\mathrm{m/s^2}$

उक्त उदाहरण से स्पष्ट है कि द्रव्यमान को स्थिर रखकर बल को दो गुना कर देने पर त्वरण दुगुना हो जायेगा।

9.14 न्यूटन की गति का तीसरा नियम (Newton's Third law of Motion)

न्यूटन के पहले नियम से हमें बल की गुणात्मक एवं दूसरे नियम से उसके मात्राात्मक मापन की विधि प्राप्त होती है। न्यूटन का तीसरा नियम हमें लगाए गये बलों के बारे में जानकारी देता है। इस नियम से हम दो वस्तुओं पर एक साथ लगने वाले पारस्परिक बलों के सम्बन्ध में अध्ययन करते है।

न्यूटन के तृतीय नियम के अनुसार वस्तु A द्वारा वस्तु B पर लगाया गया बल, परिमाण में B द्वारा लगाये गये बल के बराबर तथा दिशा में उसके विपरीत होता है। वस्तु A द्वारा B पर लगाये गये बल को क्रिया (Action) तथा B द्वारा A पर लगाये गये बल को प्रतिक्रिया (Reaction) कहते हैं। न्यूटन की गति का तीसरा नियम क्रिया एवं प्रतिक्रिया के सम्बन्ध को बताता है अतः इस नियम को निम्न प्रकार व्यक्त किया जाता है–

''प्रत्येक क्रिया के लिये समान परन्तु विपरीत दिशा में प्रतिक्रिया होती है''। यहां पर महत्वपूर्ण है कि क्रिया एवं प्रतिक्रिया सदैव दो भिन्न–भिन्न वस्तुओं पर कार्य करती है। न्यूटन का यह नियम सर्वव्यापक है। वस्तुऐं विराम की अवस्था में हो या गतिशील वे परस्पर सम्पर्क में हो या उनके बीच कुछ दूरी मौजूद हो यह नियम हर दशा में लागू होता है।

गति के तीसरे नियम पर आधारित कुछ उदाहरण:

(i) जब हम भूमि पर चलते हैं या किसी ट्राली, हाथ के ठेले को धक्का देकर खिसकाते हैं तो हम अपना पेशीय बल लगाते हैं। ध्यान दीजिये–यदि हमें आगे की ओर जाना है तो हम अपने नीचे पृथ्वी की सतह को पीछे की ओर खिसकाने या धकलने का प्रयत्न करते हैं और पृथ्वी हमारे पैर पर इतना ही प्रतिक्रिया के रूप में विपरीत दिशा में पांवो पर लगाती है, फलस्वरूप हम आगे की ओर चल पाते हैं। अब आप समझ गये होंगे कि बालू मिट्टी में तथा चिकने फर्श पर चलना कठिन क्यों होता है?

(ii) पानी में तैरते समय कोई तैराक आगे बढ़ने के लिए अपने हाथों एवं पैरों से पानी को पीछे की ओर धकेलता है (बल लगाता है) इस बल की प्रतिक्रिया ही उसे आगे की ओर धकेलती है।

(iii) नाव चलाने पर पानी को पत्वारों से पीछे की ओर धकेलते हैं, पानी नाव पर एक प्रतिक्रियात्मक बल सामने की ओर लगाता है जिससे नाव आगे की ओर बढ़ जाती है।

चित्र 9.12 नाव की पानी में गति

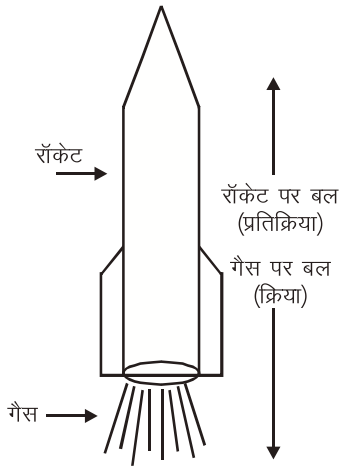
(iv) वायुयान के प्रोपेलर के ब्लेड वायु को पीछे की ओर फेंकते है तो वायु द्वारा लगने वाले प्रतिक्रियात्मक बल से वायुयान आगे बढ़ जाता है।

(v) जब बन्दूक से गोली दागी जाती है तब गोली पर बल आगे की ओर लगता है उतना ही बल बन्दूक पर विपरीत दिशा

में लगता है। परन्तु बन्दूक का द्रव्यमान गोली की तुलना में बहुत अधिक होने से बन्दूक पीछे की ओर बहुत कम वेग से चलती है। बन्दूक चलाने वाले के कंधे को झटका अनुभव होता है।

चित्र 9.13 बन्दूक की गोली दागते वक्त क्रिया एवं प्रतिक्रिया बल

(vi) जब रॉकेट छोड़े जाते हैं तब रॉकेट के पिछले भाग से गैस अत्यधिक तेज गति से निकलती है और प्रतिक्रिया के फलस्वरूप रॉकेट पर गैस निकलने की विपरीत दिशा में बल लगने के फलस्वरूप रॉकेट ऊपर उठता है।



चित्र 9.14 रॉकेट पर क्रिया एवं प्रतिक्रिया बल

हमें यह भ्रम हो सकता है कि यदि प्रत्येक क्रियात्मक बल के विरुद्ध प्रतिक्रियात्मक बल उत्पन्न होता है, तो फिर वस्तुओं में गति कैसे होती है? ऊपर के उदाहरणों से आप भली भांति समझ चुके हैं कि क्रिया तथा प्रतिक्रिया के बल बराबर तथा विपरीत होने पर भी एक दूसरे को निष्प्रभावित नहीं कर सकते हैं, क्योंकि ये भिन्न–भिन्न वस्तुओं पर कार्य करते हैं। बराबर तथा विपरीत दिशा में कार्य करने वाले बल केवल तभी एक दूसरे के प्रभाव को नष्ट कर सकते हैं जबकि वे एक ही वस्तु पर एक ही सरल रेखा में कार्य कर रहे हैं।

उपरोक्त उदाहरणों एवं प्रयोग के आधार हमें न्यूटन की तीसरे नियम से निम्न जानकारी प्राप्त होती है

(1) प्रत्येक क्रिया की प्रतिक्रिया होती है।

(2) क्रिया एवं प्रतिक्रिया के बल विपरीत एवं बराबर होते हैं।

(3) क्रिया और प्रतिक्रिया बल भिन्न–भिन्न वस्तुओं पर कार्य करते हैं। अतएव परस्पर इनका संतुलन सम्भव नहीं है।

9.15 संवेग संरक्षण (Conservation of momentum)

न्यूटन की गति के दूसरे नियम से हमें विज्ञान का अत्यन्त महत्वपूर्ण संवेग संरक्षण का नियम प्राप्त होता है। माना किसी m द्रव्यमान के पिण्ड पर आरोपित बल $\vec{F}$ के कारण उसका प्रारम्भिक संवेग $\vec{p}_1$ समय t में बदलकर $\vec{p}_2$ हो जाता है तो द्वितीय नियम से

$$\vec{F} = \frac{(\vec{p}_2 - \vec{p}_1)}{t}$$

तब $$\vec{F} = \frac{\vec{p}_2 - \vec{p}_1}{t}$$

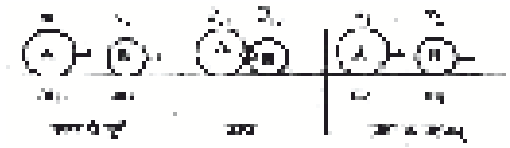
अब यदि $\vec{F} = 0$ है तो

$$\vec{p}_1 = \vec{p}_2 \qquad \ldots (9.13)$$

अर्थात् संवेग में परिवर्तन शून्य होगा या संवेग का मान सदा नियत बना रहेगा। इसे हम संवेग संरक्षण का नियम या सिद्धांत कहते हैं। इसे इस प्रकार व्यक्त किया जा सकता है **"यदि किसी पिण्ड या निकाय पर बाह्य आरोपित बल शून्य है, तो उस निकाय के सम्पूर्ण संवेग का संरक्षण होता है अर्थात् समय के साथ संवेग का मान नियत बना रहता है।"**

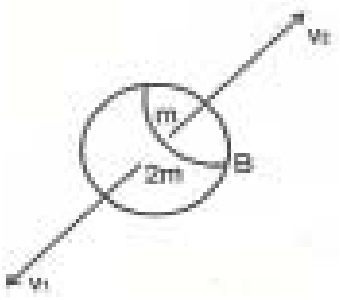
इसे हम निम्न उदाहरणों से स्पष्ट करेंगे–

(1) संवेग संरक्षण के नियम को समझने के लिये हम एक सरल स्थिति पर विचार करते हैं जिसमें केवल दो कण हैं। चित्र (9.15) कांच की दो गोलियां A एवं B जिनके द्रव्यमान क्रमशः m_1 एवं m_2 तथा प्रारम्भिक वेग u_1 और u_2 है। मान लीजिये इन दो गोलियों की सीधी टक्कर होती है, यह टक्कर t समय तक रहती है। माना टक्कर के बाद इन गोलियों के वेग क्रमशः v_1 और v_2 हो जाते हैं। यहां हम ये भी मान रहे हैं कि इन गोलियों पर कोई बल कार्यरत नहीं है। वेग u_1, u_2 एवं v_1 तथा v_2 की दिशा को चित्र में बताया गया है।



चित्र 9.15 दो गोलियों की टक्कर

(2) चित्र 9.16 में B एक विस्फोटक बम्ब है, जो आरम्भ में विराम अवस्था में है। वेग शून्य होने से इसका प्रारम्भिक संवेग शून्य है। अब यदि यह दो भागों में विस्फोट कर जाता है जिसके द्रव्यमान 2:1 के अनुपात में है, तो विस्फोट के पश्चात् इनके वेग ठीक एक ही रेखा में किन्तु विपरित दिशा में इस प्रकार होंगे कि सम्पूर्ण संवेग विस्फोट के पश्चात् शून्य हो जावे। माना बड़े टुकड़े का द्रव्यमान 2 m तथा वेग $\vec{v}_1$ एवं छोटे टुकड़े का द्रव्यमान m तथा $\vec{v}_2$ है तो विस्फोट के पश्चात् $2m\vec{v}_1 + m\vec{v}_2 = 0$



चित्र 9.16 विस्फोटक बम्ब में संवेग

अर्थात् m द्रव्यमान का टुकड़ा 2 m द्रव्यमान के टुकड़े के ठीक विपरीत दिशा में $2\vec{v}_1$ वेग से गति करेगा।

गोली A का टक्कर से पहले एवं टक्कर के बाद संवेग क्रमशः m_1u_1 तथा m_2u_2 है, अतः गोली A के संवेग में परिवर्तन की दर $= \frac{m_1(v_1 - u_1)}{t}$ होगी।

इसी प्रकार गोली B के संवेग परिवर्तन की दर $= \frac{m_2(v_2 - u_2)}{t}$ होगी।

यदि A द्वारा B पर आरोपित बल F_{12} है तो B द्वारा A पर आरोपित बल F_{21} होगा–

न्यूटन के गति के द्वितीय नियम से

$$F_{12} = \frac{m_1(v_1 - u_1)}{t}$$

$$F_{21} = \frac{m_2(v_2 - u_2)}{t}$$

अब गति के तीसरे नियम से A द्वारा B पर लगाया गया बल B द्वारा A पर लगाये गये बल के बराबर एवं विपरीत होने चाहिये।

अतः $F_{12} = -F_{21}$

$$\frac{m_1(v_1 - u_1)}{t} = -\frac{m_2(v_2 - u_2)}{t}$$

या $m_1(v_1 - u_1) = -m_2(v_2 - u_2)$

$$m_1u_1 + m_2u_2 = m_1v_1 + m_2v_2 \quad \ldots (9.14)$$

अर्थात टक्कर से पूर्व कुल संवेग = टक्कर के पश्चात् कुल संवेग

इस प्रकार हम पाते हैं कि दो गोलियों की टक्कर में टक्कर के पहले कुल संवेग तथा टक्करके बाद कुल संवेग बराबर होते हैं, अर्थात् संवेग संरक्षित रहता है। जबकि निकाय पर कोई बाह्य बल नहीं लग रहा है। यह परिणाम संवेग संरक्षण के अनुसार ही है।

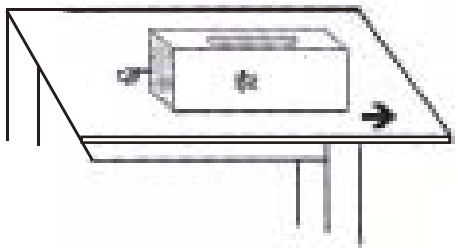
9.16 घर्षण (Friction)

घर्षण से हम भली भांति परिचित हैं। यह बल दो वस्तुओं के मध्य परस्पर गति का विरोध करता है। घर्षण बल सदैव गति की दिशा के विपरीत दिशा में लगता है।

हम जानते हैं कि खुरदरी सड़क की अपेक्षा, कांच के समान चिकनी सतह पर कोई गेंद अधिक दूरी तक चलेगी। खुरदरी सड़क की अपेक्षा डामर की सड़क पर साइकिल चलाना आसान है। सतह को चिकनी करके घर्षण को कम किया जा सकता है किन्तु घर्षण को शून्य नहीं किया जा सकता है। वायु में गतिशील वस्तुओं पर भी घर्षण कार्य करता है। अब हम दो सतहों के मध्य लगने वाले घर्षण बल की निर्भरता पर विचार करेंगे।

सीमांत घर्षण (Limiting Friction) – एक ईंट को मेज पर रखकर अपनी अंगुली से इसे धकेलने का प्रयत्न कीजिये। प्रारम्भ में जब बल का मान कम होता है ईंट नहीं खिसकती है, इस समय ईंट पर लगाया गया बल एवं इस पर लगा घर्षण बल दोनों आपस में संतुलन में तथा एक दूसरे के विपरीत दिशा में है। जैसे–जैसे ईंट पर हम लगाए गये बल को बढ़ाते हैं, घर्षण बल भी साथ–साथ बढ़ता जाता है, और एक स्थिति में जब लगाए बल को एक सीमा से अधिक बढ़ाया जाता है ईंट खिसकने लगती है। उस बल का परिमाण जो ईंट को

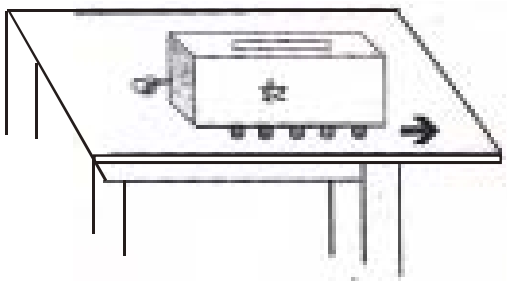
खिसकाने मात्र के लिये प्रर्याप्त है (अर्थात् न इससे अधिक और न कम) सीमांत घर्षण कहलाता है।



चित्र 9.16 किसी ईंट को खिसकाने के लिए अंगुली से आरोपित बल

सर्पी घर्षण (Sliding Fricition)– जब कोई वस्तु किसी दूसरी वस्तु पर के धरातल पर खिसकती हुई चलती है तो दोनों धरातलों के मध्य के घर्षण को सर्पी घर्षण कहते हैं। सर्पी घर्षण तब तक क्रिया करता है जब तक दोनों वस्तुओं को सापेक्ष गति होती है। वस्तु पर से बाह्य बल हटा लेने पर भी घर्षण बल क्रिया करता रहता है। परिणाम स्वरूप वस्तु का वेग कम होता जाता है और अंत में वस्तु विराम अवस्था में आ जाती है।

लोटनी घर्षण (Rolling Friction)– ईंट को चित्र में बताए अनुसार तीन या चार बेलनाकार रोलरों जैसे पैंसिल या लोहे के पतले बेलनाकार टुकड़ो पर रखकर (चित्र 9.17) धकेलने पर हम पाते हैं कि, इस बार ईंट को खिसकाना आसान है। रोलरों एवं पहियों पर गति करने वाली वस्तुओं की स्थिति में घर्षण को लोटनी घर्षण कहते हैं।



चित्र 9.17 ईट को खिसकाने में लोटनी गति

दो समान प्रकार के धरातलों में लोटनी घर्षण का मान सर्पी घर्षण से कम होता है। अतः मशीनों में पहियों और रोलरों का उपयोग करते हैं।

वायु एवं द्रव में गतिशील वस्तुओं पर घर्षणः

वायु एवं द्रव में गतिशील वस्तुओं पर भी घर्षण बल कार्य करता है, यह घर्षण बल ठोस सतहों की तुलना में कम होता है। उल्काएं जब अंतरिक्ष से पृथ्वी के वायुमण्डल में प्रवेश करती हैं, तो इनके अधिक वेग होने से वायु के घर्षण के कारण, अत्यधिक ऊष्मा उत्पन्न होती है और वे चमकने लगती हैं। अधिकतर पृथ्वी की सतह तक पहुंचने से पहले ही वाष्पित हो जाती हैं।

तेज गति से चलने वाले वाहनों, मोटर गाड़ियों, वायुयानों और अंतरिक्षयानों में वायु का घर्षण कम करने के लिए इन्हे विशेष डिजाइन का बनाया जाता है। जिससे हवा का घर्षण बल कम हो सके।

घर्षण का नियंत्रण– घर्षण सदैव दो सतहों के बीच गति का विरोध करता है। घर्षण के कारण मशीनों के गतिमान पूर्जे, घिसते रहते हैं और गरम हो जाते हैं, जिससे इन पुर्जों की क्षति होती है। हमें वस्तु को समान वेग से चलाये रखने के लिये, घर्षण के निराकरण हेतु आवश्यक बल लगाना पड़ता है।

घर्षण को निम्न विधियों द्वारा हम कुछ सीमा तक नियंत्रित कर सकते हैं–

(i) चिकनी सतहों में घर्षण कम होता है, अतः मशीनों के गतिमान भागों को बहुत चिकने बनाकर घर्षण को कम किया जा सकता है।

(ii) वायु के कारण घर्षण कम करने के लिये, मोटर वाहन, रेलगाड़ियों के इंजन एवं वायुयान विशेष डिजाइन के बनाए जाते हैं।

(iii) लोटनी घर्षण, सर्पी घर्षण से सदैव बहुत कम होता है। अतः मशीनों में घर्षण कम करने के लिए प्रायः गतिशील पुर्जों के मध्य स्टील की गोल गेंदे लगा दी जाती है, इनको बॉल–बियरिंग कहते है। साईकिल के पहियों में भी बॉल बियरिंग लगे होते हैं। बॉल बियरिंग से घर्षण कम हो जाता है जिससे ऊर्जा एवं श्रम की बचत होती है।

स्नेहक (Lubricant): घर्षण बल कम करने के लिये कुछ विशेष प्रकार के पदार्थ भी काम में लाए जाते हैं, इन पदार्थों को स्नेहक कहते हैं। स्नेहक ठोस, द्रव या गैसीय अवस्थाओं में हो सकते है। हल्की मशीनों यथा साईकिल, घड़ियों में स्नेहक के रूप में पतले तेल का उपयोग करते हैं जबकि भारी मशीनों में गाढ़ा तेल या ग्रीस का उपयोग किया जाता है। जब स्नेहक को दो गतिमान सतहों के बीच में डाला जाता है तो स्नेहक के कण उन सतहों के असमान भागों के बीच चले जाते हैं और दोनों के बीच एक पतली परत बना लेते है। गति अब इन परतों के बीच होती है अतः घर्षण कम हो जाता है। स्नेहक के रूप में संपीडित वायु का भी उपयोग करते हैं। मशीनों के गतिशील भागों के मध्य, उच्च दाब पर वायु प्रवाहित की जाती है, जो घर्षण बल को कम करने के साथ–साथ मशीनों के धूल कणों को जमने से रोकती है। इसी प्रकार कैरम बोर्ड पर छिड़का पाउडर भी स्नेहक का काम करता है। केरम बोर्ड खेलते समय उस पर पाउडर डाला जाता है।

घर्षण की आवश्यकताः यद्यपि घर्षण बल मशीनों में ऊर्जा का क्षय कर मशीनों की दक्षता कम करता है। परन्तु कई

स्थितियों घर्षण को बढ़ाने की आवश्यकता होती है। घर्षण बढ़ाने के लिए माचिस की डिब्बी व तीलियों को खुरदरा बनाया जाता है, जिससे तीलियां रगड़ से आसानी से जल सकें। चलते समय जब हम पांव उठा कर आगे रखते हैं तो दूसरे पांव घर्षण के बल के कारण ही प्रतिक्रिया बल पीछे खिसकने से रोकता है। इसी प्रकार किसी वाहन आदि का पहिया जब आगे बढ़ता है तो पहिया पीछे की ओर बल लगाता है। घर्षण बल के कारण जो प्रतिक्रिया बल उत्पन्न होता है वह उस पहिये को पीछे फिसलने से रोकता है, जिससे पहिया लुढ़क कर आगे बढ़ता है। यदि घर्षण बल कम हो, जैसा कभी–कभी रेत या कीचड़ में होता है, तो बल लगाने पर पहिया उसी स्थान पर घूमता रहेगा। बालू मिट्टी एवं कीचड़ में प्रायः यह घटना हमको देखने को मिलती है। वाहनों के टायर घर्षण बढ़ाने के लिये खुरदरे बनाये जाते हैं, जिससे उनकी सड़को पर पकड़ बढ़ जाती है जो उन्हे फिसलने से रोकता है। घर्षण बल के कारण ही ब्रेक लगाकर वाहन को रोका जाता है।

अब आप समझ गए होंगे कि जब हमारा पैर केले के छीलके पर पड़ जाता है तो हमारा संतुलन बिगड़ जाता है। जिससे गिरने की संभावना बढ़ जाती है। चिकने फर्श पर चलने में हमें कठिनाई होती है इसका कारण भी घर्षण है।

घर्षण के लाभ एवं हानियाँ (Advantages and disadvantages of Friction)

घर्षण के लाभ (Advantages of Friction)

1. घर्षण हमें चलने में सहायता करता है। बिना घर्षण के फर्श पर हम फिसल कर गिर जाऐंगे।
2. सड़क पर पहिये के वाहनों को चलने एवं घूमने में घर्षण बल सहायक होता है। बिना घर्षण वाहनों का चलना या मुड़ना संभव नहीं होता।
3. घर्षण के द्वारा ही ब्रेक द्वारा वाहन को रोकना संभव होता है।
4. घर्षण के कारण ही पट्टे या चैन द्वारा मोटर से मशीन को घूर्णन ऊर्जा का स्थानान्तरण संभव होता है।
5. किसी दीवार या लकड़ी आदि में कील या पेच घर्षण के कारण ही ठहरे रहते हैं।
6. बिना घर्षण के हम पैन या पेंसिल को हाथ में पकड़ और उससे लिख नहीं सकते।
7. बिना घर्षण के रस्सी में गाँठ लगाना या कपड़ा बुनना संभव नहीं होगा।

घर्षण की हानियाँ (Disadvantages of Friction)

1. घर्षण के कारण ऊर्जा की हानि होती है। इस कारण मशीन की दक्षता घट जाती है।
2. वाहनों के लगभग 20% ईंधन घर्षण बल के कारण अधिक व्यय होता है।
3. घर्षण के कारण मशीनी कल–पुर्जों में घिसावट या टूट–फूट होती है।
4. घर्षण बल के कारण मशीन में उच्च मात्रा में ऊष्मा उत्पन्न हो जाती है जो मशीन की कार्य क्षमता में बाधा उत्पन्न करती है और उसे क्षति पहुँचाती है।

9.17 प्रणोद एवं दाब (Thrust and Pressure)

प्रणोद (Thrust): किसी वस्तु के ऊपर उसकी सतह के लम्बवत लगा हुआ बल प्रणोद (Thrust) कहलाता है। प्रणोद का S.I. मात्रक न्यूटन है।

दाब (Pressure): वस्तु के प्रति एकांक क्षेत्रफल पर लगने वाला बल दाब कहलाता है। यह एक अदिश राशि है।

$$\text{दाब} = \frac{\text{बल}}{\text{क्षेत्रफल}}$$

दाब मापने का S.I. मात्रक न्यूटन प्रति वर्गमीटर N / m^2 है जो पास्कल (Pa) भी कहलाता है।

1 पास्कल = 1 न्यूटन प्रति वर्गमीटर

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N} / m^2$$

दाब निम्न दो कारकों पर निर्भर करता है–

1. लगाया गया बल
2. सतह का क्षेत्रफल

अगर दो सतहों का क्षेत्रफल समान हो, तब अधिक बल लगाने पर अधिक दाब उत्पन्न होगा। यदि समान बल लगाया जाता है, तब अधिक क्षेत्रफल वाली सतह पर कम दाब उत्पन्न होगा।

9.18 उत्प्लावकता (Buoyancy)

लोहे तथा स्टील से बना जलयान समुद्र के पानी में नहीं डूबता लेकिन उतने ही भार का लोहा अथवा स्टील चादर के रूप में हो तो वह डूब जायेगी। इसी प्रकार पानी के पृष्ठ पर रखने पर लोहे की कील डूब जाती है तथा कॉर्क तैरता है। इसे जानने के लिए उत्प्लावता का अर्थ समझना होगा।

''किसी द्रव का वह गुण जिसके कारण वह द्रव में छोड़ी गई किसी वस्तु पर ऊपर की ओर एक बल लगाता है उत्प्लावकता कहलाता है।''

द्रव में वस्तु पर निम्न दो बल कार्यरत होते है–

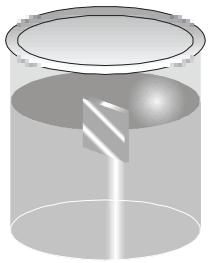
प्रथम– वस्तु पर पृथ्वी का गुरूत्वाकर्षण बल (वस्तु का भार) नीचे की ओर तथा

द्वितीय–वस्तु पर पानी का उत्प्लावन बल ऊपर की ओर।

किसी वस्तु का पानी में डूबना या तैरना उपर्युक्त दोनों बलों के आपेक्षिक मानों पर निर्भर करता है।

1. यदि वस्तु का भार, उत्प्लावन बल से अधिक है तो वस्तु पानी में डूब जायेगी।

2. यदि वस्तु का भार, उत्प्लावन बल से कम है तो वस्तु पानी में आंशिक रूप से डूबकर तैरेगी।
3. यदि वस्तु का भार, उत्प्लावन बल के बराबर है तो वस्तु पानी में पूरी डूबकर तैरती रहेगी।



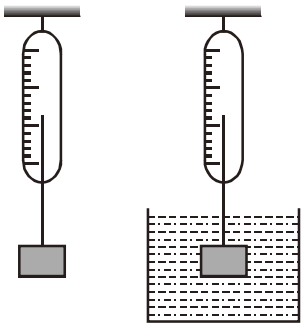
चित्र 9.18 : पानी की सतह पर रखने पर लोहे की कील डूब जाती है तथा कॉर्क तैरता है।

किसी वस्तु के जल में तैरने या डूबने का ज्ञान उस वस्तु के घनत्व से प्राप्त किया जा सकता है। यदि वस्तु का घनत्व जल के घनत्व से कम है तो वह वस्तु जल में तैरेगी। इसके विपरीत यदि वस्तु का घनत्व, जल के घनत्व के अधिक है तो वह वस्तु जल में डूब जाएगी।

9.19 आर्किमीडीज का सिद्धान्त (Archimide's Principle)

एक पत्थर के टुकड़े को किसी कमानीदार तुला से लटकाकार उसका भार नोट कर लेते है। तत्पश्चात इसी पत्थर को पानी से भरे एक बर्तन में डूबोकर तुला की माप में हुए परिवर्तन को नोट करते हैं।

आप देखेंगे कि पानी में डुबोने पर तुला के पाठ्यांक में कमी आती है। यह कमी पत्थर द्वारा हटाए गए पानी के भार के बराबर होगी।



चित्र 9.19: (1) हवा में लटके पत्थर के टुकड़े का भार (2) पत्थर को पानी में डुबोने पर भार

''जब किसी वस्तु को किसी तरल में पूर्ण या आंशिक रूप में डुबोया जाता है तो वह ऊपर की दिशा में एक बल का अनुभव करती है जो वस्तु द्वारा हटाए गए तरल के भार के बराबर होता है। यह बल उत्पलावन बल कहलाता हैं।'' इसे आर्किमीडीज का सिद्धान्त कहते है।

उपयोग –

1. यह पदार्थों का आपेक्षिक घनत्व ज्ञात करने में उपयोगी है।
2. यह जलयानों और पनडुबियों के डिजाइन बनाने में प्रयोग किया जाता है।
3. दुग्धमापी तथा हाइड्रोमीटर आर्किमीडीज के सिद्धान्त पर आधारित है। (दुग्धमापी दूध की शुद्धता मापने के लिए तथा हाइड्रोमीटर द्रवों का घनत्व ज्ञात करने में प्रयुक्त होता है।)
4. पानी में बर्फ का तैरना भी इससे समझा जा सकता है।

9.20 घनत्व (Density)

किसी पदार्थ के एकांक आयतन का द्रव्यमान घनत्व कहलाता है। अगर पदार्थ का द्रव्यमान m व आयतन V है तो

$$\text{घनत्व} = \frac{\text{द्रव्यमान}}{\text{आयतन}}$$

$$d = \frac{m}{V} \qquad \ldots (9.15)$$

घनत्व का S.I. मात्रक kg / m^3 या $kg\ m^{-3}$

9.21 आपेक्षिक घनत्व (Relative Density)

प्रायः किसी पदार्थ के घनत्व को पानी के घनत्व की तुलना में व्यक्त किया जाता है। किसी पदार्थ को आपेक्षिक घनत्व उस पदार्थ के घनत्व व पानी के घनत्व का अनुपात है।

$$\text{अर्थात् आपेक्षिक घनत्व} = \frac{\text{किसी पदार्थ का घनत्व}}{\text{पानी का घनत्व}}$$

आपेक्षिक घनत्व समान राशियों का एक अनुपात है। अतः इसका कोई मात्रक नहीं होता।

महत्वपूर्ण बिन्दु

1. ऐसी भौतिक राशियां जिनका केवल परिमाण होता है और जिनमें दिशा का बोध नहीं होता है को अदिश राशियां कहते हैं।
2. ऐसी भौतिक राशियां जिनको व्यक्त करने के लिए परिमाण के साथ–साथ दिशा की भी आवश्यकता होती है को सदिश राशियां कहते हैं।
3. किसी भी सदिश $\vec{A}$ में उसके परिमाण $|\vec{A}|$ का भाग देने से जो सदिश प्राप्त होता है उसे एकांक सदिश कहते हैं।

$$\hat{A} = \frac{\vec{A}}{|\vec{A}|}$$

4. निर्देश बिन्दु से वस्तु की स्थिति में निरन्तर परिवर्तन को वस्तु की गति कहते हैं।
5. यदि कोई वस्तु निश्चित समय अन्तराल में समान दूरियां तय करती है तो वस्तु की गति को एकसमान गति कहते हैं।
6. यदि कोई वस्तु निश्चित समय अन्तराल में अलग–अलग दूरियां तय करती है तो वस्तु की गति को असमान गति कहते हैं।
7. एकांक समय में वस्तु द्वारा तय की गई दूरी को चाल कहते हैं। चाल एक अदिश राशि है। जबकि वस्तु द्वारा किसी निश्चित दिशा में एकांक समय में तय की गई दूरी को वेग कहते हैं। वेग एक सदिश राशि है। इन दोनों का मात्रक m/s है।
8. वस्तु में वेग के परिवर्तन की दर को त्वरण कहते हैं। त्वरण का मात्रक m/s^2 है।
9. वस्तु की एकसमान त्वरित गति को तीन समीकरणों द्वारा दर्शाया जाता है।

(i) $v = u + at$

(ii) $v = ut + \frac{1}{2}at^2$

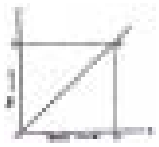
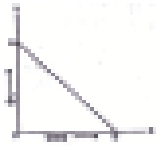
(iii) $v^2 = u^2 + 2as$

10. बल वह भौतिक राशि है, जो वस्तु की गत्यावस्था या विराम अवस्था में परिवर्तन लाती है।
11. असंतुलित बल वस्तु में गति उत्पन्न करता है।
12. वस्तु अपनी विराम अवस्था सरल रेखा के अनुरूप एक समान गति की अवस्था में तब तक बनी रहती है, जब तक कि उस पर कोई असंतुलित बल कार्य न करे। वस्तु द्वारा अपनी विराम अथवा गति की अवस्था में परिवर्तन का प्रतिरोध करने की प्रवृति को जड़त्व कहते हैं। यह न्यूटन की गति का प्रथम नियम है।
13. न्यूटन की गति का दूसरा नियम– संवेग परिवर्तन की दर वस्तु पर लगने वाले बल के समानुपातिक होती है। संवेग में परिवर्तन, सदैव बल की दिशा में होता है।
14. न्यूटन की गति का तीसरा नियम– प्रत्येक क्रिया के लिए उसके बराबर व विपरीत प्रतिक्रिया होती है, और यह दो भिन्न–भिन्न वस्तुओं पर कार्य करती है।
15. घर्षण बल सदैव वस्तु की गति का प्रतिरोध करता है। घर्षण उन दो सतहों के चिकने या खुरदरे होने पर निर्भर करता है जो परस्पर सम्पर्क में है। घर्षण बल को कुछ सीमा तक नियंत्रित किया जा सकता है।
16. किसी वस्तु अथवा सतह के एकांक क्षेत्रफल पर लगने वाला बल दाब कहलाता है। दाब की इकाई N/m^2 अथवा पास्कल (Pa) है।
17. किसी द्रव में जब किसी ठोस को डूबोया जाता है तो वस्तु द्वारा हटाए गए द्रव के भार के समान वस्तु पर ऊपर की ओर एक बल लगता है जिसे उत्पलावन बल कहते हैं।
18. यदि किसी ठोस का घनत्व द्रव के घनत्व से अधिक होता है तो वह वस्तु द्रव में डूब जाती है। यदि वस्तु का घनत्व द्रव के घनत्व से कम होता है तो वस्तु द्रव में तैरती है।

अभ्यासार्थ प्रश्न

वस्तुनिष्ठ प्रश्न

1. निम्न में से सदिश राशि है–
   (अ) कार्य (ब) समय
   (स) द्रव्यमान (द) गुरूत्वीय बल
2. 4 N एवं 3 N के दो बल एक ही वस्तु पर विपरीत दिशा में कार्यरत है, कण पर बल का परिमाण होगा–
   (अ) 5 N (ब) 7 N
   (स) 1 N (द) 1 N एवं 7 N के बीच
3. वेग में परिवर्तन की दर है–
   (अ) बल (ब) संवेग
   (स) त्वरण (द) विस्थापन
4. संवेग का मात्रक है–
   (अ) न्यूटन मीटर
   (ब) न्यूटन किग्रा / मीटर
   (स) न्यूटन मीटर/सेकण्ड
   (द) किग्रा मीटर/सेकण्ड
5. एकसमान वेग से गतिमान वस्तु का वेग समय आरेख है

(अ)  (ब) 

(स) (द)

6. वस्तु का संवेग निर्भर करता है
   (अ) वस्तु के द्रव्यमान पर
   (ब) वस्तु के विस्थापन पर
   (स) विस्थापन में लगे समय पर
   (द) उपरोक्त सभी पर
7. बल (F) द्रव्यमान (m) तथा त्वरण (a) सम्बन्धित समीकरण हैं–
   (अ) $F = ma$ (ब) $m = aF$
   (स) $a = mF$ (द) $ma = \frac{1}{F}$
8. बल का मात्रक है
   (अ) किग्रा–मीटर–सेकण्ड
   (ब) किग्रा–मीटर–सेकण्ड^2
   (स) किग्रा–मीटर/सेकण्ड^2
   (द) किग्रा–मीटर/सेकण्ड
7. संवेग का मात्रक है–
   (अ) मीटर/सेकण्ड
   (ब) किग्रा–मीटर/सेकण्ड^2
   (स) किग्रा–भार
   (द) किग्रा–मीटर/सेकण्ड
8. यदि कोई पिण्ड नियत संवेग से सीधी रेखा में गतिमान है। यदि उस पर कोई बाह्य बल न लगे तो–
   (अ) इसके वेग में वृद्धि होगी
   (ब) वेग नियत रहेगा
   (स) थोड़ी देर पश्चात् पिण्ड रुक जाएगा
   (द) चाल में वृद्धि होगी
9. किसी वस्तु का जड़त्व निर्भर करता है–
   (अ) वस्तु के गुरुत्व केन्द्र पर
   (ब) वस्तु के द्रव्यमान पर
   (स) गुरुत्वीय त्वरण पर
   (द) वस्तु के आकार पर
10. 5 किग्रा का एक पिण्ड $10\ \mathrm{m/s}$ त्वरण से सरल रेखा में गतिमान है। पिण्ड पर कार्यरत परिणामी बल होगा–
    (अ) $50\ \mathrm{N}$ (ब) $0.5\ \mathrm{N}$
    (स) 0 (द) $2\ \mathrm{N}$
11. किसी वस्तु पर बल आरोपित होने पर–
    (अ) उसकी गति बदल सकती है
    (ब) उसकी गति की दिशा बदल सकती है
    (स) उसका आकार बदल सकता है
    (द) उपरोक्त सभी
12. 1 किग्रा. द्रव्यमान की वस्तु का भार होगा–
    (अ) 1 न्यूटन (ब) 9.08 न्यूटन
    (स) 9.8 न्यूटन (द) 8.9 न्यूटन
13. यदि वस्तु का द्रव्यमान m, वेग v, व त्वरण a है तो संवेग p होगा–
    (अ) $p = m \times a$ (ब) $p = m \times v$
    (स) $p = m/v$ (द) $p = v/m$
14. कोई वस्तु अपनी स्थिर या गति की अवस्था में परिवर्तन नहीं कर सकती–
    (अ) अपने द्रव्यमान के कारण
    (ब) अपने भार के कारण
    (स) अपने त्वरण के कारण
    (द) अपने जड़त्व के कारण
15. यदि किसी सतह की दी गई सतह पर बल दूगना कर देते है तो दाब–
    (अ) आधा हो जाएगा
    (ब) अपरिवर्तित रहेगा
    (स) दुगना हो जाएगा
    (द) चार गुणा हो जाएगा

अतिलघूत्तरात्मक प्रश्न

1. $40\ \mathrm{m/s}$ के समान वेग से गतिशील वस्तु का $10\ \mathrm{s}$ के बाद कितना त्वरण होगा?
2. m द्रव्यमान एवं u वेग से गतिशील वस्तु दीवार से टकराने के पश्चात् पुनः u वेग से लौट जाती है वस्तु के संवेग में कितना परिवर्तन होगा?

3. एक रेलगाड़ी 120 km / h के वेग से चल रही है। यह 30 मिनट में कितनी दूरी तय करेगी?
4. किसी गतिमान वस्तु के वेग समय ग्राफ तथा समय अक्ष के बीच स्थित क्षेत्रफल किसके बराबर होता है?
5. रॉकेट का सिद्धांत न्यूटन के कौन से नियम पर आधारित है?
6. एक गतिशील साईकिल पर घर्षण बल किस दिशा में होता है?
7. एक क्रिकेट का खिलाड़ी गेंद को पकड़ने के लिये अपना हाथ नीचे (पीछे) की ओर क्यों करता है?
8. एक खिलाड़ी ऊंची कूद/लम्बी कूद में कूदने से पहले कुछ दूर क्यों भागता है?
9. चलती बस के अचानक रूकने पर उसमें खड़ा यात्री आगे की ओर क्यों गिरता है?
10. एक वस्तु नियत वेग से गतिशील है, तो उस पर परिणामी बल कितना होगा?
11. एक व्यक्ति बर्फ से जमे हुये तालाब के बीच में बर्फ पर खड़ा है उसे किनारे पर पहुंचने के लिये क्या प्रयास करने चाहिए?
12. एक न्यूटन बल क्या है?
13. जड़त्व क्या है?
14. ब्रेक लगाने से चलती हुई गाड़ी रुक जाती है। इस प्रक्रिया में गाड़ी के संवेग का क्या होता है?
15. बन्दूक से गोली छोड़ने से पहले बन्दूक तथा गोली का संवेग कितना होता है?
16. प्रणोद क्या है?
17. आपेक्षिक घनत्व की इकाई क्या है?

लघूत्तरात्मक प्रश्न

1. निम्न की परिभाषा दीजिये –
   (i) विस्थापन (ii) वेग (iii) त्वरण
2. एक समान गति से क्या तात्पर्य है? एक उदाहरण बताइये?
3. यदि क्रिया सदैव प्रतिक्रिया के बराबर होती है तो स्पष्ट कीजिये कि घोड़े द्वारा खींची गई घोड़ा गाड़ी आगे की ओर कैसे चलती है?
4. फल से लदे पेड़ की शाखाओं को जोर–जोर से हिलाने पर फल नीचे गिरते हैं। कारण बताओ?
5. पानी से भरे टैंकरों को भरते समय उनके ऊपर कुछ खाली स्थान छोड़ दिया जाता है। कारण स्पष्ट कीजिये।
6. यदि कोई व्यक्ति नाव से किनारे पर कूदता है तो नाव विपरीत दिशा में चली जाती है। क्यों? स्पष्ट कीजिये?
7. ''किसी वस्तु पर सदा दो बल जोड़े से लगते हैं, उस पर एक बल संभव नहीं होता है'' इस कथन पर टिप्पणी कीजिये?
8. गतिक घर्षण एवं लुढ़कने वाले घर्षण में अंतर बताईये?
9. संवेग संरक्षण का नियम क्या है? उदाहरण देकर समझाइये?
10. घर्षण को कम करने के उपाय बताइये।
11. एक कार एवं एक ट्रक के रेखीय संवेग बराबर है। दोनों में से किसकी चाल अधिक होगी?
12. घर्षण के लाभ एवं हानियों को समझाइये?
13. क्या होता है जब किसी गीले कपड़े को झटकते हैं अपने प्रेक्षण को स्पष्ट कीजिए।
14. कुएँ से जल खींचते समय एकाएक रस्सी टूट जाने पर पानी खींचने वाला व्यक्ति पीछे की ओर क्यों गिर पड़ता है?
15. चलती हुई गाड़ी में अचानक उतरने पर यात्री आगे की ओर गिर पड़ता है, क्यों? स्पष्ट कीजिए।
16. लोहे का जहाज पानी में तैरता है लेकिन उसी लोहे की चद्दर पानी में डूब जाती है। क्यों?
17. घनत्व व आपेक्षिक घनत्व में अन्तर लिखिए।
18. आर्किमीडीज का सिद्धान्त लिखिए।

निबंधात्मक प्रश्न

1. अदिश एवं सदिश राशियों को समझाइये। किसी सदिश राशि को लिखने का तरीका बताइये। एकांक सदिश की परिभाषा दीजिए।
2. एकसमान एवं असमान गति को समझाइये। वेग समय ग्राफ की सहायता से गति के समीकरण ज्ञात कीजिये।
3. संतुलित व असंतुलित समीकरण को परिभाषित कीजिये। आवश्यक चित्र बनाकर समझाइये कि असंतुलित बल ही वस्तु में गति उत्पन्न कर सकता है।
4. न्यूटन के गति के नियमों को दैनिक जीवन के उदाहरण देते हुये समझाइये। द्वितीय नियम के आधार पर बल, द्रव्यमान एवं त्वरण में सम्बन्ध स्थापित कीजिये।
5. जड़त्व से क्या अभिप्रायः है? दो उदाहरण देकर समझाइये?
6. संवेग को परिभाषित कीजिए। दो गतिशील वस्तुओं की सीधी टक्कर में संवेग संरक्षित रहता है। चित्र बनाकर समझाइये।

आंकिक प्रश्न

1. एक जहाज जिसका द्रव्यमान $3\times 10^7\,\text{kg}$ है, विरामावस्था में है, 5×10^4 N बल से 3 m की दूरी तक खींचा जाता है, यदि जल का घर्षण नगण्य हो, तो जहाज की चाल ज्ञात करिये?
2. एक बस की चाल $25\,\text{km/h}$ से बढ़कर 5 s में $70\,\text{km/h}$ हो जाती है। बस का माध्य त्वरण ज्ञात कीजिये।
3. एक साईकिल चला रहे छात्र का साइकिल सहित संवेग $400\,\text{kg m/s}$ है। साईकिल $5\,\text{m/s}$ के वेग से गतिमान है। छात्र एवं साईकिल का द्रव्यमान ज्ञात कीजिये।
4. एक बालक किसी गेंद को ऊपर की ओर फेंक कर 8 s के पश्चात पुनः लपक लेता है, तो बतलाइये?

   (क) किस वेग से गेंद को ऊपर फेंका गया था?

   (ख) कितनी ऊंचाई पर गेंद का वेग शून्य होगा?

   $\left(g = 9.8\,\text{m/s}^2\right)$

उत्तरमाला

1. द	2. स	3. स	4. द	5. स	6. द	7. अ
8. ब	9. ब	10. अ	11. द	12. स	13. ब	14. द
15. स						

उत्तर – आंकिक प्रश्न

1. $0.1\,\text{m/s}$
2. $2.5\,\text{m/s}^2$
3. $80\,\text{kg}$
4. $39.2\,\text{m/s}$, $78.4\,\text{m}$