अध्याय–12

कार्य एवं ऊर्जा

(Work and Energy)

पिछले अध्यायों में हम विज्ञान की कुछ मुख्य अवधारणाओं जैसे– वस्तुओं की गति, बल के कारण गति, गति के नियमों तथा गुरुत्वाकर्षण के बारे में चर्चा कर चुके हैं। कार्य एवं ऊर्जा भी विज्ञान की महत्वपूर्ण अवधारणाएँ हैं जो हमें अनेक प्राकृतिक घटनाओं को समझने और उनकी व्याख्या करने में मदद करती हैं। इस अध्याय में हम इनका अध्ययन करेंगे।

हम अपने दैनिक जीवन में 'कार्य' तथा 'ऊर्जा' शब्द का प्रयोग अनेक संदर्भों में करते हैं। जैसे वह खेत में कार्य करता है, वह बहुत ऊर्जावान व्यक्ति है आदि। किसी भी कार्य को करने के लिए ऊर्जा की आवश्यकता होती है। मनुष्य एवं मशीन भी कार्य करने के लिए ऊर्जा का उपयोग करते हैं, जैसे– विद्यार्थी घर से विद्यालय तक पहुँचने के लिए साइकिल चलाने या पैदल चलने में अपनी ऊर्जा का उपयोग करता है। इसी प्रकार विद्युत बल्ब रोशनी देने के लिए विद्युत ऊर्जा का उपयोग करता है।

सोचें

- उपयोग में ली गई ऊर्जा कहाँ जाती है?
- क्या ऊर्जा के उपयोग किए बिना कार्य किया जा सकता है?

इस अध्याय में हम इन प्रश्नों को समझने का प्रयास करेंगे।

12.1 कार्य

दैनिक जीवन में सामान्यतया किसी भी लाभदायक शारीरिक एवं मानसिक परिश्रम को कार्य समझा जाता हैं। जैसे– विद्यार्थी परीक्षा के समय अध्ययन में बहुत समय व्यतीत करता है। पुस्तकें पढ़ता है, प्रश्न पत्रों को हल करता है, कक्षा में विचार–विमर्श करता है। सामान्य भाषा में वह कठोर परिश्रम यानि कार्य करता है। इसी प्रकार किसी भी गीत को गुनगुनाना, मित्रों से बातचीत करना, विद्यालय के लिए कार्य योजना बनाना, सोच–विचार करना आदि सभी को कार्य समझा जाता है।

चित्र क्रमांक–1

किन्तु विज्ञान में भौतिक कार्य की परिभाषा अलग होती है।

विज्ञान में कार्य करने के लिए दो दशाओं का होना आवश्यक है–

- वस्तु पर कोई बल लगना चाहिए।
- वस्तु विस्थापित होनी चाहिए या वस्तु की स्थिति में परिवर्तन होना चाहिए।

भौतिक कार्य तभी होगा जब बल की उपस्थिति में वस्तु में विस्थापन हो। अन्य सभी कार्य भौतिक कार्य नहीं है। इसी प्रकार व्यक्ति का ऊर्जावान होना व विद्युत ऊर्जा अथवा ऊष्मा या गतिज ऊर्जा अलग अवधारणाएं हैं। इस अध्याय में हम भौतिक कार्य व भौतिक ऊर्जा का अध्ययन करेंगे।

भौतिक कार्य के उदाहरण

एक पुस्तक को उठाएँ, इसके लिए आपको बल लगाना पड़ता है और पुस्तक ऊपर की ओर विस्थापित होती है, इसलिए यह विज्ञान में कार्य माना जाएगा। पुस्तक ऊपर उठाने में लगा बल गुरुत्वाकर्षण बल के विरूद्ध कार्य करता है व पुस्तक की गति में परिवर्तन होता है।

चित्र क्रमांक–2

आइए, दैनिक जीवन के उन उदाहरणों पर विचार करते हैं जिन्हें हम सामान्य भाषा में कार्य कहते हैं। विद्यार्थी परीक्षा के समय कठोर कार्य करता है। चूंकि कार्य की वैज्ञानिक अवधारणा के अनुसार यहाँ बल एवं विस्थापन की दशाएँ नहीं होती हैं। अतः विज्ञान में विद्यार्थी के इस कठोर परिश्रम को कार्य नहीं कहा जाएगा।

इसी प्रकार गीतों को गुनगुनाना, विचार–विमर्श करना आदि भी विज्ञान की दृष्टि में कार्य नहीं हैं। उदाहरण के लिए यदि आप एक कुर्सी को 10 मिनट तक उठाकर रखें तो क्या आपने कार्य किया होगा? शायद आपकी थकान से आपको लगे कि आपने बहुत कार्य किया है परन्तु भौतिक कार्य की परिभाषा के अनुसार कुर्सी को उठाए रखने में आपने कुर्सी पर कोई कार्य नहीं किया। यद्यपि कुर्सी को उठाए रखने के लिए आपने बल लगाया पर कुर्सी में विस्थापन नहीं हुआ। चूंकि कुर्सी में विस्थापन नहीं हुआ इसलिए आपके द्वारा लगाए गए बल ने कुर्सी पर कोई कार्य नहीं किया।

जैसे कि कुर्सी को उठाते समय, कुर्सी की स्थिति में कुछ परिवर्तन हुआ। उस समय आपने भौतिक कार्य किया। उसके बाद वस्तु को उठाए रखने पर कोई अतिरिक्त कार्य नहीं हुआ।

नीचे कुछ परिस्थितियाँ दी गई हैं। बताइए इनमें से किस–किस में कार्य हो रहा है, किसमें नहीं और क्यों?

चित्र क्रमांक–3

चित्र क्रमांक–4

1. आपने एक बहुत बड़ी चट्टान को धकेला पर वह नहीं हिली।
2. आप सीढ़ियों पर चढ़कर इमारत की दूसरी मंजिल पर पहुँचे।
3. यात्री स्टेशन पर बैग खींचकर कुछ दूरी तक ले जाता है।
4. एक चलते हुए साइकिल को रोकना।

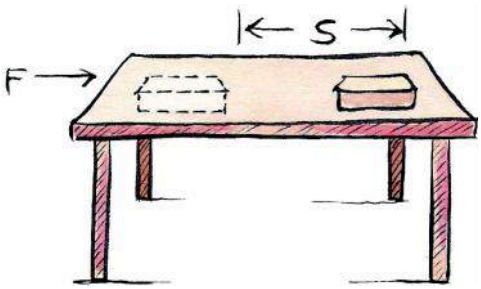
क्रियाकलाप–1

- आपकी कक्षा में कुर्सी, टेबल, बेंच आदि रखे होंगे। इन सभी को एक–एक कर एक ऊँचाई तक उठाकर देखें। अब बताइए, इनमें से किस वस्तु को एक ही ऊँचाई तक उठाने में आपको सबसे ज्यादा कार्य करना पड़ेगा और क्यों?

एक नियत बल द्वारा किया गया कार्य

बल व विस्थापन पता होने पर हम कार्य की गणना कर सकते हैं।

मान लें किसी वस्तु पर एक नियत बल F लगाने पर वस्तु अपनी क्रिया बिन्दु से S दूरी विस्थापित होती है। जैसा कि चित्र क्रमांक–5 में दर्शाया गया है।



चित्र क्रमांक–5

कार्य की वैज्ञानिक परिभाषा के अनुसार किए गए कार्य का मान बल तथा वस्तु का बल की दिशा में विस्थापन के गुणनफल के बराबर होता है।

अर्थात किया गया कार्य = बल × वस्तु का बल की दिशा में विस्थापन

$$W = FS$$

अतः कार्य एक अदिश राशि है।

हम जानते हैं कि बल की SI इकाई न्यूटन (N) तथा दूरी की इकाई मीटर (m) होती है। अतः कार्य की इकाई (अथवा मात्रक) न्यूटन × मीटर (Nm) होगी। इसे जूल (J) भी कहा जाता है।

समीकरण $W = FS$ में

यदि $F = 1$ न्यूटन (N)

$S = 1$ मीटर (m)

तो $W = FS$

$W = 1N \times 1m$

$= 1$ Nm (न्यूटन मीटर) या 1J होगा।

अर्थात् 1 जूल (J) कार्य की वह मात्रा है जो 1 न्यूटन बल लगाने पर वस्तु को बल की दिशा में 1m विस्थापित करती है।

उदाहरण–1 : एक लड़की टेबल पर रखी हुई किताब पर 4.5 N न्यूटन का बल लगाती है। किताब बल की दिशा में 30 सेमी विस्थापित हो जाती है। वस्तु पर बल द्वारा किए गए कार्य की गणना करें?

हल : पुस्तक पर लगाया गया बल $F = 4.5$ न्यूटन

बल की दिशा में पुस्तक का विस्थापन $S = 30$ सेमी

$$S = \frac{30}{100} \text{ मीटर}$$

$$S = 0.3 \text{ मीटर}$$

किया गया कार्य $W = F \times S$

$$W = 4.5 \text{ N} \times 0.3 \text{ m}$$

$$W = 1.35 \text{ J}$$

उदाहरण–2 : एक व्यक्ति 20 किग्रा द्रव्यमान की वस्तु को पृथ्वी से 3 मीटर ऊपर उठाता है। उसके द्वारा वस्तु पर किए गए कार्य का परिकलन करें। ($g = 9.8 \text{ m/sec}^2$)

हल : वस्तु का द्रव्यमान $m = 20$ किग्रा

विस्थापन $S = 3$ मीटर

बल $F = mg$

$$= 20 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/sec}^2$$

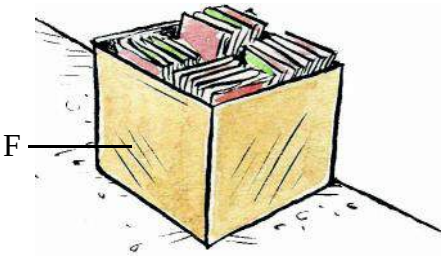
$$= 196 \text{ N}$$

किया गया कार्य $W = F \times S$

$$= 196 \text{ N} \times 3 \text{ m}$$

$$= 588 \text{ J}$$

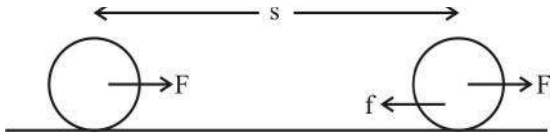
- पुस्तकों से भरा एक बॉक्स दीवार से सटा हुआ है और आपके काफी प्रयासों के बावजूद बॉक्स विस्थापित नहीं होता है। (चित्र क्रमांक–6 में बताए अनुसार)। कार्य के समीकरण W=FS को ध्यान में रखकर यहाँ कार्य की गणना करें।
- ऐसी और परिस्थितियों के बारे में सोचें जहाँ बल लगने पर भी वस्तु में विस्थापन न हो।
- क्या कोई ऐसी परिस्थिति भी सोची जा सकती है जहाँ बल न लगने पर भी विस्थापन हो? अपनी शिक्षिका/शिक्षक से चर्चा करें।



चित्र क्रमांक–6

एक अन्य स्थिति पर विचार करें–

मान लीजिए आप एक वस्तु पर (F) बल लगाते हैं और वस्तु (S) दूरी तक जाकर रुक जाती है।



चित्र क्रमांक–7

1. जब आप वस्तु पर बल (F) लगाते हैं तब वस्तु बल की दिशा में विस्थापित होती है। यहाँ बल द्वारा किया गया कार्य धनात्मक होगा अर्थात् $W = FS$

2. वस्तु पर उसकी गति की दिशा के विपरीत दिशा में घर्षण बल f कार्य करता हैं जिसके कारण वस्तु S दूरी तक जाकर रुक जाती है। इस स्थिति में घर्षण बल द्वारा वस्तु पर किया गया कार्य ऋणात्मक होगा। यहाँ पर दोनों के बीच का कोण 180° है।

   अर्थात् $W' = -f S$

   अतः वस्तु पर लगाया गया बल तथा वस्तु का विस्थापन समान दिशा में हो तो बल द्वारा किया गया कार्य धनात्मक होता है और यदि बल तथा वस्तु का विस्थापन विपरीत दिशा में हो तो बल द्वारा किया गया कार्य ऋणात्मक होता है।

उदाहरण–1 : एक गोलाकार वस्तु को लुढ़काने पर वह 4 मीटर की दूरी तक विस्थापित होती है। उस पर 15 न्यूटन का घर्षण बल लग रहा है। घर्षण बल द्वारा किए गए कार्य की गणना करें?

हल : वस्तु पर लगने वाला घर्षण बल $F = 15$ न्यूटन

वस्तु का विस्थापन $S = 4$ मीटर

वस्तु का विस्थापन एवं वस्तु पर लगने वाला घर्षण बल की दिशा एक दूसरे के विपरीत है अतः घर्षण द्वारा बल किया गया कार्य–

$$W = -(F \times S)$$

$$W = -(15N \times 4m)$$

$$W = -60\ J$$

उदाहरण–2 : 60 किलोग्राम द्रव्यमान की महिला इमारत की पहली मंजिल तक पहुँचने के लिए 20 सीढ़ियाँ चढ़ती है। जिसमें प्रत्येक सीढ़ी की ऊँचाई 23 सेमी है। इस क्रिया में महिला पर पृथ्वी के गुरुत्वाकर्षण बल द्वारा किए गए कार्य की गणना करें?

हल : महिला का द्रव्यमान m $= 60\ kg$

महिला पर लग रहा गुरुत्व बल $= 60kg \times 9.8\ Nm/sec^2$

प्रत्येक सीढ़ी की ऊँचाई $= \frac{23}{100}$ m

20 सीढ़ियों की कुल ऊँचाई $h = 20\times\frac{23}{100}$ m

गुरुत्वाकर्षण बल द्वारा किया गया कार्य

$$W = -mgh$$

$$= -60\times9.8\times20\times\frac{23}{100}$$

$$= -2704.8 \text{ Nm}$$

$$= -2.70 \text{ KJ}$$

क्रियाकलाप–2

आप एक गेंद को ऊपर की ओर फेंके। इसके लिए आपको बल लगाना पड़ता है। ऊपर की ओर गति करती हुई गेंद पर लगातार गुरुत्वाकर्षण बल कार्य करता है, जो उसकी गति की दिशा के विपरीत है। सोचें और बताएँ कि–

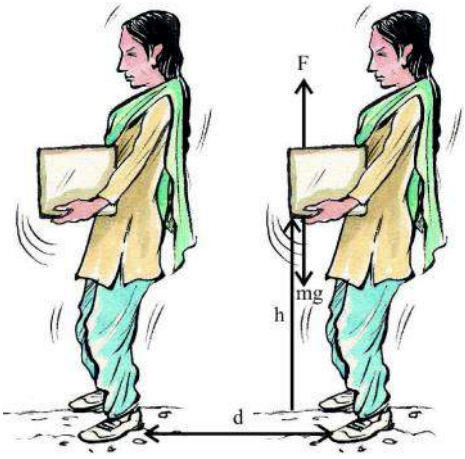
1. ऊपर जाती हुई गेंद पर किस बल द्वारा धनात्मक कार्य किया गया।
2. ऊपर जाती हुई गेंद पर किस बल द्वारा ऋणात्मक कार्य किया गया?
3. अपने उत्तर को कारण देकर स्पष्ट करें।

1. एक विद्यार्थी m द्रव्यमान की एक वस्तु को उर्ध्वाधर दिशा में h ऊँचाई तक उठाकर क्षैतिज दिशा में एक समान गति से d दूरी तक चलती है (चित्र क्रमांक–8)।

उपरोक्त स्थिति में विद्यार्थी द्वारा किया गया कार्य कितना होगा? आइए, इसे समझने का प्रयास करते हैं–

m द्रव्यमान के बॉक्स को h ऊँचाई तक उठाने में विद्यार्थी द्वारा लगाए गए बल द्वारा किया गया कार्य

w = mgh .....(i) (यहाँ बल तथा विस्थापन की दिशा समान है।)



चित्र क्रमांक–8 : विद्यार्थी द्वारा समान उठाते हुए

जब विद्यार्थी बॉक्स को उठाकर क्षैतिज दिशा में चल रही है और उसके चलने की गति समान है तो बॉक्स का त्वरण a शून्य है। अतः इस दिशा में बॉक्स पर लग रहा बल शून्य होगा और बॉक्स पर विद्यार्थी द्वारा किया गया कार्य

w = 0 .....(ii)

V9CGN3

12.2 ऊर्जा

आपने देखा होगा कि विद्युत बल्ब, ट्यूबलाइट, टीवी, विद्युत पंखे आदि को चलाने के लिए विद्युत की आवश्यकता होती है। रेलगाड़ी, बस, कार मोटरबाईक आदि को चलाने में पेट्रोल, डीजल आदि का उपयोग किया जाता है। क्या आपने कभी सोचा है–

- विद्युत बंद होने पर विद्युतीय उपकरण क्यों बंद हो जाते हैं?
- बिना पेट्रोल, डीजल आदि के वाहन क्यों नहीं चलते हैं?
- पेड़–पौधे सूर्य के प्रकाश की अनुपस्थिति में अपना भोजन क्यों नहीं बना पाते हैं?
- ऊर्जा और कार्य में क्या संबंध है?

इन प्रश्नों पर आपस में चर्चा करें।

आपने पूर्व कक्षाओं में ऊर्जा के बारे में पढ़ा है। ऊर्जा कई रूपों में पाई जाती हैं– जैसे विद्युत ऊर्जा, प्रकाश ऊर्जा, ध्वनि ऊर्जा, यांत्रिक ऊर्जा, नाभिकीय ऊर्जा, रासायनिक ऊर्जा आदि। विद्युतीय उपकरणों को विद्युत से ऊर्जा प्राप्त होती है। इसी प्रकार वाहनों को पेट्रोल एवं डीजल से ऊर्जा प्राप्त होती है। पेड़–पौधे सूर्य के प्रकाश से ऊर्जा प्राप्त करके अपना भोजन बनाते हैं।

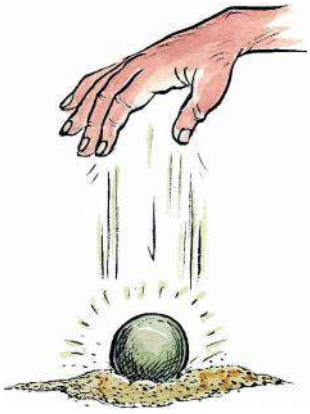
इस अध्याय में हम केवल यांत्रिक ऊर्जा का अध्ययन करेंगे। यांत्रिक ऊर्जा दो प्रकार की होती है।

1. गतिज ऊर्जा 2. स्थितिज ऊर्जा

12.2.1 गतिज ऊर्जा (Kinetic energy)

क्रियाकलाप–3

1. धातु की एक भारी गेंद लें।
2. इसे गीले रेत से भरी ट्रे की सतह पर 20 cm ऊँचाई से गिराएँ।
3. रेत पर बने गर्त (गड्ढे) की गहराई नापें।
4. उक्त क्रियाकलाप में गेंद को 40 cm, 70 cm तथा 100 cm की ऊँचाई से गिराकर दोहराएँ।
5. प्रत्येक क्रिया में गड्ढे की गहराई नोट करें।



चित्र क्रमांक–9

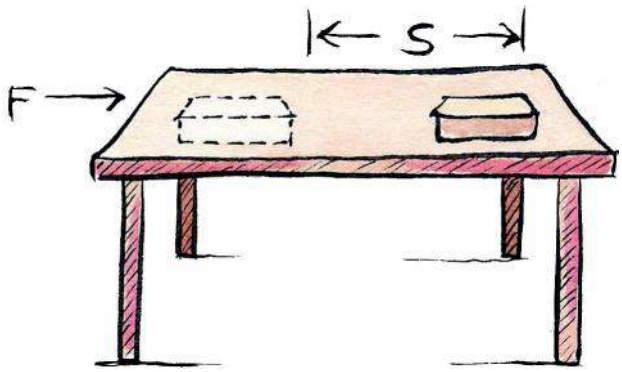
इस क्रियाकलाप के आधार पर निम्न प्रश्नों के उत्तर देने का प्रयास करें।

1. गेंद ने किस कारण से रेत में गड्ढा बनाया?
2. गेंद को भिन्न–भिन्न ऊँचाईयों से गिराने पर रेत में बने गड्ढे की गहराई को क्रम में जमाओ। क्या ऊँचाईयों के बढ़ने पर गड्ढे की गहराई बढ़ती है?
3. किस ऊँचाई से गेंद फेंकनें पर गड्ढा सबसे अधिक गहरा बना और क्यों?

प्रत्येक वस्तु में अपनी गति के कारण एक ऊर्जा निहित होती है, जिसे गतिज ऊर्जा कहते हैं। किसी वस्तु की गतिज ऊर्जा उसकी चाल के साथ बदलती है। समान द्रव्यमान की तेज गति करती हुई वस्तुओं में कम वेग से गति करती हुई वस्तुओं की अपेक्षा अधिक गतिज ऊर्जा होती है। इसी कारण तीव्र वेग से गतिशील गेंद स्थिर विकेटों से टकराती है तो विकेट दूर जा गिरता है। जबकि धीरे से आ कर टकराई गेंद विकेट को दूर नहीं फेंक पाती।

गतिज ऊर्जा की गणितीय व्याख्या

किसी भी वस्तु की गतिज ऊर्जा विरामावस्था में शून्य होती है। अर्थात् गतिशील वस्तु में गति के कारण गतिज ऊर्जा निहित होती है। हम यह कह सकते हैं कि गतिशील वस्तु की गतिज ऊर्जा उस वस्तु पर इस वेग को प्राप्त करने के लिए किए गए कार्य के बराबर है।



चित्र क्रमांक–10 : गति करती हुए वस्तु

गतिज ऊर्जा व किया गया कार्य

माना कि द्रव्यमान m की एक वस्तु, क्षैतिज तल पर रखी गयी है। वस्तु पर एक समान बल F लगाने पर वह 'S' दूरी तक विस्थापित हो जाती है। तब वस्तु पर किया गया कार्य–

$$W = FS \quad \text{..... (i)}$$

वस्तु पर लगने वाले बल के कारण मानो उसमें उत्पन्न त्वरण a होता है। हमने पूर्व अध्याय में गति के समीकरणों का अध्ययन किया है। एक समान त्वरण a से गतिशील किसी वस्तु के प्रारम्भिक वेग u, अन्तिम वेग v तथा विस्थापन s के बीच निम्न सम्बन्ध होता है।

$$v^2-u^2 = 2as \quad \text{..... (ii)}$$

$$s = \frac{v^2 - u^2}{2a} \quad \text{..... (iii)}$$

गति के द्वितीय समीकरण से, हमें ज्ञात है कि

$$F = ma \quad \text{..... (iv)}$$

उपरोक्त समीकरण क्रमांक (iii) व (iv) से s तथा F का मान समीकरण (i) में रखने पर

हम किए गए कार्य को लिख सकते हैं –

$$w = ma \times \frac{v^2 - u^2}{2a}$$

$$w = \frac{1}{2} m \left(v^2 - u^2\right)$$

यदि वस्तु की गति विराम अवस्था से प्रारम्भ होती है, अर्थात u=0 तो

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

माना, किया गया कार्य वस्तु की गतिज ऊर्जा में परिवर्तन के बराबर है। यदि वस्तु स्थिर अवस्था से गति करती है तो किया गया कार्य गतिज ऊर्जा के बराबर है।

हम कह सकते हैं कि v वेग से गतिशील m द्रव्यमान की वस्तु की गतिज ऊर्जा का मान–

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

ऊर्जा की SI इकाई जूल है।

चर्चा करें

1. क्या वस्तु की गतिज ऊर्जा ऋणात्मक हो सकती है?
2. किस ट्रक को रोकना ज्यादा सहज होगा–कम समान से लदे या अधिक सामान से लदे को?
3. कार की गतिज ऊर्जा में कब अधिक परिवर्तन होगा? जब कार का वेग 10 m/s से 20 m/s हो जाए या जब कार का वेग 20 m/s से 30 m/s हो जाए।

उदाहरण–1 : 20 किलोग्रम द्रव्यमान की एक वस्तु 5 m/s के समान वेग से गतिशील है, वस्तु की गतिज ऊर्जा कितनी होगी?

हल : वस्तु का द्रव्यमान = 20kg

वस्तु का वेग = 5 m/s

गतिज ऊर्जा $\frac{1}{2} mv^2$

$= \frac{1}{2} \times 20 \times 5^2$

= 250 J

वस्तु की गतिज ऊर्जा 250 जूल है।

उदाहरण–2 : यदि किसी कार का द्रव्यमान 200kg है तो उसके वेग को 36 km/h से 72 km/h तक बढ़ाने में कितना कार्य करना पड़ेगा?

हल : कार का द्रव्यमान $m = 200$ किलोग्राम

कार का प्रारम्भिक वेग $u = 36$ किमी / घण्टा

(सभी राशियों को SI इकाई में बदलें)

$$u = \frac{(36\times1000)m}{(60\times60)s}$$

$$u = \frac{360}{36} = 10 m/\sec$$

इसी प्रकार कार का अन्तिम वेग –

$$v = \frac{(72\times1000)m}{(60\times60)s}$$

$$v = \frac{720}{36}\ \text{m/sec}$$

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

कार की प्रारंम्भिक गतिज ऊर्जा

$$E_{k1} = \frac{1}{2}mu^2$$

$$= \frac{1}{2}\times200\times(10)^2$$

$$= \frac{1}{2}\times200\times100$$

$$= 10000\ \text{J}$$

कार की अन्तिम गतिज ऊर्जा

$$E_{k2} = \frac{1}{2}mv^2$$

$$E_{k2} = \frac{1}{2}mv^2$$

$$= \frac{1}{2}\times200\times(20)^2$$

$$= \frac{1}{2}\times200\times400$$

$$= 40000\ \text{J}$$

अतः किया गया कार्य = गतिज ऊर्जा में परिवर्तन

$= E_{k2} - E_{k1}$

$= 40000 - 10000$

$= 30000\ J$

$= 30\ KJ$

चर्चा करें

1. किसी वस्तु की गतिज ऊर्जा से क्या तात्पर्य है?
2. v वेग से गतिशील किसी m द्रव्यमान की वस्तु की गतिज ऊर्जा $\frac{1}{2}mv^2$ है। यदि इसके वेग को दोगुना कर दिया जाए तो इसकी गतिज ऊर्जा कितनी होगी?
3. यदि एक वस्तु का द्रव्यमान व वेग, दूसरी वस्तु के द्रव्यमान व वेग का दो गुना हो तो उनकी गतिज ऊर्जा का अनुपात क्या होगा?

12.2.2 स्थितिज ऊर्जा (Potential energy)

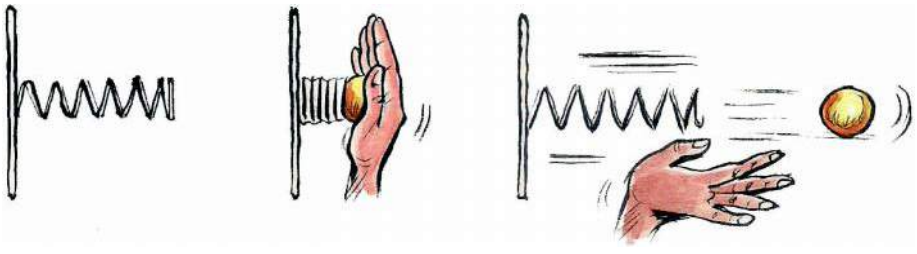
क्रियाकलाप–4

1. एक खिलौने वाली कार लें।
2. इसमें लगी चाबी को 2–3 बार घुमाएँ।
3. इसे जमीन पर रखें।

चित्र क्रमांक–11

- क्या यह चलने लगती है? यदि हाँ तो क्यों?
- यदि चाबी को 4–5 बार घुमाया जाए तो क्या होगा?

चित्र में दिखाए अनुसार जब आप दीवार से लगी स्प्रिंग (चित्र क्रमांक–12 a) पर गेंद रखकर उसे दबाते हैं तो स्प्रिंग संकुचित (चित्र क्रमांक– 12 b) हो जाती है और जैसे ही आप अपना हाथ स्प्रिंग से हटाते हैं, गेंद दूर जाकर गिरती हैं। (चित्र क्रमांक–12 c)



(a) (b) (c)

चित्र क्रमांक–12

चित्र क्रमांक–13

कुछ ऐसा ही स्प्रिंग तुला में होता है। वजन लटकाने पर तुला खिंच जाती है और छोड़ने पर वापस आ जाती है।

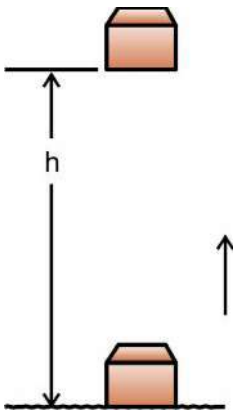
चित्र क्रमांक–13 देखें, गुलेल को खींच कर छोड़ने पर गुलेल की रबर भी दबे स्प्रिंग की तरह ही वापस बिना तनाव की स्थिति में आना चाहती है। अतः पत्थर को वह दूर तक फेंक देती है।

किसी वस्तु पर किए गए कार्य के कारण उसमें ऊर्जा संचित हो जाती है। यह संचित ऊर्जा वस्तु की स्थितिज ऊर्जा कहलाती है अर्थात् प्रत्येक वस्तु में अपनी स्थिति के कारण जो ऊर्जा होती है उसे स्थितिज ऊर्जा कहते हैं। यह ऊर्जा अन्य रूप में रूपान्तरित होकर वस्तु को कार्य करने में सक्षम बनाती है। जब आप स्प्रिंग पर गेंद रखकर दबाते हैं तो आप स्प्रिंग की स्थिति में परिवर्तन करते हैं। यह ऊर्जा उसमें स्थितिज ऊर्जा के रूप में संचित रहती है। यह गतिज ऊर्जा में परिवर्तित होकर स्प्रिंग की गेंद को दूर तक गति देने में सक्षम बनाती है।

- क्या इसी प्रकार रबर की गुलेल से पत्थर फेंकने की क्रिया को समझा सकते हैं?

गुरुत्वीय स्थितिज ऊर्जा (Gravitational potential energy)

जब किसी वस्तु को पृथ्वी से ऊपर उठाया जाता है तब उसकी ऊर्जा में भी वृद्धि होती है वस्तु को ऊपर उठाने में पृथ्वी के गुरुत्वाकर्षण बल के विरूद्ध कार्य किया जाता है। वस्तु को निश्चित ऊँचाई तक उठाने में किया गया कार्य उसकी स्थितिज ऊर्जा के रूप में संचित रहता है। गुरुत्वाकर्षण बल के विरूद्ध किए गए कार्य के कारण वस्तु में संचित ऊर्जा को गुरुत्वीय स्थितिज ऊर्जा कहते हैं।



चित्र क्रमांक–14 :
वस्तु को पृथ्वी की सतह से ऊपर उठाया गया

यदि m द्रव्यमान की एक वस्तु को ऊपर उठाने के लिए बल की आवश्यकता होती है। इसके लिए न्यूनतम बल वस्तु के भार mg के बराबर होता है। उठाई गई वस्तु में उस पर किए गए कार्य के बराबर ऊर्जा की वृद्धि होगी। मान लें कि वस्तु को h ऊँचाई तक उठाने के लिए उस पर गुरुत्वीय बल के विरूद्ध किया गया कार्य w है।

तब किया गया कार्य $w = \text{बल} \times \text{विस्थापन}$

$= mgh$

$= mgh$

क्योंकि वस्तु पर किया गया कार्य mgh है अतः वस्तु को मिली स्थितिज ऊर्जा भी mgh होगी। हम इस स्थितिज ऊर्जा को (Ep) कहेंगे।

$$Ep = mgh$$

उदाहरण–1 : 50 किग्रा द्रव्यमान की एक वस्तु को पृथ्वी से 8 मीटर की ऊँचाई तक उठाया गया है। इस वस्तु में विद्यमान ऊर्जा का परिकलन करें। यहाँ $g = 9.8\ m/sec^2$

हल : वस्तु का द्रव्यमान m = 50 kg

विस्थापन ऊँचाई h = 8m

गुरुत्वीय त्वरण g = $9.8\ m/sec^2$

सूत्र : स्थितिज ऊर्जा = mgh

= $50 \times 9.8 \times 8$

= 3920 J

स्थितिज ऊर्जा 3920 जूल है।

इसे भी जानें

वस्तु की स्थितिज ऊर्जा भूमि तल या आपके द्वारा चुने गए शून्य तल पर निर्भर है। किसी वस्तु के लिए एक तल के सापेक्ष स्थितिज ऊर्जा का मान किसी दूसरे तल के सापेक्ष स्थितिज ऊर्जा के मान से फर्क होगा।

उदाहरण–2: 5 किग्रा द्रव्यमान की वस्तु पृथ्वी से एक निश्चित ऊँचाई पर स्थित है, यदि वस्तु की स्थितिज ऊर्जा 400 जूल है, तो वस्तु की पृथ्वी के सापेक्ष ऊँचाई ज्ञात करें। g= $9.8\ m/sec^2$।

हल :

वस्तु का द्रव्यमान m = 5 kg

विस्थापन ऊँचाई h = ?

वस्तु की स्थितिज ऊर्जा = mgh = 400 J

गुरुत्वीय त्वरण g = $9.8\ m/sec^2$

वस्तु की स्थितिज ऊर्जा E_p = mgh = 400 J

$5 \times 9.8 \times h = 400$

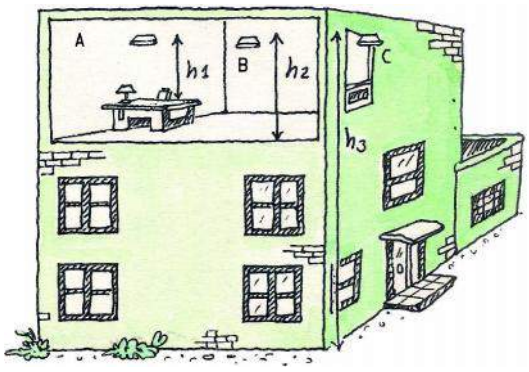
$h = \frac{400}{49}$

h = 8.16 m

वस्तु 8.16 m ऊँचाई पर स्थित है।

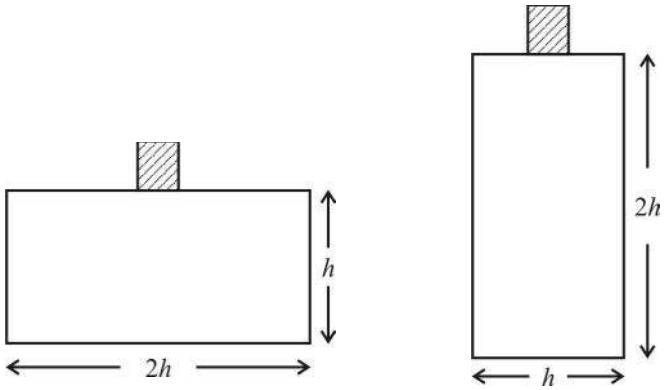
प्रश्न

1. चित्र क्रमांक–15 में दिखाई गई तीन स्थितियों A, B तथा C के लिए पुस्तक की स्थितिज ऊर्जा ज्ञात कीजिए।



चित्र क्रमांक–15

2. चित्र क्रमांक–16 में एक आयताकार बॉक्स दिखाया गया है जिसकी लम्बाई एवं चौड़ाई क्रमशः 2h एवं h है। दोनों स्थितियों में बॉक्स पर रखी m द्रव्यमान की वस्तु की स्थितिज ऊर्जा क्या होगी?



चित्र क्रमांक–16

चर्चा करें

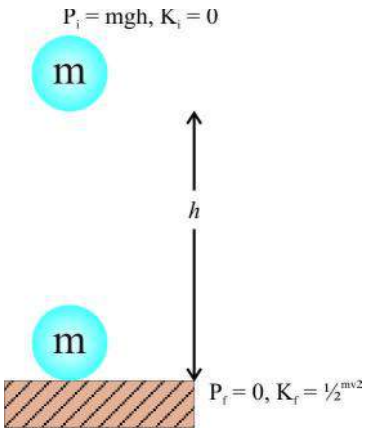
1. धनुष–बाण चलाने की क्रिया में तीर को धनुष में लगे तार अथवा रबर पर रखकर पीछे की ओर क्यों खींचा जाता है?
2. क्या वस्तु की गुरुत्वीय स्थितिज ऊर्जा ऋणात्मक हो सकती है?

12.3 यांत्रिक ऊर्जा संरक्षण का नियम (Law of conservation of mechanical energy)

माना m द्रव्यमान की एक वस्तु h ऊँचाई से स्वतंत्रता पूर्वक गिराई जाती है। प्रारम्भ में वस्तु की स्थितिज ऊर्जा mgh है और गतिज ऊर्जा शून्य है क्योंकि इसका प्रारम्भिक वेग शून्य है।

इस प्रकार वस्तु की कुल ऊर्जा mgh है।

जब यह वस्तु गिरती है तो इसकी स्थितिज ऊर्जा गतिज ऊर्जा में परिवर्तित होती है। यदि दिए हुए क्षण पर वस्तु का वेग v है तो गतिज ऊर्जा $\frac{1}{2}mv^2$ होगी। वस्तु जैसे–जैसे नीचे गिरती है इसकी स्थितिज ऊर्जा कम होती जाती है तथा गतिज ऊर्जा बढ़ती जाती है। जब वस्तु धरती पर पहुँचने वाली होती है तो इस अवस्था में वस्तु का अन्तिम वेग v अधिकतम हो जाएगा। इसलिए अब गतिज ऊर्जा अधिकतम तथा स्थितिज ऊर्जा न्यूनतम होगी। हम जानते हैं कि सभी बिन्दुओं पर वस्तु की स्थितिज ऊर्जा तथा गतिज ऊर्जा का योग समान रहता है अर्थात



चित्र क्रमांक–17 : गिरती हुई वस्तु

स्थितिज ऊर्जा + गतिज ऊर्जा = नियत

या $mgh + \frac{1}{2}mv^2 = \text{नियत}$

किसी वस्तु की गतिज ऊर्जा तथा स्थितिज ऊर्जा का योग उसकी कुल यांत्रिक ऊर्जा है। हम देखते हैं किसी पिण्ड के मुक्त रूप से गिरते समय इसके पथ में किसी बिन्दु पर स्थितिज ऊर्जा में जितनी कमी होती है गतिज ऊर्जा में उतनी ही वृद्धि होती है।

बहुत से ऐसे अन्य उदाहरणों, अवलोकनों और तर्कों के आधार पर हम यह कह सकते हैं कि ऊर्जा को न ही नष्ट किया जा सकता है और न ही उत्पन्न किया जा सकता है। इसे केवल एक रूप से दूसरे रूप में परिवर्तन किया जा सकता है। अर्थात ब्रह्माण्ड की कुल ऊर्जा नियत रहती है। यही ऊर्जा संरक्षण का नियम है।

आइए, क्रियाकलाप द्वारा इसे और समझने का प्रयास करते हैं–

क्रियाकलाप–5

30 किग्रा का कोई पिण्ड 5 मीटर की ऊँचाई से मुक्त रूप से गिराया जाता है। निम्नलिखित सारणी के अनुसार प्रत्येक स्थिति में स्थितिज ऊर्जा एवं गतिज ऊर्जा की गणना करके सारणी भरें–

$g = 9.8\ m/sec^2$

(गति के समीकरण की सहायता से भिन्न–भिन्न ऊँचाइयों पर वेग ज्ञात करें)

पिण्ड की ऊँचाई मीटर	वस्तु का वेग विभिन्न ऊँचाइयों में	स्थितिज ऊर्जा $E = mgh$	गतिज ऊर्जा $E_K = \frac{1}{2}mv^2$	कुल ऊर्जा $E_p + E_K$
5				
4				
3				
2				

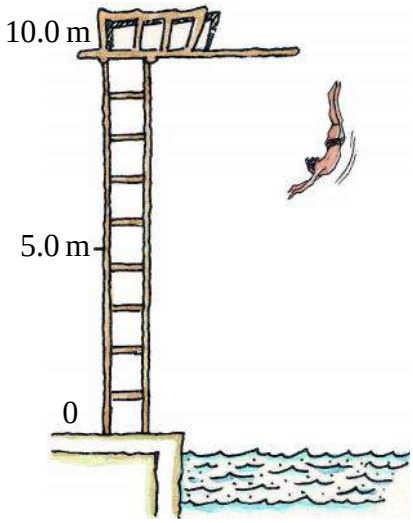
यदि ऊपर दिए गए क्रियाकलाप के निष्कर्षों को ध्यान से देखें तो आप पाएंगे कि प्रत्येक स्थिति में पिंड की कुल यांत्रिक ऊर्जा नियत रहती है।

विचार विमर्श करें

यदि प्रकृति में ऊर्जा रूपान्तरण सम्भव नहीं होता तो क्या होता? एक मत के अनुसार ऊर्जा रूपान्तरण के बिना जीवन सम्भव नहीं हो पाता, क्या आप इससे सहमत हैं?

समूह में करें

m द्रव्यमान का एक व्यक्ति 10 मीटर की ऊंचाई से पानी में कूदता है। (चित्र क्रमांक–18) यांत्रिक ऊर्जा संरक्षण नियम का उपयोग कर व्यक्ति का वेग ज्ञात करें जब वह पानी की सतह से 5 मीटर की ऊँचाई पर हो।



चित्र क्रमांक–18

12.4 शक्ति (Power)

रमेश एवं राखी के घर पर पानी की टंकी समान आकृति और ऊंचाई की हैं। दोनों ही अपनी टंकी में पानी चढ़ाने के लिए विद्युत मोटर का प्रयोग करते हैं। राखी के घर की पानी की टंकी रमेश की पानी की टंकी से जल्दी भर जाती है। इसके पीछे क्या कारण हो सकता है?

कभी–कभी हम देखते हैं कि हमारे घर के ग्राइन्डर (चक्की) में 1 किग्रा दाल को पीसने में पड़ोसी के ग्राइन्डर से ज्यादा समय लगता है। ऐसा क्यों?

क्या इनमें कुल किया गया कार्य अलग–अलग है या मोटर व ग्राइंडर की कार्य करने की क्षमता अलग–अलग है?

समान कार्य को करने में अलग–अलग मशीनों को लगने वाले समय में अन्तर हो सकता है अर्थात् इनके कार्य करने की दर अलग है। कार्य करने की दर को शक्ति कहते हैं। हम मोटरबाईक, मोटरकार, विद्युत पम्प, विद्युत बल्ब, ट्यूब लाईट, आरा मशीन, चारा काटने की मशीन, ट्रेक्टर जैसी मशीनों की शक्ति के बारे में बात करते हैं। इनकी शक्ति यह दर्शाती है कि ये कितनी तेजी से ऊर्जा में परिवर्तन अर्थात् कार्य करते हैं।

कार्य करने की दर या ऊर्जा रूपान्तरण की दर को शक्ति कहते हैं। इसे गणितीय रूप में ऐसे लिखेंगे, यदि कोई व्यक्ति t समय में w कार्य करता है तो

शक्ति= कार्य / समय

$P = w / t$

शक्ति की इकाई (मात्रक) वाट (W) है। यदि कोई व्यक्ति 1 सेकण्ड में 1 जूल कार्य करता है तो ऊर्जा उपयोग की दर 1 J/s होगी तथा शक्ति 1 W होगी।

अर्थात् 1 वाट = 1 J/s

या 1 W = 1 J/s

ज्यादा शक्ति हो तो उसे हम किलोवाट में नापते हैं।

1 किलोवाट = 1000 वाट

1 KW = 1000 W या 1000 J/s

यदि हमें पता करना हो कि किसी मशीन में कितनी ऊर्जा खर्च हुई तो हमें देखना होगा कि उसकी शक्ति कितनी होगी और वह कितने समय तक कार्य कर रही है।

उपयोग की गई ऊर्जा $P = w / t$ से

$$w = p \times t$$

यदि $P = 1$ KW तथा $t = 1h$ हो तो उपयोग में ली गई ऊर्जा 1KWh होगी।

अर्थात् 1 KWh (एक किलोवाट घंटा) ऊर्जा की वह मात्रा है जो 1 KW के किसी स्रोत को 1 घंटे तक उपयोग करने में व्यय होगी। घरों में, उद्योगों में तथा व्यावसायिक संस्थानों में व्यय होने वाली ऊर्जा को प्रायः किलो वाट घंटा (KWh) में व्यक्त करते हैं। उदाहरण के लिए एक महीने में उपयोग की गई विद्युत ऊर्जा को यूनिट के रूप में व्यक्त करते हैं। यहाँ 1 यूनिट का अर्थ है 1 KWh

$1KWh = 1KW \times 1h = 1000W \times 3600$ Sec

$= 3600000J$

$= 3.6 \times 10^6 J$

उदाहरण–1 : एक महिला 300 जूल कार्य को 5 सेकण्ड में पूरा करती है तो बताओ उसने कितनी शक्ति व्यय किया?

हल : महिला के द्वारा किया गया कार्य $W = 300$ J

कार्य करने में लगा समय $t = 5s$

अतः महिला द्वारा व्यय की गई शक्ति $p = w/t$

$= 300/5$

$= 60$ W

उदाहरण–2 : 50 kg द्रव्यमान का एक लड़का 30 सीढ़ियाँ 10 सेकण्ड में चढ़ता है। यदि प्रत्येक सीढ़ी की ऊँचाई 15 सेमी हो तो उसकी शक्ति का परिकलन करें। $g = 10$ मी./से^{2}

हल : लड़के का द्रव्यमान $m = 50$ kg

$mg = 50 \times 10$

$= 500$ kg m/s^2

30 सीढ़ियों की कुल ऊँचाई $h = (30 \times 15)/100$

$= 4.50\ m$

चढ़ने में लगा समय $t = 10s$

शक्ति p = किया गया कार्य / समय

$= mgh / t$

$p = (500 \times 4.50) / 10$

$= 225\ W$

लड़के की शक्ति 225 W है।

प्रश्न

- शक्ति किसे कहते हैं?
- 1 वाट शक्ति को परिभाषित करें।
- यदि एक बल्ब 990 जूल विद्युत ऊर्जा 10 सेकण्ड में व्यय करता है तो इसकी शक्ति कितनी है?

उदाहरण–3 : 60 वाट का एक बल्ब प्रतिदिन 10 घंटे उपयोग किया जाता है। बल्ब द्वारा एक दिन में खर्च की गई ऊर्जा की यूनिटों का परिकलन करें।

हल : विद्युत बल्ब की शक्ति = 60 वाट = 0.06 kW

उपयोग किया गया समय = 10 घंटा

अतः बल्ब की खर्च की गई ऊर्जा = शक्ति × लिया गया समय

$= 0.06\ kw \times 10h$

$= 0.60\ kWh$

= 0.60 यूनिट

बल्ब द्वारा एक दिन में 0.60 यूनिट ऊर्जा की खपत होगी।

क्रियाकलाप–6

- अपने घर के विद्युत परिपथ में लगे विद्युत मीटर का बारीकी से प्रेक्षण करें तथा प्रतिदिन प्रातः 7.00 बजे मीटर का पाठ्यांक नोट करें।
  - प्रत्येक दिन कितनी यूनिट व्यय होती है?
  - प्रत्येक दिन प्रेक्षणों को एक माह तक सारणीबद्ध करें।
  - अपने प्रेक्षणों की तुलना विद्युत के मासिक बिल में दिए गए विवरणों से करें।

हमने सीखा

1. किसी वस्तु पर किया गया कार्य, उस पर लगाए गए बल के परिमाण तथा वस्तु का बल की दिशा में विस्थापन के गुणनफल के बराबर होता है। कार्य का मात्रक जूल (J) है।
2. वस्तु पर लगाया गया बल एवं उसके विस्थापन की दिशा समान हो तो बल द्वारा किया गया कार्य धनात्मक होगा तथा वस्तु पर लगाया गया बल एवं उसके विस्थापन की दिशा असमान हो तो बल द्वारा किया गया कार्य ऋणात्मक होगा।
3. ऊर्जा, वस्तु को कार्य करने की क्षमता देता है। ऊर्जा का मात्रक भी जूल है।
4. किसी वस्तु में उसकी गति के कारण निहित ऊर्जा उसकी गतिज ऊर्जा कहलाती है। v वेग से गति करती हुई m द्रव्यमान की वस्तु की गतिज ऊर्जा $\frac{1}{2}mv^2$ होगी।
5. वस्तु द्वारा उसकी स्थिति अथवा आकृति में परिवर्तन के कारण संचित ऊर्जा को वस्तु की स्थितिज ऊर्जा कहते हैं। पृथ्वी तल से h ऊँचाई तक उठाई गई m द्रव्यमान की वस्तु की गुरुत्वीय स्थितिज ऊर्जा mgh होगी।
6. ऊर्जा संरक्षण नियम के अनुसार ऊर्जा को न ही नष्ट किया जा सकता है न ही उत्पन्न। इसे केवल एक रूप से दूसरे रूप में रूपांतरित किया जा सकता है। रूपान्तरण के पूर्व तथा रूपान्तरण के पश्चात कुल ऊर्जा सदैव नियत रहती है।
7. कार्य करने की दर या ऊर्जा रूपान्तरण की दर को शक्ति कहते हैं। शक्ति का SI मात्रक वाट (W) है।
8. 1kWh ऊर्जा की वह मात्रा है जो 1kW के किसी स्रोत को 1 घंटे तक उपयोग करने में व्यय होती है।

मुख्य शब्द : (Keywords)

कार्य (work), ऊर्जा (energy), गतिज ऊर्जा (kinetic energy), स्थितिज ऊर्जा (potential energy), ऊर्जा संरक्षण (energy conservation), शक्ति (power)

VA54T1

अभ्यास

1. उचित विकल्प चुनकर लिखें–

   (i) वस्तु पर 10 N का बल लगाने पर यदि वस्तु बल की दिशा में 2 m तक विस्थापित हो, वस्तु पर बल द्वारा किया गया कार्य होगा–

   (अ) 15 J (ब) 20 J (स) .20 J (द) 5 J

(ii) 5 kg द्रव्यमान की एक वस्तु 2 मीटर/सेकण्ड के एक समान वेग से गतिशील है। वस्तु की गतिज ऊर्जा कितनी होगी।

(अ) 10 जूल (ब) 15 जूल (स) 5 जूल (द) 20 जूल

(iii) 12 kg द्रव्यमान की एक वस्तु धरती से एक निश्चित ऊँचाई पर स्थित है यदि वस्तु की स्थितिज ऊर्जा 480 J है तो वस्तु की धरती के सापेक्ष ऊँचाई होगी। ($g = 10\ m/s^2$)

(अ) 6 मीटर (ब) 9 मीटर (स) 5 मीटर (द) 4 मीटर

(iv) आप अपने घर में 100 W का एक विद्युत बल्ब प्रतिदिन 5 घण्टे तक जलाते हैं। बल्ब द्वारा एक दिन में खर्च की गई ऊर्जा की यूनिट कितनी होगी?

(अ) 0.4 यूनिट (ब) 0.5 यूनिट (स) 0.05 यूनिट (द) 0.01 यूनिट

2. रिक्त स्थान की पूर्ति करें–

(i) कार्य का SI मात्रक ..... है।

(ii) 1 किलोवाट घण्टा ..... जूल के तुल्य है।

(iii) किसी वस्तु की कुल ऊर्जा ..... रहती है।

(iv) वस्तु पर लगाए बल एवं उसके विस्थापन की दिशा विपरीत हो तो किया गया कार्य .... होगा।

(v) m द्रव्यमान की वस्तु पृथ्वी से h/2 ऊँचाई पर स्थित हो तो वस्तु की स्थितिज ऊर्जा .... होगी।

3. गतिज ऊर्जा से आप क्या समझते हैं? किसी गतिमान वस्तु के लिए गतिज ऊर्जा का सूत्र स्थापित करें।

4. किसी घर में एक महीने में विद्युत ऊर्जा का 250 यूनिट व्यय हुआ है यह ऊर्जा जूल में कितनी होगी?

$[900 \times 10^6\ J]$

5. (a) ऊर्जा संरक्षण नियम क्या है? समझाएँ।

(b) मुक्त रूप से गिरते एक पिण्ड की स्थितिज ऊर्जा लगातार कम होती जाती है क्या यह ऊर्जा संरक्षण नियम का उल्ल्घंन करती है? कारण के साथ स्पष्ट करें।

6. स्थितिज ऊर्जा को समझाते हुए सूत्र की स्थापना करें।

7. (a) यदि कण के वेग को दुगुना कर दिया जाए तो, इसकी गतिज ऊर्जा क्या होगी?

(b) कण पर किए गए कार्य का परिमाण शून्य हो तो इसका वेग क्या होगा?

8. v वेग से गति करती हुई कार में ब्रेक लगाने के पश्चात् वह d दूरी तक जाकर रुकती है। गणना करें, यदि कार का वेग 2 v हो तो ब्रेक लगाने के पश्चात् वह कितनी दूरी तक जाकर रुकेगी?

9. कोई मनुष्य चावल के एक गट्ठर को अपने सिर पर 30 मिनट तक रखता है और थक जाता है। क्या उसने कुछ कार्य किया है? अपने उत्तर को तर्क देकर समझाएँ।

10. किसी पिण्ड पर 8 न्यूटन का बल आरोपित करने पर वह बल की दिशा में 4 मीटर विस्थापित हो जाता है। इस क्रिया में किए गए कार्य की गणना करें। (उत्तर– 32 जूल)

11. 10 किलोग्राम द्रव्यमान की वस्तु को पृथ्वी के गुरुत्वाकर्षण बल के विरूद्ध 10 मीटर ऊपर उठाने में कितना कार्य करना पड़ेगा? (उत्तर– 980 जूल)

12. दो पिण्ड जिनका द्रव्यमान क्रमशः 10 kg तथा 15 kg है। इन्हें पृथ्वी से क्रमशः 5 m तथा 2 m की ऊँचाई तक उठाया जाता है। दोनों पिंडों की स्थितिज ऊर्जा में परिवर्तन की गणना करें। (उत्तर– 196 जूल)

13. एक व्यक्ति यदि 6 सेकण्ड में 15 N का बल लगाकर बॉक्स को 8 मी. दूर तक विस्थापित करता है तो उसकी शक्ति की गणना करें। (P = 20W)

14. 0.5 किलोग्राम की किसी वस्तु की ऊर्जा में 1 जूल का परिवर्तन करने के लिए उसे कितनी ऊँचाई तक उठाना होगा? ($g = 10\ m/s^2$) (उत्तर– 0.2 मीटर)