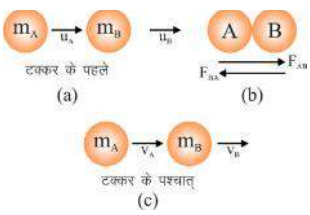
अध्याय–5

बल एवं गति के नियम

(Force and Laws of Motion)



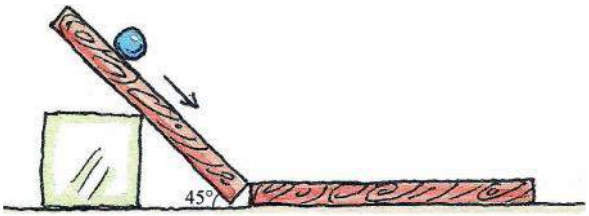
दैनिक जीवन में हम अपने आसपास की वस्तुओं को देखें तो कुछ वस्तुएँ स्थिर अवस्था में लगती हैं और कुछ गतिशील। किसी स्थिर वस्तु को गति में कैसे लाते हैं? साइकिल चलाने के लिए पैडल चलाना पड़ता है, पैडल चलाना बन्द कर देने पर उसकी गति धीमी हो जाती है। साइकिल को गति में रखने के लिए आपको फिर से पैडल चलाना पड़ता है। इसी प्रकार गेंद को गति देने के लिए हम उसे धकेल सकते हैं। गेंद को धकेलने पर क्या वो हमेशा के लिए गतिशील हो जाती है या थोड़ी देर में रुक जाती है? गेंद के रुकने का क्या कारण है?

गेंद को गति देने के लिए हमें उसे धकेलना पड़ता है और फिर वह धीरे–धीरे रुक जाती है। गतिशील गेंद कैसे रूकती है? क्या वह अपने–आप ही रूक जाती है अथवा कोई कारक है जो उसे रोक रहा है? पूर्व में हमने पढ़ा कि किसी वस्तु की स्थिर अवस्था अथवा गति अवस्था में परिवर्तन लाने के लिए बाह्य कारक की आवश्यकता होती है जिसे हम बल कहते हैं।

क्रियाकलाप–1

इस क्रियाकलाप में हमें चिकनी लकड़ी का एक गोलाकार गुटका (या बॉल), लकड़ी के दो पट्टे (1 मी. और 30 सेमी. लम्बाई), प्लास्टिक ट्रे, रेत, तेल की जरूरत है।

- छोटे लकड़ी के पट्टे को 45° कोण पर झुका कर एक नतसमतल बनाएँ (चित्र–1)।
- लंबे पट्टे को नतसमतल के निचले भाग से सटा कर रखें।
- गुटके को नतसमतल के ऊपरी भाग पर रखकर सरकाएँ।
- गुटके द्वारा लंबे पट्टे पर तय की गई दूरी मापें।



(चित्र–1)

- अब लंबे पट्टे को हटाकर उसके स्थान पर रेत से भरी ट्रे रखें।
- पुनः गुटके को नतसमतल के ऊपरी भाग से सरकाएँ और रेत से भरी ट्रे पर गुटके द्वारा तय की गई दूरी मापें।
- उक्त क्रिया को एक चिकनी प्लास्टिक की ट्रे और फिर किसी ऐसी सतह जो तेल लगाने से और ज्यादा चिकनी हो जाए पर करें।
- प्रत्येक क्रिया में गुटके द्वारा इन समतलों पर तय की गई दूरी मापें।

इस क्रियाकलाप के आधार पर निम्न प्रश्नों के उत्तर देने का प्रयास करें–

1. क्या गुटके ने सभी सतहों पर समान दूरी तय की?
2. गुटके द्वारा तय की गई दूरियों को भिन्न–भिन्न सतहों के अनुसार क्रम में जमाएँ।
3. किस स्थिति में गुटके ने सबसे ज्यादा दूरी तय की और क्यों?

पूर्व कक्षाओं में हम ''घर्षण'' बल के बारे में पढ़ चुके हैं जो वस्तु की गति को रोकता है। घर्षण बल का मान सतहों की प्रकृति के अनुसार बदलता रहता है। जिन सतहों पर घर्षण बल कम होता है उन पर वस्तु अधिक दूरी तय करती है।

इसके आधार पर बताएँ कि उक्त क्रियाकलाप में किस सतह पर घर्षण बल का मान सबसे कम था?

जैसा कि हमने देखा, जिन सतहों पर घर्षण बल का मान सबसे कम होता है, उस पर वस्तु अधिक समय तक गति की अवस्था में रहती है।

सोचें, यदि सतह पर घर्षण बल का मान शून्य हो तो क्या वस्तु कभी रूकेगी?

गैलीलियो का कहना था कि किसी बाह्य अवरोधक बल की अनुपस्थिति में क्षैतिज तल पर गति करती हुई वस्तु नियत वेग से लगातार गति करती रहेगी और इसी तरह यदि कोई वस्तु विराम में है तो जब तक उस पर कोई बाह्य बल कार्य नहीं करेगा तब तक वह उसी अवस्था में रहेगी। अतः हम कहते हैं कि वस्तु अपनी स्थिति (गति या विराम) में तब तक बनी रहती है जब तक कि कोई बाह्य बल उसकी स्थिति में परिवर्तन उत्पन्न न करे। इसे जड़त्व कहते हैं। जड़त्व के कई उदाहरण हम अपने दैनिक जीवन में देख सकते हैं, जैसे चलते वाहन में एकाएक ब्रेक लगाने पर उस में बैठा व्यक्ति आगे की ओर झुक जाता है और वाहन में पड़ी वस्तुएँ आगे कि ओर सरकती हैं। आपने भी ऐसा महसूस किया होगा। ऐसी परिस्थितियों के कुछ और उदाहरण दें। क्या आप बता सकते हैं कि ऐसा क्यों होता है? आपस में चर्चा करें।

चलते वाहन में बैठा व्यक्ति वाहन के साथ गतिशील अवस्था में होता है। वाहन के रूकने पर उसके शरीर का निचला भाग जो सीट के साथ है, जल्दी स्थिर अवस्था में आ जाता है परंतु जड़त्व के कारण ऊपर का भाग गतिशील ही बना रहता है। अतः वाहन में बैठा व्यक्ति आगे की ओर झुक जाता है। आप यह भी बता सकते हैं वाहन के एकाएक चलने पर शरीर पीछे की ओर क्यों झुक जाता है? आपस में चर्चा करके उत्तर कॉपी में लिखें।

5.1 जड़त्व तथा द्रव्यमान (Inertia and mass)

अभी तक दिए गए सभी उदाहरणों से ज्ञात होता है कि प्रत्येक वस्तु अपनी अवस्था में परिवर्तन का विरोध करती है चाहे वह विरामावस्था में हो या गतिशील। वह इस स्थिति को नहीं बदलना चाहती और अपनी मूल अवस्था बनाए रखना चाहती है। वस्तुओं की यह प्रकृति ही जड़त्व है। इससे कई और सवाल उभरते हैं। जैसे यह सोचा जा सकता है कि क्या सभी वस्तुओं में जड़त्व होता है? यदि हाँ तो इसका मान किस पर निर्भर है और यह भी कि क्या सभी वस्तुओं का जड़त्व समान होता है? आइए, इसे जानने के लिए एक क्रियाकलाप करते हैं।

क्रियाकलाप–2

- प्लास्टिक की दो बोतल 'क' और 'ख' लें।
- बोतल 'ख' में पानी भरें।
- दोनों बोतल को हाथ से मार कर गिराएँ।
- किस बोतल को गिराना ज्यादा आसान था?

आप पाएंगे कि खाली बोतल को भरी बोतल के अपेक्षा हाथ से मारकर गिराना आसान है।

इसी तरह पुस्तकों से भरे बॉक्स को धक्का देने की अपेक्षा खाली बॉक्स को धक्का देना आसान होता है।

ऐसे कई और उदाहरण हम सोच सकते हैं जैसे साइकिल पर अकेला व्यक्ति हो तो साइकिल को ब्रेक लगाकर शीघ्रता से रोका जा सकता है। परंतु जब आपके साथ आपका मित्र भी साइकिल पर बैठा होता है तो साइकिल को ब्रेक लगाकर रोकना कठिन हो जाता है।

क्या आप इनका कारण समझा सकते हैं? आपस में चर्चा करें।

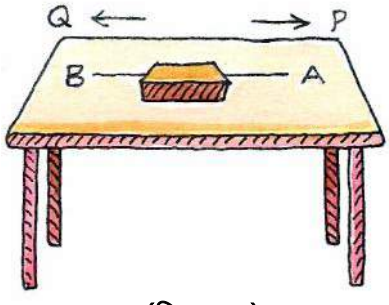
भरी हुई बोतल की अवस्था बदलने के लिए खाली बोतल की अपेक्षा ज्यादा बल की आवश्यकता होती है। इसी प्रकार जब एक व्यक्ति साइकिल चलाता है तो चलती साइकिल को रोकने में कम बल लगता है, जबकि दो व्यक्तियों के बैठे होने पर ब्रेक लगाने में ज्यादा बल लगता है। इसका अर्थ है भारी वस्तुओं में ज्यादा जड़त्व होता है। जड़त्व वह प्रकृति है जिसके कारण वस्तु लगातार अपनी विराम या गति की अवस्था में बने रहने का प्रयास करती है। द्रव्यमान वस्तु के अवस्था परिवर्तन में विरोध का मापक है अर्थात् द्रव्यमान वस्तु के जड़त्वीय प्रवृत्ति का माप है। द्रव्यमान जितना अधिक होगा वस्तु का जड़त्व भी उतना ही अधिक होगा। SI पद्धति में द्रव्यमान का मात्रक किलोग्राम (kg) होता है।

TZJJP2

5.2 संतुलित और असंतुलित बल (Balanced and unbalanced force)

क्रियाकलाप–3

एक लकड़ी का गुटका लें। इस गुटके के दो विपरीत फलकों पर हुक या कील लगाएँ। दोनों हुकों में समान लम्बाई के धागे A और B लगाएँ, जैसा चित्र–2 में दिखाया गया है। अब इस गुटके को मेज पर रखें। अब यदि केवल धागे A को (P बल से) खींचे तो गुटका दाहिनी ओर खिसकता है और केवल धागे B को (Q बल से) खींचे तो गुटका बायीं ओर खिसकता है। यदि धागे A व B पर समान बल लगाकर खींचें तो गुटका अपने स्थान से नहीं खिसकता है। यह समान बल आपस में एक दूसरे को संतुलित कर लेते हैं जिससे वस्तु की स्थिति में बदलाव नहीं ला पाते हैं। इस उदाहरण में दिए संतुलित बल को चित्र–3 द्वारा दर्शाया जा सकता है (जहाँ $P = Q$ है)।



(चित्र–2)

यदि दोनों बल बराबर नहीं तो गुटके पर लगा हुआ नेट बल होगा

$= P - Q$ जहाँ $P > Q$

चित्र–3

नेट बल किसी वस्तु पर लग रहे सभी बलों का परिणामी बल है। नेट बल को समझने के लिए हमें सबसे पहले वस्तु पर लग रहे सभी बलों एवं उनकी दिशाओं को जानना होगा। नेट बल प्राप्त करने के लिए उन बलों को जोड़ा जाता है जो एक दिशा में है और उन बलों को घटाया जाता है जो विपरीत दिशा में हैं। गुटके पर लगा हुआ नेट बल, P और Q का सदिश योग है। इसलिए, संतुलित बल की अवस्था में गुटके पर लगा हुआ

नेट बल = P – Q

यदि $(\because P = Q)$

अतः नेट बल = 0

यदि धागे A पर कम व धागे B पर ज्यादा बल लगाकर खींचा जाए तो गुटका बायीं ओर खिसक जाता है। दोनों बल संतुलित नहीं हैं अर्थात लगने वाला बल असंतुलित बल है। अतः वस्तु की गति अधिक परिमाण वाले बल की दिशा अर्थात् B की ओर है (चित्र क्रमांक–3 से)।

वस्तु पर कार्य करने वाला बल = P – Q

5.3 गति का प्रथम नियम (First law of motion)

न्यूटन ने बल व गति के संबंध को समझ कर गति के नियम प्रस्तुत किए। न्यूटन के अनुसार ''प्रत्येक वस्तु अपनी स्थिर अवस्था या समान गति की अवस्था में तब तक बनी रहती है जब तक कि उस पर कोई बाह्य असंतुलित बल कार्यरत न हो।'' इसे गति का प्रथम नियम कहते हैं।

जैसा कि हमने पढ़ा है, जड़त्व वस्तु की वह प्रवृत्ति है जिसके कारण वस्तु उसकी स्थिति में होने वाले परिवर्तन का विरोध करती है। अतः गति के प्रथम नियम को जड़त्व का नियम भी कहते हैं।

क्या आप गति के प्रथम नियम के अनुसार निम्न उदाहरणों को समझा सकते हैं?

- कंबल को छड़ी से पीटने पर धूल के कण झड़ जाते हैं।
- पेड़ को हिलाने पर उसमें लगे फल नीचे गिरते हैं।

आपस में चर्चा करके इसका कारण समझाएं। क्या आप ऐसे कुछ और उदाहरण सोच सकते हैं।

जब हम चलती हुई रेलगाड़ी में एक ही स्थान पर खड़े होकर उछलते हैं तब उसी जगह पर दोबारा आ जाते हैं, ऐसा क्यों होता है?

5.4 रैखिक संवेग (Linear momentum)

गति का प्रथम नियम हमें यह बताता है कि जब कोई असंतुलित बाह्य बल किसी वस्तु पर कार्य करता है तो उस वस्तु के वेग में परिवर्तन होता है। यह वेग में परिवर्तन वस्तु पर लगाए गए बल पर निर्भर होता है पर वेग के परिवर्तन को हम कैसे पता करें, हम आगे इस पर चर्चा करेंगे।

यदि एक तेज गति से फेंकी टेबल टेनिस की गेंद और एक क्रिकेट की गेंद आप से आकर टकराए तो आपको किसकी चोट अधिक लगेगी? एक समान वेग से गतिशील साइकिल या ट्रक दीवार से टकराए तो ट्रक के

टकराने से दीवार को अधिक हानि होगी। ऐसे कुछ और उदाहरण सोचें व उन पर चर्चा करें। इस पर और विचार करने के लिए क्रियाकलाप–4 करें।

क्रियाकलाप–4

- एक बड़ी प्लेट लें।
- उसे गीली मिट्टी या रेत से भर दें।
- क्रिकेट की गेंद और प्लास्टिक की गेंद को एक समान ऊँचाई से प्लेट पर गिराएँ। क्या होता है? क्या दोनों गेंदों का प्रभाव रेत पर समान होता है?
- यदि क्रिकेट की गेंद को भिन्न–भिन्न ऊँचाइयों से प्लेट पर गिराया जाए तो क्या प्रभाव होगा? कब गेंद अधिक धंसती है?

इस क्रियाकलाप से पता चलता है कि वस्तु के द्वारा उत्पन्न प्रभाव वस्तु के द्रव्यमान पर निर्भर है। अधिक द्रव्यमान वाली क्रिकेट की गेंद का प्रभाव अधिक है। दूसरी ओर से हम देखते हैं कि अधिक ऊँचाई से फेंकी गई गेंद अधिक वेग से रेत पर गिरेगी व रेत अधिक धंसेगी। मुख्यतः यह प्रभाव वस्तु के वेग व द्रव्यमान पर निर्भर है। इसमें से कोई भी राशि समान परिस्थिति में बढ़ाई जाए तो प्रभाव ज्यादा होगा।

किसी वस्तु के द्रव्यमान व वेग का गुणनफल संवेग कहलाता है। किसी वस्तु का संवेग p उसके द्रव्यमान m और वेग v के गुणनफल से परिभाषित होता है अर्थात् $p = mv$

संवेग एक सदिश राशि है जिसकी परिमाण व दिशा दोनों होती है। संवेग की दिशा वही होगी जो वेग की दिशा होती है। इसका SI मात्रक किग्रा मी/सेकण्ड (kg.m/s) है।

संवेग में परिवर्तन व बल (Force and the change in momentum)

एक ऐसी स्थिति के बारे में सोचें जिससे खराब बैटरी वाली कार को सीधी सड़क पर गति करने के लिए धक्का दिया जाता है। शुरूआत में कार चालू नहीं होती है लेकिन कुछ समय तक लगातार धक्का देने से कार की गति बढ़ती जाती है और गति तेज होने के बाद ही कार को चालू करने का प्रयास करते हैं। हम कह सकते हैं कि लगातार बल लगाने से कार का संवेग भी धीरे–धीरे बढ़ता जाता है। इससे स्पष्ट है कि कार के संवेग में परिवर्तन केवल बल के परिमाण से नहीं होता है बल्कि उस समय पर भी निर्भर करता है जितने समय तक उस पर बल लगता है। वस्तु के संवेग में परिवर्तन लाने में बल का मान और बल के कार्य करने का समय महत्वपूर्ण है।

5.5 गति का द्वितीय नियम (Second law of motion)

गति के द्वितीय नियम के अनुसार ''किसी वस्तु के संवेग परिवर्तन की दर लगाए गए असंतुलित बल के समानुपाती होती है।''

यदि F नेट असंतुलित बल हो जो वस्तु पर लग रहा है, p संवेग हो तो, गति के द्वितीय नियम के अनुसार–

$$F \alpha \frac{p_2 - p_1}{t_2 - t_1}$$

जहाँ t_1 समय पर वस्तु का प्रारम्भिक संवेग p_1 है तथा

t_2 समय पर वस्तु का संवेग p_2 है।

$F \alpha \frac{\Delta p}{\Delta t}$ जहाँ $\Delta p = p_2 - p_1$ (संवेग में परिवर्तन)

$\Delta t = t_2 - t_1$ (समय में परिवर्तन)

यहाँ समानुपात चिह्न को हटाने के लिए K, एक समानुपातिक स्थिरांक, लगाया जाता है।

$$F = K \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

$K = 1$ लेने पर $F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

$$F = \frac{m\Delta v}{\Delta t} \qquad [p = mv]$$

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

$$F = ma$$

यही गति के द्वितीय नियम का गणितीय रूप है।

यदि $m = 1$ किलोग्राम (1 kg)

$a = 1$ मीटर/सेकण्ड^2 ($1 m/s^2$)

तो, $F = 1$ किग्रा $\times$ 1मीटर/से^{2} ($kg.m/s^2$)

$F = 1$ न्यूटन (N)

1 न्यूटन बल वह बल है जिसे 1 किग्रा की वस्तु पर लगाने पर वह 1 मीटर/सेकण्ड^2 के त्वरण से गति करता है। न्यूटन, बल का SI मात्रक है। इसे N से दर्शाते हैं।

उदाहरण–1 : 3 किलोग्राम द्रव्यमान वाली वस्तु पर क्रियाशील नियत बल 25 सेकण्ड में उसके वेग को 2 मीटर/सेकण्ड से बढ़ाकर 3.5 मीटर/सेकण्ड कर देता है तो लगाया गया बल का परिमाण ज्ञात करें।

हल : वस्तु का द्रव्यमान $m = 3 kg$

वस्तु का प्रारंभिक वेग $u = 2 ms^{-1}$

वस्तु का अंतिम वेग $v = 3.5 ms^{-1}$

बल लगने का समय $t = 25 s$

ज्ञात करना है $F = ?$

हम जानते हैं कि $F = \frac{p_2 - p_1}{t} = \frac{mv - mu}{t}$

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

$$F = \frac{3(3.5-2)}{25}$$

$$F = \frac{3\times1.5}{25} = \frac{3\times15}{250} = \frac{45}{250}$$

$$F = 0.18N$$

लगाए गए बल का परिमाण 0.18 न्यूटन होगा।

उदाहरण–2 : 5 किलोग्राम की एक ट्रॉली पर बल लगाने से उसमें 10 ms^{-2} का त्वरण उत्पन्न होता है। आरोपित बल की गणना करें।

हल : ट्रॉली का द्रव्यमान $m = 5\,kg$

ट्रॉली में उत्पन्न त्वरण $a = 10\,ms^{-2}$

ट्रॉली पर लगा बल $F = ?$

$$F = ma$$

$$F = 5 \times 10$$

$$F = 50\ N$$

ट्रॉली पर लगा बल 50 न्यूटन है।

उदाहरण–3 : एक लंबी मेज पर सीधी रेखा में जा रही 30 ग्राम द्रव्यमान की गेंद के वेग का समय के साथ ग्राफ दिया गया है। गेंद को विरामावस्था में लाने के लिए कितना घर्षण बल लगाना होगा।

हल : गेंद का प्रारंभिक वेग $u = 15\,cm/s = 0.15\,ms^{-1}$

गेंद का अंतिम वेग $v = 0$

समय $t = 5\,s$

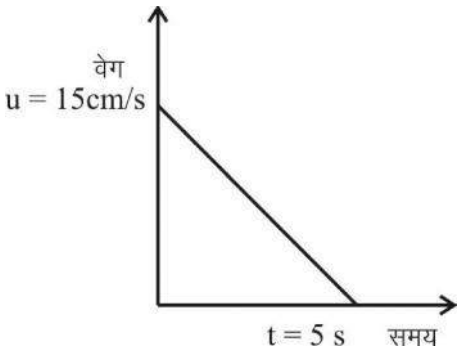
गेंद का द्रव्यमान $m = 30\,gm = 0.03\,kg$

गेंद पर लगा घर्षण बल $F = ?$

$$F = m\frac{(v-u)}{t} = \frac{0.03\,(0-0.15)}{5}$$

$$F = \frac{0.03\,(-0.15)}{5} = -0.0009N$$

$$F = -9 \times 10^{-4}\ N$$



चित्र–4

यहाँ ऋणात्मक चिन्ह यह बताता है कि गेंद की प्रारम्भिक गति के विपरीत दिशा में घर्षण बल लग रहा है।

उदाहरण–4 : 5 किग्रा की एक वस्तु पर 10 न्यूटन का बल 5 sec तक लगाया जाता है, इस बल से कितना त्वरण उत्पन्न होगा। वस्तु के वेग में परिवर्तन की भी गणना करें।

हल : हमे ज्ञात है कि वस्तु का द्रव्यमान $m = 5\,kg$

वस्तु पर लगा बल $F = 10\,N$

समय $t = 5\,s$

हमें ज्ञात करना है त्वरण $a = ?$

और वेग में परिवर्तन $v - u = ?$

चूंकि $F = m\,a$

अर्थात् $10 = 5 \times a$

$$a = 2\,m/s^2$$

$$\because a = \frac{v-u}{t}$$

$$2 = \frac{v-u}{5}$$

$$v - u = 2 \times 5\,m/s$$

वेग मे परिवर्तन = $v - u = 10\,m/s$

चर्चा करें

1. क्रिकेट खिलाड़ी तेजी से आती गेंद को कैच करते समय गेंद पकड़ने के साथ अपने हाथ पीछे क्यों ले जाता है?
2. कुछ ऊँचाई से पक्के फर्श की अपेक्षा कच्चे फर्श पर या भूसे के ढेर पर कूदने पर चोट कम लगती है, क्यों?
3. यदि नेट असंतुलित बल शून्य हो जाए तो क्या संवेग भी शून्य होगा? समझाएँ।

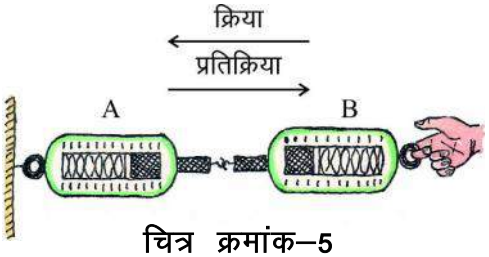
U1C7TZ

5.6 गति का तृतीय नियम (Third law of motion)

गति का तृतीय नियम समझने के लिए आइए एक क्रियाकलाप करें।

क्रियाकलाप–5

- एक स्प्रिंग बैलेंस A लें तथा उसका स्थिर सिरा दीवार पर कील से लटका दें।
- स्प्रिंग के मुक्त सिरे को खींचें और लगाए गए बल का मान नोट करिए।



चित्र क्रमांक–5

- एक और स्प्रिंग बैलेंस B को A से जोड़ें। जैसा कि चित्र–5 में दिखाया गया है।
- अब A और B को एक साथ खींचें और मान नोट करिए।
- आप देखते हैं कि दोनों स्प्रिंग तुलाएँ एक ही मान दर्शाती हैं। क्यों?

उपर्युक्त उदाहरण में स्प्रिंग बैलेंस B स्प्रिंग बैलेंस A पर बल लगाता है और दूसरा स्प्रिंग बैलेंस A, स्प्रिंग बैलेंस B पर समान बल विपरीत दिशा में लगाता है। दोनों समान बल दो अलग–अलग वस्तुओं पर कार्य करते हैं। जब एक वस्तु दूसरी वस्तु पर बल लगाती है तो दूसरी वस्तु भी पहली वस्तु पर विपरीत दिशा में समान बल लगाती है। वस्तुओं पर लग रहे इन बलों के जोड़ों को क्रिया–प्रतिक्रिया कहा जाता है।

गति के तीसरे नियम के अनुसार ''प्रत्येक क्रिया की सदैव बराबर एवं विपरीत दिशा में प्रतिक्रिया होती है।'' क्रिया और प्रतिक्रिया बल सदैव दो अलग–अलग वस्तुओं पर कार्य करते हैं। इसीलिए बल सदैव समान और विपरीत दिशा में होने पर भी नेट बल शून्य नहीं होता।

जब आप चलते हैं तो क्या होता है? चलना शुरू करने के लिए बल की आवश्यकता होती है जिससे त्वरण उत्पन्न होता है। त्वरण उत्पन्न करने के लिए जिस दिशा में हमें आगे बढ़ना होता है उसके विपरीत दिशा में हम सड़क पर अपने पैरों से बल लगाते हैं। सड़क भी हमारे पैरों पर उतना ही प्रतिक्रिया बल विपरीत दिशा में लगाती है जिससे हम आगे बढ़ते हैं।

ध्यान दें कि यद्यपि क्रिया और प्रतिक्रिया बल मान में हमेशा समान होते हैं फिर भी यह बल एक समान परिमाण के त्वरण उत्पन्न नहीं करते क्योंकि दोनों वस्तुओं का द्रव्यमान एक सा नहीं होता। हमारे धकेलने से पृथ्वी पीछे की ओर चलना शुरू नहीं करती किंतु हमें आगे की ओर जरूर त्वरण से गति मिल जाती है।

यदि A वस्तु B वस्तु पर F_1 बल लगाए और B वस्तु A वस्तु पर F_2 बल लगाएँ तो गति के तृतीय नियम के अनुसार $F_1 = -F_2$

यहाँ ऋणात्मक चिह्न यह दर्शाता है कि बल F_2 की दिशा F_1 के विपरीत है।

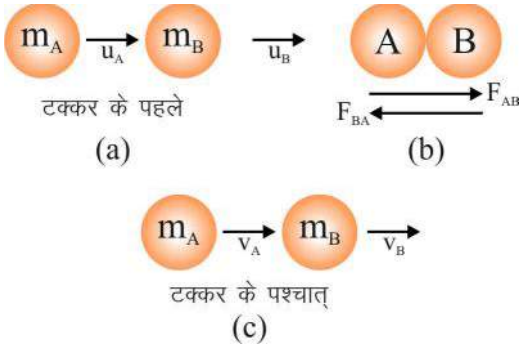
गति का प्रथम एवं द्वितीय नियम एक ही वस्तु पर लागू होता है जबकि तृतीय नियम दो परस्पर क्रिया कर रही वस्तुओं पर लागू होता है। क्रिया प्रतिक्रिया वे बल दर्शाती हैं जो एक ही समय पर दो अलग–अलग वस्तुओं पर कार्य करती हैं।

तृतीय नियम के कुछ और उदाहरण सोचें।

5.7 संवेग संरक्षण का नियम (The law of conservation of momentum)

माना कि आपके पास दो गेंद A और B हैं जिनका द्रव्यमान क्रमशः m_A और m_B है यह एक ही सरल रेखा में क्रमशः u_A और u_B वेग से गति कर रही हैं तथा उन पर कोई असंतुलित बल नहीं लग रहा है। t समय पश्चात् दोनों गेंद आपस में टकराती हैं जहाँ A, B गेंद पर F_{AB} बल तथा B, A गेंद पर F_{BA} बल लगाती है। इससे A और B के वेग क्रमशः V_A और V_B हो जाते हैं।

U1L3VM



गेंदों द्वारा परस्पर लगाया गया बल गति के तृतीय नियम के अनुसार समान एवं विपरीत दिशा में है अतः

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

इन बलों के कारण गेंद के वेग में परिवर्तन होता है जिससे गेंद का संवेग परिवर्तित हो जाता है।

अतः गति के द्वितीय नियम के अनुसार :

बल = संवेग में परिवर्तन की दर

$$F_{AB} = \frac{m_B(v_B - u_B)}{t}$$

$$F_{BA} = \frac{m_A(v_A - u_A)}{t}$$

गति के तृतीय नियम से

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

$$\frac{m_B(v_B - u_B)}{t} = \frac{-m_A(v_A - u_A)}{t}$$

$m_B(v_B - u_B) = -m_A(v_A - u_A)$

$m_B v_B - m_B u_B = -m_A v_A + m_A u_A$

$m_A v_A + m_B v_B = m_A u_A + m_B u_B$

टकराने के बाद संवेग = टकराने के पहले संवेग

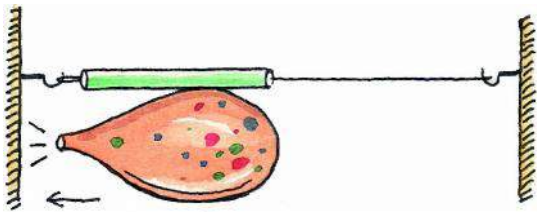
इस समीकरण से हमने पाया कि जब गेदों पर कोई बाह्य बल नहीं लगता है तो उनका कुल संवेग टकराने के बाद भी समान रहता है। दोनों गेंदों का कुल संवेग नहीं बदलता है जबकि गेंदों का अपना–अपना संवेग बदल जाता है। इसे ही संवेग संरक्षण का नियम कहते हैं।

इस नियम के अनुसार ''बाह्य असंतुलित बल की अनुपस्थिति में दो वस्तुओं का कुल संवेग संरक्षित रहता है।''

आइए, इस हेतु क्रियाकलाप देखें।

क्रियाकलाप–6

- एक बड़े आकार का गुब्बारा लें तथा इसमें पूरी तरह से हवा भरकर इसके मुख को धागे से बांध लें।
- इस गुब्बारे की सतह पर टेप की मदद से एक स्ट्रॉ लगाएँ।
- स्ट्रॉ के बीच से एक लंबा व महीन धागा आरपार निकालें।
- अब इस धागे के दोनों सिरों को दीवार पर लगाएँ। (चित्र क्रमांक–7)
- अब गुब्बारे के मुँह में लगे धागे को खोल दें।
- जैसे ही धागा खोलते हैं, गुब्बारे में भरी हवा बाहर आने लगती है।
- गुब्बारे व स्ट्रॉ की गति का अवलोकन करिए।



चित्र क्रमांक–7

आप समझ गए होंगे कि यहाँ गति का तृतीय नियम लागू हो रहा है। पर क्या आप बता सकते हैं कि वे वस्तुएँ कौन सी हैं जिन पर यह नियम लागू हो रहा है?

इस सिद्धान्त पर कार्य करने वाले उदाहरणों को ढूँढिए।

उदाहरण–5 : 40 किग्रा और 20 किग्रा द्रव्यमान की दो गोलाकार वस्तुएँ 10 m/s तथा 50 m/s के वेग से चल रही हैं। इनकी दिशा एक दूसरे की ओर है। कुछ समय पश्चात वे टकराकर आपस में चिपक जाती हैं। इस जुड़ी हुई वस्तु का वेग कितना होगा?

हल : दिया गया है कि

पहले गोलाकार वस्तु का द्रव्यमान $m_1 = 40\,kg$

दूसरे गोलाकार वस्तु का द्रव्यमान $m_2 = 20\,kg$

पहले गोलाकार वस्तु का वेग $u_1 = 10\,m/s$

दूसरे गोलाकार वस्तु का वेग $u_2 = 50\,m/s$

टकराने के बाद चिपके जोड़ का वेग $v = ?$

संवेग संरक्षण नियमानुसार $(m_1 + m_2)\,v = m_1u_1 + m_2u_2$

$$(40 + 20)\,v = 40 \times 10 + 20 \times (-50)$$

$$60v = 400 - 1000$$

[$\because$ वस्तुएँ एक दूसरे की ओर गतिमान हैं इसलिए $u_2 = -50\,m/s$]

$$v = -\frac{600}{60}$$

$$v = -10\,m/s$$

टकराने के बाद जुड़ी हुई वस्तु का वेग 10 ms^{-1} होगा और यह 20 kg. द्रव्यमान वाली वस्तु की दिशा में गतिशील होगी।

उदाहरण–6 : 2 किग्रा की एक बन्दूक से 20 gm की गोली 100 ms^{-1} के क्षैतिज वेग से छोड़ी जाती है। बंदूक के पीछे हटने का वेग ज्ञात करें।

हल : बंदूक का द्रव्यमान $m_1 = 2\,kg$

बंदूक का प्रारम्भिक वेग $u_1 = 0$

गोली का द्रव्यमान $m_2 = 20\ gm = 0.02\,kg$

गोली का प्रारम्भिक वेग $u_2 = 0$

बंदूक का अंतिम वेग $v_1 = ?$

गोली का अंतिम वेग $v_2 = 100\,m/s$

संवेग संरक्षण नियम से

$$m_1v_1 + m_2v_2 = m_1u_1 + m_2u_2$$

$$2 \times v_1 + 0.02 \times 100 = 20 \times 0 + 0.020 \times 0$$

$$2v_1 + 2 = 0 \quad \text{या} \quad 2v_1 = -2$$

$$v_1 = -1\,m/s$$

अतः बंदूक 1 m/s वेग से पीछे की ओर हटेगी।

चर्चा करें

1. यदि क्रिया सदैव प्रतिक्रिया के बराबर है तो स्पष्ट करें कि बैल गाड़ी को कैसे खींच पाता है?
2. रॉकेट की गति किस सिद्धांत पर आधारित है?
3. एक अग्निशमन कर्मचारी को तीव्र गति से ज्यादा मात्रा में पानी फेंकने वाली रबर की पाइप से तकलीफ क्यों होती है? स्पष्ट करें।

प्रश्न

1. 1 kg और 2 kg द्रव्यमान की दो वस्तुएँ एक ही रेखा के अनुदिश एक ही दिशा में क्रमशः 2 ms^{-1} और 1 ms^{-1} की वेग से गति कर रही हैं। दोनों वस्तुएँ टकराती हैं। टकराने के बाद प्रथम वस्तु का वेग 1.5 ms^{-1} हो जाता है तो दूसरी वस्तु का वेग ज्ञात करें।

हमने सीखा

- बल वह बाह्य कारक है जो किसी वस्तु की स्थिर अवस्था अथवा गतिज अवस्था में परिवर्तन करता है या परिवर्तन करने का प्रयास करता है।
- गति के प्रथम नियम के अनुसार ''वस्तु अपनी स्थिर अवस्था अथवा गतिज अवस्था में तब तक बनी रहती है जब तक कि उस पर कोई बाह्य असंतुलित बल कार्य न करे।''
- किसी वस्तु की वह प्रवृत्ति जिसके कारण वस्तु अपनी स्थिर अवस्था या गति अवस्था में परिवर्तन का विरोध करती है, जड़त्व कहलाती है। किसी वस्तु के जड़त्व की माप उसके द्रव्यमान पर निर्भर है।
- किसी वस्तु के द्रव्यमान और वेग का गुणनफल संवेग कहलाता है। संवेग की दिशा वही होती है जो वस्तु के वेग की दिशा होती है। संवेग का मात्रक $kgms^{-1}$ होता है।
- संवेग में परिवर्तन करने में लगा समय यदि कम हो तो बल ज्यादा होगा। ऐसे में गतिमान वस्तु को रोकने में चोट लगने की संभावना बढ़ जाती है।
- गति के द्वितीय नियम के अनुसार किसी वस्तु के संवेग परिवर्तन की दर उस वस्तु पर आरोपित असंतुलित बल के समानुपाती तथा बल की दिशा में होती है।
- बल का SI मात्रक न्यूटन या $kgms^{-2}$ है।
- गति के तृतीय नियम के अनुसार प्रत्येक क्रिया के विपरीत व बराबर प्रतिक्रिया होती है। क्रिया और प्रतिक्रिया दोनों भिन्न–भिन्न वस्तुओं पर कार्य करती हैं।
- यदि किसी वस्तु पर बाह्य बल न लग रहा हो तो वस्तु का संवेग संरक्षित रहता है।

मुख्य शब्द (Key Words)

संतुलित बल (balanced force), अंसतुलित बल (unbalanced force), जड़त्व (inertia), रैखिक संवेग (linear momentum), रैखिक संवेग संरक्षण के नियम (laws of conservation of linear momentum)

अभ्यास

U1UYXA

1. सही विकल्प चुनिए–

(i) किसी वस्तु के जड़त्व का कारण है।

(अ) केवल द्रव्यमान (ब) केवल वेग

(स) द्रव्यमान और वेग दोनों (द) कोई भी नहीं।

(ii) एक लड़का एक ट्रेन के डिब्बे में सबसे ऊपर की सीट पर बैठा है। जब ट्रेन एक स्टेशन पर रुकती है, उसी समय लड़का अपने से ठीक नीचे अपने भाई के खुले हाथ पर आम गिराता है। आम गिरेगा–

(अ) ठीक उसके भाई के हाथ में।

(ब) उसके भाई के हाथ से कुछ दूर ट्रेन चलने कि विपरीत दिशा में।

(स) उसके भाई के हाथ में कुछ दूर ट्रेन चलने की दिशा में।

(द) इनमें से कोई भी नहीं।

(iii) रॉकेट नोदन का सिद्धान्त आधारित है–

(अ) गति के प्रथम नियम (ब) गति के द्वितीय नियम

(स) द्रव्यमान संरक्षण के नियम पर (द) संवेग संरक्षण के नियम पर

(iv) एक गोला 500 N बल लगाने पर 0.06 सेकण्ड में रुक जाता है। गोले का संवेग होगा–

(अ) 500 N (ब) 500 kgm/s (स) 30 kgm/s (द) 30 N

2. रिक्त स्थान की पूर्ति करें–

(i) संवेग संरक्षण का नियम ..... की अनुपस्थिति में लागू होता है।

(ii) एक कमानीदार तुला के दोनों सिरों को 20–20 किलोग्राम भार के बल से खींचा जाता है तो तुला का पाठ्यांक ..... होगा।

(iii) गति का प्रथम नियम ..... के नियम से जाना जाता है।

(iv) किसी वस्तु के द्रव्यमान को स्थिर रखते हुए त्वरण को दुगुना कर दें तो बल .... हो जाएगा।

(v) बल ..... राशि है।

चर्चा करके लिखें

1. तीन ठोस जो क्रमशः ऐलुमिनियम, स्टील तथा लकड़ी के बने हैं एवं इनका आकार तथा आयतन समान हैं। बताओ इसमें से किस ठोस का जड़त्व ज्यादा होगा और क्यों?
2. कांच के बर्तन पक्के फर्श पर गिरने से टूट जाते हैं पर रेत पर गिरने से नहीं। ऐसा क्यों?
3. गति के द्वितीय नियम का गणितीय सूत्र लिखकर उसमें प्रयुक्त संकेतों का अर्थ लिखिए।
4. बंदूक चलाने पर व्यक्ति को पीछे की ओर धक्का क्यों लगता है?

5. बस की छत पर रखे सामान को रस्सी से क्यों बाँधा जाता है?

6. सिद्व करें यदि दो वस्तुओं के संवेग समान हैं तो हल्की वस्तु का वेग भारी वस्तु के वेग से अधिक होगा।

7. गति के तीसरे नियम के अनुसार जब हम किसी वस्तु पर बल लगाते हैं तो वस्तु उतना ही बल विपरीत दिशा में लगाती है। यदि वह वस्तु एक कार हो जो एक सडक के किनारे खड़ी है, संभवतः हमारे द्वारा बल लगाने पर भी कार गतिशील नहीं हो पाएगी। एक विद्यार्थी इसे सही साबित करने के लिए कहता है कि दोनों बल विपरीत व बराबर हैं जो एक दूसरे को निरस्त कर देते हैं। इस तर्क पर अपने विचार दें और बताएँ कि कार विपरीत दिशा में गतिशील क्यों नहीं हो पाती?

8. 50 किग्रा द्रव्यमान की एक वस्तु का वेग समान त्वरण से चलते हुए 6 सेकंड में 4 मीटर/सेकंड से 7 मीटर/सेकंड हो जाता है। वस्तु के पहले और बाद में संवेगों व उस पर आरोपित बल की गणना करें।

9. एक फुटबॉल और टेनिस बॉल समान वेग से गतिशील हैं। दोनों एक दूसरे से आमने–सामने टकराते हैं तथा कुछ समय बाद दोनों रुक जाते हैं। अगर टकराने का समय अंतराल 1 सेकण्ड है तो–

   (i) कौन से बॉल पर बल का सबसे अधिक प्रभाव पड़ेगा।

   (ii) किस बॉल के संवेग में सबसे अधिक परिवर्तन होगा।

   (iii) किस बॉल का त्वरण सबसे अधिक होगा।

10. सिद्ध कीजिए कि दो वस्तुओं का कुल संवेग उनके परस्पर टकराने से पूर्व एवं टकराने के पश्चात् समान रहता है।