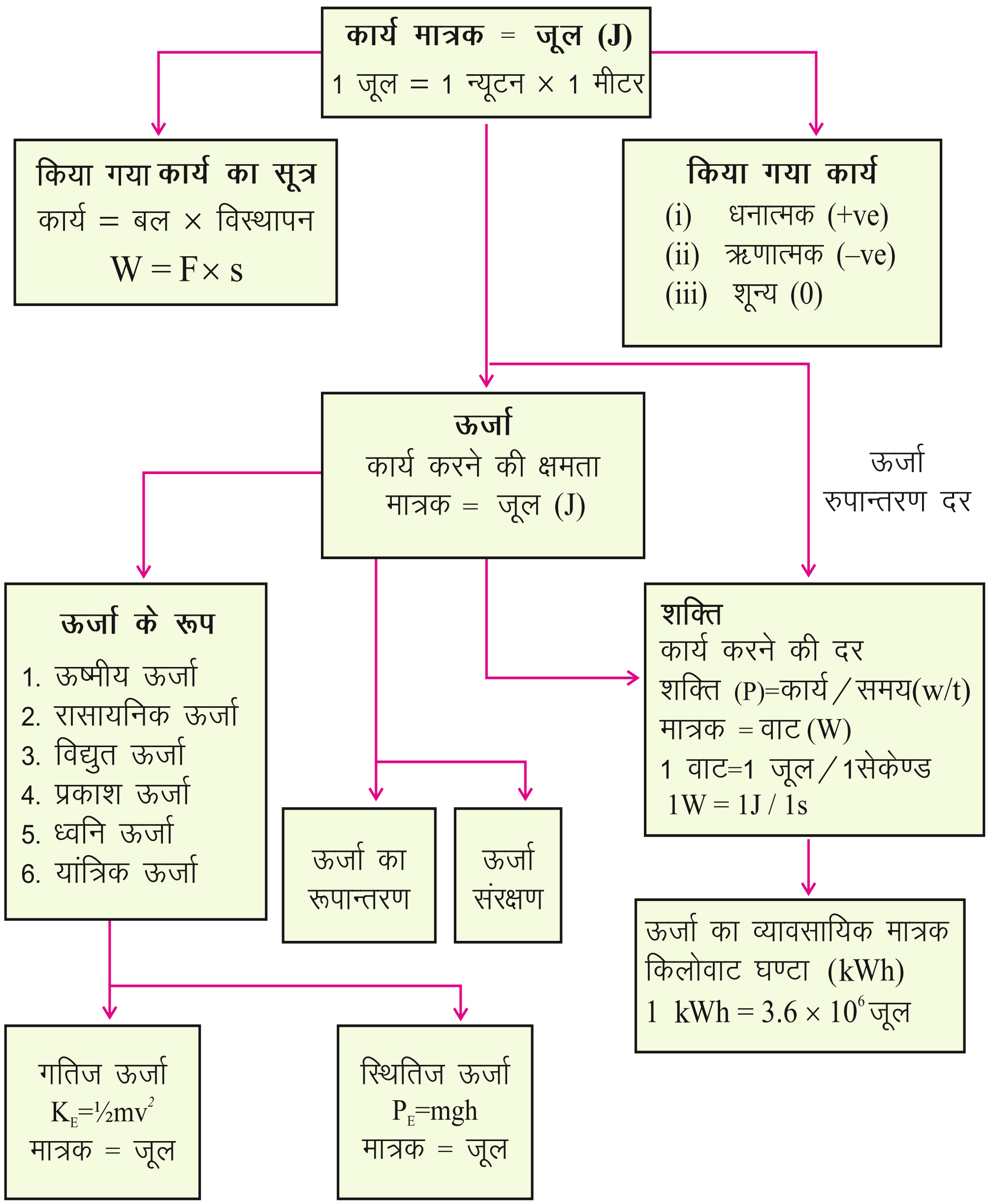
अध्याय 10

कार्य तथा ऊर्जा

अध्याय – एक नज़र में



कार्य–कार्य करने के लिए ऊर्जा की आवश्यकता होती है।

सजीवों में ऊर्जा, भोजन से मिलती है।

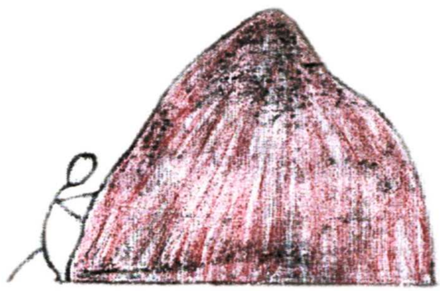
मशीनों को ऊर्जा, ईंधन से मिलती है।

कठोर कार्य करने के बावजूद कुछ अधिक कार्य नहीं–सभी प्राक्रियाओं, लिखना, पढ़ना, चित्र बनाना, सोचना, विचार–विमर्श करना आदि में ऊर्जा व्यय होती है। लेकिन वैज्ञानिक परिभाषा के अनुसार इनमें बहुत थोड़ा–सा नगण्य कार्य हुआ।

उदाहरण– (1) एक व्यक्ति किसी दीवार या चट्टान को धकेलने में पूर्णतया थक जाता है लेकिन दीवार के न हिलने के कारण कोई कार्य नहीं होता है।

(2) एक व्यक्ति भारी सूटकेस लेकर बिना हिले डुले खड़ें–खड़ें थक जाता है। लेकिन स्थिर होने के कारण उसने कोई कार्य नहीं किया।

दीवार पर बल लगाने से दीवार में गति नहीं होती है। अतः कार्य नहीं हुआ ।



चट्टान पर बल लगाने पर चट्टान में गति नहीं होती है। अतः कार्य नहीं हुआ

- **कार्य किया जाता है जब** –

क) एक चलती हुई वस्तु विरामावस्था में आ जाये।

ख) एक वस्तु विराम अवस्था से चलना शुरु कर दें।

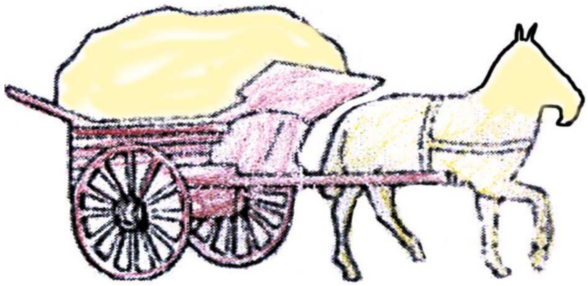
ग) एक गतिमान वस्तु का वेग परिवर्तन हो जाये।

घ) एक वस्तु का आकार परिवर्तन हो जाये।

कार्य की वैज्ञानिक संकल्पना–कार्य किया जाता है जब एक बल वस्तु में गति उत्पन्न करता है। जब एक वस्तु पर बल लगाया जाता है और वस्तु बल के प्रभाव से गतिशील हो जाती है (विस्थापित हो जाये) तो केवल इस स्थिति में कार्य किया गया माना जाता है।

कार्य करने की दशा– (क) वस्तु पर बल लगना चाहिए।

(ख) वस्तु विस्थापित होनी चाहिए।



उदाहरण– • कार्य हो रहा है – (1) एक साइकिल सवार साइकिल मे पैडल मार रहा है।

(2) एक व्यक्ति बोझे को ऊपर की तरफ या नीचे की तरफ ले जा रहा है।

• कार्य नहीं हो रहा है – (1) जब कुली वजन लेकर स्थिर खड़ा है।

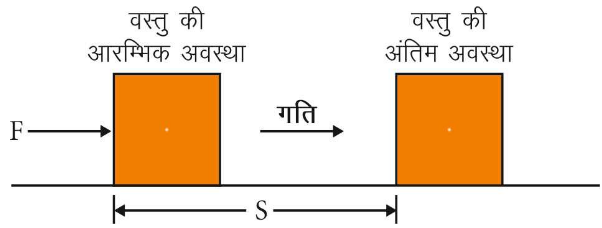
(2) व्यक्ति दीवार पर बल लगा रहा है।

एक नियत बल द्वारा किया गया कार्य–एक गतिमान वस्तु पर किया गया कार्य वस्तु पर लगे बल तथा वस्तु द्वारा बल की दिशा में किये गये विस्थापन के गुणनफल के बराबर होता है।

कार्य = बल × विस्थापन

$W = F \times s$

कार्य एक अदिश राशि है।

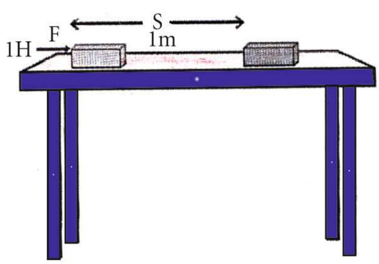


कार्य का मात्रक–कार्य का मात्रक न्यूटन मीटर या जूल है।

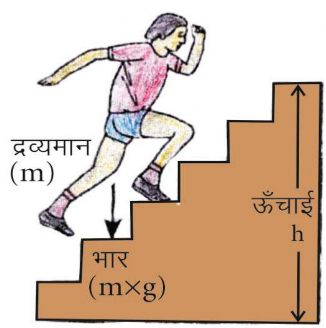
• **जूल**–जब बल वस्तु को बल की दिशा में 1 मीटर (m) विस्थापित कर देता है तो एक जूल (1 J) कार्य होता है।

1 जूल = 1 न्यूटन × 1 मीटर

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



$1J = 1N \times 1m$



सीढ़ियाँ चढ़ने पर गुरुत्व बल के विरुद्ध कार्य होता है।

• जब भी गुरूत्व बल के विरूद्ध कार्य किया जाता है, तो कार्य को हम वस्तु के भार एवं उसके द्वारा तय की गई दूरी (ऊँचाई) के गुणनफल के रूप में देख सकते है।

(कार्य) w = वस्तु का भार x तय की गई दूरी (ऊँचाई)

= m x g x h

m = वस्तु का द्रव्यमान

g = गुरूत्वीय त्वरण

h = जितनी ऊँचाई तक वस्तु उठाई गई है।

नोट :– यहाँ वस्तु को उठाने के लिए किया गया कार्य, वस्तु के भार के बराबर है।

किये गये कार्य की मात्रा निम्नलिखित पर निर्भर करती है:

(i) बल का परिमाण – ज्यादा बल – ज्यादा किया गया कार्य।

कम बल– कम किया गया कार्य।

(ii) विस्थापन – ज्यादा विस्थापन – ज्यादा किया गया कार्य।

धनात्मक, ऋणात्मक तथा शून्य कार्य–एक बल द्वारा किया गया कार्य धनात्मक, ऋणात्मक या शून्य हो सकता है।

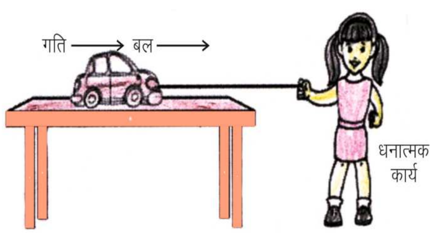
(i) कार्य धनात्मक होता है जब बल वस्तु की गति की दिशा में लगाया जाता है। (0° के कोण पर)

($\Theta = 0^0$) (Θ = लगाए गये बल और विस्थापन की दिशाओं के बीच बना कोण) $\Theta = 0^0$

उदाहरण–एक बच्चा खिलौना गाड़ी को पृथ्वी के समानान्तर खींच रहा है, यह धनात्मक कार्य है।

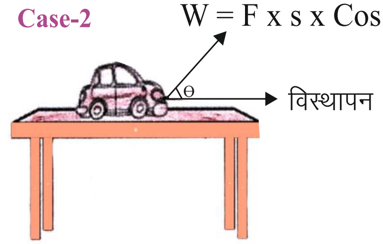
Case-1

$W = F \times s$



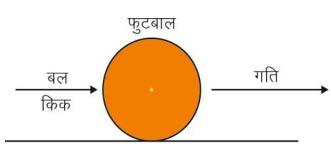
Case-2

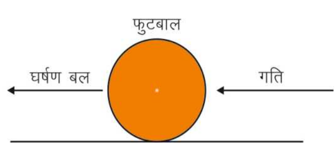
$W = F \text{ x } s \text{ x } \cos \Theta$



(ii) ऋणात्मक कार्य तब होता है जब बल वस्तु की गति की विपरीत दिशा में लगाया जाता है। (180^o के कोण पर)

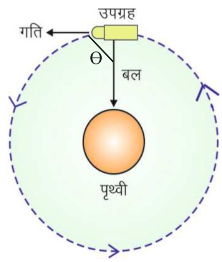
उदाहरण–(a) जब हम जमीन पर रखी फुटबाल पर किक मारते हैं तो फुटबाल किक मारने की दिशा में चलती है यह धनात्मक कार्य है। (b) लेकिन जब फुटबाल रूकती है उस पर घर्षण बल गति की दिशा के विपरीत दिशा में कार्य करता है। यहाँ कार्य ऋणात्मक है।





(iii) कार्य **शून्य** होता है जब लगाये गये बल और गति की दिशा में 90^o का कोण बनता है।

उदाहरण–चन्द्रमा पृथ्वी के चारों तरफ गोलीय पथ में गति करता है। यहाँ पर पृथ्वी का गुरुत्व बल चन्द्रमा की गति की दिशा के साथ 90^o का कोण बनाता है। अत: किया गया कार्य शून्य है।



- ऋणात्मक चिन्ह का अर्थ पृथ्वी के गुरुत्व बल के विपरीत कार्य है।
- धनात्मक कार्य पृथ्वी के गुरुत्व बल की दिशा में किया गया कार्य है।

उदाहरण 11.1. एक कुली 15 kg बोझ जमीन से उठाकर 1.5 मी. (जमीन से ऊपर) अपने सिर पर रखता है। उसके द्वारा बोझ पर किये गये कार्य का परिकलन कीजिए।

हल–बोझ का द्रव्यमान $m = 15 \, kg$

विस्थापन $S = 1.5 \, m$

कया गया कार्य $W = F \times s = mg \times s$ [जहाँ बल $F = m \times g$]

$= 15 \times 10 \times 1.5 \; (g = 10 \, m/s^2) \rightarrow$ गुरूत्वीय त्वरण)

$= 225.0 \, kg \, m/s^2$

$= 225 \, Nm = 225 \, J$

उत्तर– किया गया कार्य $= 225 \, J$

ऊर्जा –

(1) सूर्य ऊर्जा का विशालतम स्रोत है।

(2) अधिकतर ऊर्जा स्रोत सूर्य से उत्पन्न होते हैं।

(3) कुछ ऊर्जा परमाणुओं के नाभिक, पृथ्वी के आन्तरिक भाग तथा ज्वार.भाटों से प्राप्त होती है।

ऊर्जा की परिभाषा–कार्य करने की क्षमता को ऊर्जा कहते हैं।

किसी वस्तु में निहित ऊर्जा, उस वस्तु द्वारा किये जाने वाले कार्य के बराबर होती है। कार्य करने वाली वस्तु में ऊर्जा की हानि होती है, तथा जिस वस्तु पर कार्य किया जाता है उसकी ऊर्जा में वृद्धि होती है।

ऊर्जा एक अदिश राशि है।

ऊर्जा का मात्रक–ऊर्जा का S.I. मात्रक जूल (J) है।

ऊर्जा का बड़ा मात्रक किलो जूल है।

$$1\,KJ = 1000\,J.$$

एक जूल कार्य करने के लिए आवश्यक ऊर्जा की मात्रा एक जूल है।

ऊर्जा के रूप–ऊर्जा के मुख्य रूप हैं–

(i) गतिज ऊर्जा
(ii) स्थितिज ऊर्जा
(iii) ऊष्मीय ऊर्जा
(iv) रासायनिक ऊर्जा
(v) विद्युत ऊर्जा
(vi) प्रकाश ऊर्जा
(vii) ध्वनि ऊर्जा
(viii) नाभिकीय ऊर्जा।

यांत्रिक ऊर्जा–किसी वस्तु की गतिज ऊर्जा और स्थितिज ऊर्जा के योग को यांत्रिक ऊर्जा कहते हैं।

अथवा

यांत्रिक ऊर्जा–किसी वस्तु की गति या स्थिति के कारण कार्य करने की क्षमता को यांत्रिक ऊर्जा कहते हैं।

गतिज ऊर्जा (Kinetic Energy)–किसी वस्तु की गति के कारण कार्य करने की क्षमता को गतिज ऊर्जा कहते हैं।

गतिज ऊर्जा के उदाहरण :

– एक गतिशील क्रिकेट बॉल।
– बहता हुआ पानी।
– एक गतिशील गोली।
– बहती हुई हवा।
– एक गतिशील कार।
– एक दौड़ता हुआ खिलाड़ी।
– लुढ़कता हुआ पत्थर।
– उड़ता हुआ हवाई जहाज।

गतिज ऊर्जा

गतिज ऊर्जा वस्तु के द्रव्यमान तथा वस्तु के वेग के समानुपाती होती है।

गतिज ऊर्जा का सूत्र–यदि m द्रव्यमान की एक वस्तु एक समान वेग u से गतिशील है। इस वस्तु पर एक नियत बल F विस्थापन की दिशा में लगता है और वस्तु s दूरी तक विस्थापित हो जाती है इसका वेग u से v हो जाता है। तब त्वरण उत्पन्न होता है।

किया गया कार्य $(w) = F \times s$ ..... (i)

तथा $F = ma$ ......(ii)

गति के तीसरे समीकरण के अनुसार u, v, s तथा a में निम्न सम्बन्ध है–

$$v^2 - u^2 = 2as$$

अत: $$S = \frac{v^2 - u^2}{2a}$$ .....(iii)

समीकरण (ii) तथा (iii) से F तथा S का मान समीकरण (i) में रखने पर

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

$$= m \times \left(\frac{v^2 - u^2}{2}\right) = ½\, m\,(v^2 - u^2)$$

यदि वस्तु विराम अवस्था से चलना शुरू करती है, $u = 0$

$$W = ½\, mv^2$$

$$E_k = ½\, mv^2$$

उदाहरण 11.2. 15 kg द्रव्यमान की एक वस्तु 4m/s के एक समान वेग से गतिशील है। वस्तु की गतिज ऊर्जा क्या होगी ?

हल– वस्तु का द्रव्यमान (M) = 15 kg

वस्तु का वेग (v) = 4 m/s

गतिज ऊर्जा $(Ek) = ½\, mv^2$

$$= \times 15\, kg \times 4\, ms^{-1} \times 4\, ms^{-1}$$

$$= 120\, J$$

वस्तु की गतिज ऊर्जा 120 J है।

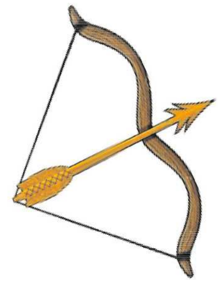
स्थितिज ऊर्जा–किसी वस्तु में उस वस्तु की स्थिति या उसके आकार में परिवर्तन के कारण, जो कार्य करने की क्षमता होती है, उसे स्थितिज ऊर्जा कहते हैं।

उदाहरण–(1) **बाँध में जमा किया गया पानी**–यह पृथ्वी से ऊँची स्थिति के कारण टरबाइन को घुमा सकते हैं। जिससे विद्युत उत्पन्न होती है।

(2) **खिलौना कार की कसी हुई स्प्रिंग**–जब खिलौना कार का कसा हुआ स्प्रिंग खुलता है, तो इसमें संचित स्थितिज ऊर्जा निर्मुक्त होती है जिससे खिलौना कार चलती है।

(3) **धनुष की तनित डोरी**–धनुष की आकृति में परिवर्तन के कारण उसमें संचित स्थितिज ऊर्जा (तीर छोड़ते समय) तीर की गतिज ऊर्जा में परिवर्तित होती है।

स्थितिज ऊर्जा



स्थितिज ऊर्जा

स्थितिज ऊर्जा को प्रभावित करने वाले कारक–स्थितिज ऊर्जा निर्भर करती है–

(i) द्रव्यमान–$PE \propto m$

- वस्तु का द्रव्यमान ज्यादा होगा तो स्थितिज ऊर्जा ज्यादा होगी।
- वस्तु का द्रव्यमान कम होगा तो स्थितिज ऊर्जा कम होगी।

(ii) पृथ्वी तल से ऊँचाई–$PE \,\alpha\, h$ (यह उस रास्ते पर निर्भर नहीं करता जिस पर वस्तु ने गति की है।)

वस्तु की पृथ्वी तल से ऊँचाई ज्यादा होगी तो स्थितिज ऊर्जा ज्यादा होगी।

वस्तु की पृथ्वी तल से ऊँचाई कम होगी तो स्थितिज ऊर्जा कम होगी।

(iii) आकार में परिवर्तन–वस्तु में जितना ज्यादा खिंचाव (Stretching), ऐंठन (Twisting) या झुकाव (Bending) होगा उतनी ही स्थितिज ऊर्जा ज्यादा होगी।

किसी ऊँचाई पर वस्तु की स्थितिज ऊर्जा–यदि m द्रव्यमान की वस्तु को पृथ्वी के ऊपर h ऊँचाई तक उठाया जाता है तो पृथ्वी का गुरुत्व बल ($m \times g$) नीचे की दिशा में कार्य करता है। वस्तु को उठाने के लिए गुरुत्व बल के विपरीत कार्य किया जाता है।

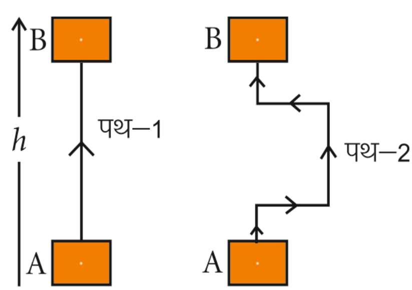
अतः किया गया कार्य W = बल × विस्थापन

$= mg \times h = mgh.$

यह कार्य वस्तु में गुरुत्वीय स्थितिज ऊर्जा के रूप में संचित हो जाता है।

अतः स्थितिज ऊर्जा $= (E_P) = m \times g \times h$

यहाँ (g) पृथ्वी का गुरुत्वीय त्वरण है।



उदाहरण 11.3. 10 kg द्रव्यमान की एक वस्तु को धरती से 6m ऊँचाई तक उठाया जाता है। इसकी स्थितिज ऊर्जा ज्ञात कीजिए ?

हल–वस्तु की स्थितिज ऊर्जा = mgh

वस्तु का द्रव्यमान (m) = 1 kg

धरती से वस्तु की ऊँचाई (h) = 6 m

पृथ्वी का गुरुत्वीय त्वरण $g = 10\,ms^{-2}$

$$E_P = 10 \times 6 \times 10$$

$$= 600\,J$$

उत्तर : वस्तु की स्थितिज ऊर्जा 600 J है।

ऊर्जा का रूपान्तरण–ऊर्जा के एक रूप से ऊर्जा के दूसरे रूप में परिवर्तन को ऊर्जा का रूपान्तरण कहते हैं।

उदाहरण :– एक निश्चित ऊँचाई पर एक पत्थर में स्थितिज ऊर्जा होती है जब यह नीचे गिराया जाता है, तो जैसे–जैसे ऊँचाई कम होती जाती है, वैसे–वैसे पत्थर की स्थितिज ऊर्जा कम होती जाती है। लेकिन नीचे गिरते पत्थर का वेग बढ़ने के कारण पत्थर की गतिज ऊर्जा बढ़ती जाती है, जैसे ही पत्थर जमीन पर पहुँचता है, इसकी स्थितिज ऊर्जा शून्य हो जाती है और गतिज ऊर्जा अधिकतम हो जाती है।

इस प्रकार सारी स्थितिज ऊर्जा गतिज ऊर्जा में रूपान्तरित हो जाती है।

2. पन बिजलीघर (Hydroelectric power house) में पानी की स्थितिज ऊर्जा गतिज ऊर्जा में परिवर्तित होती है तथा बाद में विद्युत ऊर्जा में बदल जाती है।

3. तापीय बिजली घर (Thermal power house) में कोयले की रसायनिक ऊर्जा ऊष्मीय ऊर्जा में परिवर्तित हो जाती है। यही ऊष्मीय ऊर्जा गतिज ऊर्जा तथा विद्युत ऊर्जा में रूपान्तरित हो जाती है।

4. पौधे प्रकाश संश्लेषण की प्रक्रिया द्वारा सौर ऊर्जा का उपयोग भोजन की रासायनिक ऊर्जा बनाने में करते हैं।

ऊर्जा संरक्षण का नियम

जब ऊर्जा का एक रूप ऊर्जा के दूसरे रूप में रूपान्तरित होता है तब कुल ऊर्जा की मात्रा अचर रहती है।

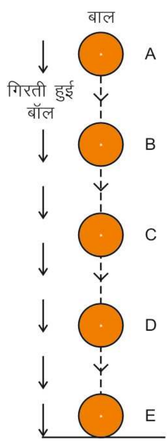
- ऊर्जा की न तो उत्पत्ति हो सकती है और न ही विनाश।
- हालांकि ऊर्जा रूपान्तरण के दौरान कुछ ऊर्जा बेकार (ऊष्मीय ऊर्जा या ध्वनि के रूप में) हो जाती है लेकिन निकाय की कुल ऊर्जा अपरिवर्तित रहती है।

एक वस्तु के मुक्त पतन (Free Fall) के समय ऊर्जा का संरक्षण–

- m द्रव्यमान की एक वस्तु में h ऊँचाई पर स्थितिज ऊर्जा (Potential energy) = mgh
- जैसे वस्तु नीचे गिरती है ऊँचाई h घटती है, और स्थितिज ऊर्जा भी घटती है।
- ऊँचाई h पर गतिज ऊर्जा शून्य थी, लेकिन वस्तु के नीचे गिरने के समय यह बढ़ती जाती है।
- मुक्त पतन के समय किसी भी बिन्दु पर स्थितिज और गतिज ऊर्जा का योग समान रहता है।

$$\frac{1}{2}mv^2 + mgh = \text{अचर (Constant)}$$

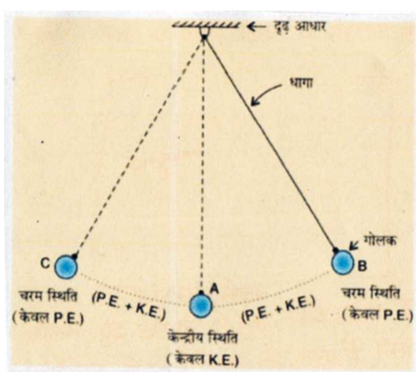
गतिज ऊर्जा + स्थितिज ऊर्जा = अचर



बाल	स्थितिज ऊर्जा	गतिज ऊर्जा	कुल ऊर्जा
A	20J	0J	20 + 0 = 20J
B	15J	5J	15 + 5 = 20J
C	10J	10J	10 + 10 = 20J
D	5J	15J	5 + 15 = 20J
E	0J	20J	0 + 20 = 20J

- सरल लोलक में ऊर्जा का संरक्षण

  दोलायमान सरल लोलक ऊर्जा का संरक्षण का एक उदाहरण है।



दोलायाम (या दोलन करता हुआ) सरल लोलक।

सरल लोलक, दृढ़ आधार से एक लम्बे धागे द्वारा लटके हुए एक छोटे धात्विक गेंद (जो गोलक कहलाता है) का बना होता है, जिसे जब विस्थापित किया जाता है तो गोलक आगे और पीछे दोलन करने के लिए स्वतंत्र होता है।

लोलक की स्थितिज ऊर्जा का गतिज ऊर्जा में और गतिज ऊर्जा का फिर से स्थितिज ऊर्जा में रूपान्तरण का अत्यंत सरल उदाहरण है।

लोलक की कुल ऊर्जा किसी भी समय पर वही रहती है।

कार्य करने की दर–शक्ति–कार्य करने के दर को शक्ति कहते हैं। या ऊर्जा रूपान्तरण की दर को शक्ति कहते हैं।

$$\text{शक्ति (P)} = \frac{\text{किया गया कार्य (w)}}{\text{समय (t)}}$$

यहाँ P = शक्ति, W = किया गया कार्य, t = लिया गया समय

शक्ति का मात्रक–शक्ति का S.I. मात्रक वाट (W) है, या जूल / सेकण्ड है।

$$1W = \frac{1J}{1S} = \frac{\text{1 जूल}}{\text{1 सेकेण्ड}}$$

जब एक जूल कार्य एक सेकेण्ड में होगा, तो शक्ति एक वाट होगी।

$$\text{औसत शक्ति} = \frac{\text{किया गया कुल कार्य या उपयोग की गयी कुल ऊर्जा}}{\text{लिया गया कुल समय}}$$

विद्युत साधित्रों (Electric appliances) की शक्ति–विद्युत उपकरणों के द्वारा विद्युत ऊर्जा को उपयोग करने की दर को विद्युत उपकरण की शक्ति कहते हैं।

शक्ति के बड़े मात्रक–शक्ति का बड़ा मात्रक किलोवाट (kW) है।

1 किलोवाट = 1000 वाट = 1000 जूल / सेकेण्ड

उदाहरण 11.4. एक वस्तु 5 S में 20 J कार्य करती है। इसकी शक्ति कितनी है ?

हल– शक्ति (P) = किया गया कार्य / लिया गया समय

किया गया कार्य (W) = 20 J

लिया गया समय $(t) = 5s$

$$\text{शक्ति } (P) = \frac{W}{t}$$

$$\text{शक्ति } (P) = 4\,Js^{-1} = 4\,W$$

वस्तु की शक्ति 4 वाट है।

वस्तुनिष्ठ प्रश्न

1. यदि रमेश, रोहन से कम समय में समान कार्य करता है तो
   क) रमेश की सामर्थ्य अधिक है
   ख) रोहन की सामर्थ्य अधिक है
   ग) दोनों की सामर्थ्य समान है
   घ) रमेश की ऊर्जा सोहन से अधिक है

2. एक उड़ती हुई पतंग में है –
   क) केवल स्थितिज ऊर्जा
   ख) केवल गतिज ऊर्जा
   ग) गतिज एवं स्थितिज ऊर्जा दोनों
   घ) ना तो गतिज ऊर्जा और ना ही स्थितिज ऊर्जा

3. किसी वस्तु पर किया गया कार्य, निम्न में से किस पर निर्भर नहीं करता।
   क) विस्थापन
   ख) आरोपित बल
   ग) बल एवं विस्थापन के बीच कोण
   घ) वस्तु का प्रारिम्भक वेग

4. यदि किसी वस्तु पर F बल लगाने पर v वेग उत्पन्न हो जाता है तो इसकी सामर्थ्य होगी–
   क) Fv
   ख) $\frac{F}{v}$
   ग) Fv^2
   घ) $\frac{F^2}{v^2}$

5. यदि 1g एवं. 4 g वाले दो पिंडों की गतिज ऊर्जा समान है तो उनके संवेगों का अनुपात होगा –
   क) 1:4
   ख) 1:8
   ग) 1:2
   घ) 1:16