3
गति के नियम
(Laws of Motion)

3.1 भूमिका

पूर्व अध्याय में आपने पढ़ा कि विस्थापन, वेग एवं त्वरण के माध्यम से गति का वर्णन करना संभव है। लेकिन क्या आपने कभी यह सोचा है कि किसी वस्तु में होने वाली गति का कारण क्या है? ज़मीन पर लुढ़कती हुई कोई गेंद किस कारण अपने आप रुकती हुई मालूम पड़ती है।

अपने दिन-प्रतिदिन के अनुभव से हम जानते हैं कि यदि हम कमरे में किसी अलमारी का स्थान बदलना चाहते हैं तो हमें उसे खींचना या धकेलना पड़ता है। इसी प्रकार किसी फुटबॉल को दूर भेजने के लिए उस पर ठोकर मारनी पड़ती है। छक्का लगाने के लिए क्रिकेट बॉल पर बल्ले को ज़ोर से मारना पड़ता है। इस प्रकार की स्थितियों में कुछ गतिविधियां और क्रिया सम्मिलित होती हैं और उसका प्रभाव स्पष्ट दृष्टिगोचर होता है।

तथापि, ऐसी अनेक परिस्थितियां होती हैं जहां क्रिया दृष्टिगोचर नहीं होती है। उदाहरणार्थ – वर्षा की बूंदों का ज़मीन पर गिरने का क्या कारण होता है? पृथ्वी द्वारा सूर्य के चारों तरफ़ घूमने का कारण क्या है? इस अध्याय में आप 'न्यूटन के गति नियमों' के रूप में बल एवं गति के निकट संबंध के विषय में जानकारी प्राप्त करेंगे। इस अध्याय में दी गई बल सम्बंधी अवधारणा भौतिकी की विभिन्न शाखाओं में महत्वपूर्ण सिद्ध होगी। अब हम 'न्यूटन के गति नियम' के विषय में पढ़ेंगे जिससे कि हम विभिन्न बलों के प्रभाव के कारण एक कण अथवा कणों के तंत्र के व्यवहार को बता पाने में सक्षम हो सकेंगे।

3.2 उद्देश्य

इस पाठ का अध्ययन करने के पश्चात्

- *जड़त्व का अर्थ स्पष्ट करने और बल से इसका सम्बन्ध जोड़ने में सक्षम होंगे;*
- *न्यूटन का प्रथम गति नियम बताने में और उदाहरण देकर समझाने में सक्षम होंगे;*

- *संवेग, आवेग का निरूपण करने और किसी दी हुई परिस्थिति में उनका परिकलन करने में सक्षम होंगे;*
- *संवेग-संरक्षण के नियम को बताने तथा उदाहरणों सहित उसको समझ सकेंगे;*
- *घर्षण गुणांक को परिभाषित कर पायेंगे और स्थैतिक घर्षण, गतिज घर्षण और बेल्लन-घर्षण में भेद स्पष्ट कर सकेंगे;*
- *घर्षण कम करने की विधि प्रणालियों के सम्बन्ध में सुझाव दे सकेंगे और दैनिक जीवन में घर्षण की भूमिका पर प्रकाश डाल पायेंगे;*
- *दी गई परिस्थिति का विश्लेषण करने में और बल निर्देशक आरेख (free body diagram) के प्रयोग से न्यूटन के नियमों को लागू कर सकेंगे।*

3.3 बल एवं जड़त्व की अवधारणा

हमारे आस-पास की अनेक वस्तुएं अपने स्थान पर स्थिर रहती हैं। मेज़ पर रखा पंखा, किताब, मेज़ इत्यादि इसके कुछ उदाहरण हैं। ये वस्तुएं एक स्थान से दूसरे स्थान पर अपने-आप नहीं जा सकतीं।
इन वस्तुओं के विराम की अवस्था में परिवर्तन लाने के लिए इन पर बल लगाना पड़ता है। इसी प्रकार एक निर्धारित वेग से गतिशील वस्तु की समान गति में परिवर्तन लाने के लिए भी उस पर बल लगाना पड़ता है।

> किसी वस्तु की स्थिर अवस्था में अथवा एकसमान रैखिक गति की अवस्था में बने रहने की प्रवृत्ति **जड़त्व** (inertia) कहा जाता है।

किसी वस्तु की स्थिति या गति की अवस्थाएं निरपेक्ष नहीं होती हैं। पूर्व अध्याय में आप पढ़ चुके हैं कि एक प्रेक्षक के संदर्भ में जो वस्तु विराम अवस्था में है वही किसी अन्य प्रेक्षक के संदर्भ में गतिमान प्रतीत हो सकती है। प्रेक्षण दर्शाता है कि किसी वस्तु के वेग में परिवर्तन तभी लाया जा सकता है जबकि वस्तु पर नेट बल का प्रयोग किया जाए।

आप 'बल' शब्द से भली भांति परिचित हैं। इसका प्रयोग हम अपने दैनिक जीवन में अनेक स्थितियों में करते हैं। हम बल का प्रयोग खींचने, धकेलने, ठोकर मारने, प्रहार करने इत्यादि में करते हैं। हांलाकि बल को देखा नहीं जा सकता किन्तु इसके प्रभाव को देखा और महसूस किया जा सकता है। 'बल' के प्रभाव दो प्रकार के होते हैं! इससे वस्तु की आकृति और आकार बदला जा सकता है। उदाहरणार्थ, गुब्बारे का आकार इस पर लगाए जा रहे बल के अनुसार बदलता है। वायु बल एक लम्बे पेड़ को मोड़ सकता है। बल प्रयोग से स्प्रिंग को दबाया या खींचा जा सकता है। बल से किसी वस्तु की गति भी प्रभावित होती है। बल के द्वारा किसी स्थिर वस्तु को गतिमान बनाया जा सकता है अथवा किसी गतिमान वस्तु को स्थिर किया जा सकता है। बल से गति की दिशा भी परिवर्तित की जा सकती है।

3.3.1 बल एवं गति-परिवर्तन

किसी वस्तु की गति उसके वेग से लक्षित होती है। आप पहले पढ़ चुके हैं कि समान रैखिक गति में किसी वस्तु का वेग अचर होता है। वस्तु की विराम अवस्था में उसका वेग शून्य होता है। हम ऐसी कई स्थितियों से गुज़रते हैं जहां किसी वस्तु का वेग धीरे-धीरे बढ़ता अथवा कम होता जाता है। उदाहरणार्थ, निर्बाध रूप से गिरती हुई वस्तु के मामले में वस्तु का वेग निरन्तर बढ़ता जाता है। इसी प्रकार क्षैतिज सतह (Horizontal Surface) पर लुढ़कती गेंद के मामले में गेंद का वेग धीरे-धीरे कम होता हुआ शून्य हो जाता है।

प्रेक्षणों से पता चलता है कि किसी वस्तु के वेग में परिवर्तन के लिए बल का महत्वपूर्ण योगदान होता है। ***किसी वस्तु के वेग की दिशा सदैव उसकी गति की दिशा में होती है। वस्तु पर लगाए जा रहे बल की दिशा के आधार पर वस्तु का-वेग परिवर्तित हो जाएगा।*** यदि किसी वस्तु पर कुछ बल उसकी गति की दिशा में कार्य करता है तो वस्तु का वेग परिमाण अधिक हो जाएगा। यदि वस्तु पर बल की दिशा गति की दिशा के विपरीत होती है तो वेग परिमाण कम हो जाएगा। इन दोनों अवस्थाओं में वस्तु सीधी रेखा में चलती है। तथापि, यदि किसी वस्तु पर बल इसके वेग की लम्ब दिशा में कार्य करता है – तो वस्तु के वेग का परिमाण अचर रहता है। इस प्रकार का बल सिर्फ वस्तु के वेग की दिशा परिवर्तित कर सकता है। यह महत्वपूर्ण तथ्य है कि वस्तु का वेग उतने समय तक ही परिवर्तन होता है जितनी देर उस पर बल कार्य करता है।

अध्याय 7 में आप बल के एक अन्य प्रभाव–घूर्णन के विषय में पढ़ेंगे।

बल सदिश राशि है। इसलिए जब किसी वस्तु पर एक ही समय में अनेक बल कार्य करते हैं– तब सदिश योग द्वारा उनका एक परिणामी बल प्राप्त किया जा सकता है, जिसके विषय में आप प्रथम अध्याय में पढ़ चुके हैं। प्रत्येक बल का परिमाण और दिशा होती है। वह प्रभाव जो किसी तंत्र पर कार्य करने वाला बल उसमें उत्पन्न कर सकता है निम्नांकित तथ्यों पर निर्भर करता है–

- बल का परिमाण और दिशा
- बल प्रयोग का बिन्दु; और
- वह अवधि जिसके लिए यह तंत्र पर कार्य करता है।

3.3.2 न्यूटन का प्रथम गति नियम

गैलिलिया(Galileo) वह प्रथम महान वैज्ञानिक था जिसने सबसे पहले यह *बताया कि जब तक किसी वस्तु पर बाह्य बल न लगाया जाए प्रत्येक वस्तु विराम-अवस्था अथवा ऋतुरेखीय एकसमान* गति (uniform rectilinear motion) में बने रहना चाहती है। इसलिए इस महान वैज्ञानिक ने ऋजूरेखीय एकसमान गति को भी वस्तुओं की प्राकृतिक अवस्था (natural state) माना।

हमारे दैनिक जीवन के अनुभव से भी प्रतीत होता है कि एक ट्रॉली (trolley) को सतत वेग से चलाने के लिए उसे निरन्तर धकेलना या खींचना पड़ता है। इसी प्रकार सतत वेग से चलती गाड़ी को घोड़ा खींचता है। क्या यहां उल्लिखित स्थितियों में ट्रॉली पर या गाड़ी पर कोई नेट बल कार्य कर रहा है ?

जैसा कि आप जानते हैं कि गाड़ी पर घोड़े द्वारा क्रिया बल की आवश्यकता गाड़ी पर लग रहे घर्षण-बल के संतुलन के लिए होती है। इसी प्रकार ट्रॉली पर सतत लग रहा घर्षण-बल उसे निरन्तर धकेल कर या खींच कर निरस्त किया जा सकता है। गैलिलियो ने यह निष्कर्ष निकाला कि घर्षण बल की अनुपस्थिति में कोई वस्तु जैसे गाड़ी अथवा ट्रॉली, एक बार गति में आने के बाद समान गति पर चलती रहेगी।

न्यूटन ने गैलिलियों के इस निष्कर्ष को एक सामान्य नियम का रूप दिया जिसे **न्यूटन का प्रथम गति नियम के** नाम से जाना जाता है और यह नियम है कि

> कोई वस्तु विराम अवस्था अथवा गति की अवस्था में तब तक रहती है जब तक कि उस पर बाह्य रूप से नेट बल न लगाया जाए।

जैसा कि आप जानते हैं कि किसी वस्तु की विराम या गति की अवस्था प्रेक्षक के संदर्भ में उसकी सापेक्ष स्थिति पर निर्भर करती है। चलती हुई कार में बैठा एक व्यक्ति उसी कार में बैठे दूसरे व्यक्ति के लिए विराम अवस्था में होगा।

लेकिन वही व्यक्ति सड़क पर खड़े व्यक्ति की तुलना में गति में होगा। इस कारण स्थिति वेग, त्वरण और बल में परिवर्तन के मापन के लिए निर्देश तंत्र (frame of reference) का चयन आवश्यक हो जाता है।

एक ऐसा निर्देश तंत्र (frame of reference) जिसके सापेक्ष सरल रेखा में गतिशील वस्तु को वेग नेट बाह्य बल के अभाव में सदैव अचर बना रहता है। जड़त्वीय निर्देश तंत्र (inertial frame of reference) कहलाता है। इसे यह नाम सभी वस्तुओं में विद्यमान जड़त्व के उस गुण के कारण दिया गया है जिसके होते वे अपनी विराम या ऋजुरेखीय एकसमान गति की अवस्था को बनाये रखना-चाहते हैं। पृथ्वी से जुड़ा निर्देश तंत्र (सभी प्रायोगिक उद्देश्यों के लिए) जड़त्वयुक्त संदर्भ ढाँचा माना जा सकता है। आइए अब थोड़ा ठहरें और निम्नलिखित प्रश्न हल करने का प्रयास करें।

पाठगत प्रश्न 3.1

1. *क्या यह कहना सही है कि कोई वस्तु हमेशा उस पर कार्य कर रहे नेट बल की दिशा में चलती है?*

   ....

2. *एक वस्तु के जड़त्व के माप की भौतिक राशि क्या है?*

   ....

3. *क्या एक बल द्वारा किसी वस्तु को परिमाण को अचर रखते हुए सिर्फ उसके वेग की दिशा को बदला जा सकता है?*

   ....

4. *बल द्वारा उत्पन्न होने वाले विविध प्रभाव क्या हैं?*

   ....

3.4 संवेग की संकल्पना

वस्तुओं के संघट्टन (collision) के अध्ययन से पता चलता है कि वस्तु के द्रव्यमान और वेग के गुणन से प्राप्त होने वाली एक ऐसी राशि है जिसका संघट्टन करने वाली वस्तुओं के लिए नेट मान सम्पूर्ण संघटन प्रक्रिया में अपरिवर्तित रहता है। किसी वस्तु की द्रव्यमान (m) और उसके वेग ($\mathbf{v}$) का गुणनफल रैखिक संवेग या सिर्फ संवेग ($\mathbf{p}$) कहलाता है। और इसे p से प्रदर्शित करते हैं।

$$\mathbf{p} = m\mathbf{v} \qquad \text{.......................(3.1)}$$

सबसे पहले सत्रहवी शताब्दी के मध्य में संहति और- वेग का यह गुणनफल "गति की यात्रा" के माप के रूप में ज्ञात हुआ था।

मात्रक की SI पद्धति में संवेग को kg m/s. में मापा जाता है। संवेग सादिश राशि है। संवेग की दिशा वही होती

है जो वेग की होती है। अतः एक वस्तु के संवेग में परिवर्तन सिर्फ इसके परिमाण में अथवा सिर्फ़ दिशा में अथवा दोनों में परिवर्तन से हो सकता है। निम्न उदाहरणों से इस बात को स्पष्ट किया जा सकता है-

उदाहरण 3.1 : *एक दो 2kg की वस्तु $t=0s$ पर स्वतन्त्रता पूर्वक गिरती है। गिरने दौरान (a) $t=2s$, (b) $t=1s$, तथा (c) $t=2s$ पर इसका सवेग कितना होगा?*

हलः

(क) $t = 0$s पर वस्तु का वेग शून्य होगा, वस्तु का संवेग भी शून्य रहेगा।

(ख) $t = 1$s पर वस्तु का वेग नीचे की ओर 9.8 m/s होगा ($v=v_o+at$ प्रयोग करें) अतः वस्तु का संवेग होगा–

$p_1 = (2\text{kg}) \times (9.8\text{m/s})$

$= 19.6$ kg m/s नीचे की ओर होगा

(ग) $t = 2$s पर, वस्तु का वेग होगा 19.6 m/s. नीचे की ओर। अतः अब वस्तु का संवेग होगा–

$p_2 = (2\text{kg}) \times (19.6\text{ m/s})$

$= 39.2$ kg m/s. नीचे की ओर

इस प्रकार हम देखते हैं कि निर्बाध रूप से गिरती हुई वस्तु का संवेग सिर्फ़ परिमाण में बढ़ता है और उसी दिशा की ओर इंगित करता है। निर्बाध रूप से गिरती हुई वस्तु के संवेग के परिमाण में परिवर्तन का कारण क्या है? अध्याय 5 में आप पढ़ेंगे कि गुरुत्वाकर्षण के कारण निर्बाध रूप से गिरती हुई वस्तु का वेग सतत रूप से बढ़ता है। क्या इस प्रकार की वस्तु का संवेग भी सतत रूप से बढ़ेगा ?

उदाहरण 3.2: *द्रव्यमान 0.2 kg की एक रबड़ की गेंद दृढ़ खड़ी दीवार से 10 m/s की गति से टकराती है और मूल मार्ग से उसी गति पर प्रतिक्षेप (rebound) करती है। गेंद के संवेग में परिवर्तन का पता लगाइए।*

हलः यहां गेंद का संवेग प्रभाव के पहले और बाद में समान ही रहेगा लेकिन इसकी दिशा में विपरीत होगी। संवेग का परिमाण है (0.2kg) × (10 m/s) अर्थात 2 kg m/s.

यदि हम प्रारंभिक संवेग सदिश की + x दिशा में अक्ष माने तो अंतिम संवेग सदिश होगा – x अक्ष की दिशा में होगा।

अतः यदि $p_i = 2$ kg m/s, $p_f = 2$ kg m/s. और गेंद के संवेग में परिवर्तन= $p_f - p_i = (-2\text{kh m/s}) - (2\text{ kg m/s}) = -4$ kg m/s.

यहां ऋण चिन्ह दर्शाता है कि गेंद का संवेग – x अक्ष की दिशा में 4 kg m/s तक परिवर्तित होता है। गेंद के संवेग में इस परिवर्तन का कारण क्या है?

वास्तविक स्थिति में रबड़ की गेंद की दृढ़ दीवार से टकरा कर लौटने की गति उस गति से कम होती है जिससे वह दीवार से जा टकराई थी।

इस प्रकार की स्थितियों में संवेग की मात्रा भी परिवर्तित हो जाती है।

3.4.1 न्यूटन का द्वितीय-गति-नियम

यह ज्ञात है कि अचर वेग पर गतिशील किसी वस्तु का संवेग भी अचर होगा। न्यूटन के प्रथम गति नियम से यह पहले से ही ज्ञात है कि इस प्रकार की वस्तु पर कोई बाह्य असंतुलित बल कार्य नहीं कर रहा होता है।

उदाहरण 3.1 में हमने यह देखा कि गुरुत्वाकर्षण के प्रभाव में निर्बाध रूप से गिरती हुई गेंद का संवेग समय के साथ बढ़ जाता है। यह भली भांति मालूम है कि इस प्रकार की वस्तु इस पर कार्य कर रहे गुरुत्वाकर्षक बल के कारण गिरती है। अतः ऐसा प्रतीत होता है कि एक वस्तु के संवेग परिवर्तन, इस पर कार्य कर रहे नेट बल और बल के कार्य करने की अवधि के बीच एक सम्बन्ध होता है। न्यूटन का द्वितीय गति नियम इनके बीच एक मात्रात्मक सम्बन्ध स्थापित करता है। इसके अनुसार

> एक वस्तु के संवेग के परिवर्तन की दर सीधे वस्तु पर कार्य कर रहे बल के अनुपात में होती है। और वस्तु के संवेग में परिवर्तन, वस्तु पर कार्य कर रहे नेट बाह्य बल की दिशा में ही होता है।

वस्तु पर कार्य कर रहे नेट बाह्य बल

इसका अर्थ है कि यदि समय Δt में वस्तु पर कार्य कर रहे नेट बाह्य बल F_{net} के कारण वस्तु के संवेग में परिवर्तन Δp है तो

$$F_{net} \propto \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

अथवा $F_{net} \propto K\dfrac{\Delta p}{\Delta t}$

यहां आनुपातिकता स्थिरांक (constant of proportionality) K का मान F, p. और t के मात्रकों के चुनाव पर निर्भर करता है।

मात्रकों के SI पद्धति में p को kg m/s में, t को s में और f को kg m/s^2 में मापा जाता है। इससे $K = 1$ होता है। अतः

$$F_{net} \propto \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

$$F_{net} = \lim_{\Delta t \to 0}\frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{dp}{dt} \qquad \text{.......................(3.1)}$$

अतः

$$F_{net} = \frac{dp}{dt} \qquad \text{.......................(3.2)}$$

समीकरण 3.1 से समझ आता है कि वस्तु के संवेग में परिवर्तन इसके नेट बाह्य बल की दिशा में होता है किसी भी समय में वस्तु के संवेग में परिवर्तन वस्तु के अंतिम संवेग में से वस्तु के प्रारंभिक संवेग को घटाने पर प्राप्त होता है।

न्यूटन के प्रथम गति नियम से स्पष्ट होता है कि विराम के समय कोई वस्तु अपने आप नहीं चल सकती। इसी प्रकार पहले से ही गतिमान किसी वस्तु का वेग अपने आप नहीं बदल सकता। आपको याद होगा कि यदि किसी वस्तु का वेग एकसमान होता है तो इसका त्वरण शून्य होगा। आपको यह भी याद होगा कि वेग में परिवर्तन से हमारा तात्पर्य वेग की परिमाण में परिवर्तन से अथवा इसकी दिशा में परिवर्तन से अथवा दोनों से होता है।

न्यूटन का प्रथम गति नियम हमें यह भी बताता है कि किसी वस्तु की गति की अवस्था में परिवर्तन के लिए नेट बल की आवश्यकता होती है। अतः वस्तु पर कार्य कर रहा नेट बल वस्तु की त्वरण का कारण होता है। न्यूटन का द्वितीय गति नियम बल और त्वरण के बीच मात्रात्मक संबंध प्रदान करता है। यदि F_{net} बल के कारण, वस्तु के वेग में परिवर्तन dv समय dt में होता तो $dp = m\,dv$ होगा इस प्रकार समीकरण 3.2 से :

$$F_{net} = m\frac{dv}{dt}$$

$$F_{net} = ma \qquad \text{.......................(3.3)}$$

उदाहरण 3.3: *0.4 kg द्रव्यमान की एक गेंद जो धकेले जाने पर ज़मीन पर 20 m/s की गति से लुढ़कना शुरू करती है 10 और सेकेंण्ड बाद रुक जाती है। गेंद पर लगे प्रतिरोधक बल परिमाण को पूरे समय एकसमान मानते हुए इसका मान बताइए।*

हल: दिया गया है:

$m = 0.4\text{ kg}$

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

$v = 0\text{ m/s}$

$t = 10\text{s}$

अतः $F = \frac{m(v-u)}{t} = \frac{0.4\text{kg}(0\text{m/s} - 20\text{m/s})}{10\text{S}}$

$= -0.8\text{ kg m/s}^2 = -0.8\text{N}$

यहाँ ऋणात्मक चिन्ह का अर्थ है कि गेंद पर लगने वाला बल गति की दिशा के विपरीत कार्य करता है। यह स्पष्ट है कि गेंद के संवेग में कमी होती है।

आवेग (Impulse)

समीकरण 3.1 से यह स्पष्ट होता है कि वस्तु के संवेग में परिवर्तन का निर्धारण गुणनफल $F\Delta t$ के द्वारा होता है। अतः कम अवधि में अधिक बल लगाकर अथवा अधिक समयावधि में कम बल लगाकर संवेग में वांछित परिवर्तन किया जा सकता है। परिमाण $F\Delta t$ को आवेग कहा जाता है। इस प्रकार, वस्तु के संवेग में परिवर्तन आवेग के बराबर होता है।

> संवेग की तरह आवेग भी एक सदिश राशि है जिसकी दिशा संवेग में परिवर्तन की दिशा में ही होती है। इसके माप के SI मात्रक kg m/s अथवा NS होते हैं।

समीकरण 3.1 की व्युत्पत्ति के समय यह माना गया कि बल F का परिमाण समय Δt में अचर बना रहता है। ऐसी अनेक स्थितियां होती हैं जिनमें बल-क्रिया का समय बहुत कम होता है। उदाहरणार्थ, गेंद और बल्ले के टकराव के समय। इस प्रकार के मामलों में F को औसत बल माना जाता है।

जड़त्वीय द्रव्यमान : न्यूटन के द्वितीय गति नियम के द्वारा परिभाषित वस्तु के द्रव्यमान को वस्तु का जड़त्वीय द्रव्यमान कहा जाता है। न्यूटन के द्वितीय नियम से

$$m = \frac{F}{a}$$

इस प्रकार, बल के ज्ञात-मान और बल के फलस्वरूप वस्तु में आए त्वरण के प्रयोगात्मक निर्धारण से वस्तु के जड़त्वीय द्रव्यमान को ज्ञात किया जा सकता है।

अब थोड़ा रुकिए और निम्नांकित प्रश्नों का समाधान करके परखिए कि आपने कितना सीखा ?

पाठगत प्रश्न 3.2

1. *विभिन्न द्रव्यमानों की दो वस्तुओं का संवेग समान है। दोनों में से कौन सी वस्तु तेज चल रही है ?*

   ....

2. *एक व्यक्ति ने 20 m/s की चाल से गेंद फेंकी। यदि गेंद इस व्यक्ति के पास उसी 20 m/s की चाल पर वापिस आती है तो निम्नांकित में क्या परिवर्तन होगा–*

   (a) *गेंद के संवेग में*

   (b) *गेंद के संवेग के परिमाण में*

   ....

3. *जब गेंद ऊँचाई से गिरती है इसका संवेग बढ़ता है ? इसके संवेग बढ़ने का कारण क्या है ?*

   ....

4. *किस अवस्था में वस्तु के संवेग में अधिक परिवर्तन होगा ?*

   (a) *जब मूल रूप से विराम की स्थिति वाली 2 kg की वस्तु पर 0.1s के लिए 150N बल कार्य करता है। या*

   (b) *जब मूल रूप से विराम की स्थिति वाली 4 kg की वस्तु पर 0.25 s के लिए 100N बल कार्य करता है।*

   ....

5. *क्या यह कहना सही है कि तेजी से चलने वाली वस्तु में धीरे चलने वाली वस्तु की तुलना में अधिक बल होता है ?*

   ....

6. *कोई वस्तु एकसमान चाल से वृत्ताकार पथ पर चलती है। क्या विभिन्न स्थितियों में वस्तु का संवेग एकसमान होगा ? क्यों ?*

   ....

उदाहरण 3.4: *50N अचर बल प्रारम्भिक रूप से 10 m/s की गति पर चलती हुई 10 kg की वस्तु पर लगाया जाता है। यदि इस पर बल इसके वेग की विपरीत दिशा में कार्य करता है तो इसे रूकने में कितना समय लगेगा ?*

हलः दिया गया है

वस्तु की द्रव्यमान $m = 10\ \text{kg}$

$F_{net} = -50\ \text{N}$

$u = 10\ \text{m/s}$

$v = 0$

पता करना है $t = ?$

सूत्र $F_{net} = m = \frac{(v - v_0}{t}$

अथवा $-50\,N = 10\,kg\left(\frac{0 - 10m/s}{t}\right)$

अथवा $t = \frac{-100kg\,m/s}{-50N} = \frac{100kgm/s}{50kg\,m/s^2}$

$t = 2$ सैकेण्ड

3.5 बलों के युग्म (Forces in Pairs)

पृथ्वी का गुरुत्वीय कर्षण होता है जो वस्तुओं को पृथ्वी की ओर खींचता है। क्या वस्तुएं भी पृथ्वी को खींचती हैं? इसी प्रकार जब हम अलमारी को धकेलते हैं तो क्या अलमारी भी हमें धकेलती है? यदि ऐसा होता है तो हम उस बल की दिशा में क्यों नहीं चलते। यह स्थितियां हमें यह पूछने के लिए बाध्य करती हैं कि क्या किसी एकल बल, जैसे कि एक धक्का या एक खिंचाव का अस्तित्व होता है ? यह देखा गया है कि दो वस्तुओं की क्रिया एक-दूसरे पर पारस्परिक होती है। यहां 'क्रिया' से हमारा तात्पर्य है "अन्योन्य क्रिया का बल"। अतः जब कभी भी दो वस्तुओं में अन्योन्य क्रिया होती है वे एक दूसरे पर बल लगाती हैं। अन्योन्य-क्रिया का बल दूरी-से-क्रिया प्रकार का अथवा स्पर्श-बल प्रकार का हो सकता है। अतः हमेशा बल-युग्मों के रूप में उभरता देखा गया है। लेकिन सामान्यतः हम युग्म में एक बल पर विचार करते हैं जो हमसे सम्बद्ध वस्तु पर कार्य करता है।

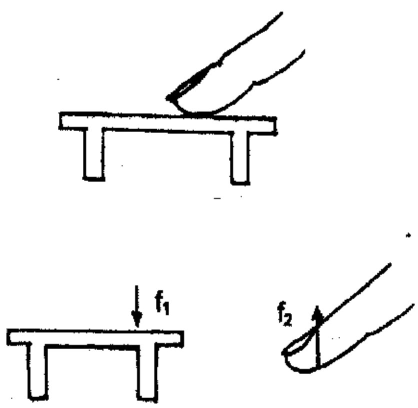
3.5.1 न्यूटन का तृतीय गति-नियम

वस्तु के बीच अन्योन्य क्रिया के अध्ययन के आधार पर न्यूटन ने तृतीय गति नियम का निरूपण किया जिसके अनुसार--

> प्रत्येक क्रिया के लिए उसके परिमाण में समान और दिशा में विपरीत प्रतिक्रिया होती है। क्रिया और प्रतिक्रिया अलग-अलग वस्तुओं पर कार्य करती है।

यहां क्रिया और प्रतिक्रिया से तात्पर्य 'बल से है। इससे यह स्पष्ट होता है कि एक एकल बल का अस्तित्व नहीं होता है। अतः, जब हम किसी एक मेज़ पर अपनी ऊंगली से दबाकर बल लगाते हैं तो मेज़ भी ऊपर की दिशा में हमारी ऊंगली पर समान परिमाण का बल लगाती है जैसा कि चित्र 3.1 में दर्शाया गया है। क्या यहां दर्शाए गए बल f_1 और f_2 एक दूसरे को रद्द कर देते हैं? यहां यह ध्यान देना आवश्यक है कि f_1 और f_2 अलग-अलग वस्तुओं पर कार्य कर रहे हैं।

दर्शायी गई स्थिति में क्रिया और प्रतिक्रिया बलों का युग्म प्रतीत हो रहा है। इसमें से कोई भी एक-दूसरे के बिना नहीं हो सकता।



चित्र 3.1: मेज और उंगली पर लगने वाला बल

यदि कोई शब्दों का शाब्दिक अर्थ लें तो, प्रतिक्रिया सदा क्रिया के बाद होती है। जबकि न्यूटन के तृतीय नियम में क्रिया और प्रतिक्रिया साथ-साथ होती है। इसी कारण न्यूटन के तृतीय-नियम को निम्नानुसार कहना बेहतर होगा–

> जब दो वस्तुओं में अन्योन्यक्रिया होती है तो पहली वस्तु द्वारा दूसरी वस्तु पर लगाया गया बल (क्रिया) दूसरी वस्तु द्वारा पहली पर लगाए गए बल (प्रतिक्रिया) के परिमाण में समान होता है परन्तु उसकी दिशा के विपरीत होता है।

सदिश विधि से, यदि $\mathbf{F}_{12}$ वह बल है जो वस्तु 2 के कारण वस्तु 1 पर अनुभव होता है और $\mathbf{F}_{21}$ वह बल है जो वस्तु 1 के कारण वस्तु 2 पर अनुभव होता है तो

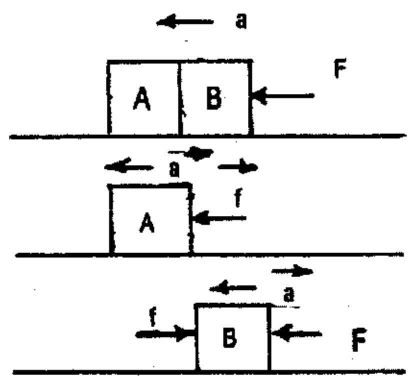
$$\mathbf{F}_{12} = -\mathbf{F}_{21}$$

यदि m_1 और m_2 क्रमशः वस्तु 1 और 2 के द्रव्यमान हैं तो

$$m_1 a_1 = -m_2 a_2$$

3.5.2 आन्तरिक और बाह्य बल

जैसा कि आप पढ़ चुके हैं कि किसी वस्तु पर नेट बाह्य बल के कारण वस्तु में गति परिवर्तन होता है। यदि कार का ब्रेक डाउन (खराब हो जाना) हो जाता है तो या तो अन्य किसी वाहन द्वारा उसे दो पहियों पर उठा कर ले जाया जा सकता है अथवा पीछे से धक्का लगाकर। यहां अन्य वाहन द्वारा दो पहिए पर उठाने से लगाया गया बल अथवा पीछे से धकेल कर लगाया गया बल कार पर बाहरी बल का कार्य करता है। क्या कार के अन्दर बैठे व्यक्ति द्वारा अन्दर की ओर से धक्का लगाने पर कार चल सकती है? इस प्रकार के बल को आन्तरिक बल कहते हैं और जहां तक कार के चलने का सम्बन्ध है इसमें आन्तरिक बल की कोई भूमिका नहीं है। आन्तरिक बल और बाहरी बल के बीच अन्तर स्पष्ट करने के लिए कुछ विशेष उदाहरण दिए जा रहे हैं।



***चित्र 3.2:** घर्षण रहित क्षैतिज तल पर दो ब्लाक*

(क) एक घर्षण विहीन समतल स्थान पर दो ब्लॉकों को सटाकर रखिए। जब चित्र 3.2 में दर्शायी गयी दिशा में उन पर बाह्य बल (F) लगाया जाएगा तो दोनों ब्लॉक एकसमान त्वरण से बायीं तरफ चलेंगे। लेकिन बायीं तरफ के ब्लॉक के त्वरित होने का कारण क्या है? इसका कारण दायीं तरफ के ब्लॉक द्वारा इस पर लगाया गया F बल है। न्यूटन के तृतीय नियम के अनुसार बायीं तरफ का ब्लॉक भी दायीं तरफ के ब्लॉक पर बल F लगाता है। तथापि, इन ब्लॉकों द्वारा एक दूसरे पर लगाया गया प्रत्येक बल का परिमाण दोनों ब्लॉकों के तंत्र में आन्तरिक होता है।

(ख) वह जिस बल जिस के कारण जब भी वस्तुएं टकराती हैं वह संघट्टन करने वाली वस्तुओं के तंत्र का आन्तरिक बल होता है। अतः किसी बाह्य बल की अनुपस्थिति में तंत्र के सम्पूर्ण संवेग का संरक्षण होना चाहिए।

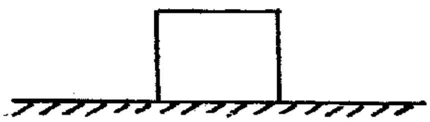
3.5.3 बलों का संतुलन

किसी वस्तु या तंत्र पर क्रियाशील बहुत से बलों को सन्तुलनावस्था में कहा जाता है यदि सभी बलों का सदिश योग शून्य हो। न्यूटन के द्वितीय नियम के अनुसार इस प्रकार की वस्तु अथवा तंत्र का त्वरण शून्य होगा। हम कुछ उदाहरण लेते हैं–

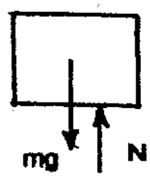
(क) क्षैतिज स्थान पर स्थिर रखे द्रव्यमान m वाले ब्लॉक पर विचार करें जैसा कि चित्र 3.3 (a) में दिखाया गया है। इस स्थिति में हम अनेक बलों के विषय में बात कर सकते हैं। जैसे कि

(i) mg परिमाण के बराबर ब्लॉक पर पृथ्वी का गुरुत्वीय कर्षण

(ii) mg परिमाण बल जो ब्लॉक पृथ्वी पर लगाता है



चित्र 3.3 (a)



चित्र 3.3 (b)

(iii) mg परिमाण बल जो ब्लॉक सामान्यतः उस सतह पर लगाता है जिस पर यह स्थित है।

(iv) न्यूटन के तृतीय नियम के अनुसार सतह द्वारा ब्लॉक पर लगाए जा रहे अभिलम्ब प्रतिक्रिया N का बल। चित्र 3.3 (b) में ब्लॉक पर कार्य कर रहे बलों को दर्शाया गया है। क्योंकि ब्लॉक संतुलनावस्था में है अतः $N = mg$ होगा। इस स्थिति में क्या ब्लॉक पर कोई घर्षण बल कार्य कर रहा है?

अगले भाग में आप उन स्थितियों के विषय में पढ़ेंगे जहाँ दो से अधिक बल साम्यावस्था में होते हैं।

अब आप यह परखिए कि आपने क्या सीखा है–

पाठगत प्रश्न 3.3

(1) जब एक ऊँची कूद वाला व्यक्ति ज़मीन छोड़ता है तो कूदने वाले व्यक्ति को ऊपर की ओर गति प्रदान करने वाला बल कहाँ से आता है?

....

(2) निम्नांकित प्रत्येक स्थिति में क्रिया-प्रतिक्रिया बलों को पहचानिए:

(क) एक व्यक्ति फुटबॉल को ठोकर मारता है

(ख) पृथ्वी चाँद को खींचती है

(ग) गेंद दीवार से टकराती है

....

(3) 60 किग्रा. भार वाली स्त्री द्वारा पृथ्वी पर लगाए जाने वाले गुरुत्वाकर्षण बल का परिमाण व दिशा बताइए?

....

(4) निम्नांकित प्रत्येक स्थिति में संतुलन में रहने वाले बलों के नाम बताइए:

(क) मेज़ पर स्थिर एक पुस्तक

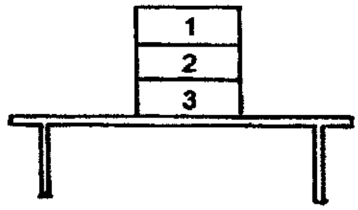
(ख) पानी में तैरता एक कार्क

(ग) डोरी की सहायता से छत से लटकता दोलक बॉब

....

(5) जैसा कि चित्र में दर्शाया गया है m के तीन ब्लॉक, एक मेज़ के ऊपर रख गये हैं। ब्लॉक के तंत्र में बताइए कि कौन सा आन्तरिक और बाह्य बल कार्यरत है ?

....



(6) एक महिला एक अलमारी को आगे की ओर धकेलने के लिए अलमारी पर अधिक बल लगाती है। महिला पर पीछे की ओर धक्का नहीं लगता क्योंकि अलमारी द्वारा महिला पर कम बल लगता है। क्या यह तर्क सही है ? क्यों ?

....

3.6 संवेग का संरक्षण (Conservation of Momentum)

संवेग में एक बहुत ही उपयोगी गुण हैं— कुछ विशेष स्थितियों में संरक्षित होने का। प्रायोगिक तौर पर यह पुष्टि की जा चुकी है और यह सिद्ध किया जा चुका है कि जब दो वस्तुओं में अन्योन्य-क्रिया होती है तो इन वस्तुओं के संवेगों का सदिश योग परिवर्तित नहीं होता बशर्ते कि वस्तु पर कार्य कर रहा बल एकमात्र अन्योन्य क्रिया का बल ही हो। दो से अधिक वस्तुओं की परस्पर अन्योन्य क्रिया के मामले में भी यही तथ्य सही पाया गया है। सामान्यतः परस्पर अन्योन्यक्रियाशील अनेक वस्तुओं को एक तंत्र (system) कहा जाता है। यदि एक तंत्र में वस्तुएं तंत्र से बाहर की वस्तुओं के साथ अन्योन्य क्रियाशील नहीं होती तो तंत्र को संवृत तंत्र अथवा वियुक्त तंत्र कहा जाता है। संवेग संरक्षण का नियम सिर्फ वियुक्त तंत्र पर लागू होता है और यह कहा जा सकता है किः

वियुक्त तंत्र की वस्तुओं के संवेगों का सदिश योग अक्षुण्ण रहता है।

यहां यह स्पष्ट होता है कि वियुक्त तंत्र बनाने वाली वस्तुओं का कुल संवेग अपरिवर्तित रहता है लेकिन उस तंत्र में किसी पृथक वस्तु के संवेग के सिर्फ परिमाण अथवा सिर्फ दिशा अथवा अन्योन्यक्रिया के अनुसार दोनों में परिवर्तन हो सकता है। वियुक्त तुत्र में किसी पृथक वस्तु में संवेग परिवर्तित होने का कारण क्या है ?

रैखिक संवेग संरक्षण का नियम विभिन्न क्षेत्रों में फैली बहुत सी परिघटनाओं पर लागू होता है जैसे संघट्टन, विस्फोटन, नाभकीय अभिक्रिया, रेडियोऐक्टिव क्षय आदि।

3.6.1 न्यूटन के नियमों के परिणामस्वरूप संवेग संरक्षण

न्यूटन के द्वितीय गति नियम के अनुसार (समीकरण 3.1) जब वस्तु पर समय Δt के लिए बल F कार्य करता है तो वस्तु के संवेग में परिवर्तन Δp का मान निम्न होता है :

$$\Delta p = F.\Delta t$$

इससे यह स्पष्ट होता है कि यदि वस्तु पर कोई बल कार्य नहीं करता तो वस्तु के संवेग में परिवर्तन शून्य होगा। अर्थात वस्तु का संवेग परिवर्तन नहीं होगा। यह स्पष्टीकरण वस्तुओं के तंत्र पर भी लागू किया जा सकता है।

इसी परिणाम पर पहुँचने के लिए न्यूटन के तृतीय नियम का भी प्रयोग किया जा सकता है। दो वस्तुओं A और B के वियुक्त तंत्र (isolated system) पर विचार करें जो Δt समय के लिए परस्पर अन्योन्य क्रिया करते हैं। यदि माने कि वे एक दूसरे पर $\mathbf{F}_A$ और $\mathbf{F}_B$ बल लगाती है तो न्यूटन की तृतीय नियम के अनुसार

$$\mathbf{F}_A = -\mathbf{F}_B$$

अथवा $\dfrac{\Delta p_A}{\Delta t} = -\dfrac{\Delta p_B}{\Delta t}$

अथवा $\Delta P_A + \Delta P_B = 0$ यानी $\Delta P_{total} = 0$

अतः, तंत्र के संवेग में कोई परिवर्तन नहीं होता है।

3.6.2 संवेग संरक्षण के कुछ उदाहरण

(क) बन्दूक का प्रतिक्षेप : जब बन्दूक से गोली चलाई जाती है तो बन्दूक प्रतिक्षेप करती है। बन्दूक के प्रतिक्षेप के वेग v_2 को संवेग संरक्षण के नियम से प्राप्त किया जा सकता है। द्रव्यमान m की बन्दूक से चली गोली का द्रव्यमान m माने। यदि गोली का वेग v_1 है और बन्दूक का वेग v_2 हो तो– संवेग संरक्षण के नियम के अनुसार

$$mv_1 + Mv_2 = 0$$

अथवा, $mv_1 = -Mv_2$

अथवा, $v_2 = \dfrac{-m}{M} v_2$

यहां ऋण चिन्ह दर्शाता है कि v_2 और v_1 एक दूसरे की विपरीत दिशा में है। सामान्यतः $m << M$, बन्दूक का प्रतिक्षेप वेग गोली के वेग से बहुत कम होता है।

(ख) **संघट्टनः** संघट्टन में हम टकराने वाली वस्तुओं को एक तंत्र का अंश मान सकते हैं। संघट्टनशील वस्तुओं पर किसी प्रकार का बाहरी बल जैसे कि घर्षण बल की अनुपस्थिति में तंत्र को वियुक्त तंत्र (isolated system) माना जा सकता है। संघट्टनी वस्तुओं के बीच अन्योन्य क्रिया का बल तंत्र में आन्तरिक होने के कारण संघट्टनी वस्तुओं के संवेग में परिवर्तन नहीं होता।

उदाहरण 3.5: *दो परस्पर संयुक्त ट्रॉलियां जिनमें से प्रत्येक का द्रव्यमान m है प्रारम्भिक वेग v से चल रही है। वे M द्रव्यमान वाली तीन स्थिर ट्रालियों के साथ टकराकर साथ हो जाती हैं। टकराव के बाद ट्रालियों का वेग क्या होगा ?*

हलः

टकराव के बाद ट्रॉलियों का वेग मानते हैं v'

संघट्टन से पहले संवेग $= 2mv$

संघट्टन के बाद संवेग $= 5mv'$

संवेग संरक्षण के नियम के अनुसार

$2mv = 5\ mv'$

अथवा $v' = \frac{2}{5}v$

(ग) बम-विस्फोटः संचित ऊर्जा के निर्मुक्त होने पर बम विस्फोटित होकर खंड-खंड हो जाता है। शुरू में स्थिर रखे एक बम पर विचार करें। दो खंडों A और B में जिसका विस्फोट होता है। चूंकि विस्फोट से पहले बम का संवेग शून्य था, विस्फोट के बाद बने दोनों खंडों का कुल संवेग भी शून्य ही होगा। इस कारण से दोनों अंश विपरीत दिशा में समान संवेग से उड़ेंगे। यदि दोनों खंडों के द्रव्यमान समान होंगे, तो दोनों खंडों के वेग का परिमाण भी समान होगा।

(घ) रॉकेट नोदनः एक रॉकेट की उड़ान संवेग संरक्षण का महत्वपूर्ण व्यावहारिक प्रयोग है। रॉकेट दो-अंशों वाला तंत्र होता है। इसमें ईंधन टैंक युक्त एक कोश होता है जिसे एक अंश माना जा सकता है। ईंधन टैंक के ईंधन को दूसरा अंश मान सकते हैं। आवरण में एक नोजल होता है जिसके द्वारा उच्च दाब पर गैसों का निष्कासन होता है। जब रॉकेट को फायर करते हैं तो ईंधन का दहन बहुत अधिक दाब और ताप पर गैसें पैदा करता है। उच्च दाब के कारण ये गैसें अति उच्च वेग से नोज़ल से निकलती हैं। फलस्वरूप, रॉकेट विपरीत दिशा में उड़ता है। रॉकेट के नोदन को निम्न प्रकार से स्पष्ट किया जा सकता है।

पृथ्वी पर स्थिति प्रेक्षपक के लिए रॉकेट का कुल संवेग (आवरण और ईंधन) रॉकेट-छोड़ने से पहले शून्य होता है। ईंधन के दहन के परिणामस्वरूप दहन निर्मुक्त गैसें निशचित संवेग प्राप्त करती है। कोश और ईंधन को संवृत तंत्र (closed system) मान लिया जाय तो उनका कुल संवेग रॉकेट छोड़ जाने के बाद भी शून्य होना चाहिए। अतः निर्मुक्त गैसों के संवेग के परिमाण के बराबर ही आवरण भी संवेग परिमाण प्राप्त करता है, किंतु यह विपरीत दिशा में होता है।

जहां तक संवेग संरक्षण का प्रश्न है रॉकेट का नोदन बन्दूक के प्रतिक्षेप से कम से कम एक प्रकार से भिन्न होता है। बन्दूक की गोली की तरह रॉकेट की सम्पूर्ण गैस एक साथ बाहर नहीं निकलती। वास्तविक व्यवहार में रॉकेट का ईंधन एक निश्चित दर से कम होता है जो सामान्यतः एकसमान होता है।

पाठगत प्रश्न 3.4

1. *क्या निर्बाध गिरती हुई गेंद का संवेग संरक्षित रहता है ? क्यों ?*

   ....

2. *क्या मूल रूप से विरामावस्था में रखे गए बम का निम्न अवस्थाओं में विस्फोट हो सकता है ?*

   (क) दो खंडों में जो एक दूसरे से विपरीत दिशा में उड़ते हैं ?

   (ख) तीन अंशों में जो एक दूसरे के लम्बवत् उड़ते हैं।

   ....

3. *किसी बन्दूक का प्रतिक्षेप वेग उससे निकलने वाली गोली की तुलना में बहुत कम क्या होता है ?*

   ....

4. *दो गेंदें जिनमें से प्रत्येक का द्रव्यमान 0.2 kg है, एक ही सरल रेखा में, एक दूसरे की ओर 10 ms^{-1} के वेग से आकर टकरा जाती हैं। टकराने के बाद उनका कुल संवेग कितना होगा ?*

   ....

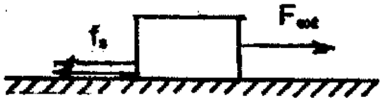
3.7 घर्षण

यह सर्वविदित है कि जब हम किसी गेंद को भूमि पर लुढ़काने के लिए धकेलते हैं तो गेंद सदा के लिए लुढ़कना जारी नहीं रखती। यह कुछ दूरी तय करने के बाद विराम की अवस्था में आ जाती है। अतः गेंद का संवेग जो प्रारंभ में धकेलते समय गेंद में था वह शून्य हो जाता है। हम पहले अध्ययन कर चुके हैं कि गेंद के संवेग में परिवर्तन के लिए गेंद पर लगा कुछ बल उत्तरदायी होता है। इस प्रकार का बल घर्षण बल कहलाता है और यह बल तभी क्रियाशील होता है जबकि दो वस्तुएं एक दूसरे के संपर्क में गति करें या एक दूसरे की तुलना में गति करने के लिए प्रवृत्त हों। जब हम अलमारी को उसके स्थान से बदलने के लिए फर्श के ऊपर धकेलते या खींचते हैं तो घर्षण बल के विरोध में ही हमें बल लगाना पड़ता है। घर्षण बल एक संपर्क बल है जो हमेशा इसके संपर्क में आई सतहों के बीच गति की दिशा की विरुद्ध दिशा में लगता है। सामान्यत,ः सब जानते हैं कि संपर्क में आने वाली सतहों के खुरदुरेपन के कारण घर्षण होता है। इस कारण आवश्यकता के अनुसार सतहों को खुरदरा या चिकना बनाने का प्रयास किया जाता है।

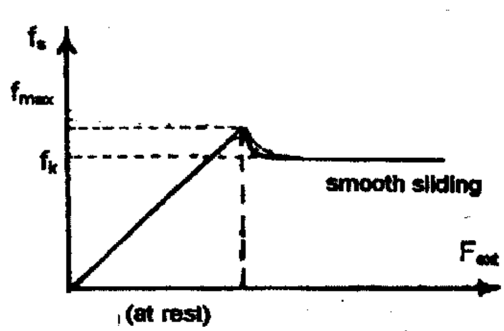
घर्षण वस्तु की गति को रोकता है जिसके कारण उसमें टूट-फूट होती है ओर यांत्रिक ऊर्जा की हानि होती है। दूसरी ओर केवल घर्षण के कारण ही हम चल सकते हैं, वाहन चल सकते हैं और गतिशील वाहनों को रोक सकते हैं। अतः स्पष्ट है कि घर्षण की हमारे जीवन में दोहरी भूमिका है।

3.7.1 स्थैतिक तथा गतिज घर्षण

यह सामान्य अनुभव है कि किसी सतह के ऊपर वस्तु को गतिशील रखने के लिए कुछ न्यूनतम बल की आवश्यकता होती है। इस तथ्य की व्याख्या करने के लिए आइए हम एक क्षैतिज सतह पर खड़े एक गुटके पर विचार करते हैं जैसाकि चित्र 3.4 में दर्शाया गया है। दर्शायी गयी दिशा में गुटके पर कुछ बाह्य बल F_{ext} इस प्रकार लगाते हैं कि गुटका गति ना करे यह तभी संभव है जब गुटके पर कुछ अन्य बल कार्य कर रहा हो। जोकि F_{ext} के बराबर मात्रा का हो लेकिन विपरीत दिशा में हो। इस प्रकार का बल स्थैतिक घर्षण का बल कहलाता है। और यह f_s चिन्ह से व्यक्त किया जाता है। ज्यों-ज्यों F_{ext} बढ़ती है। त्यों-त्यों ही f_s भी बढ़ता है और परिमाण में F_{ext} के बराबर रहता है जब तक कि वह क्रांतिक मान $f_s\,(\max)$ तक नहीं पहुंचता। जब F_{ext} क्रांतिक मान से अधिक बढ़ाया जाता है तो गुटका फिसलना शुरू कर देता है और तब यह गतिज घर्षण का कहलाता है। यह आम अनुभव है कि वस्तु के अचर वेग से गति कराने के लिए जितने बल की आवश्यकता होती है उसकी तुलना में वस्तु को प्रारंभ में गति देने के लिए अधिक बल की आवश्यकता होती है। इस कारण से संपर्क में आने वाली सतहों के बीच अधिकतम स्थैतिक घर्षण बल $f_s\,(\max)$ उनके बीच गतिज घर्षण f_K से अधिक होगा। चित्र 3.5 में बाह्य बल के साथ घर्षण बल की परिवर्तनशीलता दर्शायी गई है।



चित्र 3.4: ब्लाक पर कार्य करने वाले बल



चित्र 3.5: घर्षण बल का परिवर्तन

एक दूसरे के संपर्क में रखी दो सतहों के जोड़े के लिए वे कौन से कारक हैं जिन पर f_s (max) और f_K निर्भर है ? यह एक प्रायोगिक तथ्य है कि f_s (max) सामान्य बल F_N के समानुपातिक होता है।

अतः

$$f_s(\max) \alpha f_N$$

या $f_s(\max) = v_s F_N$ ....(3.5)

यहां v_s स्थैतिक घर्षण का गुणांक कहलाता है।

क्योंकि $f_s \leq v_s(\max)$

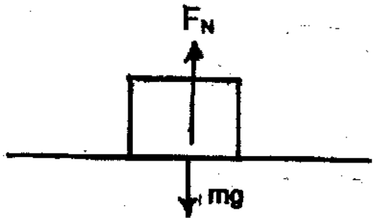
$$f_s \leq v_s f_{\pi}$$

प्रायोगिक रूप से यह भी पाया गया है कि दो सतहों के बीच स्थैतिक घर्षण का अधिकतम बल संपर्क के क्षेत्रफल पर निर्भर नहीं करता है। इसी प्रकार

$$f_K = v_k F_N$$ ....(3.6)

जहां v_k गतिज घर्षण का गुणाक हैं। सामान्यतः $\mu_s > v_k$ लेकिन इसमें अपवाद हैं। इसके अतिरिक्त गुणांक μ_s और v_k वास्तव में सतह के किसी भी युग्म जैसे लकड़ी पर लकड़ी या कंक्रीट पर रबड़ आदि अचर के लिए नहीं हैं दी गई सामग्रियों के युग्म के लिए μ_s और υ_k का मान खुरदरापन, स्वच्छता, तापमान, आर्द्रता, आदि पर निर्भर करता है।

जैसा कि पहले चर्चा की जा चुकी है कि गुटके पर सतह का सामान्य बल F_N जिस बल से गुटका सतह को दबाता है, उसकी जानकारी के द्वारा F_N ज्ञात किया जा सकता है। जैसा कि चित्र 3.6 में दर्शाया गया है कि गुटका पर सामान्य बल $F_N = mg$ होगा जहां m गुटके का द्रव्यमान है।



चित्र 3.6: ब्लाक पर लम्बवत बल

***उदाहरण 3.6 :** एक क्षैतिज सतह पर एक 2 कि.ग्रा. का गुटका विराम की अवस्था में है। संपर्क सतहों के बीच स्थैतिक घर्षण गुणांक 0.25 है। संपर्क सतह के बीच स्थैतिक घर्षण का अधिकतम बल ज्ञात कीजिए।*

हल:

यहां $N = mg$

और $\mu_s = 0.25$

जैसा कि $f_s(\max) = \mu_s F_N = \mu_s mg$

$= (0.25)$ (2 किग्रा.) (9.8 मी./से²)

$= 4.9$ N

***उदाहरण 3.7:** 5 कि. ग्राम. भार का एक गुटका एक क्षैतिज सतह पर है जिसके लिए $\upsilon_k = 0.1$ हैं। गुटके का त्वरण क्या होगा यदि क्षैतिज दिशा में उस पर 10N बल लगाकर खींचा जा रहा हो।*

हल:

$F_k = \mu_k F_N$ जहां कि $F_N = mg$

अतः $F_K = \mu_K mg$

$= (0.1)$ (5 कि.ग्रा.) (9.8 मी/से.^{2})

$= 4.9$ कि. किग्रा. मी./से.^{2} $= 4.9N$

गुटके पर आरोपित कुल बल $= f_{ext} - f_k$

$= 10\ N = 4.9\ N$

$= 5.1\ N$

अतः इस प्रकार त्वरण $= a = \dfrac{F_{Net}}{M} = \dfrac{5.1N}{5\text{कि.ग्राम}}$

$= 1.02$ मी./से.^{2}

अतः गुटका में बाह्य लगाए गए बल की दिशा में 1.02 मी. से. का त्वरण होगा।

3.7.2 बेल्लन घर्षण (Rolling friction)

यह सामान्य अनुभव है कि पहियों वाली वस्तु को खींचना तथा धकेलना आसान है। सर्पी गति से पहियों की गति भिन्न होती है। पहियों की गति बेल्लन गति होती है। बेललन गति में होने वाले घर्षण को बेल्लन घर्षण कहते हैं। एक समान सामान्य बल के लिए सर्पी घर्षण की अपेक्षा बेल्लन घर्षण बहुत ही कम होता है। उदाहरण के लिए जब लोहे की पटरी पर लोहे के पहिए घुमते हैं तो लोहे पर लोहे की सर्पी घर्षण की तुलना में बेल्लंन घर्षण लगभग 1/100 वां होता है। बेल्लन घर्षण के गुणांक के लिए प्रतिरूपी मान स्टील पर स्टील के लिए 0.006, तथा कंक्रीट पर रबड़ के लिए 0.02–0.04 होता है।

चित्र 3.7

किसी सतह पर पहिए की बेल्लन गति के मामले में सतह की तुलना में पहिए के संपर्क बिंदु का सापेक्ष वेग शून्य होता है। इसका अर्थ है कि पहिए के संपर्क बिंदु की कोई सर्पी गति नहीं होती है। केवल पहिए का केंद्र आगे गति करता है। बेल्लन घर्षण के उद्‌गम की निम्न प्रकार से व्याख्या की जा सकती है। जब एक गेंद किसी चपटी सतह पर लुढ़कती है तो यह सतह को थोड़ा सा विकृत कर देता है। चित्र 3.14 में लुढ़कने के समय चपटी सतह में विकृति-विकृति को दर्शाया गया है। सतह-विकृतियों के कारण एक लुढ़कती गेंद को पहाड़ी पर चढ़ना होगा कि यदि संपर्क में आने वाली सतह कठोर हैं तो सतह में विकृति कम से कम होगी और बेल्लन घर्षण का मान कम होगा।

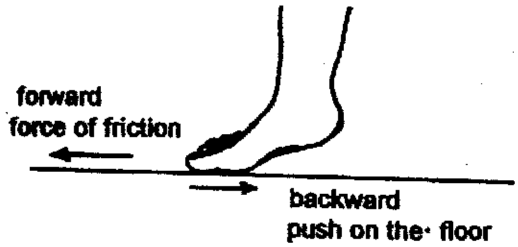
3.7.3 घर्षण का महत्व

घर्षण का हमारे जीवन में महत्वपूर्ण स्थान है। केवल घर्षण के ही कारण हम चलते हैं या अपने हाथ में टूथ ब्रुश पकड़ सकते हैं।

बाई साइकिल को आवश्यकता के अनुसार रोकने के लिए उसके रिम तथा ब्रेक शू के बीच उपयुक्त घर्षण अपेक्षित होता है। यह केवल घर्षण बल ही है जो गतिशील इंजन के द्वारा वाहन को चलाता है। नीचे घर्षण की भूमिका पर प्रकाश डालने वाली स्थितियों पर चर्चा की गई है।

चलना: जब हम फर्श पर खड़े होते हैं तो हम पर क्षैतिज या ऊर्ध्वाधर दिशा में कोई विशुद्ध बल नहीं लग रहा होता। जैसे ही हम चलना प्रारंभ करते हैं तो हम आगे की दिशा में कुछ त्वरण अवश्य रखते हैं। इसका अर्थ है कि आगे की दिशा में हम पर कुछ विशुद्ध बल लग रहा है। यह बल कहां से आया हम फर्श को पीछे की दिशा

में धकेल कर इस बल का सृजन करते हैं। यह फर्श और हमारे पैरों के बीच घर्षण के कारण होता है जिससे हम अपने ऊपर अपेक्षित बल लगा सकते है। पैरों पर आगे की दिशा में घर्षण बल का अनुभव करने के लिए पैरों द्वारा जिस दिशा में फर्श को धकेला गया है वह चित्र 3.8 में दर्शाया गया है। यह स्पष्ट करता है कि चिकनी फिसलन भरी सतह पर हमारे लिए चलना कठिन क्यों होता है।



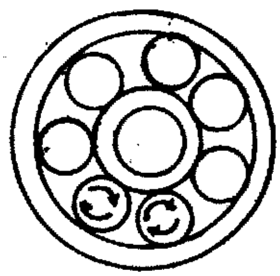
चित्र 3.8: चलने के दौरान पैरों पर लगने वाले बल

घर्षण का बल आधा भी पैदा करता है। यह घर्षण का बल ही है जो समतल सतह पर चलती हुई साइकिल को पैडल न मारने पर विराम की अवस्था में ले आता है। समतल सतह पर साइकिल को समान गति से चलाने के लिए क्या हमें पैडल मारने की आवश्यकता होती है। घर्षण के कारण मशीनों में बड़ी मात्रा में ऊर्जा की हानि होती है। जैसा कि आप पाठ 6 में पढ़ेंगे कि घर्षण बल पर नियंत्रण करने में कार्य का किया जाना अपेक्षित है। इस कारण से अनावश्यक घर्षण में कमी लाने के सायास प्रयत्न किए जाते हैं।

3.7.4 घर्षण कम करने की विधियां

फिसलन से बेल्लन अत्यधिक आसान है। इस सामान्य सिद्धान्त के कारण पहिए को मानव जाति का बहुत बड़ा अविष्कार माना गया है। बेल्लित वस्तु के उपयोग का उदाहरण बॉल बेयरिंग्स है।

बालबियरिंग्स में दो सह अक्षीय सिलेंडरों के बीच स्टील बाल रखी जाती है जैसा चित्र 3.9 में दर्शाया गया है। सामान्यतः दो सिलेंडरों में से एक को दूसरे की अपेक्षा घूमने दिया गया है। यहां पर बॉलों का परिभ्रमण लगभग घर्षण रहित गति में होता है। बाल बियरिंग्स का सभी प्रकार के वाहनों, विद्युत मोटर्स, जैसे कि, विद्युत पंखों में उपयोग होता है।



चित्र 3.8: बाल बियरिंग

संपर्क सतहों के बीच स्नेहकों (lubricants) जैसे कि ग्रीस या तेल का प्रयोग बड़ी मात्रा में घर्षण कम कर देता है। भारी वाहनों में गतिशील भागों को तेल में डुबाकर रखा जाता है यह गतिशील भागों के बीच घर्षण बल को कम करता है तथा उन्हें अधिक गरम होने से भी बचाता है। वास्तव में स्नेहकों यथा तेल या ग्रीस की उपस्थिति, शुष्क घर्षण को द्रव घर्षण में परिवर्तित कर घर्षण के परिमाण को घटा देता है।

संपर्क सतहों के बीच संपीडित और विशुद्ध वायु का प्रवाह भी घर्षण को कम करता है। यह गतिशील भागों पर धूल तथा गंदगी को एकत्र होने से भी रोकता है। शक्तिशाली वायु पम्पों द्वारा मुहैया कराए गए वायु-कुशन (air cushion) पर हॉव्र क्राफ्ट्स (hover craft) चलाए जाते हैं।

पाठगत प्रश्न 3.5

1. *एक मेज फर्श पर रखी है क्या उस पर कोई घर्षण बल लग रहा है?*

   ....

2. *एक आनत तल पर एक पुस्तक रखी है क्या पुस्तक पर कोई घर्षण बल लग रहा है?*

   ....

3. *3 किग्रा. द्रव्यमान का एक गुटका $F_1 = 20N$ और $F_2 = 20N$ के साथ एकसमान वेग से फिसल रहा है। यदि F_2 हटा दिया जाए तो क्या होगा?*

   ....

4. *एक आनत सतह पर बाक्स को धकेलते हैं तो उसे क्षैतिज रूप से धकेलना उपयुक्त होगा अथवा झुकी आनत सतह के सामान्तर धकेलना।*

   ....

अगले भाग में प्रश्न हल करने के लिए कुछ मार्गदर्शक सिद्धान्त बताये गये हैं। अभ्यास के लिए कुछ उदाहरण भी दिये गये हैं। प्रश्नों के हल पढ़ने से पहले मार्गदर्शक सिद्धान्तों के अनुसार उन्हें स्वयं हल करने की कोशिश करें।

बल-निर्देशक आरेख-तंत्र-तकनीक

1. दिए गए विवरण के अनुसार दिये गये (system) तंत्र का एक सरल, स्वच्छ आरेख बनाइए।
2. जिस वस्तु पर ध्यान केंद्रित करना हो उस वस्तु को अलग कीजिए यह वस्तु मुक्त वस्तु कहलाएगी।
3. मुक्त वस्तु पर प्रभाव डालने वाले सभी वाह्य बलों पर विचार कीजिए और मुक्त वस्तु पर उनके प्रयोग की दिशा स्पष्ट रूप से तीरांकन के द्वारा चिन्हित कीजिए।
4. अब न्यूटन के दूसरे नियम $\Sigma F = \frac{m}{2} a$ ma का उपयोग कीजिए।

(अथवा $\Sigma F_x = ma_x$ और $\Sigma F_y = ma_y$)

याद रखें

1 वस्तु के त्वरण की दिशा में वस्तु पर नेट बल होना चाहिए।

2. सम्पूर्ण हल के लिए जितनी अज्ञात राशियों हैं उतने ही स्वतंत्र समीकरण होने चाहिए।

5. अजड़त्वीय फ्रेम के संदर्भ में यदि वस्तु का बल-निर्देशक आरेख बनाया जाता है तो आभारी बल जैसे अपकेंद्री बल को भी अन्य सभी बाह्य बलों के साथ वास्तविक बलों के रूप में विचार में लाया जाए। इस प्रकार के बल की दिशा संदर्भ फ्रेम के त्वरण की दिशा के विपरीत होगी।

6. कुछ स्थितियों में आपको वस्तु की घूर्णी गति पर विचार करना पड़ सकता है। और तब व्यंजक बल आघूर्ण, $T = I\alpha$

(बलआघूर्ण = बल × बल भुजा) का प्रयोग किया जाएगा

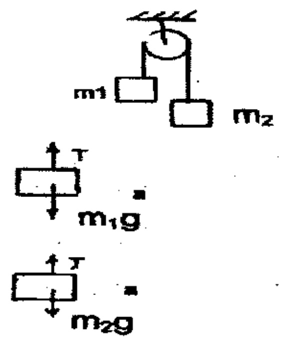
इन स्थितियों में उन अक्षों पर दक्षिणावर्त आघूर्णों के साथ वामावर्त आघूर्णों में संतुलन बनाना होगा जिनके चारों ओर वस्तु घूर्णन करती है या घूर्णन को प्रवृत्त होती है।

उदाहरण 3.8: *m_1 और m_2 द्रव्यमान के दो गुटके एक भारहीन धागे से जोड़े जाते हैं और चिकनी क्षैतिज सतह पर रखे जाते हैं। m_1 द्रव्यमान के गुटके को बल F के द्वारा खींचा जाता है, जो क्षैतिज सतह के समांतर कार्य कर रहा है। दोनों गुटकों का त्वरण क्या होगा और दोनों (इनको भी क्षैतिज मानिए) को जोड़ने वाले धागे में तनाव क्या होगा।*

हल: मान लो F दिशा में a गुटकों का त्वरण है। और धागे का तनाव T है। m_1 तथा m_2 के बल-निर्देशक आरेख के लिए घटक रूप में $\Sigma.F = ma$ प्रयोग करने पर हमें प्राप्त होता है।

$N-(m_1+m_2)g=0$ और $F=(m_1+m_2)a$

$N=(m_1+m_2)g$ और $a=\dfrac{F}{m_1+m_2}$



m_1 के बल-निर्देशक आरेख के लिए घटक रूप में

$\Sigma F = m_a$ प्रयोग करने पर हमें प्राप्त होता है:

$N_1 = mg = 0$ और $T_1 = m_1 a$

$\Rightarrow N_1 = m_1 g$ और $T = m_1\left(\dfrac{F}{m_1+m_2}\right.$

या $T=\left(\dfrac{m_1}{m_1+m_2}\right)F$

m_2 के बल-निर्देशक आरेख के लिए पुनः $\Sigma F = Ma$ उपयोग कीजिए और देखिए कि क्या आप a और T के लिए वहीं व्यंजक प्राप्त करते हैं।

उदाहरण 3.9 *दो द्रव्यमान m_1 और m_2 ($m_1 > m_2$) को हल्की घर्षण रहित पुली के ऊपर से गुजरती हुई हल्की अवितान्य धागे के दो सिरों से जोड़ा गया। द्रव्यमान (चार) को छोड़ते समय उन्हें जोड़ने वाले धागे में तनाव और द्रव्यमानों का त्वरण ज्ञात कीजिए।*

हल: मान लो द्रव्यमान m_1 का त्वरण नीचे की ओर a है। m_2 का द्रव्यमान का त्वरण भी केवल a होगा लेकिन यह ऊपर की ओर होगा। (क्यों ?) मान लो दो द्रव्यमानों को जोड़ने वाली वाले धागे में तनाव T है।

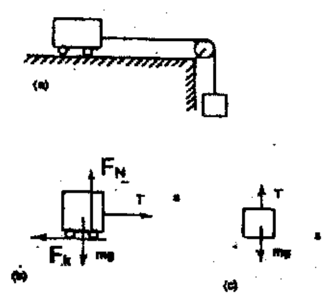
टिप्पणी: पूरे धागे में तनाव एकसमान होगा क्योंकि यह द्रव्यमान रहित एक ही रस्सी है।

m_1 और m_2 पर $\Sigma F = ma$ लागू करने पर हमें प्राप्त होता है

$m_1 g, - T = m_1 a$..(1)

$T - m_2 g = m_2 a$..(2)

a और T के लिए समीकरण (1) और (2) को हल करने पर हमें प्राप्त होता है



$a=\left(\dfrac{m_1-m_2}{m_1+m_2}\right)g$ और . $T=\left(\dfrac{2m_1m_2}{m_1+m_2}\right)g$

इस स्थिति में आप चरो (यानी m_1 और m_2) को चरम मान देकर पहले से बताए गए उपयुक्त व्यंजकों की जाँच कर सकते हैं।

उदाहरणार्थ $m_1 = m_2$ या $m_1 >> m_2$ रखने पर देखो कि क्या a और T के प्राप्य मान आशा के अनुरूप ही प्राप्त होते हैं।

उदाहरण 3.10: $M = 10$ किग्रा. द्रव्यमान की एक ट्रॉली भारहीन अवितान्य धागे की सहायता से $M = 2$ किग्रा. द्रव्यमान के गुटके के साथ जोड़ी गई। यह धागा चित्र 3.26 में दर्शाए गए रूप में हल्की घर्षणहीन पुली के ऊपर से जा रहा है। ट्रॉली और सतह के बीच गतिज घर्षण का गुणांक $N_k = 0.02$ है। अतः ज्ञात कीजिए।

(क) ट्रॉली का त्वरण

(ख) धागे में तनाव

हल: चित्र (b), (Mc) ट्रॉली और गुटके का बल-निर्देशक आरेख दर्शाते हैं। गुटके और ट्रॉली का त्वरण a लेते हैं।

ट्रॉली के लिए, $F_N = Mg$ और

$T - f_k = M_a$ जहां

$f_k = \mu_k F_N$ है।

$= u_k \, mg$

अतः $T - u_k \, Mg = m_a$ ....(1)

गुटके के लिए $mg - T = m_a$ ....(2)

समीकरण 1 और 2 जोड़ने पर हमें प्राप्त होता है।

$mg - u_k Mg = (M + m)a$

$$\text{या } a = \frac{mg - u_k \, Mg}{M + m} = \frac{(2\text{kg})(9.8\text{m/s}^2) - (0.02)(10\text{kg})(9.8\text{m/s}^2)}{10\text{kg} + 2\text{kg}}$$

$$= \frac{19.6\text{kg m/s}^2 - 1.96\text{kg m/s}^2}{12\text{kg}} = 1.47\text{m/s}^2$$

अतः $a = 1.47\text{m/s}^2$

समीकरण (2) से $T = mg - ma = m\,(g - a)$

$= 2\text{ kg } (9\text{–}8 \text{ m/s}^2 - 1.47 \text{ m/s}^2)$

$= 2\text{ kg } (8.33 \text{ m/s}^2)$

अतः $T = 16.66\text{N}$

पाठगत प्रश्न 3.6

1. *m द्रव्यमान का एक गुटका θ आनति के खुरदरे आनत तल पर रखा है। गुटके पर प्रभावी विभिन्न बलों को चित्र द्वारा दर्शाइए।*

....

2. *100 N का बल, दर्शाए गई चिकनी क्षैतिज सतह पर संपर्क में रखे 2 कि. ग्राम. और 3 कि. ग्रा. द्रव्यमान क्रमशः A और B दो गुटकों पर लग रहा है। गुटका B पर गुटका A कितने परिमाण का बल लगा रहा है ?*

....

3. *रज्जु से बांध कर लटकाई गई 5 किग्रा. की वस्तु को ऊपर खींचा जाता है तो रज्जु में तनाव क्या होगा जबकि इसमें ऊपर की ओर (क) वेग $2ms^{-1}$ हो (ख) त्वरण $2ms^{-2}$ हो।*

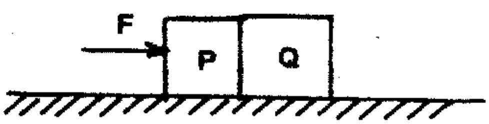
....

4. *2 किग्रा. द्रव्यमान के मुक्त रूप से गिरते पिंड से संलग्न निर्देशक फ्रेम में पिंड पर जड़त्व बल की दिशा तथा परिमाण क्या होगा ?*

....

3.6 आपने क्या सीखा है

- पिंड का जड़त्व उसके वेग में किसी परिवर्तन को प्रतिरोध करने की उसकी प्रवृत्ति को कहते हैं।
- न्यूटन का पहला नियम बताता है कि कोई वस्तु विराम या सरल ऋजु में एकसमान गति की अवस्था में तब तक रहता है जब तक उस पर लग रहा नेट बाह्य बल शून्य होता है।
- v वेग के साथ गतिमान m द्रव्यमान के अकेले कण के लिए हम सदिश राशि $\mathbf{p}$ को $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$ के रूप में परिभाषित करते हैं जो रेखीय संवेग कहलाता है।
- किसी वस्तु पर F बल का आवेग वस्तु के संवेग में परिवर्तन के बराबर होता है और वह बल समय वक्र के अन्तर्गत क्षेत्र द्वारा प्रकट किया जाता है।
- न्यूटन का दूसरा नियम बताता है कि वस्तु के संवेग के परिवर्तन की समय दर वस्तु पर लग रहे परिणामी बल के समानुपाती होती है।
- न्यूटन के दूसरे नियम के अनुसार अचर द्रव्यमान की वस्तु में उत्पन्न त्वरण, वस्तु पर लग रहे नेट बाह्य बल के अनुक्रमानुपाती होता है यानी $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$ सीधे आनुपातिक होता है
- न्यूटन का तीसरा नियम बताता है कि यदि दो वस्तु एक दूसरे के साथ अन्योन्य क्रिया करते हैं तब एक वस्तु द्वारा दूसरी वस्तु पर लगाया गया बल दूसरी वस्तु द्वारा पहले वस्तु पर लगाये गये बल के बराबर और विपरीत दिशा में होगा।
- संवेग के संरक्षण के नियम के अनुसार यदि कणों के तंत्र पर कोई नेट बाह्य बल नहीं लगता है तो कणों के तंत्र का कुल संवेग स्थिर रहता है चाहे कणों के बीच बलों की प्रकृति कैसी ही हो।
- घर्षण बल वह बल है जो किसी वस्तु पर लगता है जब वस्तु सतह के साथ सर्पण या बेल्लन करने का प्रयास करती है। घर्षण का बल हमेशा संपर्क में आई सतहों के समान्तर होता है और वस्तु की गति की दिशा के विपरीत होता है।
- कुछ आन्तरिक व्यवस्था के द्वारा चलाई गई वस्तु, जैसे इंजिन द्वारा पहिया चलाया जाना, कर स्थिति में में घर्षण बल के कारण गति होती है।
- वस्तु व सतह के बीच स्थैतिक घर्षण f_s (max) का अधिकतम बल वस्तु पर लग रहे सामान्य बल N के समानुपातिक होता है। यह अधिकतम बल तब लगता है जब वस्तु बस फिसलने (सर्पण) ही वाली हो?
- किसी सतह पर सर्पण कर रही वस्तु के लिए गतिज घर्षण f_k के बल का परिमाण $f_k = \mu_k N$ द्वारा व्यक्त किया जाता है जहां संपर्क में आई सतहों के लिए μ_K गतिज घर्षण गुणांक है।



- बेलन बियरिंग और बाल-वियरिंग का प्रयोग घर्षण और उससे जुड़ी ऊर्जा हानियों को बड़ी मात्रा में कम करता है क्योंकि गतिज घर्षण की तुलना में बेल्लन घर्षण बहुत कम होता है।
- न्यूटन के गति नियम केवल जड़त्वीय निर्देश फ्रेम में लागू होते हैं, जड़त्वीय फ्रेम वह है जिसमें (विलार्गत) एकल वस्तु का त्वरण शून्य होता है।
- स्थैतिक संतुलन में रहने वाली वस्तु के लिए उस पर लग रहे सभी बलों का सदिश योग शून्य होना चाहिए। केवल बिंदु वस्तुओं (point objects) के लिए ये आवश्यक तथा पर्याप्त शर्त है।

3.10 पाठांत प्रश्न

1. निम्नलिखित में से कौन हमेशा पिंड पर लग रहे नेट बाह्य बल की दिशा में होगा ?
   (क) विस्थापन
   (ख) वेग
   (ग) त्वरण
   (घ) संवेग
2. जब वस्तु पर अचर नेट बाह्य बल लग रहा हो तो निम्नलिखित में से किसमें परिवर्तन नहीं हो सकताः
   (क) स्थिति
   (ख) चाल
   (ग) वेग
   (घ) त्वरण
3. 0.5 किग्रा. की एक गेंद इतनी ऊँचाई से गिराई गई कि वह भूमि पर पहुंचने में 4 सेकंड का समय लेती है। गेंद के संवेग में परिवर्तन ज्ञात कीजिए।
4. 2 किग्रा. की वस्तु के संवेग में अधिक परिवर्तन निम्नलिखित में से किस स्थिति में होगा ?
   (क) जब 1 सेकंड के लिए 10 N बल उस पर लग रहा हो।
   (ख) जब 1 मिनट के लिए 10 N बल उस पर लग रहा हो।
5. 2 किग्रा. द्रव्यमान की एक गेंद 6 मी./से^{2}. त्वरण के साथ वायु में गिर रही है। गेंद पर वायु-घर्षण बल ज्ञात कीजिए।
6. 20 किग्रा. द्रव्यमान का एक भार एक रस्सी की सहायता से सतत त्वरण पर उठाया गया। भार 2 सेकंड में 5 मी. की ऊँचाई जाता है। रस्सी पर तनाव ज्ञात कीजिए।
7. 10 मी. से. की गति पर चल रही 0.1 किग्रा. द्रव्यमान की एक गेंद एक दीवार द्वारा उसी चाल से दर्शाई गई दिशा में विक्षेपित कर दी जाती है। गेंद के संवेग में परिवर्तन का परिमाण क्या है ?
8. एक मशीनगन का औसत प्रतिक्षेप बल बताइए जोकि 150 बुलेट प्रति मिनट दाग रही है। प्रत्येक बुलेट की चाल 900 मी./से. है। प्रत्येक बुलेट का द्रव्यमान 12 ग्रा. है।
9. जब तेज गति की गेंद को लपकते हैं तो गेंद को विराम की अवस्था में लाते समय हाथ को पीछे की ओर क्यों खींचते हैं।
10. विरामावस्था में स्थित 2 किग्रा. द्रव्यमान के पिंड पर 20 N परिमाण का अचर-बल 2 सेकंड के लिए लगता है, तो प्रारम्भ के (क) 1 सेकंड बाद वस्तु का वेग क्या होगा? (ख) 3 सेकंड बाद वेग क्या होगा?
11. दर्शाई गई दिशा में गुटके पर लगा बल कैसे उसको ऊर्ध्वाधर दीवार पर फिसलने से रोकता है।
12. एक क्षैतिज सतह पर 2 किग्रा. का गुटका विराम की अवस्था में हैं। गुटके तथा सतह के बीच स्थैतिक घर्षण का गुणांक 0.5 है। घर्षण के बल की दिशा और परिणाम क्या होगा यदि दर्शाई गई दिशा में गुटके पर लगा

बाह्य बल का परिमाण निम्नलिखित हो–

(क) ON (ख) 4.9 N (ग) 9.8 N

13. किसी सतह पर रखे एक गुटके के लिए स्थैतिक घर्षण का अधिकतम बल 10N है। जब जिस सतह पर गुटका विराम की अवस्था में है उसके समांतर 5N बाह्य बल लगाया जाए तो घर्षण-बल क्या होगा?

14. 30° आनति के आनत समतल पर 5 किग्रा. के गुटके को विराम की अवस्था में रखने के लिए कम से कम कितने बल की आवश्यकता है? गुटके तथा आनत समतल के बीच स्थैतिक घर्षण का गुणांक 0.25 है।

15. क्षैतिजीय घर्षण रहित सतह पर क्रमशः $m_1 = 2$ किग्रा. तथा $m_2 = 3$ किग्रा. कों द्रव्यमान के दो गुटके P तथा Q एक दूसरे के साथ सटाकर रखे गए हैं। चित्र में दर्शाई गई दिशा में P गुटके पर एक बाह्य बल $F = 10$N लगाया गया। अतः निम्नलिखित ज्ञात कीजिए।

(क) गुटकों का त्वरण

(ख) गुटके P द्वारा गुटके Q पर लगाया गया बल

16. $m_1 = 2$ किग्रा. और $m_2 = 4$ किग्रा. द्रव्यमानों के दो गुटके क्रमशः P और Q चित्र के अनुसार M द्रव्यमान के तीसरे गुटके R से जोड़े गए हैं।

M के किस अधिकतम मान के लिए तीनों गुटके संतुलन अवस्था में होंगे? प्रत्येक गुटके पर लग रहा घर्षण-बल उस पर सामान्य प्रतिक्रिया के बल का आधा है।

17. साइकिल ब्रेक के संबंध में घर्षण बल की भूमिका की व्याख्या कीजिए। यदि रिम पर तेल की कुछ बूंदे डाल दी जाएं तो क्या होगा?

18. $\theta = 37^\circ$ आनति के आनत समतल पर एक 2 किग्रा. के गुटके को धकेला गया जिससे उसे 20 मी./सें की प्रारंभिक चाल प्राप्त होती है। विराम की अवस्था में आने से पहले गुटका कितनी दूरी तय करेगा? गुटका तथा आनत के बीच गतिज बल का गुणांक $\mu_k = 0.5$ है।

$g = 10\text{m/s}^2$, और $\sin 37^0 = 0.6$, $\cos 37^0 = 0.8$ लीजिए।

प्रश्नों के उत्तर मिलाइए

पाठगत प्रश्न 3.1

1. उस वस्तु के लिए कथन सत्य है जो कोई नेट बल लगाने से पूर्व विराम की अवस्था में हो।
2. जड़त्व द्रव्यमान।
3. हां, यदि अचर बल गति की दिशा के लम्बवत् लगाया जाय।
4. बल से स्थानान्तरण और घूर्णन गति हो सकती है। यह वस्तुओं को विरूपित भी कर सकता है।

पाठगत प्रश्न 3.2

1. लघुतर द्रव्यमान की वस्तु।
2. (क) हां (ख) नहीं
3. गिरती हुई गेंद के संवेग में वृद्धि होती है क्योंकि इसकी गति की दिशा में गुरुत्व बल उस पर लगता है।
4. (ख) के मामले में संवेग में परिवर्तन अधिक होगा। यह $F x \Delta t$ गुणनफल है जो संवेग में परिवर्तन बताता है।
5. नहीं, बल संवेग से संबंधित नहीं है। यह संवेग के परिवर्तन की दर से संबंधित है।
6. नहीं, यद्यपि चाल अचर है लेकिन वस्तु के वेग में परिवर्तन उसकी दिशा में परिवर्तन के कारण होता है। अतः उसका संवेग अचर नहीं है।

पाठगत प्रश्न 3.3

1. जब तक उस पर बल लगता है वह त्वरण के साथ गति करती है।
2. यदि समय के साथ वस्तु का वेग अचर पाया जाए तो वस्तु पर लग रहा नेट बल शून्य है।
3. $F = 12$ N, $m = 2\text{m/s}^2$
4. नहीं
5. हां एक समान घूर्णन गति में वस्तु में त्वरण होता है क्योंकि समय के साथ उसके वेग की दिशा में निरन्तर परिवर्तन होता है।

   यदि त्वरण वेग की दिशा में है तो पिंड की चाल अचर नहीं रह सकती।

   बल के विरूपण-प्रभाव का उपयोग बल के मापन के लिए स्प्रिंग तुला में किया जाता है।

पाठगत प्रश्न 3.4

1. कूदने वाले पर भूमि द्वारा लगाए गए बल के द्वारा कूदने वाला ऊपर की ओर त्वरित होता है। यह बल कूदने वाले द्वारा भूमि पर लगाए गए बल की प्रतिक्रिया है।
2. (क) वह बल जिससे व्यक्ति फुटबाल में किक लगाता है यदि वह क्रिया है तो फुटबाल द्वारा व्यक्ति पर लगाया गया बल उसकी प्रतिक्रिया होगी।

   (ख) वह बल जिससे पृथ्वी चन्द्रमा को खींचती है यदि वह क्रिया है तब चन्द्रमा द्वारा पृथ्वी पर लगाया गया बल उसकी प्रतिक्रिया होगी।

   (ग) गेंद द्वारा दीवार पर लगाया गया बल यदि क्रिया है तो दीवार द्वारा गेंद पर लगाया गया बल उसकी प्रतिक्रिया होगी।

3. 60 किग्रा. भार वाली महिला पर गुरूत्वाकर्षण बल $60 \times 9.8N = 588N$ है। न्यूटन के गुरुत्वाकर्षण के तीसरे नियम के अनुसार महिला द्वारा पृथ्वी पर लगाया गया बल भी 588N होगा। यह त्रिज्यतः बल बाहर की ओर निर्देशित होगा।
4. (क) पुस्तक पर गुरुत्वाकर्षण बल तथा मेज का प्रतिक्रिया बल।
   (ख) कार्क पर गुरुत्वाकर्षण बल और ऊपर उछाल अर्थात उत्प्लावन बल।
   (ग) बॉब पर गुरुत्वाकर्षण बल और बॉब से जुड़ी डोरी में तनाव।
5. ब्लाकों के तंत्र के आन्तरिक बल वह बल जिससे गुटका 2 गुटका 3 को दबाया है।
   ब्लाकों के तंत्र पर बाह्य बल ब्लाकों पर मेज का प्रतिक्रिया बल।

पाठगत प्रश्न 3.5

1. नहीं, गेंद का संवेग का संरक्षण नहीं हुआ क्योंकि मुक्त रूप से गिरती वस्तु एक नेट बाह्य बल की क्रिया के अन्तर्गत होती है।
2. (क) हाँ, विस्फोट के परिमाणस्वरूप बने दो टुकड़ों का समान तथा विपरीत संवेग होगा ताकि टुकड़ों द्वारा होने वाला कुल संवेग शून्य हो, जैसा कि विस्फोट से पहले था।
   (ख) तीन संवेग सदिशों का योग कभी भी शून्य परिमाण उत्पन्न नहीं करता यदि वे एक ही समतल में न हों। अतः प्रारम्भ में विराम की अवस्था वाले बम का ऐसे तीन टुकड़ों में विस्फोट नहीं हो सकता जो परस्पर लम्बवत दिशाओं में उड़ते हों। इस प्रकार घटित होना संभव नहीं है क्योंकि यह संवेग के संरक्षण नियम के विपरीत है।
3. संवेग के संरक्षण नियम के अनुसार बंदूक वैसे ही संवेग के परिमाण के साथ प्रतिक्षेप करती है जैसे कि बुलेट। चूंकि बुलेट की तुलना में बंदूक का द्रव्यमान सामान्यतः बहुत अधिक होता है अतः बंदूक का प्रतिक्षेप वेग बहुत कम होता है।
4. शून्य

पाठगत प्रश्न 3.6

1. नहीं   2. हाँ   3. 5 मी./से^{2}

आनत समतल के समानान्तर बल के प्रयोग द्वारा बॉक्स को धकेलना बेहतर है। जब बल क्षैतिजीय लगाया जाता है तब गति की प्रवृत्त दिशा के साथ इस बल का केवल एक घटक कार्य करता है। इसके अतिरिक्त इस बल के अन्य घटक आनत तल पर रखे बाक्स पर दबाव डालते हैं जिससे बाक्स पर आनत तल की प्रतिक्रिया के बल में वृद्धि हो जाती है।

पाठगत प्रश्न 3.7

1. गुटके पर कार्य कर रहे हैं विभिन्न बल इस प्रकार हैं :
   (क) आनत समतल कर प्रतिक्रिया बल N
   (ख) घर्षण का बल f
   (ग) गुरुत्वाकर्षण बल mg
   चित्र उनकी उचित दिशाएं दर्शाता है।
2. 60N
3. (क) 49N (ख) 59N
4. ऊर्ध्वाधर ऊपर की दिशा में 19.6N