0907CH07

अध्याय 7

कार्य, ऊर्जा एवं सरल मशीनें

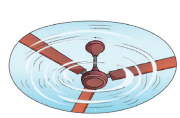
इस पुस्तक के पिछले अध्यायों 4 एवं 6 में आपने सीखा था कि बल वस्तुओं की गति को किस प्रकार प्रभावित करते हैं और कैसे न्यूटन के नियमों तथा शुद्धगतिक समीकरणों का उपयोग करके इसका विश्लेषण किया जा सकता है। किंतु जब बल समय के साथ परिवर्तित हो या उनके कार्य करने की प्रक्रिया जटिल हो तो इन नियमों को लागू करना कठिन हो जाता है। क्या ऐसी स्थितियों को समझने का कोई अपेक्षाकृत अधिक सरल एवं सक्षम साधन उपलब्ध है?

इस अध्याय में आप कार्य, ऊर्जा एवं शक्ति की अवधारणाओं का अन्वेषण करेंगे जिनकी सहायता से गति एवं उस पर बलों के प्रभाव का **विश्लेषण** अपेक्षाकृत अधिक सरलता से किया जा सकता है। आप सरल मशीनों के विषय में भी सीखेंगे जो कार्यों को कम प्रयास और अधिक सुविधाजनक रूप से करने में हमें सहायता प्रदान करती हैं। हमारे दैनिक जीवन में प्रयोग में आने वाली जटिल मशीनें मुख्यत: सरल मशीनों से मिलकर बनी होती हैं। ऊर्जा अर्थात कार्य करने की क्षमता इन सभी संकल्पनाओं और हमारे दैनिक जीवन की लगभग सभी गतिविधियों की प्राण शक्ति है।

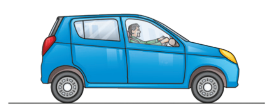
चिंतन कीजिए

- ऊपर दर्शाए गए चित्र में नीली फिसलपट्टी (Slide) के आधार तल पर बच्चे के वेग का परिमाण क्या होगा?
- क्या अलग-अलग द्रव्यमान वाले दो बच्चे एक ही फिसलपट्टी के आधार तल पर एक ही वेग से पहुँचेंगे ?
- इनमें से किस फिसलपट्टी के आधार तल पर कोई बच्चा सबसे अधिक वेग से पहुँचेगा?

चलने के लिए ऊर्जा हमें भोजन से प्राप्त होती है।



पंखे को घुमाने के लिए ऊर्जा विद्युत से प्राप्त होती है।



कार को गति प्रदान करने के लिए ऊर्जा ईंधन से प्राप्त होती है।

चित्र 7.1 — विभिन्न कार्यों को करने के लिए आवश्यक ऊर्जा विभिन्न स्रोतों से प्राप्त होती है।

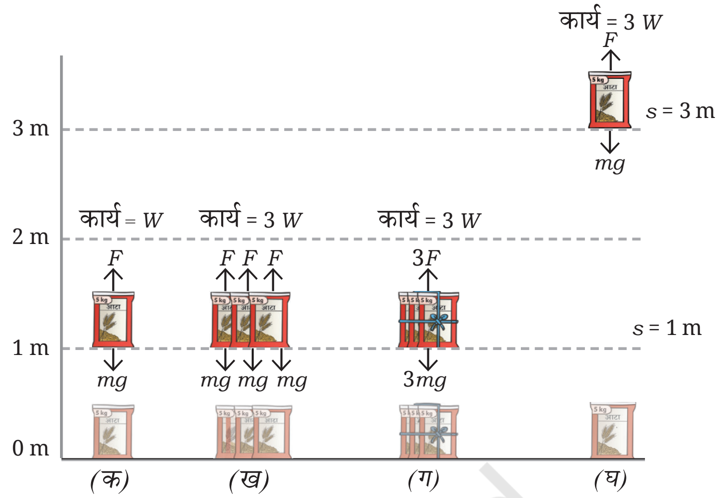
हम सामान्य बोलचाल में प्रायः कार्य, ऊर्जा और शक्ति जैसे शब्दों का उपयोग करते हैं। अध्याय 1 में हमने सीखा था कि इन शब्दों के विशिष्ट अर्थ हैं। आइए, सर्वप्रथम हम समझते हैं कि कार्य को किस प्रकार **परिभाषित** किया जाता है।

© NCERT not to be republished

7.1 किसी नियत बल द्वारा किया गया कार्य

आइए, इसका आरंभ हम किसी वस्तु को किसी ऊँचाई तक उठाने के अपने अनुभव पर आधारित कुछ चिंतन करके करते हैं।

मान लीजिए कोई 5 kg द्रव्यमान का आटे का थैला फर्श पर रखा हुआ है (चित्र 7.2 क)। यदि आटे के थैले का द्रव्यमान m और गुरुत्वीय त्वरण g हो तो उस थैले पर गुरुत्वीय बल mg नीचे की दिशा में कार्य करेगा। इस थैले को धीरे-धीरे 1 m की ऊँचाई तक ऊपर उठाने में हमें mg के बराबर बल लगाना पड़ेगा। आपके द्वारा थैले पर लगाया गया यह बल, थैले पर ऊपर की ओर लगता है जिससे थैला बल की दिशा में 1 m विस्थापित हो जाता है। सामान्य बोलचाल की भाषा में आप कहेंगे कि आपने कुछ कार्य किया है।



चित्र 7.2 — थैलों को किसी ऊँचाई तक ऊपर उठाना

यदि आप एक के पश्चात एक ऐसे 3 थैलों को समान ऊँचाई तक ऊपर उठाते हैं (चित्र 7.2 ख) तो आप एक थैला उठाने की तुलना में 3 गुना अधिक कार्य करेंगे। यदि किसी मशीन द्वारा ईंधन का उपयोग करके थैलों को उसी ऊँचाई तक उठाया जाए तो 3 थैलों को उठाने के लिए एक थैले को उठाने में लगने वाले ईंधन की तुलना में 3 गुना ईंधन की आवश्यकता होगी।

अब मान लीजिए आप तीनों थैलों को एक साथ उसी ऊँचाई तक ऊपर उठाते हैं तो आपको इसके लिए एक थैले को उठाने में लगाए गए बल का तीन गुना बल लगाने की आवश्यकता होगी (चित्र 7.2 ग)। चूँकि आपने चित्र 7.2 (ख) वाला कार्य ही किया है तो आप कह सकते हैं कि एक थैले को उठाने में किए गए कार्य का तीन गुना कार्य किया है। इससे यह भी प्रदर्शित होता है कि समान विस्थापन के लिए अधिक बल लगाने से आनुपातिकत: अधिक कार्य संपन्न होता है।

टिप्पणी

किए गए कार्य का वर्णन करते समय कार्य करने वाले बल (या कारक) तथा जिस वस्तु पर कार्य किया जाता है, उसे निर्दिष्ट करना महत्त्वपूर्ण होता है।

अब आप चित्र 7.2 (घ) पर विचार कीजिए जिसमें 5 kg के एक आटे के थैले को 3 m की ऊँचाई तक उठाया गया है। इसमें आपने एक थैले को 1 m तक उठाने में किए गए कार्य का 3 गुना कार्य किया होगा। यदि यही कार्य मशीन द्वारा किया जाए तो 1 थैले को 1 m ऊपर उठाने में जितना ईंधन व्यय किया जाता है उस थैले को 3 बार मशीनों द्वारा एक-एक मीटर ऊपर उठाने में 3 गुना ईंधन व्यय करने की आवश्यकता होगी। इससे यह प्रदर्शित होता है कि यदि उसी बल के अंतर्गत अधिक विस्थापन किया जाए तो किए गए कार्य का परिमाण भी उसी अनुपात में अधिक होगा।

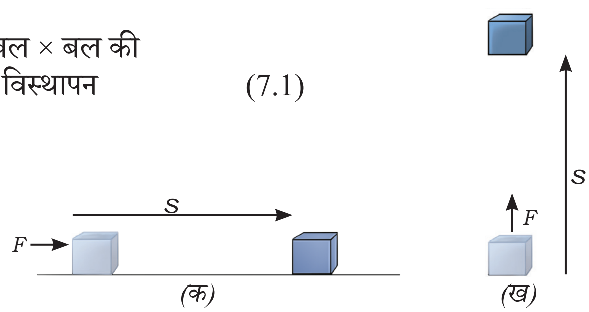
उपर्युक्त प्रेक्षणों के आधार पर अब हम किसी बल द्वारा किए गए कार्य को वैज्ञानिक रूप से परिभाषित कर सकते हैं। **किसी वस्तु पर लगने वाले एक नियत बल द्वारा किसी विस्थापन हेतु किए गए कार्य** को इस प्रकार परिभाषित कर सकते हैं—

किसी वस्तु पर एक नियत बल द्वारा किया गया कार्य = लगाया गया बल × बल की दिशा में विस्थापन (7.1)

जिस उदाहरण की चर्चा ऊपर की गई है उसमें विस्थापन ऊर्ध्व दिशा में था, किंतु समीकरण (7.1) तब भी लागू होगा जब विस्थापन और लगाया गया बल दोनों क्षैतिज अथवा किसी भी अन्य दिशा में हों।

उदाहरण के लिए— एक वस्तु लीजिए जिस पर एक नियत बल F लग रहा है और इस बल के अंतर्गत बल की दिशा में उस वस्तु का विस्थापन s है तो उस बल द्वारा वस्तु पर किया गया कार्य W होगा (चित्र 7.3), जहाँ

$$W = F \times s \qquad (7.2)$$



चित्र 7.3 — किसी वस्तु को (क) क्षैतिज दिशा में (ख) ऊर्ध्व दिशा में विस्थापित करने में किया गया कार्य।

© NCERT not to be republished

आइए, और चिंतन करें

बल और विस्थापन दोनों में परिमाण और दिशा दोनों होते हैं जबकि कार्य की कोई दिशा नहीं होती है। इसे धनात्मक या ऋणात्मक चिह्न वाली संख्या के रूप में व्यक्त किया जा सकता है।

कार्य का SI मात्रक जूल है जिसे **J** के द्वारा प्रदर्शित करते हैं। बल का SI मात्रक न्यूटन (N) और विस्थापन का SI मात्रक मीटर (m) है अतः समीकरण (7.2) की सहायता से 1 जूल को निम्नवत परिभाषित किया जा सकता है—

$$1\ J = 1\ N \times 1\ m$$

अर्थात यदि कोई वस्तु 1 न्यूटन बल लगाने पर बल की दिशा में 1 m विस्थापित हो तो 1 जूल कार्य संपन्न होगा।

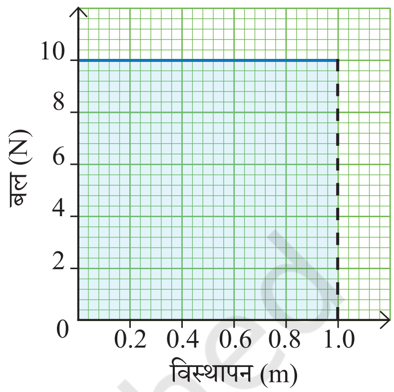
चूँकि $1\ N = 1\ kg\ m\ s^{-2}$, अतः

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

चित्र 7.4 में प्रदर्शित ग्राफ में किसी वस्तु पर लगाए गए बल को Y-अक्ष पर एवं बल की दिशा में विस्थापन को X-अक्ष पर दर्शाया गया है। इस प्रकरण में वस्तु पर किया गया कार्य छायांकित (shaded) आयत के क्षेत्रफल के बराबर होता है, जो है—

$$10\ N \times 1\ m = 10\ J$$

उल्लेखनीय है कि यदि बल नियत नहीं हो तब भी किया गया कार्य बल-विस्थापन ग्राफ में प्रारंभिक और अंतिम स्थितियों के द्वारा घिरे हुऐ क्षेत्रफल द्वारा ज्ञात किया जा सकता है।



चित्र 7.4 — बल-विस्थापन ग्राफ

7.1.1 किया गया कार्य शून्य के बराबर कब होता है?

समीकरण 7.2 में दी गई कार्य की परिभाषा से आप देख सकते हैं कि जब किसी वस्तु पर लगने वाला बल शून्य होता है तो किया गया कार्य भी शून्य होता है। अर्थात जब $F = 0$, तब वस्तु पर किया गया कार्य शून्य होता है। कार्य तब भी शून्य होगा जब वस्तु पर बल तो लगा हो किंतु उसमें कोई विस्थापन न हो अर्थात जब विस्थापन $s = 0$ हो, उदाहरण के लिए — यदि किसी दृढ़ दीवार (चित्र 7.5) पर आप बल लगाएँ और तब भी दीवार विस्थापित न हो तो ऐसी स्थिति में आपके द्वारा किया गया कार्य शून्य ही होगा।

चित्र 7.5 — दीवार को धकेलना

यह विचित्र प्रतीत हो सकता है क्योंकि दीवार को धकेलने में आप थकान का अनुभव तो करते ही हैं। यह थकान दीवार को धकेलने में शरीर की माँसपेशियों के निरंतर सिकुड़न एवं फैलाव में शरीर की आंतरिक ऊर्जा के व्यय होने के कारण होती है। अत: आप थकान का अनुभव कर सकते हैं यद्यपि वैज्ञानिक दृष्टिकोण से आपने वस्तु पर कोई कार्य नहीं किया है।

आइए, और चिंतन करें

चित्र 7.6 — एक बॉक्स को लेकर जाना

यदि किसी वस्तु पर लगाया गया बल, विस्थापन के लंबवत हो तो उस बल द्वारा वस्तु पर किया गया कार्य शून्य होता है (चित्र 7.6) क्योंकि बल की दिशा में कोई विस्थापन नहीं होता है। उदाहरण के लिए — चित्र 7.6 में प्रदर्शित एक लड़की एक बॉक्स को लेकर चल रही है। वह बॉक्स के भार के बराबर ऊर्ध्व दिशा में बल लगाकर उसके भार को संतुलित कर रही है जबकि बॉक्स क्षैतिज दिशा में गति कर रहा है। चूँकि बल व विस्थापन एक-दूसरे के लंबवत हैं, अतः बल द्वारा बॉक्स पर कोई कार्य संपन्न नहीं होगा। आगामी कक्षाओं में आप पढ़ेंगे कि जब बल और विस्थापन की दिशाओं के मध्य कोई कोण बनता हो तो बल द्वारा किए गए कार्य का परिकलन किस प्रकार किया जाता है।

एक सोपान ऊपर

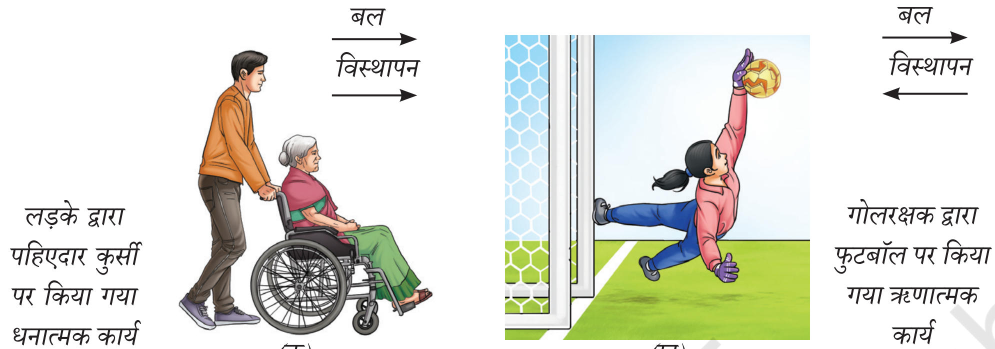
7.1.2. किए गए कार्य का धनात्मक या ऋणात्मक होना

किसी वस्तु पर बल द्वारा किया गया कार्य धनात्मक अथवा ऋणात्मक हो सकता है। यह बल तथा विस्थापन की सापेक्ष दिशाओं पर निर्भर करता है। जब विस्थापन भी उसी दिशा में हो जिस दिशा में बल आरोपित

© NCERT not to be republished

हो तो उस वस्तु पर बल द्वारा किया गया कार्य **धनात्मक** होता है। उदाहरण के लिए — जब आप एक पहिएदार कुर्सी को धकेलते हैं तो आपके द्वारा लगाया गया बल और पहिएदार कुर्सी का विस्थापन एक ही दिशा में होते हैं। अतः आपके द्वारा पहिएदार कुर्सी पर किया गया कार्य धनात्मक है (चित्र 7.7 क)।

जब किसी वस्तु पर लगाए गए बल की दिशा उसके विस्थापन की दिशा के विपरीत होती है तो बल द्वारा वस्तु पर **ऋणात्मक** कार्य किया जाता है। उदाहरण के लिए— फुटबॉल को रोकने के लिए जब कोई गोलरक्षक (Goalkeeper) फुटबॉल की गति की दिशा के विपरीत दिशा में (चित्र 7.7 ख) अर्थात विस्थापन के विपरीत दिशा में बल लगाती है तो गोलरक्षक द्वारा फुटबॉल पर ऋणात्मक कार्य किया जाता है।



चित्र 7.7 — (क) धनात्मक व (ख) ऋणात्मक कार्य के उदाहरण

उदाहरण 7.1 — व्यायाम करती हुई एक लड़की डंबल को ऊपर उठाती है और फिर धीरे-धीरे नीचे लाती है। बताइए कि लड़की डंबल पर कब धनात्मक कार्य करती है और कब ऋणात्मक कार्य करती है।

उत्तर — डंबल को ऊपर उठाते समय लड़की द्वारा डंबल के भार के बराबर बल ऊपर की ओर लगाया जाता है। चूँकि डंबल का विस्थापन भी लड़की द्वारा लगाए गए बल की दिशा में होता है, अत: लड़की डंबल पर धनात्मक कार्य करती है। लड़की जब डंबल को नीचे लाती है तब उसे पकड़े रखने के लिए लगाया गया बल डंबल के विस्थापन के विपरीत दिशा में होने के कारण उसके द्वारा डंबल पर किया गया कार्य ऋणात्मक होगा।

उदाहरण 7.2 — गोल बचाने के प्रयास में एक गोलरक्षक (चित्र 7.7 ख) फुटबॉल पर इसकी गति की विपरीत दिशा में 200 N का बल लगाती है और फुटबॉल के रुकने तक उसका हाथ 15 cm पीछे हट जाता है। गोलरक्षक द्वारा फुटबॉल को रोकने में कितना कार्य किया गया?

उत्तर — गोलरक्षक फुटबॉल पर उसकी गति की विपरीत दिशा में बल लगाती है। अतः वह फुटबॉल पर ऋणात्मक कार्य करती है तो विस्थापन ऋणात्मक होगा क्योंकि फुटबॉल गोलरक्षक द्वारा लगाए गए बल के विपरीत दिशा में गति करती है।

गोलरक्षक द्वारा फुटबॉल पर किया गया कार्य = बल × बल की दिशा में विस्थापन

$= 200 \text{ N} \times (-0.15 \text{ m}) = -30 \text{ J}$

सोचिए और बताइए

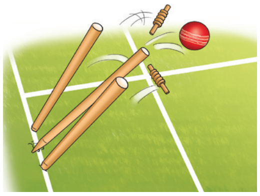
1. पिछले अध्याय के चित्र (6.8) में एक भारोत्तोलक दर्शाई गई है जिसने भारोत्तलन दंड (barbell) को अपने हाथों में पकड़ कर स्थिर रखा हुआ है। क्या वह इस दंड को स्थिर पकड़े रखने में कोई कार्य करती है?
2. बताइए पिछले अध्याय के चित्र 6.13 (ग) में दर्शाई गई किसी खुरदरी सतह (rough surface) पर गतिमान एक के ऊपर एक रखे सिक्कों के एक ढेर पर घर्षण द्वारा किया गया कार्य धनात्मक होगा, ऋणात्मक होगा या शून्य होगा?

टिप्पणी

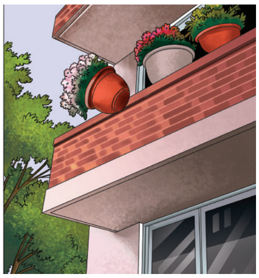
फुटबॉल और गोलरक्षक दोनों एक दूसरे पर बराबर और विपरीत बल लगाते हैं। दोनों एक दूसरे पर कार्य करते हैं। फुटबॉल गोलरक्षक पर धनात्मक कार्य करती है जबकि गोलरक्षक फुटबॉल पर ऋणात्मक कार्य करती है।

© NCERT not to be republished

(क)



(ख)



(ग)

चित्र 7.8 — (क) क्रिकेट गेंद को फेंकना (ख) गेंद का विकेट से टकराना और (ग) एक गमले का कुछ ऊँचाई से गिरना

7.2 कार्य-ऊर्जा प्रमेय

हमने देखा कि जब किसी वस्तु पर बल लगाया जाता है और वह विस्थापित होती है तब उस वस्तु पर कार्य किया जाता है। क्या इस कारण उस वस्तु को आगे कार्य करने की क्षमता प्राप्त हो जाती है?

दैनिक जीवन के कुछ उदाहरणों पर विचार कीजिए। क्रिकेट के खेल में कोई क्षेत्ररक्षक एक गेंद को विकेट की ओर फेंकता है (चित्र 7.8 क)। गतिशील गेंद विकेट से टकराती है और उसे गिरा देती है (चित्र 7.8 ख)। इसी प्रकार किसी ऊँचाई तक उठाया गया गमला यदि गिर जाए तो वह जिस वस्तु पर गिरता है उसे क्षतिग्रस्त कर देता है (चित्र 7.8 ग)। इस प्रकार प्रत्येक प्रकरण में वस्तु जैसे क्रिकेट की गेंद या गमले को कुछ कार्य करने की क्षमता प्राप्त हो जाती है। कोई भी वस्तु जिसमें कार्य करने की क्षमता हो उसे **ऊर्जावान** वस्तु कहते हैं। किंतु गेंद या गमले में यह ऊर्जा आई कहाँ से? गेंद को यह ऊर्जा क्षेत्ररक्षक द्वारा इसे फेंकने में किए गए कार्य से प्राप्त हुई। गमले में यह ऊर्जा इसे ऊँचाई तक उठाने में किए गए कार्य के कारण प्राप्त हुई।

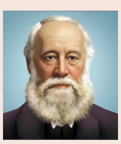
जब किसी वस्तु पर धनात्मक कार्य किया जाता है तो उसे ऊर्जा प्राप्त होती है। इसके पश्चात वह वस्तु उस ऊर्जा का उपयोग किसी अन्य वस्तु पर बल लगाने और उसे गतिशील करने में कर सकती है। इस प्रकार ऊर्जा का हस्तांतरण होता है। उदाहरण के लिए— जब कोई गेंद विकेट से टकराती है तो विकेटों को ऊर्जा स्थानांतरित करके विस्थापित करती है और उन्हें गिरा देती है। इस प्रकार किसी वस्तु पर किया गया कार्य और उसकी ऊर्जा परस्पर सह-संबंधित होते हैं।

किसी वस्तु पर किया गया कार्य उसकी ऊर्जा में परिवर्तन के रूप में प्रकट होता है। वस्तु पर किए गए कार्य और उसकी ऊर्जा में परिवर्तन के संबंध को **कार्य-ऊर्जा प्रमेय (work-energy theorem)** कहते हैं इसे निम्नवत अभिव्यक्त किया जा सकता है।

वस्तु पर किया गया कार्य = वस्तु की ऊर्जा में परिवर्तन (7.3)

यह प्रमेय वस्तुओं के निकाय के लिए भी लागू होता है तथा तब भी लागू होता है जब वस्तु पर लगाए गए बल नियत न हों। इस प्रमेय की सहायता से ऐसी कई समस्याओं को सरलता से हल किया जा सकता है जिन्हें अन्यथा हल करना कठिन होता। **ऊर्जा का SI मात्रक** कार्य के SI मात्रक के समान ही **जूल (J)** है।

वैज्ञानिक-परिचय



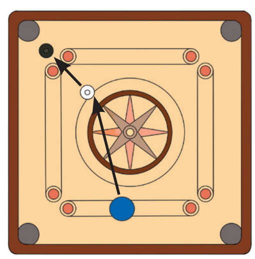
कार्य और ऊर्जा के SI मात्रक का नाम जूल वैज्ञानिक **जेम्स प्रेस्कॉट जूल** के नाम पर रखा गया है। इन्होंने अध्ययन किया कि यांत्रिक ऊर्जा और ऊष्मीय ऊर्जा आपस में कैसे संबंधित हैं तथा एक-दूसरे में किस प्रकार परिवर्तित हो सकती हैं उनके कार्य ने ऊर्जा के बोध का एक एकीकृत दृष्टिकोण विकसित करने में महत्त्वपूर्ण योगदान दिया।

आइए, और चिंतन करें

यांत्रिक कार्य करना, ऊर्जा को एक वस्तु से दूसरी वस्तु में स्थानांतरित करने की एक विधि है, परंतु इसकी यही एकमात्र विधि नहीं है। ऊर्जा का स्थानांतरण ऊष्मा के रूप में भी होता है। जब अलग-अलग तापमान वाली दो वस्तुएँ संपर्क में आती हैं तो ऊर्जा अधिक गर्म वस्तु से कम वस्तु की ओर प्रवाहित होती है। ऊर्जा का प्रवाह वस्तुओं के बिना सीधे संपर्क में आए भी हो सकता है। उदाहरण के लिए— सूर्य की ऊर्जा पृथ्वी तक विकिरणों के माध्यम से पहुँचती है। ऊर्जा का स्थानांतरण विद्युत परिपथों तथा ध्वनि तरंगों के माध्यम से भी हो सकता है यहाँ तक कि सूर्य को ऊर्जा प्रदान करने वाली नाभिकीय अभिक्रियाओं में भी ऊर्जा का स्थानांतरण होता है।

उदाहरण 7.3 — कैरम के खेल में एक खिलाड़ी एक काली गोटी को कैरम बोर्ड की पॉकेट (छिद्र) में डालने के लिए इस पर चित्र (7.9) में दर्शाए अनुसार स्ट्राइकर से प्रहार करता है। बताइए कि कार्य कौन करता है और प्रत्येक टक्कर से ऊर्जा में क्या परिवर्तन होता है?

उत्तर — गतिमान स्ट्राइकर सफेद गोटी से टकराता है जो आगे काली गोटी से टकराती है। गतिमान स्ट्राइकर सफेद गोटी के विस्थापन की दिशा में बल लगाता है। इस प्रकार स्ट्राइकर सफेद गोटी पर धनात्मक कार्य करता है और इसकी ऊर्जा में वृद्धि करता है। न्यूटन के गति के तृतीय नियम के अनुसार सफेद गोटी स्ट्राइकर पर विपरीत दिशा में बल लगाती है। इस प्रकार ऋणात्मक कार्य करती है, जिससे उसकी ऊर्जा कम हो जाती है। इसी प्रकार सफेद गोटी काली गोटी पर धनात्मक कार्य करके उसकी ऊर्जा बढ़ाती है जबकि काली गोटी सफेद गोटी पर ऋणात्मक कार्य करके उसकी ऊर्जा घटाती है।



चित्र 7.9 — कैरम के खेल में स्ट्राइकर का प्रहार

© NCERT not to be republished

सोचिए और बताइए

3. जब आप एक सपाट सड़क पर साइकिल पर सवार होकर साइकिल के पैडल पर बल लगाते हैं तो इस प्रक्रिया में आपकी माँसपेशियाँ ऊर्जा प्रदान करती हैं। आपकी माँसपेशियों द्वारा प्रदत्त ऊर्जा साइकिल सवारी में किस रूप में प्रकट होती है?

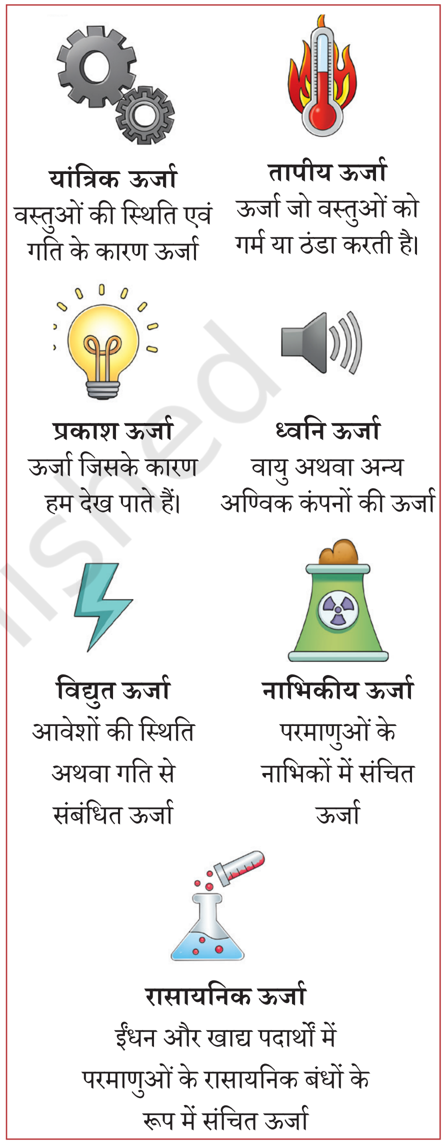
7.3 ऊर्जा के रूप

जैसा कि हमने देखा ऊर्जा कार्य करने की क्षमता है। अभी तक हमने जो उदाहरण दिए वे यांत्रिक ऊर्जा (mechanical energy) से संबंधित रहे हैं परंतु ऊर्जा का अस्तित्त्व अनेक अन्य रूपों में भी होता है जैसा कि चित्र 7.10 में दर्शाया गया है। ऊर्जा का एक रूप से दूसरे रूप में परिवर्तन होना संभव है। उदाहरण के लिए— विद्युत बल्ब में विद्युत ऊर्जा प्रकाश ऊर्जा में रूपांतरित होती है और वैद्युत जल उष्मक (electric water heater) द्वारा यही विद्युत ऊर्जा जल की तापीय ऊर्जा (thermal energy) में परिवर्तित होती है। हम जो भोजन करते हैं उसकी रासायनिक ऊर्जा हमारी मांसपेशियों को शक्ति प्रदान करती है और यांत्रिक ऊर्जा में परिवर्तित हो जाती है। इसी प्रकार बजती हुई घंटी यांत्रिक ऊर्जा को ध्वनि ऊर्जा में परिवर्तित करती है।

कक्षा 7 जिज्ञासा अध्याय 3

कक्षा 6 जिज्ञासा अध्याय 3

इन सभी में से हम यांत्रिक ऊर्जा पर विशेष ध्यान देंगे क्योंकि यह आपके द्वारा पूर्व में अध्ययन की गई बल एवं गति की संकल्पनाओं से प्रत्यक्ष संबंध रखती है।



चित्र. 7.10 — ऊर्जा के विभिन्न रूप

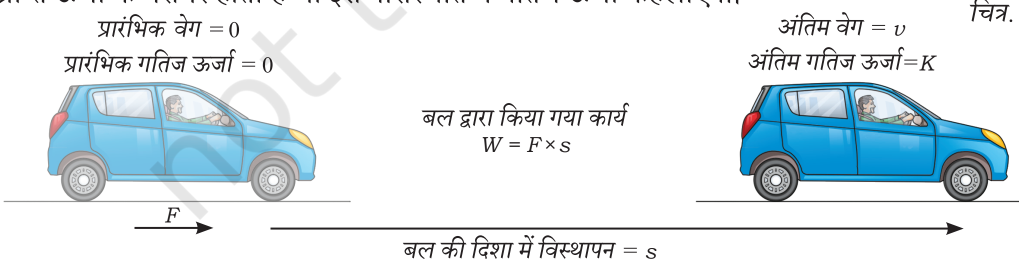
7.4 यांत्रिक ऊर्जा

यांत्रिक ऊर्जा वह ऊर्जा है जो वस्तु में उसकी गति अथवा स्थिति के कारण होती है। आइए, अब हम कार्य की संकल्पना का उपयोग करके यांत्रिक ऊर्जा के परिमाण निर्धारण का प्रयास करते हैं।

7.4.1 गतिज ऊर्जा

किसी वस्तु की गति के कारण उसमें जो ऊर्जा होती है उसे **गतिज ऊर्जा (kinetic energy)** कहते हैं। सभी गतिशील वस्तुओं, जैसे— चलती हुई साइकिल या लुढ़कती हुई गेंद में गतिज ऊर्जा होती है

किसी वस्तु में उसकी गति के कारण कितनी ऊर्जा होती है? यदि वस्तु गतिशील नहीं है तो उसकी गतिज ऊर्जा शून्य होती है। किसी ऐसी वस्तु पर विचार कीजिए जो विरामावस्था से चलना प्रारंभ करती है और किसी बल F के प्रभाव में एक निश्चित वेग प्राप्त कर लेती है (चित्र 7.11)। तब कार्य-ऊर्जा प्रमेय के अनुसार बल द्वारा किया गया कार्य ही वस्तु को प्राप्त ऊर्जा के बराबर होता है जो इस परिस्थिति में गतिज ऊर्जा कहलाएगी।



चित्र 7.11 — कार्य-ऊर्जा प्रमेय का उपयोग करके गतिज ऊर्जा में परिवर्तन का परिकलन

आइए, अब हम गतिज ऊर्जा के लिए गणितीय व्यंजक प्राप्त करते हैं। इसके लिए हम पहले m द्रव्यमान की एक ऐसी वस्तु पर लगने वाले बल द्वारा किए गए कार्य का सामान्य व्यंजक प्राप्त करेंगे जो विरामावस्था से नहीं वरन प्रारंभिक वेग u से चलती है। मान लीजिए कि यह वस्तु s विस्थापन करने के पश्चात अंतिम वेग v प्राप्त करती है। स्थिति के सरलीकरण के लिए हम मान लेते हैं कि वस्तु पर

© NCERT not to be republished

लगने वाला बल एक नियत बल F है और इस स्थिति में वस्तु का त्वरण a भी नियत होगा। गति के समीकरणों का उपयोग करें तो हम लिख सकते हैं—

$$v^2 = u^2 + 2as$$

या $$s = \frac{(v^2 - u^2)}{(2a)} \qquad (7.4)$$

समीकरण 7.2 द्वारा दी गई कार्य की परिभाषा के अनुसार बल द्वारा किया गया कार्य होगा—

$$W = F \times s$$

न्यूटन के गति के द्वितीय नियम $F = ma$ का उपयोग करने पर हमें प्राप्त होता है—

$$W = ma \times s$$

समीकरण (7.4) से प्राप्त s का मान इसमें प्रतिस्थापित करने पर हमें प्राप्त होता है—

$$W = ma \times \frac{(v^2 - u^2)}{(2a)}$$

$$W = \frac{1}{2} m (v^2 - u^2) \qquad (7.5)$$

कार्य-ऊर्जा प्रमेय (समीकरण 7.3) के अनुसार वस्तु पर लगने वाले बल द्वारा किया गया यह कार्य ही वस्तु के ऊर्जा में परिवर्तन के रूप में अभिव्यक्त होता है। अतः समीकरण (7.5) वस्तु की ऊर्जा के परिवर्तन को अभिव्यक्त करता है।

यदि वस्तु का प्रारंभिक वेग $u = 0$ हो तो वस्तु की ऊर्जा का यह परिवर्तन ही वस्तु की अंतिम गतिज ऊर्जा के बराबर होगा। अतः समीकरण (7.5) का उपयोग करके m द्रव्यमान की v वेग से गतिमान वस्तु की गतिज ऊर्जा होगी

$$K = \frac{1}{2} m v^2 \qquad (7.6)$$

गतिज ऊर्जा का SI मात्रक जूल (J) है। गतिज ऊर्जा की कोई दिशा नहीं होती है। जब किसी वस्तु पर धनात्मक कार्य किया जाता है और इसके वेग में वृद्धि होती है तो इसकी गतिज ऊर्जा में भी वृद्धि होती है। जब वस्तु पर ऋणात्मक कार्य किया जाता है और इसका वेग कम होता है तो इसकी गतिज ऊर्जा भी कम होती है। यदि वस्तु पर लगाए गए बल द्वारा कोई कार्य नहीं किया जाता ($W = 0$) और इसके वेग में कोई परिवर्तन नहीं होता तो इसकी गतिज ऊर्जा नियत बनी रहती है।

उदाहरण 7.4— यदि किसी वाहन के वेग का परिमाण दोगुना हो जाए तो उसकी गतिज ऊर्जा का मान उसकी प्रारंभिक गतिज ऊर्जा की तुलना में कितने गुना हो जाएगा?

उत्तर— मान लीजिए वाहन का द्रव्यमान m तथा प्रारंभिक वेग v है। उसकी प्रारंभिक गतिज ऊर्जा $\frac{1}{2}mv^2$ होगी। यदि वाहन $2v$ वेग से गति करने लगे तो इसकी गतिज ऊर्जा हो जाएगी $\frac{1}{2}m(2v)^2 = 4 \times \frac{1}{2}mv^2$

इस प्रकार गतिज ऊर्जा का मान प्रारंभिक गतिज ऊर्जा का चार गुना हो जाएगा।

उदाहरण 7.5— एक भारतीय गेंदबाज अपनी सबसे अधिक तीव्रगति से फेंकी गई गेंदों में से एक को लगभग 154.8 km h^{-1} का वेग प्रदान करता है। यदि गेंद का द्रव्यमान 0.2 kg माना जाए तो गेंद फेंकने के समय गेंद की गतिज ऊर्जा का **परिकलन** कीजिए।

उत्तर— क्रिकेट गेंद का द्रव्यमान = 0.2 kg

गेंद का वेग = 154.8 km h^{-1}= 43 m s^{-1}

$$K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 0.2 \text{ kg} \times (43 \text{ m s}^{-1})^2 = 184.9 \text{ J}$$

© NCERT not to be republished

उदाहरण 7.6 — 15000 kg द्रव्यमान का एक जेट वायुयान किसी विमान वाहक पोत के नौतल (Deck)पर उतरता है (चित्र 7.12)। पोत की सतह की कम लंबाई के भीतर विमान को रोकने के लिए वायुयान के पिछले सिरे पर लगा एक हुक नौतल पर तने हुए एक तार में फँसाया जाता है। तार वायुयान पर लगभग 367500 N का नियत बल पीछे की ओर लगाता है जिससे जेट विमान 100 m चलकर रुक जाता है। बताइए कि तार के हुक में फँसने से ठीक पहले वायुयान का वेग क्या था?

चित्र 7.12 — विमान वाहक पोत पर उतरता हुआ जेट वायुयान

उत्तर — मान लीजिए कि विमान का वेग υ था।

वायु यान की प्रारंभिक गतिज ऊर्जा $K_i = \frac{1}{2} \times 15000 \text{ kg} \times \upsilon^2$

वायु यान की अंतिम गतिज ऊर्जा $K_f = 0 \text{ J}$

गतिज ऊर्जा में परिवर्तन = $0 \text{ J} - \frac{1}{2} \times 15000 \text{ kg} \times \upsilon^2$

समीकरण (7.3) से

गतिज ऊर्जा में परिवर्तन $K_f - K_i$ = तार द्वारा किया गया कार्य

वायुयान का विस्थापन और तार द्वारा लगाया गया बल विपरीत दिशाओं में हैं। अत: तार द्वारा लगाए गए बल द्वारा संपन्न कार्य ऋणात्मक होगा।

समीकरण (7.2) का उपयोग करने पर तार द्वारा किया गया कार्य = $F \times s = 367500 \text{ N} \times (-100 \text{ m})$

समीकरण (7.3) में यह मान प्रतिस्थापित करने पर हमें प्राप्त होता है—

$$-\frac{1}{2} \times 15000 \text{ kg} \times \upsilon^2 = -(367500 \text{ N} \times 100 \text{ m})$$

$$\upsilon^2 = \frac{36750 \times 2}{15} \text{ N m kg}^{-1} = 4900 \text{ kg m s}^{-2} \text{ m kg}^{-1} = 4900 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$$

$\upsilon = 70 \text{ m s}^{-1} = 252 \text{ km h}^{-1}$ विमान वाहक पोत की ओर दिष्ट।

सोचिए और बताइए

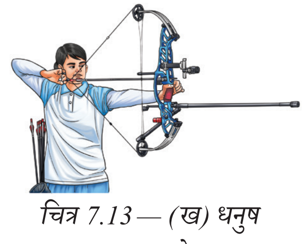
4. दो वस्तुओं A एवं B के द्रव्यमान क्रमश: m एवं 4 m हैं। बताइए कि यदि इनकी गतिज ऊर्जा समान हो तो इनके वेगों का अनुपात क्या होगा?
5. क्या नियत वेग से गतिमान किसी वस्तु की गतिज ऊर्जा उसकी स्थिति में परिवर्तन करने के साथ-साथ परिवर्तित होती है?

7.4.2 स्थितिज ऊर्जा

इसी पाठ्यपुस्तक के अध्याय 6 'गति पर बलों का प्रभाव' में आपने एक क्रियाकलाप 6.1 किया था जिसमें आपने तने हुए रबड़ बैंड को मुक्त करके इसके संपर्क में एक के ऊपर एक रखे गए सिक्कों के एक ढेर को गति प्रदान की थी। क्या आपने कभी गुलेल का प्रयोग किया है? इसमें जब आप एक तने हुए प्रत्यास्थ बैंड को मुक्त करते हैं तो इसके संपर्क में रखी वस्तु तेजी से आगे की दिशा में गति करती है (चित्र 7.13 क)। आपने धनुष बाण प्रतियोगिता भी देखी होगी जिसमें धनुर्धर, धनुष की प्रत्यंचा खींचता है और इस प्रक्रिया में धनुष की भुजाओं को मोड़ता है। प्रत्यंचा को छोड़ने पर धनुष प्रत्यंचा सहित अपनी मूल स्थिति में वापस आ जाता है तथा बाण उड़ता हुआ धनुष से दूर चला जाता है (7.13 ख)।

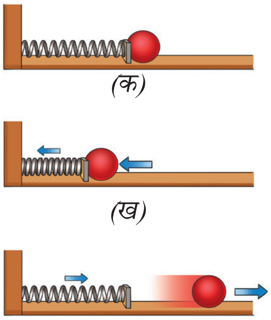
चित्र 7.13 — (क) गुलेल द्वारा लक्ष्य संधान

इन उदाहरणों में आप देखते हैं कि जब तने हुए रबड़ बैंड या खींची गई धनुष की प्रत्यंचा को मुक्त किया जाता है तो यह अपने संपर्क में रखी वस्तु पर बल आरोपित करते हैं। इससे वह वस्तु गति अवस्था में आ जाती है और उसे गतिज ऊर्जा प्राप्त होती है। साथ ही तने हुए रबड़ बैंड और मुड़े हुए धनुष की प्रत्यंचा अपने मूल रूप में वापस आ जाते हैं। अतः एक के ऊपर एक रखे सिक्कों के ढेर, गेंद अथवा बाण को गतिज ऊर्जा प्राप्त हो जाती है जो कि प्रारंभ में इनके पास नहीं थी। तने हुए रबड़ बैंड तथा प्रत्यंचा खींचने के कारण मुड़े हुए धनुष में उनकी इस विशेष आकृति (तने हुए या मुड़े हुए) विरूपता के कारण कार्य करने की यह क्षमता प्राप्त हुई होगी।



चित्र 7.13 — (ख) धनुष द्वारा बाण छोड़ना

© NCERT not to be republished



(क)

(ख)

(ग)

चित्र 7.14 — (क) स्प्रिंग की मूल अवस्था, (ख) स्प्रिंग की संपीडित अवस्था और (ग) स्प्रिंग का पुनः मूल अवस्था में लौटना

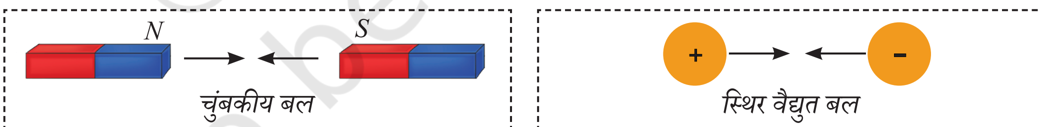
अत: इनमें विरूपण उत्पन्न करने के लिए लगाए गए बल द्वारा जो कार्य किया गया था वही रबड़ बैंड अथवा धनुष में ऊर्जा के रूप में संचित हो गया था।

इसी प्रकार जब आप एक स्प्रिंग को संपीडित या विस्तारित करने के लिए बल लगाते हैं (चित्र 7.14 क) तो आप इसकी आकृति में परिवर्तन करने या विकृति लाने के लिए स्प्रिंग पर कार्य करते हैं। विकृत होने में स्प्रिंग में ऊर्जा संचित हो जाती है अर्थात विकृत अवस्था इनमें कार्य करने की क्षमता उत्पन्न कर देती है (चित्र 7.14 ख)। स्प्रिंग की विकृति के कारण इसमें यह ऊर्जा तब तक बनी रहती है जब तक स्प्रिंग इस स्थिति में बनी रहती है। जब स्प्रिंग को मुक्त कर दिया जाता है तो यह अपनी मूल अवस्था में वापस आ जाती है। इस प्रकिया के कारण स्प्रिंग अपनी संचित ऊर्जा को संपर्क में रखी वस्तु को गतिज ऊर्जा के रूप में स्थानांतरित कर देती है।

आइए, और चिंतन करें

स्प्रिंग में विकृति उत्पन्न करने के लिए आपको आंतरिक बलों (internal forces) के विरूद्ध बाह्य बल लगाना पड़ता है। जब बाह्य बल को हटाते हैं तो आंतरिक बल इस विकृति को निरस्त करते हैं और इस प्रक्रिया में स्प्रिंग कार्य कर सकती है। अत: आंतरिक बलों के कारण किसी वस्तु के विकृति की अवस्था में ऊर्जा संचित हो सकती है।

ऊर्जा का संचय न केवल वस्तु को विकृत बल्कि किसी निकाय में वस्तुओं की स्थिति में परिवर्तन करके भी किया जा सकता है। आपको ज्ञात है कि चुंबक के विपरीत ध्रुवों में आकर्षण (attraction)और समान ध्रुवों में प्रतिकर्षण (repulsion)होता है। आपने अनुभव किया होगा कि जब चुंबकों के विपरीत ध्रुवों को अलग करने का प्रयास किया जाता है तब बल लगाना पड़ता है। जब चुंबकों के विपरीत ध्रुवों को अलग करके छोड़ते हैं तो वे एक दूसरे की ओर गति करते हैं और गतिज ऊर्जा प्राप्त करते हैं। वास्तव में दो बलशाली चुंबकों के मध्य यदि कोई मटर का दाना रखा हो तो उनकी गतिज ऊर्जा के कारण वह कुचला भी जा सकता है। यह दर्शाता है कि एक-दूसरे से विलगित दो चुंबकों के एक निकाय में उनकी पारस्परिक स्थिति के कारण भी ऊर्जा संचित हो सकती है।

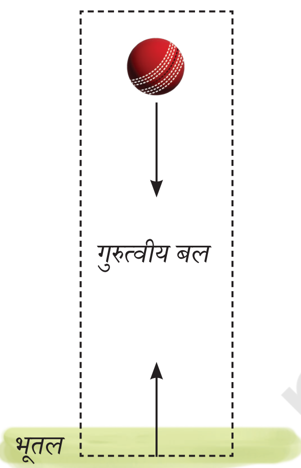


(क) (ख)

चित्र 7.15 — (क) दो चुंबकों का और (ख) दो विद्युत आवेशों का निकाय

इसी प्रकार एक-दूसरे से कुछ दूरी पर रखे गए वैद्युत आवेशों के एक निकाय में भी ऊर्जा संचित होती है जो इन आवेशों को मुक्त करने पर कार्य में परिवर्तित हो सकती है।

कक्षा 8
जिज्ञासा
अध्याय 5



चित्र 7.16 — पृथ्वी एवं गेंद का निकाय

अब पृथ्वी की सतह पर रखी हुई एक गेंद पर विचार कीजिए। गेंद और पृथ्वी दोनों मिलकर एक निकाय की रचना करते हैं। आपने पूर्व में सीखा है कि गेंद और पृथ्वी एक-दूसरे को आकर्षित करते हैं। किसी गेंद को पृथ्वी की सतह से कुछ ऊँचाई तक उठाना हो तो गुरुत्वीय बल के विरुद्ध कार्य करने के लिए एक बल की आवश्यकता होती है। किंतु जब एक गेंद को कुछ ऊँचाई पर उठाने के पश्चात लगाया गया बाह्य बल हटा लिया जाता है तो गेंद और पृथ्वी एक-दूसरे की ओर गति करते हैं और इस प्रक्रिया में गतिज ऊर्जा प्राप्त करते हैं (चित्र 7.16)। अतः गेंद और पृथ्वी जब एक-दूसरे से दूरी पर होते हैं तो उनकी सापेक्ष स्थिति के कारण इनके निकाय में ऊर्जा संचित हो जाती है।

© NCERT not to be republished

व्यापक रूप में जब भी वस्तुओं का कोई निकाय गुरुत्वीय, वैद्युत अथवा चुंबकीय बलों के माध्यम से परस्पर अन्योन्य क्रिया करता है तो यह निकाय वस्तुओं की सापेक्ष स्थितियों के कारण ऊर्जा संचित कर सकता है।

किसी वस्तु में विकृति के कारण अथवा वस्तुओं के एक निकाय में उनकी सापेक्ष स्थितियों के कारण जो ऊर्जा संचित होती है उसे **स्थितिज ऊर्जा (potential energy)** कहते हैं।

गुरुत्वीय स्थितिज ऊर्जा

जिन विभिन्न प्रकार की संभावित विधियों से वस्तुएँ स्थितिज ऊर्जा ग्रहण कर सकती हैं उनमें से एक पृथ्वी-गेंद निकाय है हम उसी पर अपना ध्यान केंद्रित करेंगे क्योंकि यह गुरुत्वीय स्थितिज ऊर्जा (gravitational potential energy) का सरलतम उदाहरण है। पृथ्वी का द्रव्यमान गेंद की तुलना में बहुत अधिक होता है, अतः गेंद की ओर इसकी गति नगण्य होती है जैसा कि अध्याय 6 'गति पर बलों का प्रभाव' के उदाहरण 6.8 में वर्णन किया गया है। इसी कारण सरल भाषा में पृथ्वी-गेंद निकाय की संचित ऊर्जा को प्रायः गेंद की गुरुत्वीय स्थितिज ऊर्जा कहा जाता है। आइए, हम गेंद और पृथ्वी के मध्य गुरुत्वीय बल के कारण गेंद की स्थितिज ऊर्जा के विषय में और अधिक जानने के लिए एक क्रियाकलाप करें। अब इस अध्याय में आगे स्थितिज ऊर्जा का तात्पर्य सामान्यतः गुरुत्वीय स्थितिज ऊर्जा से होगा।

चित्र 7.17 — विभिन्न ऊँचाइयों से गेंद को गिराने से रेत की सतह पर बने गड्ढे

क्रियाकलाप 7.1— आइए, जाँच करें

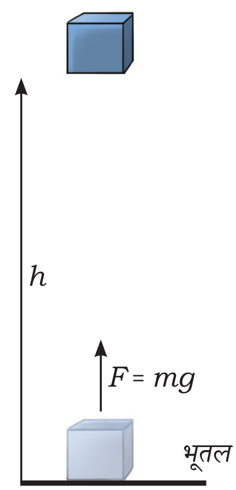
1. एक भारी गेंद तथा सूखे रेत से भरा एक बड़ा पात्र लीजिए।
2. गेंद को रेत की सतह से करीब 1m ऊँचाई तक उठाकर गिराइए (चित्र 7.17)। क्या रेत में एक गड्ढा बन जाता है? विचार कीजिए कि गेंद रेत में गड्ढा क्यों बना देती है?
3. अब गेंद को रेत की सतह से 2 m ऊपर ले जाकर किसी दूसरी जगह गिराइए जिससे सतह पर बने गड्ढे अलग-अलग दिखाई दें न कि एक दूसरे के ऊपर। क्रियाकलाप के इस चरण को पुनः दोहराइए। इस बार बने गड्ढे की गहराई की **तुलना** पहले बने गड्ढे की गहराई से कीजिए। क्या आपको इनमें कोई अंतर दिखाई देता है? किस स्थिति में गड्ढे की गहराई अधिक व किस स्थिति में कम होती है?

आप पाते हैं कि गड्ढे की गहराई अधिकतम तब होती है जब गेंद सबसे अधिक ऊँचाई से गिराई जाती है। गेंद को पृथ्वी की सतह से अधिक ऊँचाई तक ऊपर उठाने में अधिक कार्य करना पड़ता है। अतः अधिक ऊँचाई पर गेंद में अधिक ऊर्जा संचित होती है। जब अधिक ऊँचाई से गेंद को गिराया जाता है तो गड्ढा अधिक गहरा बनता है। अतः पृथ्वी की सतह से गेंद की ऊँचाई जितनी अधिक होगी उसकी स्थितिज ऊर्जा भी उतनी ही अधिक होगी।

कार्य-ऊर्जा प्रमेय का उपयोग करके हम किसी वस्तु की स्थितिज ऊर्जा के लिए एक व्यंजक प्राप्त कर सकते हैं। इसके लिए m द्रव्यमान की किसी वस्तु पर विचार कीजिए जो पृथ्वी की सतह पर रखी है (चित्र 7.18)। इस स्थिति में हम स्थितिज ऊर्जा को शून्य मान सकते हैं। वस्तु को धीरे-धीरे पृथ्वी की सतह से h ऊँचाई तक ऊपर उठाने के लिए हमें पृथ्वी एवं वस्तु के बीच लगने वाले बल mg के बराबर बल की आवश्यकता पड़ती है। इस बल द्वारा वस्तु पर किया गया कार्य (W) है—

$$W = \text{बल} \times \text{विस्थापन}$$

$$W = mg \times h = mgh \quad (7.7)$$



चित्र 7.18 — वस्तु को किसी ऊँचाई तक उठाना

कार्य-ऊर्जा प्रमेय के अनुसार (समीकरण 7.3) वस्तु पर किया गया यह कार्य ही स्थितिज ऊर्जा में परिवर्तन के रूप में प्रकट होता है। अतः h ऊँचाई पर वस्तु की स्थितिज ऊर्जा U निम्नवत प्रदर्शित की जा सकती है।

$$U = mgh \quad (7.8)$$

आइए, और चिंतन करें

समीकरण 7.8 द्वारा अभिव्यक्त h ऊँचाई पर स्थित किसी वस्तु की स्थितिज ऊर्जा पृथ्वी की सतह के निकट की ऊँचाईयों के लिए ही वैध है। पृथ्वी की सतह से दूर जाने पर गुरुत्वीय त्वरण का मान कम होता जाता है। आगे की कक्षाओं में आप अधिक ऊँचाईयों पर वस्तुओं की गुरुत्वीय स्थितिज ऊर्जा के विषय में जानेंगे

एक सोपान ऊपर

स्थितिज ऊर्जा का मात्रक जूल (J) होता है जो कार्य अथवा गतिज ऊर्जा का भी मात्रक है।

उदाहरण 7.7 — एक क्षेत्ररक्षक ने गेंद पकड़ने के पश्चात 200 g द्रव्यमान की क्रिकेट की गेंद को उत्साह में पृथ्वी की सतह से 10 m ऊँचा उछाल दिया। गेंद की उच्चतम स्थिति में उसकी स्थितिज ऊर्जा क्या होगी? मान लीजिए $g = 10 \text{ m s}^{-2}$।

उत्तर — स्थितिज ऊर्जा के लिए समीकरण 7.8 का उपयोग करने पर गेंद की स्थितिज ऊर्जा होगी—

$$mgh = 0.2 \text{ kg} \times 10 \text{ m s}^{-2} \times 10 \text{ m} = 20 \text{ J}$$

सोचिए और बताइए

6. यदि कोई गेंद पृथ्वी की सतह के निकट क्षैतिज दिशा में नियत वेग से गतिशील है तो क्या उसकी स्थितिज ऊर्जा में परिवर्तन होता है? जब किसी वस्तु को धीरे-धीरे ऊर्ध्व दिशा में ऊपर उठाया जाता है तो क्या इसकी स्थितिज ऊर्जा में परिवर्तन होगा?

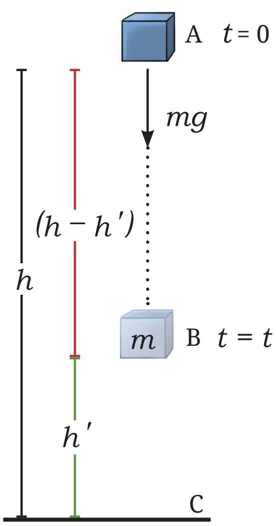
आइए, और चिंतन करें

किसी निकाय के आंतरिक बलों, जैसे— गुरुत्वीय, वैद्युत या चुंबकीय बलों के विरुद्ध निकाय पर किए गए कार्य से निकाय की स्थितिज ऊर्जा में वृद्धि हो सकती है। किंतु सभी प्रकार के आंतरिक बलों के लिए यह सत्य नहीं है। उदाहरण के लिए— घर्षण के विरुद्ध किया गया कार्य ऊर्जा के रूप में संचित नहीं होता है। आप उच्चतर कक्षाओं में सीखेंगे कि ऐसे बलों को किस प्रकार पहचाना जाता है।

एक सोपान ऊपर

7.4.3 यांत्रिक ऊर्जा का संरक्षण

किसी वस्तु की गतिज ऊर्जा और स्थितिज ऊर्जा के योग को इसकी **यांत्रिक ऊर्जा** कहते हैं। आइए, गुरुत्वीय बल क्षेत्र में स्वतंत्रतापूर्वक गिरती हुई किसी वस्तु के लिए विभिन्न बिंदुओं पर यांत्रिक ऊर्जा का मान ज्ञात करते हैं।



चित्र 7.19 — गुरुत्व के अधीन मुक्त रूप से गिरती हुई वस्तु

पुनः m द्रव्यमान की किसी एक वस्तु पर विचार कीजिए जिसे h ऊँचाई पर स्थित किसी बिंदु A तक उठाया जाता है और छोड़ दिया जाता है (चित्र 7.19)। इसका प्रारंभिक वेग शून्य है।

अतः बिंदु A पर (समीकरण 7.6 व 7.8 के अनुसार)

वस्तु की स्थितिज ऊर्जा $= mgh$ (7.9 क)

वस्तु की गतिज ऊर्जा $= 0$ (7.9 ख)

यांत्रिक ऊर्जा $= 0 + mgh = mgh$ (7.9 ग)

मान लीजिए गुरुत्वीय बल mg के कारण नीचे गिरती हुई यह वस्तु t समय में किसी बिंदु B तक पहुँचती है तब उसका वेग बढ़कर v हो जाता है। आप h' ऊँचाई पर स्थित बिंदु B पर वस्तु का वेग v शुद्ध गतिक समीकरणों की सहायता से ज्ञात कर सकते हैं (इन समीकरणों मे त्वरण a का मान गुरुत्वीय त्वरण g के बराबर लीजिए।)

$$v = u + gt = 0 + gt = gt$$

$$s = ut + \frac{1}{2}gt^2 \rightarrow h - h' = 0 + \frac{1}{2}gt^2 \rightarrow h' = h - \frac{1}{2}gt^2$$

अतः बिंदु B पर—

वस्तु की स्थितिज ऊर्जा $= mgh' = mgh - \frac{1}{2}mg^2t^2$ (7.10 क)

वस्तु की गतिज ऊर्जा $= \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mg^2t^2$ (7.10 ख)

यांत्रिक ऊर्जा $= mgh - \frac{1}{2}mg^2t^2 + \frac{1}{2}mg^2t^2 = mgh$ (7.10 ग)

© NCERT not to be republished

समय t के साथ जैसे-जैसे वस्तु नीचे गिरती जाती है उसकी स्थितिज ऊर्जा कम होती जाती है जबकि इसकी गतिज ऊर्जा में वृद्धि होती है।

समीकरण 7.9 और 7.10 की तुलना करने पर आपको ज्ञात होगा कि t समय में गतिज ऊर्जा में वृद्धि $\frac{1}{2}mg^2t^2$ है जो कि स्थितिज ऊर्जा में ह्रास $\frac{1}{2}mg^2t^2$ के बराबर है। इससे यह भी प्रदर्शित होता है कि स्थितिज ऊर्जा में हानि ही गतिज ऊर्जा में वृद्धि के रूप में परिवर्तित होती है जबकि उसकी यांत्रिक ऊर्जा, जो कि mgh के तुल्य है नियत बनी रहती है।

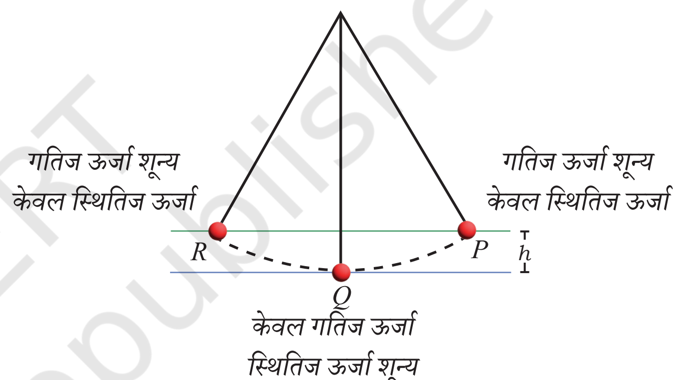
जब कोई वस्तु गुरुत्वीय बल के कारण गतिमान होती है और उस पर कोई अन्य बाह्य बल कार्य नहीं कर रहा हो तो इसकी यांत्रिक ऊर्जा नियत बनी रहती है अर्थात वस्तु की यांत्रिक ऊर्जा संरक्षित रहती है। यह कथन **यांत्रिक ऊर्जा संरक्षण (conservation of mechanical energy)** का नियम कहलाता है।

इसे समझने के लिए हम एक क्रियाकलाप करेंगे। क्या आपको अपने सरल लोलक (simple pendulum) द्वारा किए प्रयोग का स्मरण है? आइए, उसी सरल लोलक प्रयोग को आगे बढ़ाते हैं।

कक्षा 7 जिज्ञासा अध्याय 8

क्रियाकलाप 7.2 — आइए, प्रयोग करें

1. एक सरल लोलक स्थापित कीजिए जैसा आपने कक्षा 7 में सीखा था।
2. लोलक के पीछे दीवार पर एक सफेद कागज का एक पत्रक चिपका दीजिए। जब लोलक दोलन नहीं कर रहा हो तो इस कागज पर लोलक के गोलक की स्थिति के ऊपर एक क्षैतिज रेखा खींच दीजिए (चित्र 7.20)।
3. गोलक को एक ओर क्षैतिज रेखा के ऊपर स्थिति बिंदु P तक ले जाकर छोड़िए आरंभ के कुछ दोलनों में दोलन रेखा के चरम बिंदुओं (extreme points) पर इसका **अवलोकन** कीजिए। क्या गोलक लगभग क्षैतिज रेखा की ऊँचाई के स्तर तक पहुँच जाता है?



चित्र 7.20 — सरल लोलक के दोलन की विभिन्न स्थितियों मे गतिज एवं स्थितिज ऊर्जा

बिंदु P पर लोलक के गोलक की स्थितिज ऊर्जा mgh के बराबर है जहाँ h विराम अवस्था में संतुलन की स्थिति से इसकी ऊँचाई है।

बिंदु Q पर स्थितिज ऊर्जा शून्य है किंतु लोलक में गतिज ऊर्जा विद्यमान है। अतः अंत में बिंदु R पर जो कि दूसरी ओर वह स्थिति है जहाँ लोलक रुक जाता है, पर इसकी गतिज ऊर्जा शून्य है किंतु यह अपनी स्थितिज ऊर्जा पुनः प्राप्त कर लेता है। गोलक ने जिस ऊँचाई से दोलन आरंभ किया था यह लगभग उसी ऊँचाई तक पहुँचता है। यह प्रयोग **दर्शाता** है कि लोलक की यांत्रिक ऊर्जा नियत बनी रहती है। तथापि व्यवहार में वायु प्रतिरोध एवं निलंबन बिंदु पर घर्षण के प्रभाव के कारण लोलक की गति धीमी होती हुई समाप्त हो जाती है।

यांत्रिक ऊर्जा संरक्षण नियम का उपयोग व्यावहारिक जीवन की अनेक समस्याओं को हल करने के लिए किया जा सकता है।

आइए, और चिंतन करें

ऊर्जा के बड़े परिदृश्य में यांत्रिक ऊर्जा उसका एक भाग मात्र है। प्रकृति में ऊर्जा अनेक रूपों में प्रकट हो सकती है। वैज्ञानिकों ने खोज की है कि यदि किसी वस्तु या वस्तुओं के निकाय पर कोई बाह्य बल न लग रहा हो तो इसकी कुल ऊर्जा सदैव नियत बनी रहती है।

© NCERT not to be republished

जिज्ञासा-सूत्र

अनेक समस्याओं को प्रत्यक्ष रूप से न्यूटन के नियमों का प्रयोग करके हल करना बहुत जटिल हो जाता है। यांत्रिक ऊर्जा संरक्षण इनके हल की अपेक्षाकृत अधिक सरल विधि प्रदान करता है। कुल यांत्रिक ऊर्जा के ज्ञान से प्रायः हम वस्तु की गति के मध्यवर्ती चरणों का परिकलन किए बिना उसकी अंतिम स्थिति अथवा अंतिम वेग ज्ञात कर सकते हैं।

उदाहरण 7.8 — h ऊँचाई की फिसलपट्टी के आधार तल पर पहुँचने पर बच्चे के वेग का परिमाण कितना होगा?

उत्तर — फिसलपट्टी के शीर्ष पर बच्चे की स्थितिज ऊर्जा = mgh

मान लीजिए की बच्चे का फिसलपट्टी के आधार तल पर पहुँचने पर वेग का परिमाण v है तो इस तल पर बच्चे की गतिज ऊर्जा = $\frac{1}{2}mv^2$ होगी।

फिसलपट्टी के शीर्ष पर बच्चे की स्थितिज ऊर्जा ही संपूर्ण रूप से फिसलपट्टी के आधार तल पर पहुँचने पर बच्चे की गतिज ऊर्जा में परिवर्तित होती है। (यदि घर्षण के प्रभाव की उपेक्षा की जाए।)

अतः दोनों को एक-दूसरे के बराबर रखने पर हमें प्राप्त होता है—

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh$$

$$v = \sqrt{(2gh)}$$

चूँकि बच्चे का फिसलपट्टी के आधार तल पर वेग केवल फिसलपट्टी की ऊँचाई h पर निर्भर करता है इसलिए फिसलपट्टी की आकृति अथवा बच्चे के द्रव्यमान का उसके इस वेग पर कोई प्रभाव नहीं पड़ता है।

उदाहरण 7.9 — बचाव ढलान (escape ramp) (चित्र 7.21) रेत या बजरी से भरे हुए ऐसे आनत पथ होते हैं जो राजमार्गों पर ब्रेक फेल हो जाने पर वाहनों को रोकने में सहायक होते हैं। 10000 kg द्रव्यमान का एक ट्रक जब 72 km h^{-1} की चाल से गति कर रहा है तभी उसका ब्रेक फेल हो जाता है। चालक इसे 30° के कोण पर आनत बचाव ढलान पर चढ़ा देता है और ट्रक रुक जाता है। यदि रेत ट्रक पर 50000 N का बल ट्रक की गति की विपरीत दिशा में लगाता है तो इस ट्रक को रोकने के लिए इस रैंप की न्यूनतम लंबाई कितनी होगी? दिया गया है— g = 10 m s^{-2} (संकेत— 30° झुकाव के आनत तल (inclined plane) पर प्रत्येक 2 m चलने से ट्रक 1 m ऊँचाई तक उठता है।)

उत्तर— ट्रक का वेग = 72 km h^{-1} = 20 m s^{-1}

चित्र 7.21 — बचाव ढलान

ट्रक की प्रारंभिक गतिज ऊर्जा $= \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 10000\,\text{kg} \times (20\,\text{m s}^{-1})^2$

$= 2000000$ J

ट्रक की प्रारंभिक स्थितिज ऊर्जा = 0 J

ट्रक की कुल प्रारंभिक ऊर्जा = प्रारंभिक गतिज ऊर्जा + प्रारंभिक स्थितिज ऊर्जा

= 2000000 J + 0 J =2000000 J

मान लीजिए ट्रक आनत तल पर d दूरी चलता है, तब

ट्रक की ऊँचाई में परिवर्तन = $\frac{d}{2}$ (प्रश्न में दिए गए संकेत के अनुसार 30° आनत तल के लिए)

यहाँ ट्रक की गतिज ऊर्जा = 0 J

ट्रक की अंतिम स्थितिज ऊर्जा $= mg \times \frac{d}{2} = 10000\,\text{kg} \times 10\,\text{m s}^{-2} \times \frac{d}{2} = 50000\,\text{N} \times d$

अंतिम कुल ऊर्जा = 0 J + 50000 N × d

ट्रक की कुल ऊर्जा में परिवर्तन = अंतिम ऊर्जा – प्रारंभिक ऊर्जा

= 50000 N × d – 2000000 J

आनत तल की रेत द्वारा ट्रक पर किया गया कार्य = – 50000 N × d

कार्य-ऊर्जा प्रमेय का उपयोग करने पर,

आनत तल की रेत द्वारा ट्रक पर किया गया कार्य = ट्रक की कुल ऊर्जा में परिवर्तन

– 50000 N × d = 50000 N × d – 2000000 J

2000000 J = (50000 + 50000) N × d

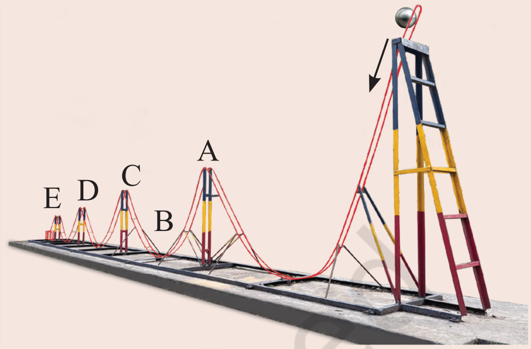
© NCERT not to be republished

$$d = \frac{2000000 \text{ J}}{100000 \text{ N}} = \frac{2000000 \text{ N m}}{100000 \text{ N}} = 20 \text{ m}$$

अतः ट्रक को रोकने के लिए बचाव ढलान की न्यूनतम लंबाई 20 m होनी चाहिए।

सोचिए और बताइए

7. चित्र 7.19 में चित्रित स्थिति के लिए गेंद की यांत्रिक ऊर्जा का मान ठीक उस समय ज्ञात कीजिए जब वह भूतल से टकराती है और दर्शाइए कि इस स्थिति में भी इसका मान *mgh* ही होगा।
8. आपने किसी विज्ञान उद्यान में चित्र 7.22 जैसा प्रदर्श देखा होगा जिसमें एक गेंद को इस प्रदर्श के उच्चतम बिंदु से छोड़ा जाता है। वर्णन कीजिए कि इसमें बिंदु A, B और C पर गतिज ऊर्जा और स्थितिज ऊर्जा किस प्रकार परिवर्तित होती है। व्याख्या कीजिए कि बाद में आने वाले शीर्ष C, D तथा E पहले वाले शीर्षों की अपेक्षा कम ऊँचाई वाले क्यों होते हैं? क्या इसका संबंध घर्षण के कारण ऊर्जा के कुछ भाग के अन्य रूपों में परिवर्तित होने से हो सकता है?



चित्र 7.22 — विज्ञान उद्यान में गेंद वाला रोलर कोस्टर प्रदर्श

7.5 शक्ति

मान लीजिए आप अपना थैला (bag) लेकर सीढ़ियों पर चढ़ते हुए अपनी कक्षा में जाते हैं। सीढ़ियों पर दौड़कर एक मिनट में चढ़ने का अनुभव पाँच मिनट में धीरे-धीरे चलकर पहुँचने के अनुभव से भिन्न होता है जबकि दोनों ही परिस्थितियों में आपने एक समान कार्य किया है। इस भिन्नता को भौतिक राशि, शक्ति से परिभाषित किया जाता है।

शक्ति (power) को कार्य करने की दर के रूप मे परिभाषित किया जाता है। गणितीय रूप से औसत शक्ति *P* किसी कार्य *W* को इसे करने में लगे समय *t* से विभाजित करके प्राप्त की जाती है अर्थात,

$$P = \frac{W}{t} \qquad (7.11)$$

समान समय अंतरालों में अधिक कार्य करने के लिए अधिक शक्ति की आवश्यकता होती है। एक ही कार्य को कम समय अंतराल में करने के लिए भी अधिक शक्ति की आवश्यकता होती है। **शक्ति का SI मात्रक वाट (W)** है। एक वाट शक्ति 1 जूल कार्य प्रति सेकंड के बराबर होती है अर्थात $1 \text{ W} = 1 \text{ J s}^{-1}$.

उदाहरण 7.10 — कोई भारोत्तोलक 5 सेकंड में 75 kg के द्रव्यमान को 2 m तक ऊपर उठाता है। इस कार्य को करने के लिए उसे कितनी शक्ति की आवश्यकता है?

उत्तर — किया गया कार्य *mgh* के बराबर होगा, $mgh = 75 \text{ kg} \times 10 \text{ m s}^{-2} \times 2 \text{ m}$

$$= 1500 \text{ J}$$

अतः आवश्यक शक्ति $= \frac{1500 \text{ J}}{5 \text{ s}} = 300 \text{ W}$

उदाहरण 7.11 — 1000 kg द्रव्यमान की एक कार विरामावस्था से गति प्रारंभ करके 72 km h^{-1} की चाल 10 सेकंड में प्राप्त कर लेती है। इस कार के इंजन की शक्ति का परिकलन कीजिए।

उत्तर — अंतिम वेग $v = 72 \text{ km h}^{-1} = \frac{72000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 20 \text{ m s}^{-1}$

प्रारंभिक वेग $u = 0 \text{ m s}^{-1}$

जिज्ञासा-सूत्र

आपने शक्ति के एक अन्य मात्रक अश्वशक्ति (horsepower) के विषय में सुना होगा जिसका उपयोग विशेष रूप से कार के इंजन अथवा जल ऊपर चढ़ाने वाले पंप की शक्ति मापने के लिए किया जाता है। एक अश्वशक्ति 746 W के बराबर होती है। प्राचीन समय में जब इंजन का नया-नया आविष्कार हुआ था तब इंजन की शक्ति की तुलना वास्तविक अश्वों की शक्ति से ही की जाती थी। जिनका उपयोग उस समय वाहनों को खींचने के लिए किया जाता था।

© NCERT not to be republished

10 सेकंड में इंजन द्वारा किया गया कार्य—

= अंतिम गतिज ऊर्जा – प्रारंभिक गतिज ऊर्जा

$$= \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mu^2$$

$$= \frac{1}{2} \times 1000\ \text{kg} \times \left(20\ \text{m s}^{-1}\right)^2 - 0\ \text{J} = 200000\ \text{J}$$

$$\text{शक्ति} = \frac{\text{कार्य}}{\text{समय}} = \frac{200000\ \text{J}}{10\ \text{s}} = 20000\ \text{W}$$

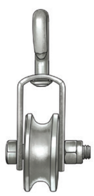
वैज्ञानिक-परिचय

शक्ति के मात्रक का नाम वाट वैज्ञानिक **जेम्सवाट** के सम्मान में रखा गया है। इन्होंने भाप के एक दक्ष इंजन का आविष्कार किया था जो घूर्णन गति उत्पन्न कर सकता था और पहियों को चला सकता था।

7.6 सरल मशीनें

दैनिक जीवन में हमें भारी वस्तुओं को उठाने या गति देने आदि के लिए गुरुत्वीय बल या अन्य बलों के विरुद्ध कार्य करने की आवश्यकता पड़ती है। यद्यपि किसी कार्य को करने में जितनी ऊर्जा की आवश्यकता होती है उसे तो कम नहीं किया जा सकता है किंतु इसे करने में लगाए जाने वाले बल के परिमाण या दिशा को बदलकर कार्य को सरल बनाया जा सकता है। ऐसे उपकरण जो हमें ऐसा करने में सहायता करते हैं, उन्हें **सरल मशीन (simple machine)** कहा जाता है।

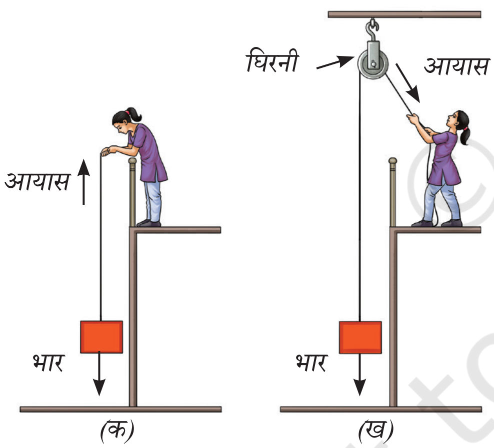
इस खंड में हम तीन सरल मशीनों— घिरनी, आनत तल और उत्तोलक का अध्ययन करेंगे और समझेंगे कि ये कार्य को किस प्रकार सरल बनाती हैं। मशीन पर हम जो बल लगाते हैं उसे **आयास (effort)** कहते हैं और वह बल जिसके विरूद्ध मशीन कार्य करती है उसे **भार** कहते हैं। मशीन द्वारा लगाए गए बल के परिमाण में कैसे परिवर्तन किया जाता है, इसका वर्णन करने के लिए हम **यांत्रिक लाभ (mechanical advantage)** को परिभाषित करते हैं जो कि भार व आयास का अनुपात होता है। इसे निम्न रूप में लिख सकते हैं—



चित्र 7.23 — घिरनी

$$\text{यांत्रिक लाभ} = \frac{\text{भार}}{\text{आयास}} \qquad (7.12)$$

7.6.1 घिरनी



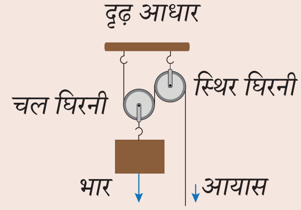
चित्र 7.24 — भार को उठाना (क) सीधे और (ख) घिरनी का उपयोग करते हुए

आपने किसी झंडे को या किसी भार को ऊपर उठते हुए देखा होगा, जहाँ आपने देखा होगा कि एक रस्सी को नीचे की ओर खींचा जाता है और झंडा या भार ऊपर की ओर उठता है। यह कार्य ऊँचाई पर स्थित एक घिरनी की सहायता से किया जाता है। **घिरनी (pulley)** एक पहिया होता है जिसमें खाँचा बना होता है जो रस्सी को दिशा देता है (चित्र 7.23)। एक स्थिर घिरनी उस पर लगाए जाने वाले बल के परिमाण में कोई परिवर्तन नहीं करती वरन उसकी दिशा में परिवर्तन कर देती है। किसी भार को ऊपर की ओर बल लगाकर उठाने की तुलना में नीचे की ओर खींचना हमारे लिए अधिक सरल होता है। (चित्र 7.24 क व 7.24 ख)

इस प्रकार घिरनी आयास की दिशा में परिवर्तन करके हमें सुविधा प्रदान करती है। चूँकि आयास और भार के मान परिमाण में समान हैं अत: स्थिर घिरनी का यांत्रिक लाभ 1 होता है (समीकरण 7.12)।

आइए, और चिंतन करें

चल घिरनी या घिरनी निकाय का यांत्रिक लाभ 1 से अधिक हो सकता है जिसमें हम कम आयास से बहुत अधिक भार को उठा सकते हैं। किसी चल घिरनी निकाय में भार को चलायमान घिरनी से बाँधा जाता है। रस्सी का एक सिरा स्थिर बिंदु से बँधा रहता है जबकि दूसरा सिरा आयास लगाने के लिए स्वतंत्र रहता है। घिरनियों का हमारे व्यावहारिक जीवन में व्यापक उपयोग है, जैसे— उत्थापकों (elevators) और क्रेनों में जिनके द्वारा प्रदान की गई सुविधा का उपयोग हम सभी ने किया होगा।

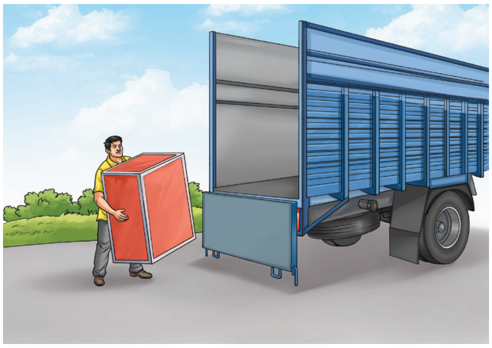


चित्र 7.25 — घिरनियों का निकाय

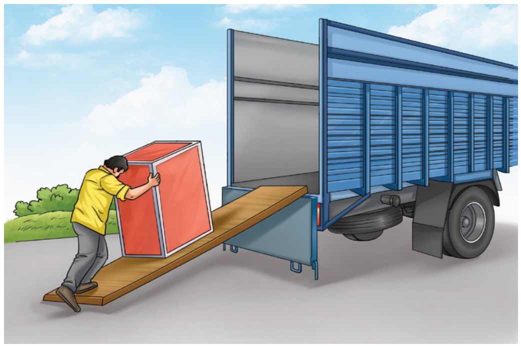
© NCERT not to be republished

7.6.2. आनत तल

मान लीजिए आपको एक भारी संदूक ऊँचे तल पर पहुँचाना है। इसे सीधा ऊपर उठाने में (चित्र 7.26 क) आपको ऊपर की दिशा में इसके भार के बराबर एक बल F लगाने की आवश्यकता पड़ेगी। किंतु जब संदूक बहुत भारी हो तो क्या आप इसे सीधा ऊपर उठा सकते हैं?



(क)



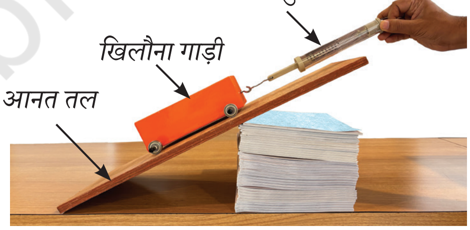
(ख)

चित्र 7.26 — एक संदूक को (क) सीधे ऊपर उठाना और (ख) आनत तल पर ऊपर की ओर धकेलना

आप संदूक को एक चिकने आनत पटरे पर चित्र 7.26 (ख) में दर्शाए अनुसार रख सकते हैं और इसे इस आनत पटरे पर धकेल कर ऊपर के तल तक उठा सकते हैं। क्या इस विधि में कम बल की आवश्यकता होती है?

क्रियाकलाप 7.3 — आइए, प्रयोग करें

1. लगभग 1.5 m लंबा एक चिकना पटरा (या कोई मजबूत गत्ता), एक खिलौना गाड़ी (जैसी आपने क्रियाकलाप 6.3 में प्रयोग की थी) और एक कमानीदार तुला लीजिए। कमानीदार तुला को गाड़ी से जोड़ दीजिए। सतह से लगभग 0.5 m ऊँचाई का स्टूल या पुस्तकों के चट्टे की सहायता से आनत तल बनाइए।
2. पहले गाड़ी को संभाल कर धीरे-धीरे, सीधी, ऊर्ध्व दिशा में धरातल से स्टूल या पुस्तकों के चट्टे से बनाए गए आनत तल के उच्चतम बिंदु तक उठाइए और कमानीदार तुला का पाठ्यांक अंकित कीजिए। यह पाठ्यांक बताता है कि ऊर्ध्व दिशा में गाड़ी को उठाने के लिए लगाया गया बल इस गाड़ी के भार के बराबर है।
3. इसके पश्चात पटरे को पुस्तकों के चट्टे या स्टूल के शिखर-तल के साथ चित्र 7.27(क) में दर्शाए अनुसार टिका कर रखिए। अब गाड़ी को आनत तल के सहारे खींचते हुए आनत तल की ऊँचाई तक धीरे-धीरे लाइए। इस स्थिति में कमानीदार तुला का पाठ्यांक (आवश्यक बल) क्या पूर्व चरण 2 के पाठ्यांक से कम प्राप्त होता है?



(क)

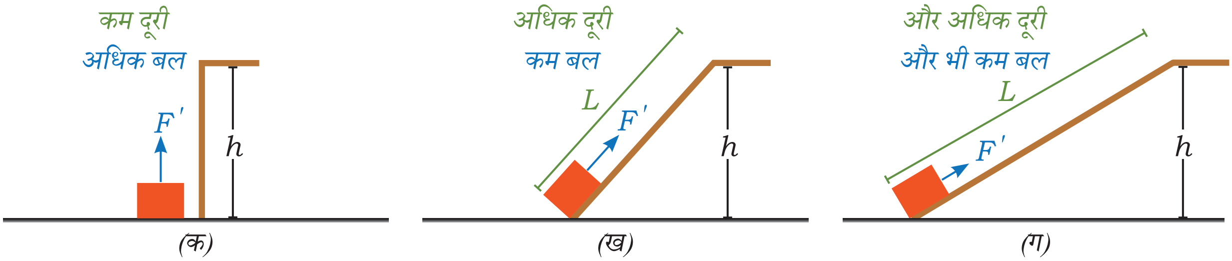
(ख)

चित्र 7.27— एक (क) कम लंबाई के (ख) अधिक लंबाई के आनत तल पर किसी खिलौना गाड़ी को खींचने में लगाए गए बल का मापन

4. अब पटरे और आधार के बीच का झुकाव (कोण) कम कीजिए जैसा कि चित्र 7.27 (ख) में प्रदर्शित है और इस क्रियाकलाप के चरण 3 को दोहराइए। ध्यान दीजिए कि जब पटरे को कम कोण पर झुकाया जाता है तो गाड़ी को ऊपर खींचने के लिए आवश्यक बल का मान (कमानीदार तुला का पाठ्यांक) किस प्रकार परिवर्तित होता है।

जैसे-जैसे पटरे का झुकाव (कोण) कम होता है, पुस्तकों के चट्टे या स्टूल की ऊँचाई तक गाड़ी को खींचने के लिए आवश्यक बल भी कम होता जाता है। तथापि आपको उसी भार को उतनी ही ऊँचाई तक पहुँचाने के लिए यह बल अधिक दूरी तक लगाना पड़ता है।

© NCERT not to be republished



चित्र 7.28 — जब एक भार को उठाया जाता है— (क) ऊर्ध्व दिशा में, (ख) एक आनत तल के अनुदिश और (ग) एक कम झुकाव तथा अधिक लंबाई के आनत तल के अनुदिश

आनत तल (inclined plane) एक ऐसी सरल मशीन है जो भारी वस्तु को ऊपर चढ़ाने या नीचे उतारने में सहायता करती है। आइए, अब हम इसके यांत्रिक लाभ का परिकलन करते हैं।

मान लीजिए कि किसी वस्तु का द्रव्यमान m है। तब इस वस्तु का भार mg ही वह भार है जिसे ऊपर उठाना है। यदि वस्तु को h ऊँचाई तक उठाने के लिए आवश्यक बल F' हो तो यहाँ F' आयास होगा (चित्र 7.28 क)। मान लीजिए कि आनत तल की लंबाई L (चित्र 7.28 ख) है।

टिप्पणी

किया गया कार्य जो कि बल एवं विस्थापन का गुणनफल है सभी प्रकरणों के लिए समान रहता है। यदि बल घटता है तो विस्थापन बढ़ता है परिणामस्वरूप किया गया कार्य नियत ही रहता है।

यदि आप वस्तु को आनत तल पर नियत चाल से ऊपर की ओर ले जाते हैं तो समीकरण 7.2 के अनुसार

$$\text{वस्तु पर आपके द्वारा किया गया कुल कार्य} = F' \times L$$

समीकरण 7.8 का उपयोग करने पर

$$\text{वस्तु द्वारा अर्जित स्थितिज ऊर्जा} = mgh$$

कार्य-ऊर्जा प्रमेय (समीकरण 7.3) से हमें प्राप्त होता है (घर्षण की उपेक्षा करते हुए)—

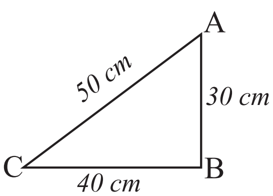
$$F' \times L = mgh$$

$$\text{या,} \quad \frac{mg}{F'} = \frac{L}{h}$$

अब यहाँ mg भार है और F' आयास है, अत: समीकरण 7.12 का प्रयोग करने पर हमें प्राप्त होता है—

$$\text{यांत्रिक लाभ} = \frac{\text{भार}}{\text{आयास}} = \frac{mg}{F'} = \frac{L}{h} \qquad (7.13)$$

यहाँ क्योंकि L का मान h से अधिक है इसलिए बल F' का मान mg से कम है और आनत तल का यांत्रिक लाभ 1 से अधिक होगा। उदाहरण के लिए— आनत तल के झुकाव कोण को कम करके यदि इसकी लंबाई को बढ़ाएँ (चित्र 7.28 ग) तो हम वस्तु को चलाने के लिए आवश्यक आयास F' का मान और कम कर सकते हैं।



चित्र— 7.29

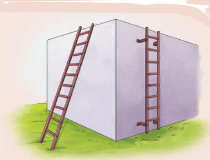
उदाहरण 7.12 — कोई व्यक्ति किसी वस्तु को 30 cm की ऊँचाई तक उठाने के लिए आनत तल का उपयोग करता है। आनत तल के उच्चतम और निम्नतम बिंदुओं के बीच की क्षैतिज दूरी 40 cm है। इस कार्य को पूर्ण करने में सहायक आनत तल का यांत्रिक लाभ क्या होगा?

उत्तर — चित्र 7.29 के अनुसार जब ऊँचाई AB = 30 cm और चौड़ाई BC = 40 cm है, तब आनत तल की लंबाई AC = 50 cm होगी (समकोण त्रिभुज के गुण से)

समीकरण (7.13) का उपयोग करते हुए, यांत्रिक लाभ = $\frac{L}{h} = \frac{50 \text{ cm}}{30 \text{ cm}} = 1.67$

सोचिए और बताइए

9. व्याख्या कीजिए कि पहाड़ों पर सड़कें नीचे से ऊपर तक सीधे न बनाकर कम ढलान की घुमावदार क्यों बनाई जाती हैं (चित्र 4.26)?
10. व्याख्या कीजिए कि किसी भवन के ऊपरी तल तक पहुँचने के लिए हमें सीधी खड़ी हुई सीढ़ी की तुलना में आनत सीढ़ी का उपयोग अधिक सुविधाजनक क्यों लगता है?



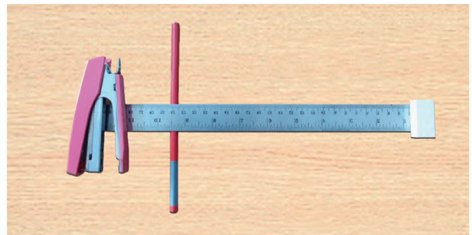
चित्र 7.30 — सीढ़ी लगाकर ऊपर चढ़ना

© NCERT not to be republished

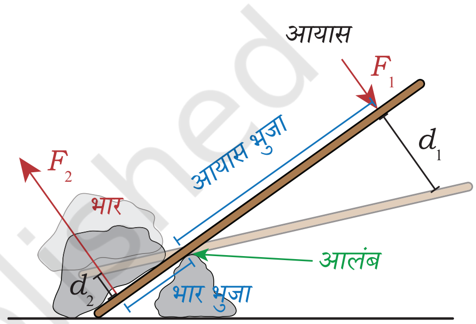
7.6.3 उत्तोलक

क्रियाकलाप 7.4 — आइए, जाँच करें

1. एक 30 cm लंबा पैमाना, 1 पेंसिल, 2–3 रबड़ एवं एक स्टेपलर (या ऐसी ही कोई वस्तु) लीजिए।
2. चित्र 7.31 के अनुसार पेंसिल पर पैमाने को इस प्रकार रखिए कि इसका एक सिरा पेंसिल के अधिक निकट हो। पैमाने के उस सिरे पर स्टैपलर रखिए जो सिरा पेंसिल के अधिक निकट है।
3. पैमाने के दूसरे सिरे पर एक रबड़ रखिए। क्या स्टेपलर ऊपर उठ जाता है? यदि नहीं तो एक और रबड़ रखिए।


चित्र 7.31 — किसी हल्की वस्तु की सहायता से भारी वस्तु को ऊपर उठाना

आपने ध्यान दिया होगा कि एक अपेक्षाकृत बहुत भारी वस्तु (जैसे स्टेपलर) को बहुत हल्की वस्तु (जैसे रबड़) द्वारा ऊपर उठाया जा सकता है। ऐसा पैमाने के द्वारा बनी एक सरल मशीन के कारण संभव हो सका जिसे उत्तोलक कहते हैं। **उत्तोलक (lever)** एक दृढ़ छड़ (जैसे कि पैमाना) होती है जो किसी स्थिर बिंदु (जैसे कि पैमाने और पेंसिल का स्पर्श बिंदु) पर घूमने में सक्षम होती है।



चित्र 7.32 — एक भारी चट्टान को उठाने के लिए उत्तोलक का उपयोग

दैनिक जीवन में प्राय: भारी वस्तुओं को उठाने में उत्तोलकों का उपयोग किया जाता है। उत्तोलक के तीन मुख्य भाग होते हैं (चित्र 7.32)— (i) **आलंब (fulcrum)**— एक स्थिर बिंदु जिस पर उत्तोलक घूम सकता है। (ii) **भार (load)**— वह बल जिसके विरूद्ध उत्तोलक कार्य करता है। (iii) **आयास (effort)**— भार को उठाने में लगाया गया बल होता है या आलंब से आयास की दूरी को **आयास भुजा (effort arm)** कहते हैं तथा आलंब से भार की दूरी को **भार भुजा (load arm)** कहते हैं।

उत्तोलक के एक सिरे पर कम बल लगाकर दूसरे सिरे पर रखी वस्तु पर अधिक बल लगाया जा सकता है। यह किस प्रकार संभव होता है?

उत्तोलक का वह सिरा जहाँ कम बल (F_1) लगाया जाता है वह अधिक दूरी (d_1) तक विस्थापित होता है जबकि वह सिरा जिस पर भारी वस्तु को उठाने के लिए अधिक बल (F_2) लगाया जाता है वह कम दूरी (d_2) तक विस्थापित होता है। उत्तोलक के एक सिरे पर किया गया कार्य दूसरे सिरे को स्थानांतरित होता है। अतः समीकरण (7.1) का उपयोग करने पर

$$F_1 \times d_1 = F_2 \times d_2 \qquad (7.14)$$

इस प्रकार आयास भुजा को बढ़ाने से उत्तोलक, भार पर आयास F_1 की तुलना में अधिक बल F_2 आरोपित करता है।

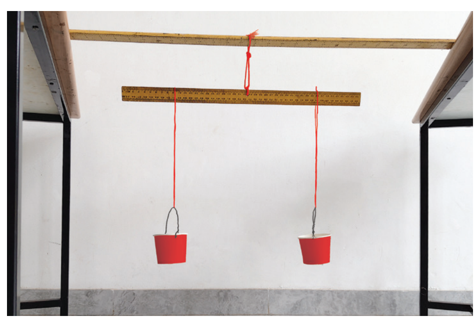
आइए, अब हम उत्तोलक के एक उदाहरण दंड-तुला (beam balance) को लेकर एक क्रियाकलाप करते हैं।

टिप्पणी

उत्तोलक किसी कार्य को करने के लिए आवश्यक बल को कम करता है परंतु किए गए कुल कार्य के परिमाण को परिवर्तित नहीं करता।

क्रियाकलाप 7.5 — आइए, प्रयोग करें

1. एक लंबा (50 cm या उससे बड़ा) पैमाना (scale), 1–2 m डोरी का एक टुकडा, दो कागज के गिलास (पलड़े के रूप में), आसंजक टेप या धागे का एक टुकड़ा और कुछ एक समान सिक्के (भार के रूप में) लीजिए।
2. पैमाने के मध्य बिंदु पर डोरी को कसकर बाँधिए। यह डोरी आलंब का कार्य करेगी। इस पैमाने को किसी स्टैंड या हुक पर डोरी की सहायता से लटका दीजिए जिससे वह स्वतंत्र रूप से झूल सके। अब यह पैमाना एक दंड की भाँति कार्य करेगा (चित्र 7.33)।


चित्र 7.33 — पैमाने पर लटके हुए संतुलित गिलास (पलड़े)

© NCERT not to be republished

3. धागे की सहायता से दंड के दोनों सिरों पर कागज के गिलास बाँध दीजिए। ये गिलास तराजू के पलड़ों का कार्य करेंगे। **जाँच** कीजिए कि पैमाना क्षैतिज है या नहीं। यदि यह झुका हुआ है तो पलड़ों के लटकने वाले बिंदुओं को तब तक खिसकाकर समायोजित कीजिए जब तक कि दंड क्षैतिज तल में न आ जाए।
4. बाएँ पलड़े में एक सिक्का रखिए (इसे आयास कहिए) और दाएँ पलड़े में भी वैसा ही एक सिक्का रखिए (इसे भार कहिए)। ध्यान दीजिए कि दंड क्षैतिज स्थिति में ही बना रहता है।
5. दाईं ओर के पलड़े में एक और सिक्का रखिए जिससे उसमें दो सिक्के हो जाए। अब दंड झुक जाता है। दंड को संतुलित करने के लिए भारी पलड़े को दंड के ऊपर खिसकाकर आलंब के पास ले जाइए ताकि दंड पुन: क्षैतिज अवस्था में आ जाए। आलंब से उसकी दूरी **मापिए**।
6. चरण 5 को दाहिने पलड़े में 4 सिक्कों के साथ और फिर 8 सिक्कों के साथ रखकर दोहराइए। प्रत्येक बार पलड़े को संतुलित करने के लिए आलंब की ओर खिसकाइए और आलंब से उसकी दूरी नोट कीजिए।
7. सभी अवलोकनों और मापों को **अंकित (record)** कीजिए और अधिक पंक्तियाँ जोड़कर तालिका 7.1 को पूरा कीजिए।

तालिका 7.1 — पलड़ों में सिक्को की संख्या और आलंब से उनकी दूरी

बाएँ पलड़े में सिक्कों की संख्या n_1 (आयास)	आलंब से बाएँ पलड़े की दूरी L_1 (cm)	दाएँ पलड़े में सिक्कों की संख्या n_2 (भार)	आलंब से दाएँ पलड़े की दूरी L_2 (cm)
1		1	
1		2	

तालिका 7.1 में अंकित मूल्यों का विश्लेषण करके आप यह **निष्कर्ष निकाल** सकते हैं कि दंड क्षैतिज रहता है जब—

$$n_1 \times L_1 = n_2 \times L_2$$

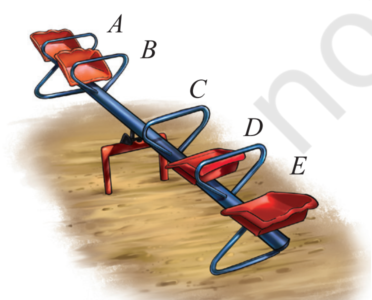
या आयास × आयास भुजा = भार × भार भुजा (7.15)

यदि आयास भुजा को बढ़ाया जाता है तो समान भार को स्थानांतरित करने के लिए आवश्यक बल कम हो जाता है। आप समीकरण (7.12) का उपयोग करके उत्तोलक के यांत्रिक लाभ की गणना कर सकते हैं।

$$\text{यांत्रिक लाभ} = \frac{\text{भार}}{\text{आयास}} = \frac{\text{आयास भुजा}}{\text{भार भुजा}} \quad (7.16)$$

अतः आयास भुजा को बढ़ाकर उत्तोलक आयास F_1 की तुलना में भार पर अधिक बल F_2 लगाता है। इस प्रकार उत्तोलक के उपयोग से हमें दूरियों के अनुपात के बराबर यांत्रिक लाभ अर्थात $\frac{L_1}{L_2}$ प्राप्त हो जाता है।

उत्तोलक के उपयोग से आवश्यक आयास सामान्यतया कम होता है। लेकिन उसे अधिक दूरी तक स्थानांतरित करना पड़ता है जिससे आयास करने वाले कर्ता द्वारा किया गया कुल कार्य समान रहे।



चित्र 7.34 — एक सी-सॉ प्रकार का झूला

उदाहरण 7.13 — एक झूले में चार कुर्सियाँ A, B, D, E और आलंबन बिंदु C है (चित्र 7.34)। AC = EC = 2 m और BC = DC = 1 m है। झूले को संतुलित करने के लिए 15 kg और 30 kg द्रव्यमान वाले बच्चों को किन कुर्सियों पर बैठना चाहिए।

उत्तर — मान लीजिए 15 kg द्रव्यमान वाला बच्चा कुर्सी A पर बैठा है और दूसरा बच्चा आधार बिंदु से L दूरी पर बैठा है।

समीकरण (7.15) का उपयोग करके हमें प्राप्त होता है —

$$15 \text{ kg} \times 2 \text{ m} = 30 \text{ kg} \times L$$

या $L = 1$ m

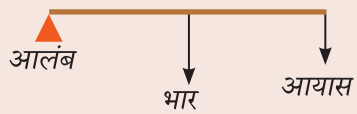
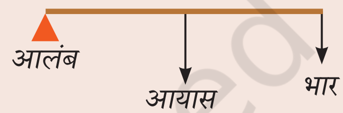
अतः दूसरे बच्चे को कुर्सी D पर बैठना चाहिए।

© NCERT not to be republished

आइए, और चिंतन करें

आयास, आलंब एवं भार की सापेक्ष स्थितियों के अनुसार उत्तोलक तीन प्रकार के होते हैं जैसा कि तालिका 7.2 में दर्शाया गया है।

तालिका 7.2— उत्तोलकों का वर्गीकरण

उत्तोलक		
प्रथम श्रेणी	**द्वितीय श्रेणी**	**तृतीय श्रेणी**
आलंब बीच में	भार बीच में	आयास बीच में
		
संडासी, कैंची, सब्बल, प्लास, दंड-तुला, सी-सॉ प्रकार का झूला	नींबू निष्कर्षणी, हथठेला, बोतल खोलने की मशीन	चिमटा, झाड़ू, हथौड़ी, चप्पू, चिमटी

दैनिक जीवन में उपयोग में आने वाली अनेक मशीनें दो या अधिक सरल मशीनों से मिलकर बनी होती हैं। अगली बार जब आप कोई मशीन देखें तो उसमें लगी सरल मशीनों को पहचानने का प्रयास कीजिए।

इन सभी प्रकरणों में यांत्रिक ऊर्जा का संरक्षण होता है। यदि घर्षण की उपेक्षा की जाए तो आयास द्वारा किया गया कार्य भार द्वारा किए गए उपयोगी कार्य के बराबर होता है। मशीनें ऊर्जा का सृजन नहीं करती वे केवल इसको अधिक प्रभावी ढंग से उपयोग करने में हमारी सहायता करती हैं।

सोचिए और बताइए

11. चित्र 7.35 में दर्शाए अनुसार चम्मच की सहायता से किसी डिब्बे का ढक्कन खोलना सरल क्यों होता है?
12. किसी कठोर वस्तु को काटने के लिए उसे कैंची के आलंब के निकट क्यों रखा जाता है?
13. पूरे इतिहास में (पहियों, भार या चुंबकों का उपयोग करके बने) सदैव चलते रहने वाली मशीनों के कई प्रारूप प्रस्तावित किए गए हैं लेकिन वास्तव में कोई भी सदैव के लिए चलती नहीं रहती है। सभी वास्तविक मशीनें अंतत: धीमी हो कर रुक क्यों जाती हैं? कार्य एवं ऊर्जा के पदों में व्याख्या कीजिए।

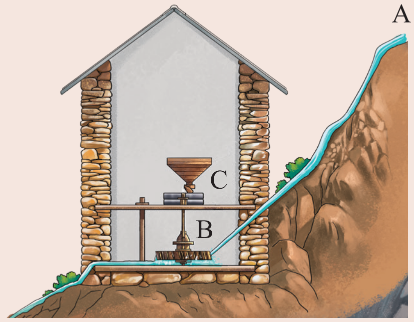
चित्र 7.35 — चम्मच की सहायता से एक डिब्बे का ढक्कन खोलना

क्या होगा यदि ...

सदैव चलते रहने वाली मशीनें अर्थात ऐसी मशीनें बनाना संभव हो जो एक बार चलना आरंभ करने के पश्चात बिना ईंधन या विद्युत के उपयोगी कार्य करती रहें?

© NCERT not to be republished

विज्ञान एवं समाज



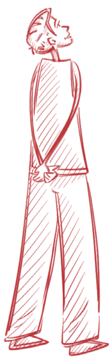
चित्र 7.36 — पनचक्की (घराट)

हिमालयी क्षेत्र में ढलान से नीचे बहते जल की स्थितिज ऊर्जा गतिज ऊर्जा में परिवर्तित होती जाती है। परंपरागत रूप से इस ऊर्जा का उपयोग पनचक्की या घराट जैसे उपकरणों में किया जाता था। चित्र 7.36 में अनाज पीसने के लिए उपयोग में आने वाली एक पनचक्की दर्शाई गई है। पहाड़ी क्षेत्रों में इन्हें आज भी देखा जा सकता है।

ऊपर स्थित जल में स्थितिज ऊर्जा होती है। पाइप (A) से नीचे आते समय यह स्थितिज ऊर्जा, गतिज ऊर्जा में परिवर्तित होती जाती है। जल की गतिज ऊर्जा पहिए (B) को गति प्रदान करके उसे घुमाती है। पहिया ऊपर स्थित चक्की के पत्थर (C) से जुड़ा होता है।

आधुनिक समय में बाँधों में संचित जल की स्थितिज ऊर्जा को भी इसी प्रकार गतिज ऊर्जा में परिवर्तित करके विद्युत उत्पन्न की जाती है।

सारांश



- किसी वस्तु पर बल द्वारा कार्य तब किया जाता है जब बल द्वारा वस्तु को बल की दिशा में विस्थापित कर दिया जाए।
- जिस वस्तु में कार्य करने की क्षमता होती है उसे ऊर्जावान वस्तु कहा जाता है।
- कार्य-ऊर्जा प्रमेय, किसी वस्तु या निकाय पर किया गया कार्य उसकी ऊर्जा में परिवर्तन के बराबर होता है।
- किसी वस्तु की गति के कारण उसमें विद्यमान ऊर्जा को गतिज ऊर्जा कहते हैं।
- किसी वस्तु के विरूपण अथवा वस्तुओं के समूह में उनकी सापेक्ष स्थिति के कारण संचित ऊर्जा को स्थितिज ऊर्जा कहते हैं।
- शक्ति को कार्य करने की दर के रूप में परिभाषित किया जाता है।
- सरल मशीनें ऐसे उपकरण हैं जो आवश्यक बल के परिमाण या दिशा को बदलकर कार्य करना सुगम बनाते हैं, यद्यपि वे एक प्रक्रम में कुल कार्य के परिमाण को परिवर्तित नहीं करते हैं।

अभ्यास प्रश्न

1. बताइए कि निम्नलिखित कथन सत्य हैं या असत्य—
   (i) कार्य तब होता है जब कोई बल लगाया जाता है भले ही वस्तु गति न करे।
   (ii) बाल्टी को ऊर्ध्वाधरतः ऊपर उठाने से बाल्टी पर धनात्मक कार्य होता है।
   (iii) कार्य और ऊर्जा दोनों का SI मात्रक जूल (J) है।
   (iv) एक स्थिर तनी हुई रबड़ की पट्टी में गतिज ऊर्जा होती है।
   (v) ऊर्जा एक रूप से दूसरे रूप में परिवर्तित हो सकती है।
2. रिक्त स्थान भरिए—
   (i) किया गया कार्य = ... × .... (बल की दिशा में)
   (ii) किसी वस्तु पर .... न्यूटन बल लगाने से वस्तु 1 m विस्थापित होती है तो 1 जूल कार्य संपन्न होता है।

© NCERT not to be republished

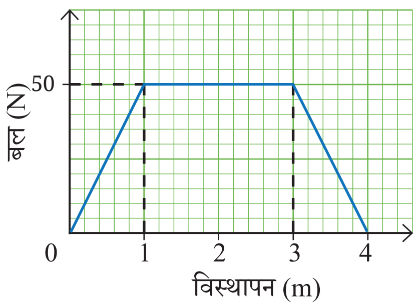
(iii) m द्रव्यमान और v वेग वाले पिंड की गतिज ऊर्जा का व्यंजक .... होगा।
(iv) पृथ्वी की सतह से h ऊँचाई पर स्थित m द्रव्यमान की वस्तु की स्थितिज ऊर्जा .... होती है।
(v) कार्य करने की .... को शक्ति कहते हैं।

3. जब ऊपर की ओर फेंकी गई गेंद अपने उच्चतम बिंदु पर पहुँचती है तो निम्नलिखित में से कौन-सा/ से कथन सही है/हैं?
   (i) गेंद पर लगने वाला बल शून्य है।
   (ii) गेंद का त्वरण शून्य है।
   (iii) इसकी गतिज ऊर्जा शून्य है।
   (iv) इसकी स्थितिज ऊर्जा अधिकतम है।
4. निम्नलिखित में से प्रत्येक स्थिति में होने वाले ऊर्जा रूपांतरण की पहचान कीजिए।
   (i) एक ट्रक का पहाड़ी पर ऊपर की ओर चढ़ना (ii) घड़ी की स्प्रिंग का खुलना (iii) हरे पत्तों द्वारा प्रकाश संश्लेषण (iv) बाँध से बहता हुआ जल (v) माचिस की तीली का जलना (vi) एक पटाखे में विस्फोट होना (vii) माइक्रोफोन में बोलना (viii) एक दीप्त विद्युत बल्ब (ix) सौर-पैनल
5. एक विद्यार्थी को एक लिफ्ट द्वारा धीरे-धीरे भूतल से भवन के सबसे ऊपरी तल तक ले जाया जाता है, तत्पश्चात वही विद्यार्थी सीढ़ियों से चढ़कर सबसे ऊपरी तल तक पहुँचता है। यदि भवन की ऊँचाई h = 72.5 m, गुरुत्वीय त्वरण g = 10 m s^{-2} और विद्यार्थी का द्रव्यमान m = 50 kg है तो—
   (i) यदि विद्यार्थी को लिफ्ट द्वारा सीधे सबसे ऊपरी तल तक ले जाया जाता है तो उसकी स्थितिज ऊर्जा में हुई वृद्धि ज्ञात कीजिए।
   (ii) जब विद्यार्थी सीढ़ियों से चढ़कर सबसे ऊपरी तल पर पहुँचता है तो उसकी स्थितिज ऊर्जा में वृद्धि ज्ञात कीजिए।
   (iii) आप तय किए रास्ते पर स्थितिज ऊर्जा की निर्भरता के संबंध में क्या निष्कर्ष निकालेंगे?
6. एक क्रेन m द्रव्यमान को एक निश्चित समय में किसी भवन के 10वें तल तक उठाती है। इसके पश्चात यह उसी द्रव्यमान को उसी भवन के 20वें तल तक दोगुने समय में उठाती है। इसके लिए उसे कितनी और अधिक ऊर्जा एवं शक्ति चाहिए? यह मान लीजिए कि सभी तलों की ऊँचाई समान है।
7. घिरनी की सहायता से किसी झंडे को भूमि से एक ऊँचे ध्वजदंड के शीर्ष तक उठाने के लिए आवश्यक ऊर्जा किन कारकों पर निर्भर करती है? क्या झंडे को धीरे-धीरे या शीघ्रता से ऊपर उठाने पर किए गए कार्य के परिमाण में अंतर होगा? यदि झंडे को उठाने की गति दोगुनी कर दी जाए तो शक्ति की आवश्यकता किस प्रकार परिवर्तित होगी? अपने उत्तरों की व्याख्या कीजिए।
8. 60 kg द्रव्यमान का कोई व्यक्ति 100 kg के स्कूटर पर सवारी करता है, वह स्कूटर को v वेग तक त्वरित करता है। दूसरे दिन उसका 40 kg द्रव्यमान का पुत्र उसके साथ यात्री के रूप में बैठता है, यदि उक्त दोनों दिनों में स्कूटर समान समय में समान चाल प्राप्त करता है। तो बताइए दोनों दिनों में उपयोग किए गए ईंधन का अनुपात कितना होगा? यह मान लीजिए कि स्कूटर में ऊर्जा का स्थानांतरण पूर्णतया ईंधन के कारण होता है और वायु प्रतिरोध या घर्षण के कारण कोई अन्य हानि नहीं होती है।
9. सरकने वाली कुर्सियों वाले सी-सॉ प्रकार के एक झूले पर एक तरफ एक बच्चा बैठा है और दूसरी ओर एक वयस्क। वयस्क का भार बच्चे के भार से दोगुना है। इसके पश्चात भी सी-सॉ संतुलित है।

© NCERT not to be republished

ऐसी स्थिति को दर्शाता हुआ एक **चित्र बनाइए** जिसमें आलंब से बच्चे और वयस्क की दूरी दर्शाई गई हों।

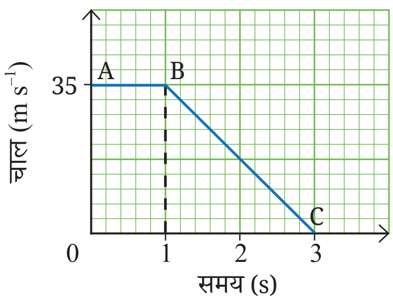
10. एक गेंद को 20 m s^{-1} की गति से ऊपर की ओर फेंका जाता है।
   (i) गेंद की ऊपर की ओर गति और नीचे की ओर गति के समय इस पर गुरुत्व के अधीन किए गए कार्य के चिह्न की पहचान कीजिए।
   (ii) यदि गेंद 19.4 m की ऊँचाई तक पहुँचती है तो वायु प्रतिरोध द्वारा कितना कार्य किया जाता है? (मान लीजिए $g = 10$ m s^{-2})



चित्र 7.37

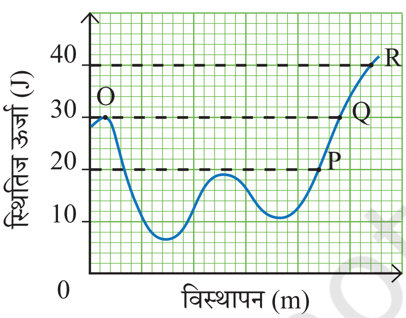
11. एक 10.0 kg का गुटका नगण्य घर्षण वाले क्षैतिज फर्श पर गतिमान है। चित्र 7.37 में दर्शाए अनुसार गुटके पर उसकी गति की दिशा में 0 m से 4 m तक के विस्थापन के समय अंतराल में एक परिवर्ती बल (variable force) लगाया जाता है। यदि गुटके की 0 m की स्थिति पर गतिज ऊर्जा 180 J थी तो गुटके की चाल ज्ञात कीजिए। (i) 0 m पर और (ii) 4 m पर क्या गुटके की गति के किसी भाग में गुटके का त्वरण ऋणात्मक है?

12. चंद्रमा की सतह (चंद्रतल) पर गुरुत्वाकर्षण पृथ्वी की सतह के गुरुत्वाकर्षण का लगभग $\frac{1}{6}$ भाग है। एक अंतरिक्ष यात्री पृथ्वी की सतह से किसी गेंद को 8 m की ऊँचाई तक फेंक सकता है। यदि उसी गेंद को उतने ही ऊर्ध्व वेग से चंद्रमा की सतह से ऊपर की ओर फेंका जाए तो गेंद चंद्रमा की सतह पर कितनी ऊँचाई तक जाएगी?



चित्र 7.38

13. एक 1000 kg द्रव्यमान की एक कार सड़क पर नियत चाल से गतिमान है। अचानक चालक को आगे कोई बाधा दिखाई देती है। वह कार को पूरी तरह रोकने के लिए ब्रेक लगाता है। चालक द्वारा आगे बाधा को देखने के क्षण से कार की गति का आलेखी निरूपण चित्र 7.38 में दर्शाया गया है।
   (i) बताइए कि स्थिति A और B के बीच कार की गति किस प्रकार की है?
   (ii) स्थिति A पर कार की गतिज ऊर्जा का परिकलन कीजिए।
   (iii) बताइए कि B और C के बीच कार को रोकने के लिए ब्रेक द्वारा कितना कार्य करना होगा?
   (iv) कार की गतिज ऊर्जा किस ऊर्जा में परिवर्तित हो जाती है?



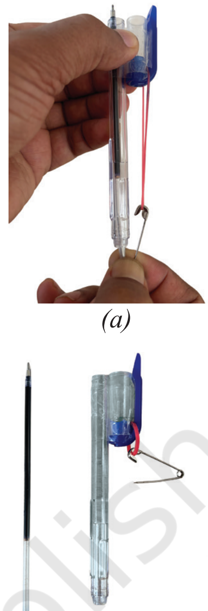
चित्र 7.39

14. एक घर्षण रहित (frictionless) पथ पर गतिमान 0.5 kg गेंद का स्थितिज ऊर्जा-विस्थापन ग्राफ चित्र 7.39 में दर्शाया गया है। बिंदु O पर गेंद का वेग 0 m s^{-1} और स्थितिज ऊर्जा 30 J है। P, Q और R पर बल के वेग की गणना कीजिए।

15. 1.5 kg द्रव्यमान का एक नारियल, 10 m ऊँचाई वाले एक नारियल के वृक्ष के शिखर से समुद्र तट की गीली रेत पर गिरता है। तट से टकराने पर नारियल रेत में एक गड्ढा बनाकर स्थिर हो जाता है।
   (i) रेत से टकराने से ठीक पहले नारियल के वेग की गणना कीजिए।
   (ii) मान लीजिए कि रेत का औसत प्रतिरोधी बल 3000 N है और नारियल की संपूर्ण ऊर्जा का उपयोग रेत में गड्ढा बनाने में किया गया है। नारियल द्वारा रेत में बनाए गए गड्ढे की गहराई का परिकलन कीजिए ($g = 10$ m s^{-2} लीजिए)।

© NCERT not to be republished

परियोजना कार्य



(a)

(b)

चित्र 7.40

- एक पेन के दोनों सिरों को हटा दीजिए ताकि रिफिल नली के भीतर स्वतंत्र रूप से सरक सके (चित्र 7.40)। पेन के ढक्कन को नली की साइड में स्थिर (Fix) कीजिए और ढक्कन के क्लिप पर एक रबड़ बैंड जोड़ दीजिए। रबड़ बैंड के मुक्त सिरे को सेफ्टी पिन का उपयोग करके रिफिल से जोड़ दीजिए। रबड़ बैंड को खींचिए और छोड़ दीजिए। रिफिल तेजी से बाहर निकलती है जो प्रत्यास्थ स्थितिज ऊर्जा का गतिज ऊर्जा में रूपांतरण दर्शाती है। भिन्न-भिन्न खिंचाव के साथ इसे दोहराइए और देखिए कि रिफिल द्वारा तय की गई दूरी में किस प्रकार परिवर्तन आता है। है। क्या खिंचाव और तय की गई दूरी में कोई संबंध है?
- सरलता से उपलब्ध सामग्रियों, जैसे— कार्डबोर्ड, लकड़ी के पहिए या पैमाने, पेंसिल या बोल्ट (जो आलंब का कार्य करें), धागा या रस्सी, छोटी घिरनी (या एक साथ जोड़े गए दो बोतलों के ढक्कन) और छोटे-मोटे भार उठाने के लिए कागज के गिलास आदि का उपयोग करके एक या अधिक सरल मशीनें या उनका **संयोजन** (उत्तोलक, घिरनी और आनत तल) **बनाइए**। अभिकल्प (design) बनाने में कल्पनाशील रहिए अपने मॉडल का उपयोग किसी छोटे भार को उठाने या चलाने में कीजिए, आयास और भार को मापिए और यांत्रिक लाभ का परिकलन कीजिए।
- कम्प्यूटर अनुकार (Computer Simulation) ऐसी भौतिक राशियों को समझने में सहायता कर सकते हैं जिनकी कल्पना करना कठिन होता है। PhET अनुकार (https://phet.colorado.edu) अन्योन्य क्रियात्मक मॉडल प्रदान करते हैं जैसे कि 'ऊर्जा स्केट पार्क (Energy Skate Park)', 'ऊर्जा के रूप और रूपांतरण (Energy Forms and Changes)', 'दोलक प्रयोगशाला (Pendulum Lab)', और 'द्रव्यमान तथा स्प्रिंग (Masses and Springs)'। इनका उपयोग करके यह देखिए कि द्रव्यमान, ऊँचाई और घर्षण जैसे कारकों को परिवर्तित करने पर ऊर्जा के विभिन्न रूपों में किस प्रकार परिवर्तन होता है।

खोज जारी है ...

लंबे समय से वैज्ञानिकों को यह ज्ञात है कि ब्रह्मांड (universe) का विस्तार हो रहा है और आश्चर्यजनक रूप से इस विस्तार की गति बढ़ रही है। इसकी व्याख्या के लिए वैज्ञानिकों ने ऊर्जा के एक नए और प्रचुर रहस्यमयी रूप का प्रस्ताव दिया है, जिसे 'अदीप्त ऊर्जा (dark engery)' कहा जाता है। अभी तक अदीप्त ऊर्जा को ऊर्जा के अन्य रूपों में परिवर्तित करने की कोई विधि ज्ञात नहीं है। वैज्ञानिक अदीप्त ऊर्जा के प्रभावों का अध्ययन करने का प्रयास कर रहे हैं क्योंकि यह भविष्य में अरबों वर्षों पश्चात के ब्रह्मांड के स्वरूप को प्रभावित कर सकती है।

© NCERT not to be republished