टिप्पणियाँ

3

गति के नियम

पूर्व अध्याय में आपने विस्थापन, वेग एंव त्वरण के पदों में किसी पिंड की गति का वर्णन करना सीखा। परन्तु एक महत्वपूर्ण प्रश्न यह उठता है कि वह क्या है जो किसी पिंड को गतिमान करता है? अथवा यह कि जमीन पर लुढ़कती हुई कोई गेंद किस कारण रुक जाती है? अपने दिन प्रतिदिन के अनुभव से हम जानते हैं कि यदि हम कमरे में रखी किसी वस्तु की स्थिति में परिवर्तन करना चाहें तो हमें उसे खींचना या धकेलना पड़ता है। इसी प्रकार फुटबॉल को दूर भेजने के लिये उस पर ठोकर मारनी पड़ती है। छक्का लगाने के लिये क्रिकेट बॉल पर बल्ले को जोर से मारना पड़ता है। आप मानेंगे कि इस प्रकार की गतिविधियों में मांसपेशियों की क्रियाएं सन्निहित हैं और उनका प्रभाव स्पष्ट दृष्टिगोचर होता है।

तथापि, ऐसी अनेक घटनाएं होती हैं जिनके कारक बल दृष्टिगोचर नहीं होते। उदाहरणार्थ– वर्षा की बूँदों के जमीन पर गिरने का क्या कारण है? पृथ्वी द्वारा सूर्य के चारों तरफ घूमने का क्या कारण है? इस पाठ में आप गति के मूल सिद्धांतों का अध्ययन करेंगे और गति के कारणों की खोज करेंगे। इस पाठ में विकसित बल की अवधारणा भौतिकी की विभिन्न शाखाओं में उपयोगी सिद्ध होगी। न्यूटन ने बल व गति के अंतरंग संबंधों को दर्शाया। गति के नियम प्रकृति के मूलभूत नियम हैं और दैनिक जीवन की घटनाओं को समझने में हमारी सहायता करते हैं।

उद्देश्य

इस पाठ का अध्ययन करने के पश्चात आप

- *जड़त्व के महत्व को समझा सकेंगे;*
- *न्यूटन के गति के नियमों को बता पायेंगे और उनको समझाने के लिए उदाहरण दे सकेंगे*
- *संवेग संरक्षण के नियम की व्याख्या कर पायेंगे और उदाहरणों द्वारा इसको समझा सकेंगे।*
- *संगामी बलों के संतुलन की संकल्पना को समझ पाएंगे;*
- *घर्षण गुणांक को परिभाषित कर पायेंगे और स्थैतिक घर्षण, गतिज घर्षण एंव लोटनिक घर्षण में भेद स्पष्ट कर सकेंगे;*

- *घर्षण कम करने की विभिन्न विधियाँ बता सकेंगे और दैनिक जीवन में घर्षण की भूमिका पर प्रकाश डाल पायेंगे; एवं*
- *दी गयी परिस्थिति का विश्लेषण कर पायेंगे ओर बल निर्देशक आरेख* (Free body diagrams) का उपयोग करके न्यूटन के नियमों को लागू कर सकेंगे।

3.1 बल और जड़त्व की अवधारणाएं

हम सभी जानते हैं कि स्थिर वस्तुएं अपने स्थान पर ही बनी रहती हैं। ये स्वयं एक स्थान से दूसरे स्थान पर नहीं जा सकती जब तक कि बल के उपयोग द्वारा इनकी स्थिति को न बदला जाए। इसी प्रकार नियत वेग से गतिशील किसी वस्तु की गति में परिवर्तन करने के लिये बल लगाने की आवश्यकता होती है।

किसी वस्तु की स्थिरता अथवा एकसमान रेखीय गति की अवस्था में बने रहने की प्रवृति को **जड़त्व** कहा जाता है। **किसी पिंड का द्रव्यमान उसके जड़त्व का माप है।**

एक प्रकार से जड़त्व एक विलक्षण गुण है। यदि यह न होता तो आपकी किताबें, सामान आदि इधर से उधर पहुँचकर अस्तव्यस्त हो जाते। याद रखें कि किसी वस्तु की स्थिरता या समान रुप से गतिशील अवस्था निरपेक्ष नहीं होती है। पिछले पाठ में आप पढ़ चुके हैं कि किसी प्रेक्षक को एक वस्तु स्थिर दिखायी पड़ सकती है जबकि दूसरे प्रेक्षक को वह गतिशील प्रतीत हो सकती है। प्रेक्षणों से पता चलता है कि किसी वस्तु के वेग में तभी परिवर्तन लाया जा सकता है जबकि उस पर एक नेट बल कार्य करे।

आप बल शब्द से सुपरिचित हैं इसे हम दैनिक जीवन में विभिन्न संदर्भो में उपयोग करते हैं। किसी वस्तु को खींचने, धकेलने, ठोकर मारने या पीटने में बल आरोपित होता है। हालाँकि बल दिखायी नहीं पड़ता इसके प्रभाव दृष्टिगोचर होते हैं और अनुभव किये जा सकते हैं। बलों के प्रभाव दो प्रकार के होते हैं।

(a) ये वस्तु की आकृति एंव साइज बदल सकते हैं। उदाहरण के लिए एक गुब्बारे की आकृति उस पर लगाये गये बल के परिमाण के अनुसार बदलती है।

(b) बल किसी वस्तु की गति को भी प्रभावित करते हैं–

बल किसी स्थिर वस्तु को गति प्रदान कर सकता है अथवा गतिशील वस्तु को विराम अवस्था में ला सकता है। बल किसी वस्तु की गति की दिशा अथवा चाल को भी परिवर्तित कर सकता है।

(c) बल किसी वस्तु को किसी अक्ष के परित: घूर्णन करा सकते हैं। सातवें पाठ में आप इस सम्बंध में पढ़ेंगे।

3.1.1 बल एवं गति

बल एक सदिश राशि है इसलिये जब कई बल एक साथ किसी वस्तु पर लगे होते हैं तो इनका परिणामी बल, सदिश योग द्वारा प्राप्त किया जा सकता है। जैसा कि पाठ 1 में बताया जा चुका है।

किसी पिंड की गति उसके विस्थापन, वेग आदि से अभिलक्षित होती है। हम ऐसी कई स्थितियों से गुजरते हैं जिनमें पिंड का वेग निरतंर बढ़ता जाता है जब तक कि यह जमींन से टकराकर रुक न जाय। इसी प्रकार एक क्षैतिज तल में लुढ़कती गेंद का वेग धीरे-धीरे कम होकर शून्य हो जाता है।

अनुभव के आधार पर हम यह जानते हैं कि किसी वस्तु की स्थिति परिवर्तित करने के लिये एक शून्येत्तर बल की आवश्यकता पड़ती है। किसी गतिशील वस्तु के वेग में परिवर्तन उस पर आरोपित बल की दिशा पर निर्भर करता है। यदि किसी वस्तु पर लगाया गया बल उसकी गति की दिशा में कार्य करता है तो वस्तु के वेग का परिमाण अधिक हो जायेगा। यदि वस्तु पर लगे बल की दिशा गति की दिशा के विपरीत हो तो वेग का परिमाण कम हो जायेगा। यदि किसी वस्तु पर बल इसके वेग के लम्बवत लगा हो तो वस्तु के वेग का परिमाण अचर रहता है देखिए अनुच्छेद (4.3)। इस प्रकार लगा बल केवल वस्तु की दिशा परिवर्तित कर सकता है।

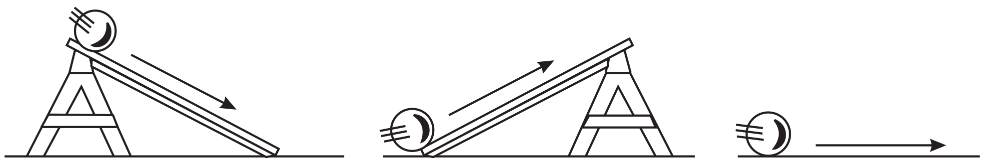
अत: हम यह निष्कर्ष निकाल सकते हैं कि वस्तु के वेग में उतने समय तक ही परिवर्तन होता है जब तक उस पर नेट बल कार्य करता है।

3.1.2 गति का प्रथम नियम

जब हम काँच की गोली को किसी चिकने फर्श पर लुढ़काते हैं तो यह कुछ समय पश्चात रुक जाती है। स्पष्टत: यदि हम इसे निरन्तर समान वेग से गतिशील करना चाहें तो इस पर सतत रुप से एक बल लगाना पड़ेगा। इसी प्रकार एक ट्रॉली को निश्चित वेग से गतिशील रखने के लिये इसे लगातार खींचना या धकेलना पड़ेगा। क्या यहाँ उल्लिखित स्थितियों में ट्रॉली या गोली पर कोई नेट बल कार्य कर रहा है?

गति एवं जड़त्व

गैलीलियों ने इस बात को सिद्ध करने के लिये कि किसी बाह्य बल की अनुपस्थिति में कोई वस्तु अपनी स्थिर अवस्था या एक सरल रेखीय समगति अवस्था में यथावत बनी रहती है कुछ प्रयोग किए। गैलीलियो ने पाया कि एक नत तल पर नीचे की ओर गतिशील वस्तु में त्वरण (चित्र 3.1 (a) और ऊपर की ओर गतिशील वस्तु में मंदन होता है (चित्र 3.1 (b))। उन्होंने तर्क दिया कि यदि तल न नीचे की ओर आनत हो न ऊपर की ओर (अर्थात यदि यह क्षैतिज हो) तो वस्तु में न त्वरण होगा न मंदन। क्षैतिज तल में यह वस्तु एकसमान वेग से गतिशील रहेगी। शर्त यह है कि इस पर कोई बाह्य बल आरोपित न हो।

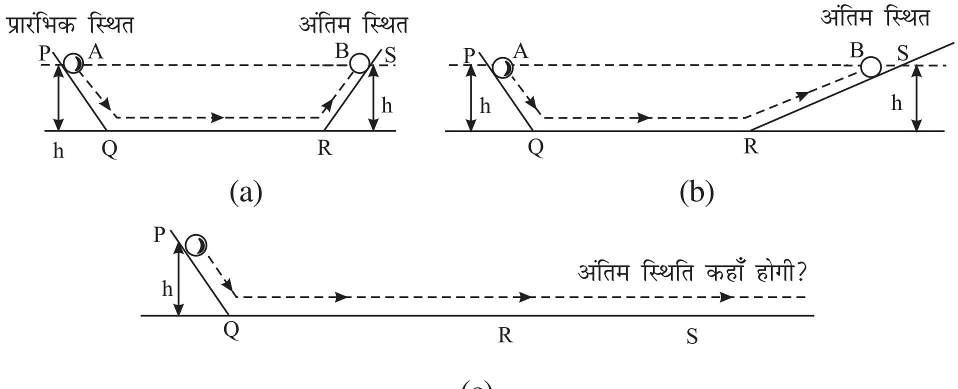


(a) (b) (c)

चित्र 3.1 : नत और क्षैतिज तलों में किसी पिंड की गति

टिप्पणियाँ

एक दूसरे मानसिक प्रयोग में उन्होंने दो परस्पर अभिमुख नत तल लिये जैसा चित्र 3.2 में दिखाया गया है। तल PQ का झुकाव तीनों स्थितियों में समान है जबकि तल RS का झुकाव (a) में (b) और (c) की अपेक्षा अधिक है।



चित्र 3.2: एक दूसरे की ओर अभिमुख नत तलों पर किसी पिंड की गति

तल PQRS बहुत चिकना तल है और गोली काँच की हैं जब तल PQ पर गोली लुढ़काई जाती है तो वह RS तल में लगभग समान ऊँचाई तक ऊपर जाती है। जब RS तल का झुकाव कम करते हैं तो इसे समान ऊँचाई तक ऊपर जाने के लिये अधिक दूरी तय करनी पड़ती है (चित्र 3.2)। जब तल क्षैतिज हो जाता है (चित्र 3.2c) तो गोली को PQ के समान ऊँचाई प्राप्त करने के लिये लगातार चलते रहना पड़ेगा। (यहाँ यह मान लिया गया है कि गोली और तल के बीच कोई घर्षण नहीं हो रहा है।)

सर इसाक न्यूटन
(1642–1727)

न्यूटन का जन्म वोल्सथोर्प, इंगलैण्ड में, 1642 में हुआ। उनकी शिक्षा ट्रिनिटी कॉलेज, कैंब्रिज में हुई और वे एक पारंगत वैज्ञानिक बन गए। पृथ्वी की ओर गिरते हुए सेब को देखकर उन्होंने गुरुत्व के मूल नियम का निरुपण किया। उन्होंने गति के नियम एंव गुरुत्व के नियमों का प्रतिपादन किया। न्यूटन मेधावी थे और उन्होंने विज्ञान के सभी क्षेत्रों में योगदान दिया। उनका योगदान उच्च कोटि का है और आधुनिक वैज्ञानिक विचारधारा की आधारशिला है। उन्होंने अपनी पुस्तक ''प्रिंसपिया'' लेटिन में लिखी और प्रकाशिकी पर लिखी उनकी पुस्तक अंग्रजी भाषा में प्रकाशित की गई है।

तार्किक दृष्टि से आप प्रश्न कर सकते हैं कि तब ट्रॉली की समान गति को बनाये रखने के लिये निरन्तर एक बल का प्रयोग आवश्यक क्यों है? इसका उत्तर यह है कि ट्रॉली की गति की दिशा में सतत बल लगाने की आवश्यकता घर्षण के कारण विपरीत दिशा में लग रहे बल को संतुलित करने के लिए होती है। अर्थात ट्रॉली को लगातार धकेल कर या खींच कर उस पर कार्य कर रहे घर्षण बल पर पार पाया जा सकता है।

न्यूटन ने गैलीलियो के निष्कर्ष को एक सामान्य रुप दिया जिसे न्यूटन का गति का प्रथम नियम भी कहते हैं। इस नियम के अनुसार कोई वस्तु विराम या सरल रेखीय समान गति की अवस्था में तब तक बनी रहती है जब तक उस पर एक नेट बाह्य बल प्रयोग न किया जाय।

जैसा कि आप जानते हैं, 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 सड़क पर खड़े व्यक्ति की तुलना में गतिमान होगा। इस कारण स्थिति, वेग, त्वरण और बल में परिवर्तन के मापन के लिये निर्देश तंत्र (frame of reference) का चयन आवश्यक हो जाता है।

एक ऐसा निर्देश तंत्र जिसके सापेक्ष सरल रेखा में गतिशील वस्तु का 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 हुए वे अपनी विराम या ऋजुरेखीय एक समान गति की अवस्था को बनाये रखना चाहते हैं। (सभी प्रायोगिक उद्देश्यों के लिये) पृथ्वी से जुड़ा निर्देश तंत्र जड़त्वीय निर्देश तंत्र माना जा सकता है।

अब आप थोड़ा विराम लें और निम्नलिखित प्रश्नों के उत्तर दें।

पाठगत प्रश्न 3.1

1. क्या यह कहना सही है कि कोई वस्तु हमेशा उस पर कार्य कर रहे नेट बाह्य बल की दिशा में चलती है?
2. कौन सी भौतिक राशि किसी पिंड के जड़त्व की माप के लिए उपयोग की जाती है?
3. क्या किसी बल द्वारा एक वस्तु के वेग के परिमाण को अचर रखते हुए केवल उसकी दिशा को बदला जा सकता है?
4. उन विविध परिवर्तनों का उल्लेख कीजिए जो किसी पिंड में बल आरोपित करने पर होते हैं।

3.2 संवेग की परिकल्पना

आपने देखा होगा कि एक क्षेत्ररक्षक के लिये उच्च वेग से आती हुई गेंद को रोकना कठिन होता है यद्यपि इसका द्रव्यमान कम है। इसी प्रकार एक धीमी गति से चलते हुए ट्रक को भी रोकना कठिन होता है क्योंकि इसका द्रव्यमान अधिक है। ये उदाहरण संकेत देते हैं कि बल द्वारा किसी वस्तु की गति में प्रभाव के अध्ययन के लिये इसका द्रव्यमान एंव वेग दोनों महत्वपूर्ण हैं।

एक वस्तु के द्रव्मान m और इसके वेग $\mathbf{v}$ का गुणनफल इसका रैखिक संवेग $\mathbf{p}$ कहलाता हैं इसका गणितीय सूत्र है

$$\mathbf{p} = m\mathbf{v}$$

SI पद्धति में संवेग को $kgms^{-1}$ में मापा जाता है। संवेग सदिश राशि है। संवेग की दिशा वही होती है जो वेग की होती है। अतः एक वस्तु के संवेग में परिवर्तन केवल इसके परिमाण में या केवल दिशा में अथवा दोनों में परिवर्तन से हो सकता है। निम्न उदाहरणों से इस बात को स्पष्ट किया जा सकता है।

उदाहरण 3.1 अमन का द्रव्यमान 60 kg है और वह 1.0 $m\ s^{-1}$ के वेग से 40 kg द्रव्यमान के मनोज की ओर चल रहा है जो स्वयं 1.5 $m\ s^{-1}$ के वेग से अमन की ओर गतिमान है। उनके संवेगों की गणना कीजिए।

Solution : अमन के लिए

$$\text{संवेग} = \text{द्रव्यमान} \times \text{वेग}$$
$$= (60\ kg) \times (1.0\ m\ s^{-1})$$
$$= 60\ kg\ ms^{-1}$$

मनोज के लिये

$$\text{संवेग} = 40\ kg \times (-1.5\ m\ s^{-1})$$
$$= -60\ kg\ m\ s^{-1}$$

ध्यान दें कि हालांकि अमन और मनोज का संवेग समान है, लेकिन उनकी दिशा एक दूसरे के विपरीत हैं।

उदाहरण 3.2 एक 2 kg की वस्तु $t = 0s$ पर स्वतंत्रतापूर्वक गिरती है। गिरने के दौरान (a) $t = 0s$, (b) $t = 1s$ और (c) $t = 2s$ पर इसका संवेग कितना होगा?

हल : (a) $t = 0s$ पर वस्तु का वेग शून्य होगा, वस्तु का संवेग भी शून्य होगा।

(b) $t = 1s$, पर वस्तु का वेग नीचे की ओर 9.8 ms^{-1} होगा [$v = v_0 + at$ का उपयोग करने पर]

अतः वस्तु का संवेग होगा।

$$p_1 = (2\ kg) \times (9.8\ m\ s^{-1}) = 19.6\ kg\ m\ s^{-1}\ \text{नीचे की ओर}$$

(c) $t = 2s$ पर वस्तु का वेग 19.6 $m\ s^{-1}$ नीचे की ओर होगा ($v = v_0 + at$ का उपयोग करने पर) अतः वस्तु का संवेग होगा

$$p_2 = (2\ kg) \times (19.6\ m\ s^{-1})$$
$$= 39.2\ kg\ m\ s^{-1}$$

इस प्रकार हम देखते हैं कि नीचे की ओर मुक्त रुप से गिरती हुई वस्तु का संवेग केवल परिणाम में बदलता है और सदैव एक ही दिशा की ओर इंगित करता है। विचार करें कि मुक्त रुप से गिरती हुई वस्तु के संवेग– परिमाण में परिवर्तन का कारण क्या है?

उदाहरण 3.3 द्रव्यमान 0.2 kg की एक रबड़ की गेद दृढ़ खड़ी दीवार से 10 ms^{-1} की चाल से अभिलम्ब के अनुदिश टकराती है और मूल मार्ग पर उसी गति से प्रतिक्षेप (rebound) करती है। गेंद के संवेग परिवर्तन की गणना करें।

हल : यहाँ गेंद के संवेग का परिमाण टकराने से पहले व बाद में समान रहेगा लेकिन इसकी दिशा विपरीत होगी। संवेग का परिमाण $(0.2\ kg)\times(10\ m\ s^{-1}) = 2\ kg\,m\ s^{-1}$ है।

यदि हम प्रारंभिक संवेग सदिश को धनात्मक x अक्ष की दिशा में लें तो अंतिम संवेग सदिश ऋणात्मक x-अक्ष की दिशा में होगा।

अतः यदि $p_i = 2\ kg\,m\ s^{-1},\ p_f = -2\ kg\,m\ s^{-1}$

तो गेंद के संवेग में परिवर्तन $= p_f - p_i = (-2\ kg\,m\ s^{-1}) - (2\ kg\,m\ s^{-1})$

$= -4\ kg\,m\ s^{-1}$.

यहाँ ऋण चिह्न दर्शाता है कि गेंद का संवेग $-x$ अक्ष की दिशा में 4 $kg\,m\ s^{-1}$ तक परिवर्तित होता है। गेद के संवेग परिवर्तन का कारण क्या है?

व्यवहारिक स्थिति में रबड़ की गेंद के दीवार से टकरा कर लौटने पर उसकी गति में ह्रास होता है। तब संवेग का परिमाण भी बदल जाता है।

3.3 न्यूटन का द्वितीय गति नियम

आपको ज्ञात है कि अचर वेग से गतिशील किसी वस्तु का संवेग भी अचर होगा। न्यूटन का प्रथम गति नियम यह बताता है कि इस प्रकार की वस्तु पर कोई शुद्ध बाह्य बल कार्य नहीं करता है।

उदाहरण 3.2 में हमने देखा कि गुरुत्वाकर्षण के प्रभाव में मुक्त रुप से गिरती हुई गेंद का संवेग समय के साथ बढ़ जाता है, क्योंकि इस वस्तु पर गुरुत्वाकर्षण बल कार्य करता है। अतः ऐसा प्रतीत होता है कि एक वस्तु के संवेग परिवर्तन का इस पर कार्य कर रहे नेट बल और कार्य करने की अवधि के बीच एक संबंध होता है। न्यूटन का गति का द्वितीय नियम इनके बीच एक मात्रात्मक संबंध स्थापित करता है। इसके अनुसार एक वस्तु के संवेग परिवर्तन की दर वस्तु पर कार्य कर रहे बल के समानुपाती होती है तथा वस्तु के संवेग में परिवर्तन, वस्तु पर कार्य कर रहे नेट बाह्य बल की दिशा में ही होता है।

इसका अर्थ यह है कि यदि समय Δt में वस्तु पर कार्य कर रहे नेट बाह्य बल $\boldsymbol{F}$ के कारण वस्तु के संवेग में परिवर्तन Δp हो तो

$$\mathbf{F} \propto \frac{\Delta \mathbf{p}}{\Delta t}$$

अथवा

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

जहाँ k अनुपातिकता स्थिराँक है।

$$\mathbf{F} = k\,m\left(\frac{\Delta v}{\Delta t}\right)$$

$$\mathbf{F} = k\,m\,\mathbf{a} \qquad (\text{क्योंकि } \frac{\Delta v}{\Delta t} = \mathbf{a}) \tag{3.1}$$

k का मान F, p एंव t के मात्रकों के चयन पर निर्भर करता है। यदि इन मात्रकों का चयन इस प्रकार किया जाय कि

द्रव्यमान m का परिमाण = 1 इकाई

एवं त्वरण a का परिमाण = 1 इकाई हो

तो बल F का परिमाण भी 1 इकाई होगा, अत: हम लिख सकते हैं 1 = k.1.1

तब K = 1 और

$$\mathbf{F} = m\,\mathbf{a} \tag{3.2}$$

SI मात्राकों में $m = 1$ kg, $a = 1$ m s^{-2} तब

$$\text{F} = 1 \text{ kg} \times 1 \text{ m s}^{-2} = 1 \text{ kg m s}^{-2}$$

$$= 1 \text{ इकाई बल} \tag{3.3}$$

बल का SI मात्रक (अर्थात् 1 kg m s^{-2}) न्यूटन कहलाता है।

उदाहरण 3.4 0.4 kg द्रव्यमान की एक गेंद धकेले जाने पर 20 ms^{-1} की गति से लुढ़कना शुरु करती है और 10 सेकंड के बाद रुक जाती है। गेंद पर लगे प्रतिरोधक बल को पूरे समय एकसमान मानते हुए इसके परिमाण की गणना कीजिए।

हल : दिया है m= 0.4 kg, प्रारंभिक वेग u = 20 m s^{-1}, अंतिम वेग v = 0 m s^{-1} और t = 10s

$$\text{अत:}\ |\mathbf{F}| = m|\mathbf{a}| = \frac{m(v-u)}{t} = \frac{0.4 \text{ kg } (-20 \text{ m s}^{-1})}{10 \text{ s}}$$

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

यहाँ ऋणात्मक चिह्न का अर्थ है कि गेंद पर लगने वाला बल गति की दिशा के विपरीत कार्य करता है।

यहाँ ध्यान रखने योग्य महत्वपूर्ण बात यह है कि यहाँ पर वर्णित न्यूटन की गति का द्वितीय नियम उन वस्तुओं के लिए मान्य है जिनका द्रव्यमान अचर है। क्या यह नियम, राकेट जैसी उन वस्तुओं पर भी लागू होता है जिनका द्रव्यमान समय के साथ परिवर्तित होता है?

उदाहरण 3.5 50 N परिमाण का एक नियत बल, 10 m s^{-1} की प्रारम्भिक चाल से गतिशील एक 10kg की वस्तु पर लगाया जाता है। यदि बल गति की दिशा के विपरित दिशा में लगता है तो वस्तु को विरामावस्था में आने से कितना समय लगेगा?

हल : दिया है $m = 10$ kg, F = –50 N, $\upsilon_0 = 10$ m s^{-1} तथा $\upsilon = 0$. हमें t ज्ञात करना है। क्योंकि

$$F = ma$$

हम लिख सकते हैं

$$F = m\left(\frac{v - v_0}{t}\right)$$

$$\therefore \qquad -50\text{ N} = 10\text{ kg}\left(\frac{0 - 10\text{ m s}^{-1}}{t}\right)$$

या

$$t = \frac{-100\text{ kg m s}^{-1}}{-50\text{ N}} = \frac{100\text{ kg m s}^{-1}}{50\text{ kg m s}^{-2}} = 2\text{ s.}$$

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 बालक υ_0 वेग से एक गेंद ऊपर फेंकता है। यदि गेंद उसके पास उसी वेग से वापस आ जाती है तो क्या निम्नलिखित में कोई परिवर्तन होगा?

   (a) गेंद के संवेग में ....

   (b) गेंद के संवेग के परिमाण में ....

3. जब एक गेंद ऊँचाई से गिरती है तो इसका संवेग बढ़ जाता है। इसका संवेग बढ़ने का क्या कारण है?

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

   (a) जब मूल रुप से विराम की स्थिति वाली 2 kg की वस्तु पर 0.1s के लिये 150N का बल कार्य करता है।

   (b) जब मूलरुप से विराम की स्थिति वाली 2 kg की वस्तु पर 0.2s के लिये 150N बल कार्य करता है।

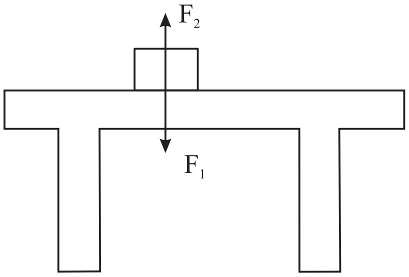
5. कोई वस्तु एक समान चाल से वृत्ताकार पथ पर चल रही है। क्या वस्तु का संवेग अचर है। कारण सहित उत्तर दें।

3.4 बलों के युग्म (Forces in Pairs)

पृथ्वी के गुरुत्वीय बल (खिंचाव) के कारण पिंड पृथ्वी की ओर त्वरित होते हैं। क्या यह पिंड भी पृथ्वी को अपनी ओर खींचते 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 स्थितियाँ हमें यह पूछने को बाध्य करती हैं कि क्या किसी एकल बल, जैसे कि एक धक्के या एक खिंचाव का अस्तित्व होता है? यह देखा गया है कि दो वस्तुओं की क्रिया एक दूसरे पर पारस्परिक होती है। यहाँ क्रिया से हमारा तात्पर्य 'अन्योन्य क्रिया बलों' से है। अत: जब कभी भी दो वस्तुओं में अन्योन्य क्रिया होती है तो वे एक दूसरे पर बल लगाती हैं। इनमें से एक को क्रिया और दूसरे को प्रतिक्रिया कहा जाता है। तात्पर्य यह हुआ कि बल सदैव युग्मित होते हैं।

3.4.1 गति का तीसरा नियम

वस्तु के बीच अन्योन्य क्रिया के अध्ययन के आधार पर न्यूटन ने तृतीय नियम का निरुपण किया जिसके अनुसार – ***प्रत्येक क्रिया की उसके बराबर और विपरीत प्रतिक्रिया होती है।***



चित्र 3.3 : एक मेज पर रखी पुस्तक मेज पर $\mathbf{F_1}$ (इसके भार mg के बराबर) बल लगाती है, जबकि मेज पुसतक पर $\mathbf{F_2}$ बल लगाती है।

यहाँ क्रिया और प्रतिक्रिया से तात्पर्य बल से है। इस प्रकार जब मेज पर रखी एक पुस्तक मेज पर कोई बल लगाती है तो मेज भी इसके बराबर और विपरीत बल पुस्तक पर ऊपर की ओर लगाती है। जैसा कि चित्र 3.3 में दिखाया गया है। क्या ये बल $\mathbf{F_1}$ और $\mathbf{F_2}$ एक दूसरे को निरस्त करते हैं? यहां विशेष ध्यान देने योग्य बात यह है कि $\mathbf{F_1}$ और $\mathbf{F_2}$ अलग-अलग वस्तुओं पर कार्य करते हैं। अत: ये एक दूसरे को निरस्त नहीं करते। किसी भी दी गई स्थिति में क्रिया और प्रतिक्रिया बलों का एक युग्म प्रतीत होती हैं। इनमें से कोई भी एक-दूसरे के बिना अस्तित्व में नहीं आ सकता। यदि शाब्दिक अर्थ लें तो ऐसा लगता है कि प्रतिक्रिया सदैव क्रिया के बाद होती है। जबकि न्यूटन के तृतीय नियम में क्रिया और प्रतिक्रिया साथ-साथ होती हैं। इसी कारण न्यूटन के तृतीय नियम को इस प्रकार कहना अधिक उपयुक्त होगा। जब दो वस्तुओं में अन्योन्य क्रिया होती है तो पहली वस्तु द्वारा दूसरी वस्तु पर लगाया बल (क्रिया) व दूसरी वस्तु द्वारा पहली वस्तु पर लगाये गये बल (प्रतिक्रिया) का परिमाण समान होता है परन्तु दिशायें विपरीत होती हैं।

सदिशों के रुप में विचार करें तो यदि F_{12} वह बल है जो वस्तु 2 के कारण वस्तु 1 पर अनुभव होता है और F_{21} वह बल है जो वस्तु 1 के कारण वस्तु 2 पर अनुभव होता है, तो

$$\mathbf{F}_{12} = -\mathbf{F}_{21} \tag{3.4}$$

3.4.2 आवेग (Impulse)

बहुत कम अवधि के लिये लगाये गये बल के प्रभाव को आवेग कहते हैं।

इसे बल ($\boldsymbol{F}$) व बल आरोपण की अवधि (Δt) के गुणनफल के रुप में परिभाषित किया जा सकता है।

$$\therefore \quad \text{आवेग} = \boldsymbol{F}.\Delta t$$

यदि वस्तु के प्रारंभिक एंव अन्तिम वेग (बल आरोपण की अवधि में) क्रमशः **u** और **v** हों तो

$$\text{आवेग} = \frac{m\mathbf{v} - m\mathbf{u}}{\Delta t} . \Delta t$$

$$= m\boldsymbol{v} - m\,\boldsymbol{u}$$

$$= \mathbf{p}_f - \mathbf{p}_i$$

$$= \Delta\mathbf{p} = \text{रैखिक संवेग में परिवर्तन}$$

आवेग एक सदिश राशि है और इसके SI मात्रक $kg\,ms^{-1}$ (अथवा Ns) होते हैं।

पाठगत प्रश्न 3.3

1. जब एक ऊँची कूद वाला व्यक्ति जमीन 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

   (a) एक व्यक्ति फुटबॉल को ठोकर मारता है ....

   (b) पृथ्वी चन्द्रमा को खींचती है। ....

   (c) गेंद दीवार से टकराती है। ....

3. एक व्यक्ति एक अलमारी को आगे की ओर धकेलने के लिये – अलमारी पर अधिक बल लगाता है। व्यक्ति पर पीछे की ओर धक्का नहीं लगता क्योंकि अलमारी द्वारा व्यक्ति पर कम बल लगता है। क्या यह तर्क सही है? समझाइए।

3.5 संवेग का संरक्षण

प्रायोगिक तौर पर यह पुष्टि की जा चुकी है कि जब दो वस्तुओं में अन्योन्य – क्रिया होती है तो इन वस्तुओं के संवेग का सदिश योग परिवर्तित नहीं होता बशर्ते कि वस्तु पर कार्य कर रहा बल एकमात्र अन्योन्य क्रिया का बल ही हो। इसे संवेग संरक्षण का नियम कहते हैं। दो से अधिक वस्तुओं की अन्योन्य क्रिया के लिए भी यही तथ्य सही पाया गया है। सामान्यत: परस्पर अन्योन्यक्रियाशील अनेक वस्तुएं एक तंत्र बनाती हैं। यदि एक तंत्र की वस्तुएं तंत्र से बाहर की वस्तुओं के साथ अन्योन्य क्रिया नहीं करती तो तंत्र को संवृत तंत्र या वियुक्त तंत्र कहा जाता है।

इससे यह निष्कर्ष निकलता है कि वियुक्त तंत्र बनाने वाली वस्तुओं का कुल संवेग तो अपरिवर्तित रहता है, लेकिन उस तंत्र के अवयवों के संवेगों के परिमाण या दिशा अथवा दोनों, अन्योन्य क्रिया के अनुसार परिवर्तित हो सकते हैं। वियुक्त तंत्र में वस्तु विशेष में संवेग परिवर्तन होने के क्या कारण हैं?

रैखिक संवेग संरक्षण का नियम विभिन्न क्षेत्रों में बहुत सी परिघटनाओं पर लागू होता है जैसे संघट्टन, विस्फोट, नाभिकीय अभिक्रिया, रेडियोएक्टिव क्षय आदि।

3.5.1 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 $\boldsymbol{F}$ कार्य करता है तो वस्तु के संवेग में परिवर्तन Δp का मान निम्न होता है:

$$\Delta \mathbf{p} = \mathbf{F}\,\Delta t$$

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

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

$$\mathbf{F}_{AB} = -\mathbf{F}_{BA}$$

अथवा
$$\frac{\Delta \mathbf{p}_A}{\Delta t} = -\frac{\Delta \mathbf{p}_B}{\Delta t}$$

अथवा
$$\Delta \mathbf{p}_A + \Delta \mathbf{p}_B = 0$$

या
$$\Delta \mathbf{p}_{\text{टोटल}} = 0$$

or
$$\mathbf{p}_{\text{टोटल}} = \text{स्थिर}$$

अतः तंत्र के संवेग में कोई परिवर्तन नहीं होता है। दूसरे शब्दों में तन्त्र का संवेग संरक्षित रहता है।

3.5.2 संवेग संरक्षण के कुछ उदाहरण

a) बन्दूक का प्रतिक्षेप : जब बन्दूक से गोली चलायी जाती है तो बन्दूक प्रतिक्षेप करती है। बन्दूक के प्रतिक्षेप वेग υ_2 को संवेग संरक्षण के नियम से प्राप्त किया जा सकता है। यदि M द्रव्यमान की बन्दूक से चली गोली का द्रव्यमान m मानें और गोली का वेग υ_1 हो और बन्दूक का वेग υ_2 हो तो संवेग संरक्षण के नियम के अनुसार

$$m\boldsymbol{\upsilon}_1 + M\boldsymbol{\upsilon}_2 = 0$$

टिप्पणियाँ

अथवा $$m\boldsymbol{v}_1 = -M\boldsymbol{v}_2$$

अथवा $$\boldsymbol{v}_2 = -\frac{m}{M}v_1 \qquad (3.5)$$

यहाँ पर ऋण चिन्ह् दर्शाता है कि $\boldsymbol{v}_2$ और $\boldsymbol{v}_1$ एक दूसरे की विपरीत दिशा में हैं। सामान्यत: $m << M$, बन्दूक का प्रतिक्षेप वेग गोली के प्रतिक्षेप वेग से बहुत कम होता है।

b) संघट्ट : संघट्ट में हम टकराने वाली वस्तुओं को एक तंत्र का अंश मान सकते हैं। संघट्टनशील वस्तुओं पर किसी प्रकार के बाह्य बल माना जा सकता है। संघट्ट करती वस्तुओं पर किसी प्रकार के बाह्य बल जैसे कि घर्षण बल की अनुपस्थिति में तंत्र को वियुक्त तंत्र (isolated system) माना जा सकता है। संघट्ट करती वस्तुओं के बीच अन्योन्य क्रिया के कारण इनका कुल संवेग अपरिवर्तित रहता है।

कैरम में स्ट्राइकर और गोटियों के बीच और बिलियर्ड में गेंदों के बीच संघट्टन प्रत्यास्थ वस्तुओं के बीच संघट्ट के अध्ययन में बहुत शिक्षाप्रद सिद्ध हो सकते हैं।

उदाहरण 3.6 : दो परस्पर संयुक्त ट्रालियाँ जिनमें से प्रत्येक का द्रव्यमान m है प्रारंभिक वेग υ से चल रही हैं वे m द्रव्यमान वाली B तीन स्थिर ट्रालियों के साथ टकराकर उसी दिशा में चलती रहती हैं। संघट्ट के बाद ट्रॉलियों का वेग क्या होगा?

हल : संघट्ट के बाद ट्रॉलियों का वेग υ' मानते हैं।

संघट्ट से पहले संवेग = $2\,m\upsilon$

संघट्ट के पश्चात संवेग = $5\,m\upsilon'$

संवेग संरक्षण के नियमानुसार

$$2m\upsilon = 5\,m\upsilon'$$

या $$\upsilon' = \frac{2}{5}\upsilon$$

c) बम विस्फोट : संचित ऊर्जा के मुक्त होने पर बम स्फिोटित होकर खंड-खंड हो जाता है। प्रारम्भ में स्थिर रखे एक बम पर विचार करें जिसका A और B दो खण्डों में विस्फोट होता है। विस्फोट से पहले बम का संवेग शून्य था, विस्फोट के बने दोनों खंडों का कुल संवेग भी शून्य होगा। इस कारण से दोनों अंश विपरीत दिशा में समान संवेग से उड़ेगे। यदि दोनों खण्डों के दव्यमान समान हों, तो दोनों खण्डों के वेगों के परिमाण भी समान होंगे।

d) राकेट नोदन: एक राकेट की उड़ान संवेग संरक्षण का महत्पूर्ण व्यावहारिक अनुप्रयोग है। राकेट में ईंधन टैंक युक्त एक कोश होता है जिसे एक निकाय माना जा सकता है। कोश में एक नोजल होता है जिसके द्वारा उच्च दाब पर गैसों का निष्कासन होता है। जब राकेट को फायर करते हैं तो इंधन का दहन बहुत अधिक दाब और ताप पर गैसें उत्पन्न करता है। उच्च दाब के कारण ये गैसें अति उच्च वेग से नोजल से निकलती हैं जिसके कारण राकेट का

टिप्पणियाँ

द्रव्यमान M और प्रति सेकंड निष्कासित होने वाली गैस का द्रव्यमान m व वेग $\mathbf{v}$ हो तो t सेकंड में गैस के संवेग में परिवर्तन = $m\mathbf{v}t$.

यदि t सेकन्ड में रॉकेट के वेग में वृद्धि $\mathbf{V}$ हो तो इसके संवेग में वृद्धि = $M\mathbf{V}$ संवेग संरक्षण के सिद्धांत के अनुसार

$$m\mathbf{v}t + M\mathbf{V} = 0$$

अथवा
$$\frac{\mathbf{V}}{t} = \mathbf{a} = -\frac{m\mathbf{v}}{M}$$

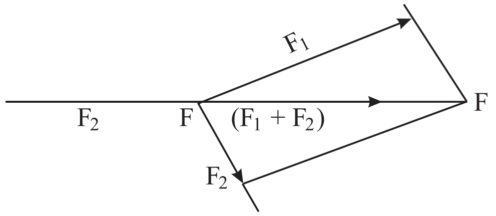
अर्थात राकेट की गति का त्वरण

$$\mathbf{a} = -\frac{m\mathbf{v}}{M}$$

3.5.3 संगामी बलों का संतुलन

किसी बिन्दु पर एक साथ लगने वाले बल संगामी बल कहलाते हैं। यदि इन सब का परिणामी बल शून्य हो तो ये बल संतुलन में कहे जाते हैं।

माना कि $\mathbf{F}_1$, $\mathbf{F}_2$ एवं $\mathbf{F}_3$ किसी बिन्दु P पर लगने वाले संगामी बल हैं जैसा कि चित्र 3.5.3. में दर्शाया गया है।



चित्र 3.5.3

समान्तर चतुर्भुज नियम द्वारा ज्ञात किया गया $\mathbf{F}_1$ एवं $\mathbf{F}_2$ का परिणामी बल $\mathbf{PA}$ द्वारा दर्शाया गया है (अर्थात $\mathbf{PA} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2$)

संतुलन के लिए, योग $(\mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2)$ को $\mathbf{F}_3$ के बराबर किन्तु विपरीत दिशा में होना चाहिए, अर्थात

$$\mathbf{F}_3 = -(\mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2) \text{ or } \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_3 = 0$$

या कहें कि तीन बलों के संतुलन के लिए दो बलों का योग या परिणामी बल तीसरे बल के बराबर पर उसकी विपरीत दिशा में होना चाहिए अर्थात उन बलों का सदिश योग शून्य होना चाहिए।

3.6 घर्षण

आपने देखा होगा कि जब एक बल्लेबाज गेंद पर प्रहार करता है और यह मैदान पर लुढ़कती है तो यह कुछ दूरी तय करके रुक जाती है। अत: गेंद का संवेग, जो इसे प्रारंभ में धकेलते समय (आघात पहुँचाते समय) दिया गया था, शून्य हो जाता है। हम जानते हैं कि गेंद के संवेग में परिवर्तन के लिये गेंद पर लगा कोई 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। जब हम किसी वस्तु का स्थान बदलने के लिये 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 के विरुद्ध दिशा में लगता है। यह एक सामान्य जानकारी है कि संपर्क में आने वाली सतहों के खुरदरेपन 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 में रुकावट डालता है जिसके कारण उसमें टूट फूट होती है और यांत्रिक ऊर्जा की हानि होती है। दूसरी ओर केवल घर्षण के कारण ही हम चल सकते हैं, वाहन चला सकते हैं और गतिशील वाहनों को रोक सकते हैं। घर्षण की हमारे जीवन में दोहरी भूमिका है। इसलिये कहा जाता है कि घर्षण एक आवश्यक बुराई है।

3.6.1 स्थैतिक एवं गतिज घर्षण

हम सभी जानते हैं कि किसी पृष्ठ के ऊपर वस्तु को गतिशील रखने के लिये कुछ न्यूनतम बल की आवश्यकता होती है। इस तथ्य की व्याख्या करने के लिये हम एक क्षैतिज पृष्ठ पर विराम अवस्था में रखे एक गुटके पर विचार करते हैं जैसा कि चित्र 3.4 में दर्शाया गया है। दर्शायी गयी दिशा में गुटके पर कुछ बाह्य बल $\mathbf{F}_{ext}$ इस प्रकार लगाते हैं कि गुटका गति न करे। यह तभी संभव है जब गुटके पर कुछ अन्य बल कार्य कर रहा हो जो कि $\mathbf{F}_{ext}$ के बराबर हो लेकिन विपरीत दिशा में हो। इस प्रकार का बल स्थैतिक घर्षण का बल कहलाता है और यह f_s द्वारा दर्शाया जाता है। ज्यों-ज्यों $\mathbf{F}_{ext}$ बढ़ता है त्यों-त्यों ही f_s भी बढ़ता है और परिमाण में f_s के बराबर रहता है जब तक कि यह क्रांतिक मान $f_s^{(max)}$ तक नहीं पहुँचता। जब $\mathbf{F}_{ext}$ क्रांतिक मान से बढ़ाया जाता है तो गुटका फिसलना शुरु कर देता है और तब इस पर गतिज घर्षण कार्य करने लगता है।

यह आम अनुभव की बात है कि किसी वस्तु को अचर वेग से गति कराने के लिये जितने बल की आवश्यकता होती है उसकी तुलना में वस्तु को प्रारंभ में गति देने के लिये अधिक बल की आवश्कता होती है। इस कारण संपर्क में आने वाली सतहों के बीच अधिकतम स्थैतिक घर्षण बल $f_s^{(max)}$ उनके बीच गतिज घर्षण बल f_k से अधिक होगा। चित्र 3.5 में बाह्य बल के साथ घर्षण बल की परिवर्तनशीलता दर्शायी गयी है।

टिप्पणियाँ

आप एक दूसरे के संपर्क में रखे हुए दो सतहों के जोड़े के लिए उन कारकों को जानना चाहेंगे जिन पर $f_s^{(max)}$ और f_k निर्भर करते हैं। यह एक प्रायोगिक तथ्य है कि $f_s^{(max)}$ तल के लम्बवत् लगे बल $\mathbf{F}_N$ का समानुपाती होता है। अत:

$$f_s^{(max)} \propto \mathbf{F}_N \quad \text{या} \quad f_s^{(max)} = \mu_s \mathbf{F}_N \qquad (3.6)$$

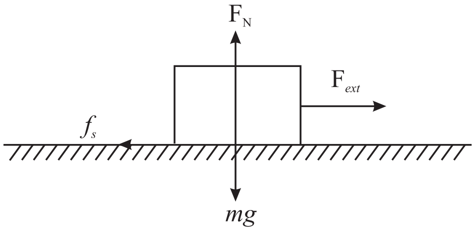
जहाँ μ_s स्थैतिक घर्षण गुणाँक कहलाता है। सतह पर लगे लम्बवत बल $\mathbf{F}_N$ का मान उस बल की सहायता से ज्ञात किया जा सकता है जिस बल से गुटका सतह को दबाता है। चित्र 3.4 के संदर्भ में लम्बवत बल $\mathbf{F}_N$ जो कि गुटके पर लगा है mg के बराबर है जहाँ पर m गुटके का द्रव्यमान है।

क्योंकि $f_s = \mathbf{F}_{ext}$ जब तक $f_s \leq f_s^{max}$ या

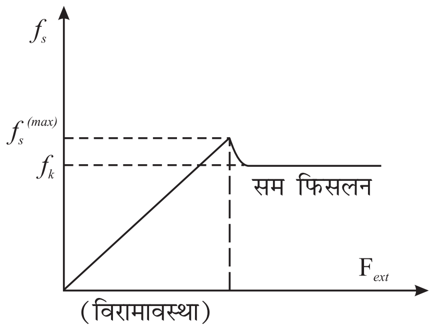
$$f_s \leq \mu_s \mathbf{F}_N$$

प्रायोगिक रुप से यह भी पाया गया है कि दो सतहों के बीच स्थैतिक घर्षण का अधिकतम बल संपर्क के क्षेत्रफल पर निर्भर नहीं करता इस प्रकार हम लिख सकते हैं

$$f_k = \mu_k \mathbf{F}_N$$



चित्र. 3.4 : गुटके पर कार्यरत बल



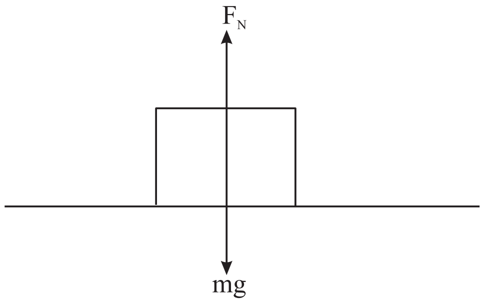
चित्र. 3.5 : घर्षण बल का बाह्य बल के साथ परिवर्तन

जहाँ पर μ_k = गतिज घर्षण गुणांक है। सामान्यत: $\mu_s > \mu_k$ इसके अतिरिक्त गुणांक μ_s और μ_k किसी भी सतह जैसे लकड़ी पर लकड़ी, कंक्रीट पर रबर आदि के लिये अचर नहीं है। इनका मान सतह के खुरदरेपन, स्वच्छता, आर्द्रता आदि पर निर्भर करता है।

उदाहरण 3.7 एक क्षैतिज सतह पर एक 2 kg 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 मान ज्ञात करें।

हल :

यहाँ $m = 2$ kg और $\mu_s = 0.25$



चित्र. 3.6 : गुटके पर अभिलम्बवत् बल

$$f_s^{(max)} = \mu_s \mathbf{F}_N = \mu_s \, mg$$
$$= (0.25)\,(2\text{ kg})\,(9.8\text{ ms}^{-2})$$
$$= 4.9\text{ N.}$$

उदाहरण 3.8 5 kg भार का एक गुटका एक क्षैतिज सतह पर जिसके लिये $\mu_k = 0.1$ है। गुटके का त्वरण क्या होगा यदि क्षैतिज दिशा में उस पर 10 N का बल लगाकर खींचा जा रहा हो?

हल :

$F_k = \mu_k F_N$ जहाँ $F_N = mg$,

$$f_k = \mu_k mg$$
$$= (0.1)\,(5\text{ kg})\,(9.8\text{ m s}^{-2})$$
$$= 4.9\text{ kg m s}^{-2} = 4.9\text{ N}$$

गुटके पर आरोपित कुल बल $= F_{ext} - f_k = 10\text{ N} - 4.9\text{ N} = 5.1\text{ N}$

अतः इस प्रकार

$$\text{त्वरण} = a = \frac{F_{net}}{m} = \frac{5.1\text{ N}}{5\text{ kg}} = 1.02\text{ m s}^{-2}$$

अतः गुटके में लगाये गये बाह्य बल की दिशा में 1.02 ms^{-2} का त्वरण होगा।

3.6.2 बेल्लन (लोटनिक) घर्षण

यह सामान्य अनुभव है कि पहियों वाली वस्तु को खींचना और धकेलना आसान है। सर्पी गति से पहियों की गति भिन्न होती है। पहियों की गति बेल्लन गति होती है। बेल्लन गति में होने वाले घर्षण को बेल्लन घर्षण कहते हैं। एक समान सामान्य बल के लिये सर्पी घर्षण की अपेक्षा बेल्लन घर्षण बहुत ही कम होता है। उदाहरण के लिये जब स्टील की पटरी पर स्टील के पहिये को घुमाते हैं तो स्टील पर स्टील के सर्पी घर्षण की तुलना में बेल्लन घर्षण लगभग 1/100 वाँ भाग होता है। बेल्लन घर्षण के गुणांक के लाक्षणिक मान स्टील पर स्टील के लिये 0.006, तथा कंक्रीट पर रबर के लिये 0.02 – 0.04 होता है।

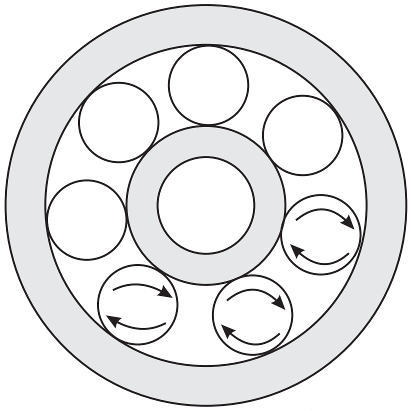
अब हम चाहेंगे कि आप एक छोटा सा क्रियाकलाप करें।

क्रियाकलाप 3.1

एक भारी पुस्तक या पुस्तकों का ढेर एक मेज पर रखें और उन्हें अंगुलियों से धकेलने का प्रयास करें। अब पुस्तकों के नीचे तीन या अधिक पेंसिलें रखकर पुनः धकेलने का प्रयास करें। किस स्थिति में कम बल की आवश्यकता होती है? आप इससे क्या निष्कर्ष निकालते हैं।

3.6.3 घर्षण कम करने की विधियाँ

फिसलन गति की तुलना में बेल्लन गति कराना अत्यधिक आसान है। इस कारण पहिये को मानव जाति का बहुत बड़ा आविष्कार माना गया है और इसी कारण मशीनों में बाल बियरिंग्स उपयोग किये जाते हैं ताकि घर्षण कम किया जा सके।



चित्र. 3.6 : बॉल वियरिंगस में गोलियों की गति

बॉल बियरिंग्स में दो अक्षीय सिलिंडरों के बीच स्टील बॉल रखी जाती है। जैसा कि चित्र 3.6 में दिखाया गया है। सामान्यता दो सिलिन्डरों में से एक को दूसरे की अपेक्षा घूमने दिया जाता है। यहाँ पर बॉलों का परिभ्रमण लगभग घर्षण रहित गति में होता है। बॉलबियरिंगस का सभी प्रकार के वाहनों, विद्युत मोटर्स,, विद्युत पंखों आदि में उपयोग होता है।

संपर्क सतह के बीच स्नेहकों (lubricants) जैसे ग्रीस या तेल का उपयोग 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 भी कम करता है और उन्हें अधिक गरम होने से भी बचाता है।

वास्तव में स्नेहकों जैसे तेल या ग्रीस की उपस्थिति शुष्क घर्षण को द्रव घर्षण में परिवर्तित कर घर्षण के परिमाण को अत्यधिक कम कर देती है।

संपर्क सतहों के बीच संपीड़ित 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।

अगले भाग में प्रश्न हल करने के लिये कुछ मार्गदर्शक सिद्धांत बताये गये हैं। अभ्यास के लिये कुछ उदाहरण भी दिये गये हैं। प्रश्नों के हल पढ़ने से पहले मार्गदर्शक सिद्धांतों के अनुसार उन्हें स्वयं हल करने का प्रयत्न करें।

तरल घर्षण

द्रव या गैस में गतिमान वस्तुओं में भी घर्षण बल कार्य करता है। उल्काएं हवा के घर्षण के कारण उत्पन्न गर्मी के कारण चमकती हैं। ठोस घर्षण के विपरीत, तरल घर्षण वस्तुओं की आकृति पर निर्भर करता है। इस लिये मछलियों का एक विशेष आकार होता है और तेज गति से चलने वाले वायुयान एंव गाड़ियों को भी मछली के समान आकृति प्रदान की जाती है जिसे धारा रेखीय आकृति कहते हैं। तरल घर्षण का मान गति में वृद्धि के साथ तेजी से बढ़ता है। यदि कार को अधिक तेज गति से चलाया जाय तो बढ़े हुए तरल घर्षण के प्रभाव को निरस्त करने के लिये ईंधन की खपत अधिक होगी। कार निर्माता 40-45 km h^{-1} की चाल से वाहन चलाने का परामर्श देते हैं।

3.7 मुक्त निकाय आरेख तकनीक

यांत्रिकी में प्रश्नों को हल करने में बल निर्देशक आरेख (FBD) अत्यधिक सहायक हैं। इनके द्वारा न्यूटन के नियमों का उपयोग आसान हो जाता है। बल निर्देशक आरेख बनाने की विधि का वर्णन नीचे किया गया है।

1. दिये गये विवरण के अनुसार तंत्र (system) का एक स्वच्छ सरल आरेख बनाएं।
2. जिस वस्तु पर ध्यान केन्द्रित करना हो उस वस्तु को अलग करें। यह वस्तु मुक्त वस्तु कहलायेगी।
3. मुक्त वस्तु पर कार्य करने वाले सभी बाह्य बलों पर विचार करें और मुक्त वस्तु पर उनके प्रयोग की दिशा स्पष्ट रुप से तीरांकन द्वारा चिह्नित करें।
4. अब न्यूटन के दूसरे नियम $\Sigma \mathbf{F} = m\mathbf{a}$ का उपयोग करें।

   (अथवा $\Sigma F_x = ma_x$ और $\Sigma F_y = m\,a_y$)

याद रखें

(i) वस्तु की गति की दिशा में वस्तु पर एक नेट बल होना चाहिए।

(ii) सम्पूर्ण हल के लिये जितनी अज्ञात राशियाँ हैं उतने ही स्वतंत्र समीकरण होने चाहिए।

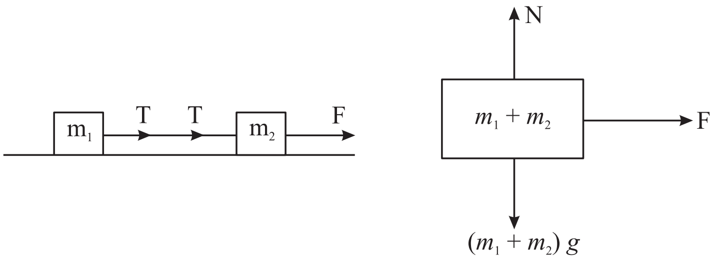
उदाहरण 3.9 : m_1 और m_2 द्रव्यमान के दो गुटके एक भारहीन धागे से जोड़े जाते हैं और चिकनी क्षैतिज सतह पर रखे जाते हैं। m_2 द्रव्यमान के गुटके को बल F के द्वारा खींचा जाता है, जो क्षैतिज के समान्तर कार्य कर रहा है। दोनों गुटकों का त्वरण क्या होगा और दोनों (इनके भी क्षैतिज मानिये) को जोड़ने वाले धागे में 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 लिये घटक के रुप में $\Sigma \mathbf{F} = m\mathbf{a}$ का प्रयोग करने पर हमें प्राप्त होता है।

$$N - (m_1 + m_2)\,g = 0$$

और $F = (m_1 + m_2)a$

$$\Rightarrow \quad a = \frac{F}{m_1 + m_2}$$



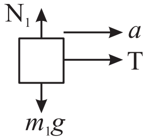
चित्र. 3.7: दो जुड़े हुए गुटकों के लिये बल निर्देशक आरेख

m_1 के बल-निर्देशक आरेख के लिये घटक रुप में $\Sigma F = ma$ उपयोग करने पर हमें प्राप्त होता है।

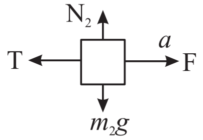
$$N_1 - m_1 g = 0 \quad \text{और} \quad T = m_1 a$$

टिप्पणियाँ

$$\Rightarrow \qquad T = m_1\left(\frac{F}{m_1+m_2}\right)$$



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



$\Sigma F = ma$ का उपयोग करते हुए m_2 के लिये बल निर्देशक आरेख बनाकर देखें क्या इसके लिये भी a और T के मान पूर्ववत आते हैं।

उदाहरण 3.10 : दो द्रव्यमान m_1 और m_2 $(m_1 > m_2)$ को हल्की घर्षणरहित पुली के ऊपर से गुजरते हुए अवितान्य धागे के दो सिरों से जोड़ा गया द्रव्यमान को छोड़ते समय उन्हें जोड़ने वाले धागें में तनाव और द्रव्यमानों का त्वरण ज्ञात कीजिए।

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

m_1 और m_2 पर $\Sigma F = ma$ उपयोग करने पर

$$m_1 g - T = m_1 a \quad \text{.....................} \ (1)$$

$$T - m_2 g = m_2 a \quad \text{.....................} \ (2)$$

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

$$a = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}\right).g \qquad T = \left(\frac{2m_1 m_2}{m_1 + m_2}\right)a$$

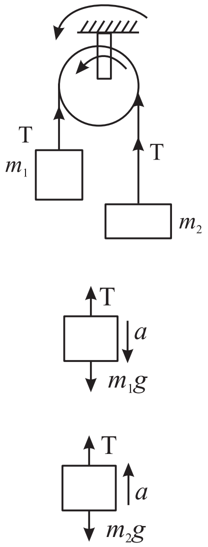
इस स्थिति में आप चरों (यानी m_1 और m_2) को चरम मान देखकर (अर्थात् $m_1 = m_2$ या $m_1 >> m_2$ मान देकर यह जाँच कर सकते हैं कि क्या a और T के माना आशा के अनुरुप प्राप्त होते हैं।

उदाहरण 3.11 : $M = 10$ कि.ग्रा. द्रव्यमान की एक ट्राली भारहीन अवितान्य धागे की सहायता से $m = 2$ kg के द्रव्यमान के गुटके के साथ जोड़ी गयी। यह धागा चित्र 3.10 में दर्शाये गये रुप में हल्की घर्षणहीन घिरनी के ऊपर से जा रहा है। ट्रॉली और सतह के बीच गतिज घर्षण का गुणांक (μ_k) = 0.02 है। अत: ज्ञात कीजिए।

a) ट्रॉली का त्वरण

b) धागे में तनाव

हल : चित्र 3.10 (b) और (c) ट्रॉली और गुटके का बल निर्देशक आरेख दर्शाते हैं। गुटके और ट्रॉली का त्वरण a लेते हैं।



चित्र 3.9

ट्रॉली के लिये, $\quad F_N = Mg$ और

$T - f_k = Ma$ जहाँ $f_k = \mu_k F_N$

$= \mu_k Mg$

अत: $\quad T - \mu_k Mg = Ma \qquad ...(1)$

$mg - T = ma \qquad ...(2)$

समीकरण (1) और (2) जोड़ने से हमें प्राप्त होता है।

$$mg - \mu_k\ Mg = (M + m)\, a$$

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

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

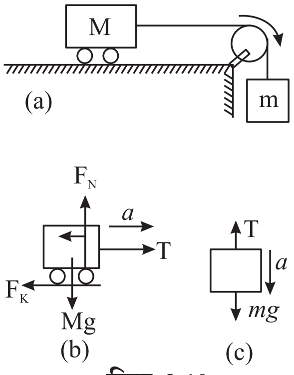
अत: $\quad a = 1.47\text{ m s}^{-2}$

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

$= 2\text{ kg}\,(9.8\text{ ms}^{-2} - 1.47\text{ m s}^{-2})$

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

अत: $\quad T = 16.66\text{ N}$

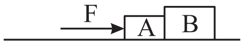


चित्र. 3.10

पाठगत प्रश्न 3.4

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

2. 100 N का बल चिकनी क्षैतिज सतह पर रखे 2 kg और 3 kg द्रव्यमान के गुटकों A और B पर लग रहा है। गुटका B पर गुटका A कितने परिमाण का बल लगा रहा है?



चित्र. 3.11

3. रस्सी में बाँधकर लटकाई गयी 5kg की वस्तु को ऊपर खींचा जाता है तो रस्सी में तनाव क्या होगा जबकि इसमें ऊपर की ओर

   (a) वेग 2 m s^{-1} हो

   (b) त्वरण 2 m s^{-2} हो।

3.8 जड़त्वीय और अजड़त्वीय निर्देश फ्रेम्स की मूलभूत अवधारणा

एक विमीय या सरल रेखीय गति के अध्ययन के लिये एक निर्देशक बिंदु (मूल बिंदु) पर्याप्त है। लेकिन जब द्विविमीय या त्रिविमीय गति हो तो उसके अध्ययन के लिये निर्देशांक रेखाओं के एक सम्मुचय की आवश्यकता होती है ताकि किसी बिंदु की दिकस्थान (space) में स्थिति का वर्णन किया जा सके। इन रेखाओं के समुच्चय को निर्देश फ्रेम (frame of reference) कहते हैं।

प्रत्येक गति का वर्णन एक प्रेक्षक करता है। प्रेक्षक की गति की अवस्था में परिवर्तन के अनुसार गति संबंधी प्रेक्षण भी प्रभावित होंगे। उदाहरण के लिए एक बक्से को लें जो कि प्लेटफार्म पर रखा है। प्लेटफार्म पर खड़े व्यक्ति को यह स्थिर दिखायी पड़ेगा जबकि एक समान चाल υ से गति करती हुई ट्रेन में बैठे आदमी को यह $-\upsilon$ वेग से चलता प्रतीत होगा। लेकिन त्वरण (a) से चलती हुई रेल पर बैठा प्रेक्षक क्या अनुभाव करेगा? वह बक्से को $(-a)$ त्वरण से चलता हुआ अनुभव करेगा। स्पष्टतया इस प्रेक्षक के लिये गति का प्रथम नियम गलत हो जाता है।

अत: गति का वर्णन करने के लिये एक निर्देश फ्रेम की आवश्यकता होती है। यदि फ्रेम अध्ययन की जाने वाली वस्तु के सापेक्ष स्थिर हो या समान वेग से चल रहा हो तो इस फ्रेम में जड़त्व का नियम कार्य करता है। इसलिये इन फ्रेम्स को जड़त्वीय फ्रेम कहते हैं। और यदि प्रेक्षक का फ्रेम त्वरित है तो इसे अजड़त्वीय फ्रेम कहते हैं।

एक वस्तु जिसका द्रव्यमान m और त्वरण (a) हो और यह अजड़त्वीय फ्रेम में हो तो हम गति के द्वितीय नियम का उपयोग एक छद्म बल द्वारा कर सकते हैं। घूमती वस्तु में इस बल को अभिकेन्द्रीय बल कहते हैं।

पाठगत प्रश्न 3.5

1. एक आधा भरा हुआ गिलास रेलगाड़ी में एक क्षैतिज मेज पर रखा है। क्या रेलगाड़ी के चलने पर जल की मुक्त सतह क्षैतिज रहेगी?

2. जब एक कार एक वक्रीय पथ पर बहुत वेग से चलायी जाती है तो वह बाहर की ओर फिसलती है। कार के अन्दर बैठे व्यक्ति को कार की गति कैसी प्रतीत होगी? सड़क पर खड़ा व्यक्ति इस घटना को किस प्रकार वर्णन करेगा?

3. 6×10^{-10} kg द्रव्यमान का एक छोटा जल कण एक अपकेन्द्रक के जलीय निलम्बन में है। इसे $2\pi \times 10^{3}$ rad s^{-1} के कोणीय वेग से घुमाया जाता है। कण घूर्णन अक्ष से 4cm की दूरी पर है। कण पर कार्य कर रहे नेट अभिकेन्द्रीय बल की गणना करो।

4. पृथ्वी के घूर्णन का कोणीय वेग कितना होना चाहिए जिससे कि इसकी सतह पर रखी वस्तुऐं अभिकेन्द्रीय बल के कारण सतह से छिटकने लगें? $g = 10$ m s^{-2} मान लें।

5. 2 kg भार की एक मुक्त रुप से गिरती वस्तु से जुड़े निर्देशक फ्रेम में जड़त्वीय बल का परिमाण एंव दिशा क्या होंगे?

आपने क्या सीखा

- पिंड का जड़त्व उसके विरामावस्था या एकसमान गति में किसी परिवर्तन का प्रतिरोध करने की प्रवृत्ति को कहते हैं।
- न्यूटन का पहला नियम बताता है कि कोई वस्तु विराम या सरल रेखा में एकसमान गति की अवस्था में बनी रहती है जब तक उस पर लग रहा नेट बाह्य बल शून्य होता है।
- $\mathbf{V}$ वेग से गतिमान m द्रव्यमान के अकेले कण के लिये हम सदिश राशि $\mathbf{p}$ को $\mathbf{p} = m\boldsymbol{v}$ के रुप में परिभाषित करते हैं जो रेखीय संवेग कहलाता है।
- न्यूटन का दूसरा नियम बताता है कि वस्तु के संवेग परिवर्तन की दर वस्तु पर लगे रहे परिणामी बल की समानुपाती होती है
- न्यूटन के दूसरे नियम के अनुसार अचर द्रव्यमान की वस्तु में उत्पन्न त्वरण, वस्तु पर लग रहे नेट बाह्य बल का अनुक्रमानुपाती होता है। अर्थात् $\mathbf{F = ma}$
- न्यूटन का तीसरा नियम बताता है कि जब दो वस्तुएं एक दूसरे के साथ अन्योन्य क्रिया करती हैं तो एक वस्तु द्वारा दूसरी वस्तु पर आरोपित बल दूसरी वस्तु द्वारा प्रथम वस्तु पर आरोपित बल के बराबर और विपरीत दिशा में होगा।
- संवेग संरक्षण के नियम 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 भी क्यों न हो।
- किसी बिन्दु एक साथ लगने वाले बल संगामी बल कहलाते हैं। यदि इन बलों का परिणामी बल शून्य हो तो ये बल संतुलन में कहे जाते हैं।
- घर्षण बल वह बल है जो किसी वस्तु पर लगता है जब वस्तु किसी सतह पर सर्पण या बैल्लन गति 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।
- वस्तु एंव सतह के बीच स्थैतिक घर्षण $f_s^{(\max)}$ का अधिकतम बल वस्तु पर लग रहे अभिलम्बवत् बल $\mathbf{F}_N$ का समानुपाती होता है। यह अधिकतम बल तब लगता है जब वस्तु बस फिसलने ही वाली होती है।
- किसी सतह पर सर्पण कर रही वस्तु के लिये गतिज घर्षण f_k के बल का परिमाण $f_k = \mu_k \mathbf{F}_N$ द्वारा व्यक्त किया जाता है जहाँ संपर्क में आयी सतहों के लिये μ_k गतिज घर्षण गुणाँक है।
- बेलन बियरिंग और बाल बियरिंग का उपयोग 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 के नियम केवल जड़त्वीय निर्देश फ्रेम में लागू होते हैं। जड़त्वीय फ्रेम वह फ्रेम है जिसमें विलगित एकल वस्तु का त्वरण शून्य होता है।

- किसी वस्तु में स्थैतिक संतुलन बनाये रखने के लिये उस पर लग रहे सभी बलों का सदिश योग शून्य होना चाहिये, केवल बिंदु वस्तुओं (point objects) के लिये यह आवश्यक तथा पर्याप्त शर्त है।

पाठांत प्रश्न

1. निम्नलिखित में से कौन सदैव पिंड पर लग रह नेट बाह्य बल की दिशा में होगा।

   (a) विस्थापन (b) वेग

   (c) त्वरण (d) संवेग परिवर्तन

2. जब वस्तु पर अचर नेट बाह्य बल लग रहा हो तो निम्नलिखित में से किसमें परिवर्तन नहीं हो सकता।

   (a) स्थिति (b) चाल (c) वेग (d) त्वरण

   उदाहरण सहित व्याख्या करें।

3. एक 0.5 kg की गेंद इतनी ऊँचाई से गिरायी जाती है कि वह भूमि पर पहुँचने में 4 सेकंड का समय लेती है। गेंद के संवेग में परिवर्तन ज्ञात कीजिए।

4. 2 kg द्रव्यमान वस्तु के संवेग में परिवर्तन निम्नलिखित में से किस स्थिति में होगा?

   (a) जब 1 सेकेंड के लिये 10 N का बल उस पर कार्य कर रहा हो।

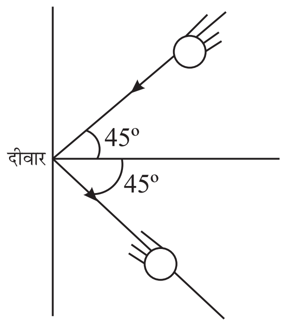
   (b) जब 1 मिनट के लिये 10 N का बल उस पर लग रहा हो।

   प्रत्येक स्थिति में संवेग में परिवर्तन का परिकलन कीजिए।

5. एक 0.2 kg द्रव्यमान की गेंद 6 ms^{-2} त्वरण के साथ वायु में गिर रही है। गेंद पर वायु कर्षण ज्ञात कीजिये।

6. 20 kg द्रव्यमान का एक भार एक रस्सी की सहायता से सतत त्वरण पर उठाया गया है। भार 2 सेकंड में 5 मीटर की ऊँचाई तक जाता है। रस्सी का तनाव ज्ञात कीजिये।

7. एक 10 m s^{-1} की गति से चल रही 0.1kg द्रव्यमान की गेंद दीवार से टकराकर उसी गति से चित्र में दर्शायी गयी दिशा में विक्षेपित हो जाती है। गेंद का संवेग परिवर्तन क्या होगा?



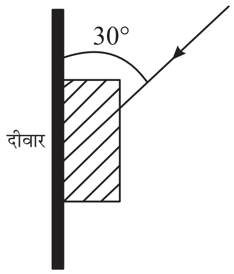
चित्र. 3.12

8. एक मशीनगन का औसत प्रतिक्षेप बल बताइए जो कि 150 बुलेट प्रति मिनट दाग रही हैं। प्रत्येक बुलेट की चाल 900 m s^{-1} है। प्रत्येक बुलेट का द्रव्यमान 12 ग्राम है।

9. जब तेज 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 kg द्रव्यमान के पिण्ड पर 20 N परिमाण का अचर बल 2 सेकंड के लिये लगता है, तो प्रारम्भ के (क) 1 सेकेंड के बाद वस्तु का वेग क्या होगा? (ख) 3 सेकंड के बाद वेग क्या होगा?

11. दर्शायी गयी दिशा में गुटके पर लगा बल कैसे उसे ऊर्ध्वाधर दीवार पर फिसलने से रोकता है?



चित्र. 3.13

12. एक क्षैतिज सतह पर 2 kg का गुटका विराम की अवस्था में है। गुटके तथा सतह के बीच स्थैतिक घर्षण का गुणाँक 0.5. है। घर्षण के बल की दिशा और परिमाण क्या होगा यदि क्षैतिज दिशा में लग रहे बाह्य बल का परिमाण निम्नलिखित हो

    (a) 0 N ? (b) 4.9 N ? (c) 9.8 N ?

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

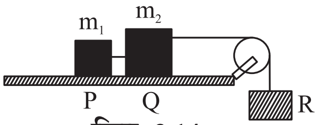
14. 30^0 आनति के आनत समतल पर 5 kg के गुटके को विराम अवस्था में रखने के लिये कम से कम कितने बल की आवश्यकता है? गुटके तथा आनत समतल के बीच स्थैतिक घर्षण का गुणाँक 0.25 है।

15. क्षैतिज घर्षण रहित सतह पर क्रमश: m_1 = 2 kg और m_2 = 3 kg द्रव्यमान के दो गुटके P और Q एक दूसरे से सटाकर रखे गये हैं चित्र में दर्शायी गयी दिशा में P गुटके पर एक बाह्य बल F = 10 N लगाया गया। निम्नलिखित का मान ज्ञात कीजिये।

    (a) गुटकों का त्वरण

    (b) गुटके P द्वारा गुटके पर लगाया गया बल

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



चित्र. 3.14

M के किस अधिकतम मान के लिये तीनों गुटके संतुलन अवस्था में होंगे।

प्रत्येक ब्लॉक पर कार्य कर रहा बल इस पर लगी ऊर्ध्व 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 बूँदें डाल दी जायें तो क्या होगा?

18. $\theta = 37^0$ आनति के आनत समतल पर एक 2 कि.ग्रा. के गुटके को धकेला गया जिससे उसे 20 m s^{-1} की प्रारंभिक चाल प्राप्त होती है। विराम की अवस्था में आने से पहले गुटका कितनी दूरी तय करेगा? गुटके तथा आनत तल के बीच गतिज बल का गुणाँक $\mu_k = 0.5$ है।

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

पाठगत प्रश्नों के उत्तर

3.1

1. कथन केवल उस वस्तु के लिये सत्य है जो नेट बल लगाने से पूर्व विराम की अवस्था में हो।
2. जड़त्व द्रव्यमान
3. हाँ, जैसा कि एकसमान वर्तुल गति में होता है।
4. बल से स्थानान्तर और घूर्णन गति हो सकती है। यह वस्तुओं को विरुपित भी कर सकता है।

3.2

1. लघुतर द्रव्यमान की वस्तु
2. (a) हाँ (b) नहीं
3. गिरती हुई वस्तु के संवेग में वृद्धि होती है क्योंकि इसकी गति की दिशा में गुरुत्व बल उस पर कार्य करता है।
4. (b) अवस्था में संवेग में परिवर्तन अधिक होगा। यह $F \times \Delta t$ गुणनफल है। जो संवेग में परितवर्तन लाता है। $\left(\text{as } F \propto \frac{\Delta p}{\Delta t}\right)$

5. नहीं, यद्यपि चाल अचर है लेकिन वस्तु के वेग में परिवर्तन उसकी दिशा में परिवर्तन के कारण होता है। अत: उसका संवेग अचर नहीं है।

3.3

1. कूदने वाले पर भूमि द्वारा लगाये बल के द्वारा कूदने वाला ऊपर की ओर त्वरित होता है। यह बल कूदने वाले द्वारा भूमि पर लगाये गये बल की प्रतिक्रिया है।

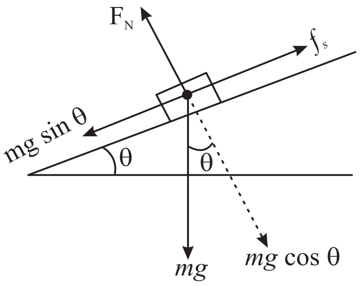
2. (a) वह बल जिससे व्यक्ति फुटबॉल में किक लगाता है यदि वह क्रिया है तो फुटबॉल द्वार व्यक्ति पर लगाया गया बल उसकी प्रतिक्रिया होगी।

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

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

3. नहीं, तर्क सही नहीं है। जब व्यक्ति द्वारा लगाया गया धक्का अलमारी और तल के बीच कार्यकारी घर्षण बल से अधिक हो जाता है तो अलमारी खिसकती है। व्यक्ति को पीछे की ओर धक्का स्वयं उसके और तल के बीच लगने वाला बड़ा घर्षण बल है। यदि व्यक्ति किसी फिसलने वाले तल पर हो तो वह अलमारी नहीं खिसका पाएगा।

3.4



चित्र. 3.15

2. 40 N

3. (a) (5×9.8) N

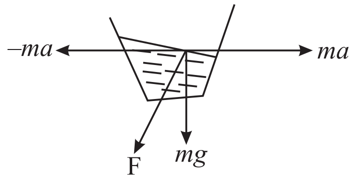
   (b) $F = (5 \times 2)\ N + (5 \times 9.8)\ N = 59\ N$

3.5

(1) जब रेल गाड़ी चलती है तो माना इसका त्वरण a है। तब रेल गाड़ी से जुड़े निर्देश फ्रेम के संदर्भ में पानी में लगने वाला परिणामी बल

$\mathbf{F} = m\,\mathbf{g} - m\,\mathbf{a}$

जहाँ m पानी तथा गिलास का द्रव्यमान है (चित्र. 3.16)। पानी का पृष्ठ F के लम्बवत् चित्र में दर्शाए अनुसार दिखाई देगा।



चित्र. 3.16

(2) भीतर बैठा यात्री ($-mv^2/r$) परिमाण का अभिकेन्द्रीय बल महसूस करेगा। जितना अधिक वेग v होगा r का परिमाण भी उतना ही अधिक होगा। सड़क पर खड़े हुये प्रेक्षक के लिये वक्र गति करती हुई कार में एक v^2/r परिमाण का अपकेन्द्री त्वरण लगता महसूस करेगा। पुनः अधिक v के लिये r का मान अधिक होगा।

(3) कण पर लगने वाला अभिकेन्द्री बल $\mathbf{F} = m\omega^2 r = (6 \times 10^{-10}\,\text{kg}) \times (2\pi \times 10^3\,\text{rad s}^{-1})^2 \times (0.04\,\text{m}) = 9.6 \times 10^{-4}\,\text{N}$.

(4) एक वस्तु के सतह से छिटकने के लिये अभिकेन्द्रीय बल (अपकेन्द्री) बला का मान उसके भार से थोड़ा अधिक होना चाहिए।

यदि वस्तु का द्रव्यमान m हो तो

$$\frac{mv^2}{r} = mg$$ शर्त पूरी होनी चाहिए

$$v = r\omega$$

$$\frac{r^2\omega^2}{r} = g$$

या कोणीय वेग $\omega = \sqrt{g/r}$

इसलिए $\sqrt{g/r}$ अधिक परिमाण के कोणीय वेग से वस्तुएं छिटक जायेंगी।

5. शून्य जैसा कि किसी वस्तु के मुक्त रुप से गिरने में होता है।

पाठांत प्रश्नों के उत्तर

1. (d)

2. (a) यदि पदार्थ के अन्दर विकसित आंतरिक बल बाह्य बल से अधिक हो जाये जैसा कि दीवार पर लगे बल के प्रकरण में होता है।

   (b) यदि बल गति की दिशा के लम्बवत लगाया जाय तो बल द्वार गति की दिशा परिवर्तित होती है लेकिन चाल समान रहती है।

3. $v = 0 + (-g) \times 4$

   $|v| = 40\,\text{m s}^{-1}$

   $\therefore\ \Delta P = m\,(v - u) = (0.5 \times 40) = 20\,\text{kg m s}^{-2}$

4. जब 10 N का नेट बल 1s तक लगता है।

5. 0.76 N

7. 250 N.

8. 27 N

10. (a) $10\ m\ s^{-1}$ (b) $20\ m\ s^{-1}$

12. (a) 0 N (b) 4.9 N (c) ~7.5 N

13. 5 N

14. 14.2 N

15. (a) $2\ m\ s^{-2}$ (b) 6 N

16. 3 kg

18. 20 m