પ્રકરણ 10

R3L7Z4

કાર્ય અને ઊર્જા
(Work And Energy)

અગાઉનાં કેટલાંક પ્રકરણોમાં આપણે વસ્તુઓની ગતિનું વર્ણન કરવાની રીતો, ગતિનાં કારણ તથા ગુરુત્વાકર્ષણ વિશે ચર્ચા કરી ચૂક્યા છીએ. એક બીજો ખ્યાલ કે જે આપણને અનેક કુદરતી ઘટનાઓને સમજવા તથા તેનું અર્થઘટન કરવામાં મદદરૂપ થાય છે તે છે કાર્ય. ઊર્જા અને પાવરનો કાર્ય સાથે ગાઢ સંબંધ છે. આ પ્રકરણમાં આપણે આ ખ્યાલોનો અભ્યાસ કરીશું.

બધા સજીવોને ખોરાકની જરૂરિયાત હોય છે. જીવિત રહેવા માટે સજીવોને અનેક મૂળભૂત ગતિવિધિઓ એટલે કે શારીરિક કામો કરવાં પડે છે. આ ગતિવિધિઓ (પ્રવૃત્તિઓ)ને આપણે 'જૈવિક પ્રક્રિયા' કહીએ છીએ. આ બધાં કાર્યો માટેની ઊર્જા ખોરાકમાંથી પ્રાપ્ત થાય છે. કેટલાંક અન્ય કાર્યો જેમકે, રમવું, ગાવું, વાંચવું, લખવું, વિચારવું, કૂદવું, દોડવું તથા સાઇકલ ચલાવવી આ બધાં માટે પણ આપણને ઊર્જાની જરૂર પડે છે. મુશ્કેલ કાર્યો માટે આપણને વધારે ઊર્જાની જરૂર પડે છે.

પ્રાણીઓ પણ પ્રવૃત્તિઓમાં વ્યસ્ત રહે છે. ઉદાહરણ તરીકે તેઓ દોડે કે કૂદે છે. તેઓ લડે છે, પોતાના દુશ્મનોથી દૂર ભાગે છે. ખોરાક માટે શોધખોળ તેમજ રહેઠાણ માટે તેઓ સુરક્ષિત જગ્યા શોધે છે. આ સિવાય પણ કેટલાંક પ્રાણીઓને આપણે ભાર ઊંચકવાં, ભાર વહન કરવા, ગાડું ખેંચવા, ખેતર ખેડવાના ઉપયોગમાં લઈએ છીએ. આ બધી પ્રવૃત્તિઓ માટે ઊર્જા જરૂરી છે.

મશીન વિશે વિચારો. એવાં મશીનોની યાદી બનાવો, જેનો ઉપયોગ તમે કરો છો. તેમને કાર્ય કરવા માટે કઈ વસ્તુઓની જરૂરિયાત હોય છે ? કેટલાંક એન્જિનને પેટ્રોલ તથા ડીઝલ જેવા ઇંધણની જરૂરિયાત કેમ હોય છે ? શા માટે સજીવો અને મશીન (યંત્રો)ને ઊર્જાની જરૂરિયાત હોય છે ?

10.1 કાર્ય (Work)

કાર્ય શું છે ? આપણે રોજિંદા જીવનમાં જે રીતે 'કાર્ય' શબ્દનો ઉપયોગ કરીએ છીએ તે અને જે રૂપે આપણે તેને વિજ્ઞાનમાં પ્રયોગ કરીએ છીએ તેમાં તફાવત છે. એ બાબતોને સ્પષ્ટ કરવા માટે આપણે કેટલાંક ઉદાહરણો જોઈએ.

10.1.1 સખત મહેનત કરવા છતાં વધુ 'કાર્ય' થતું નથી ! (Not much 'Work' in spite of Working Hard !)

કમલી પરીક્ષાની તૈયારી કરી રહી છે. તેણી અધ્યયન કરવામાં ઘણો સમય વિતાવે છે. તે પુસ્તકો વાંચે છે, આકૃતિઓ દોરે છે, પોતાના વિચારોને વ્યવસ્થિત કરે છે, પ્રશ્નપત્રો એકઠાં કરે છે, વર્ગખંડમાં હાજર રહે છે, પોતાના મિત્રો સાથે સમસ્યાઓ પર વિચાર-વિમર્શ કરે છે તથા તે પ્રયોગો પણ કરે છે. આ પ્રવૃત્તિઓમાં તે ઘણીબધી ઊર્જા ખર્ચે છે. સામાન્ય શબ્દોમાં તે 'સખત મહેનત' કરી રહી છે. જો આપણે કાર્યને વૈજ્ઞાનિક પરિભાષા અનુસાર જોવા જોઈએ તો આ 'સખત મહેનત'માં ખૂબ જ ઓછું 'કાર્ય' સંકળાયેલ છે.

તમે એક વિશાળ ખડકને ધક્કો મારવા સખત કાર્ય કરી રહ્યા છો. માની લો કે તમારા ઘણા જ પ્રયત્નો છતાં પણ પથ્થર હલતો નથી. તમે પૂરેપૂરા થાકી ગયા છો તેમ છતાં તમે પથ્થર પર કોઈ કાર્ય કર્યું નથી કેમ કે પથ્થરનું સ્થાનાંતર થયું જ નથી.

તમે તમારા માથા ઉપર એક ભારે વસ્તુ મૂકીને થોડીક મિનિટો માટે સ્થિર ઊભા રહો. તમે થાકી જશો. તમે થાકી ગયા છો તથા તમે ઘણી શક્તિ વાપરી છે. શું તમે વસ્તુ ઉપર કંઈક કામ કરી રહ્યા છો ? આપણે વિજ્ઞાનમાં જે પ્રકારે 'કાર્ય' શબ્દનો અર્થ સમજીએ છીએ તે રીતે કાર્ય થતું નથી.

કુદરતી દશ્યોને જોવા માટે તમે સીડીઓ ચડીને મકાનના બીજા માળ સુધી પહોંચી જાવ છો. તમે એક ઊંચા ઝાડ ઉપર પણ ચઢી શકો છો. વૈજ્ઞાનિક પરિભાષા મુજબ આ પ્રવૃત્તિમાં ઘણું કાર્ય વણાયેલ છે.

આપણા રોજિંદા જીવનમાં આપણે કોઈ પણ લાભદાયક શારીરિક કે માનસિક મહેનતને જ કાર્ય સમજીએ છીએ. કેટલીક પ્રવૃત્તિઓ જેવી કે મેદાનમાં રમવું, મિત્રો સાથે વાતચીત કરવી, કોઈ ધૂનને ગણગણાવી, કોઈ ફિલ્મને જોવી, કોઈ સમારંભમાં હાજરી આપવી, આ બધાને ઘણી વાર કાર્ય સમજવામાં આવતું નથી. કાર્ય શું છે, તે એ વાત ઉપર આધારિત છે કે આપણે તેને કેવી રીતે વ્યાખ્યાયિત કરીએ છીએ. વિજ્ઞાનમાં આપણે કાર્ય શબ્દનો અને વ્યાખ્યાનો અલગ રીતે ઉપયોગ કરીએ છીએ તે જાણવા માટે નીચે પ્રકારની પ્રવૃત્તિ કરીએ :

પ્રવૃત્તિ 10.1

- ઉપર જણાવેલ ફકરાઓમાં આપણે સંખ્યાબંધ પ્રવૃત્તિઓની ચર્ચા કરી છે, જે સામાન્ય રીતે આપણા રોજિંદા જીવનમાં

જીવનમાં કાર્ય માનવામાં આવે છે. આ દરેક પ્રવૃત્તિ માટે નીચે આપેલા પ્રશ્નો પૂછો અને તેના જવાબ આપો :

(i) કઈ વસ્તુ પર કાર્ય થયું ?

(ii) વસ્તુ પર કઈ ક્રિયા થઈ ?

(iii) કોણ (શું) કાર્ય કરી રહ્યું છે ?

10.1.2 કાર્યની વૈજ્ઞાનિક સંકલ્પના

(Scientific Conception of Work)

વિજ્ઞાનના દૃષ્ટિકોણથી આપણે કાર્યને કેવા પ્રકારે જોઈએ છીએ અને વ્યાખ્યાયિત કરીએ છીએ આ સમજવા માટે આવો, કેટલીક પરિસ્થિતિઓ પર વિચાર કરીએ.

કોઈ સપાટી પર રાખેલા એક લીસા કાંકરાને (Pebble) ધક્કો મારો. કાંકરો થોડુંક અંતર કાપે છે. તમે કાંકરા પર બળ લગાડ્યું જેનાથી કાંકરો થોડોક સ્થાનાંતરિત થયો. આ સ્થિતિમાં કાર્ય થયું તેમ કહેવાય.

એક છોકરી, કોઈ ટ્રોલીને ખેંચે છે અને ટ્રોલી થોડું અંતર કાપે છે. છોકરીએ ટ્રોલી પર બળ લગાવ્યું અને તેનું સ્થાનાંતર થયું, એટલે કાર્ય થયું.

એક પુસ્તકને થોડે ઊંચે સુધી ઉપાડો. આવું કરવા માટે તમારે બળ લગાડવું જ પડશે. પુસ્તક ઊંચુ જાય છે. પુસ્તક ઉપર એક બળ લગાડ્યું અને પુસ્તક ખસ્યું એટલે કાર્ય થયું તેમ કહેવાય.

ઉપરની પરિસ્થિતિઓ ધ્યાનપૂર્વક જોવાથી એ સ્પષ્ટ થાય છે કે કાર્ય કરવા માટે બે શરતોને સંતોષવી જરૂરી છે : (i) વસ્તુ ઉપર કંઈક બળ લગાડવું જોઈએ અને (ii) વસ્તુનું સ્થાનાંતર થવું જોઈએ.

જો ઉપરોક્ત શરતોમાંથી, કોઈપણ એક અસ્તિત્વમાં ન હોય તો કાર્ય થતું નથી. વિજ્ઞાનમાં કાર્યને સમજવા માટે આ વિચારધારાનો ઉપયોગ થાય છે.

એક બળદ કોઈ ગાડાને ખેંચી રહ્યો છે. ગાડું ગતિ કરે છે. ગાડા પર બળ લાગી રહ્યું છે અને ગાડું થોડું અંતર કાપે છે. શું તમારા મતે આ સ્થિતિમાં કાર્ય થઈ રહ્યું છે ?

પ્રવૃત્તિ 10.2

- તમારા રોજિંદા જીવનની કેટલીક પરિસ્થિતિઓ પર વિચાર કરો - જેમાં કાર્ય સમાયેલ હોય.
- તેની યાદી બનાવો.
- તમારા મિત્રો સાથે વિચાર-વિમર્શ કરો કે શું દરેક પરિસ્થિતિમાં કાર્ય થઈ રહ્યું છે ?
- તમારા જવાબોનાં કારણો જાણવાનો પ્રયત્ન કરો.
- જો કાર્ય થયું છે તો વસ્તુ ઉપર કયું બળ કાર્ય કરી રહ્યું છે ?
- એ કઈ વસ્તુ છે કે જેના પર કાર્ય થયું છે ?
- જે વસ્તુ પર કાર્ય થયું છે, તેનું શું થાય છે ?

પ્રવૃત્તિ 10.3

- એવી પરિસ્થિતિઓ પર વિચાર કરો કે જેમાં વસ્તુ પર બળ લગાડવા છતાં પણ સ્થાનાંતરિત થતી ન હોય.
- એવી પરિસ્થિતિ ઉપર પણ વિચાર કરો જ્યારે કોઈ વસ્તુ પર બળ લાગ્યા વિના સ્થાનાંતરિત થઈ જાય. દરેક માટે જેટલી પરિસ્થિતિઓ તમે વિચારી શકો તેની યાદી બનાવો.
- તમારા મિત્રો સાથે વિચાર-વિમર્શ કરો કે શું આ સ્થિતિમાં કાર્ય થયું છે ખરું ?

10.1.3 અચળ બળ દ્વારા થયેલ કાર્ય

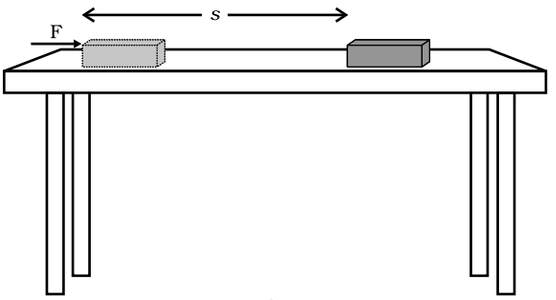
(Work Done by a Constant Force)

વિજ્ઞાનમાં કાર્યને કેવી રીતે વ્યાખ્યાયિત કરવામાં આવે છે ? આ સમજવા માટે પહેલાં આપણે એ સ્થિતિ પર વિચાર કરીએ છીએ કે જ્યારે બળ સ્થાનાંતરની દિશામાં લાગી રહ્યું હોય.

માની લો કે કોઈ વસ્તુ ઉપર સતત બળ F લાગે છે. માની લો કે વસ્તુ બળની દિશામાં s જેટલું સ્થાનાંતર કરે છે (આકૃતિ 10.1). માની લો કે W કરેલું કાર્ય છે. કાર્યની વ્યાખ્યા મુજબ કરેલ કાર્ય એ બળ તથા સ્થાનાંતરના ગુણાકાર જેટલું હોય છે.

કરેલું કાર્ય = બળ × સ્થાનાંતર

$$W = Fs \qquad (10.1)$$



આકૃતિ 10.1

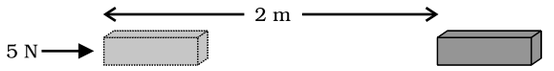
આમ, કોઈ વસ્તુ પર લાગતા બળ દ્વારા થયેલ કાર્ય બળના મૂલ્ય તથા બળની દિશામાં થયેલ સ્થાનાંતરના ગુણાકાર બરાબર હોય છે. કાર્ય ફક્ત મૂલ્ય જ ધરાવે છે તથા તેને કોઈ દિશા હોતી નથી.

સમીકરણ (10.1) માં જો F = 1 N તથા s = 1 m હોય, તો બળ દ્વારા થયેલ કાર્ય 1Nm હશે. અહીં કાર્યનો એકમ ન્યૂટન મીટર (Nm) અથવા જૂલ (J) છે. આમ, 1 J એ કોઈ વસ્તુ

પર કરેલાં કાર્યની તે માત્રા છે જ્યારે 1N જેટલું બળ, વસ્તુને બળની કાર્યરેખાની દિશામાં 1m જેટલું સ્થાનાંતર કરાવે.

સમીકરણ (10.1)ને ધ્યાનપૂર્વક જુઓ. જો વસ્તુ ઉપર લાગતું બળ શૂન્ય હોય તો કેટલું કાર્ય થયું હશે ? જો વસ્તુનું સ્થાનાંતર શૂન્ય હોય તો કેટલું કાર્ય થયું હશે ? એ શરતોનો સંદર્ભ લો કે જે કાર્ય થવા માટે જરૂરી છે.

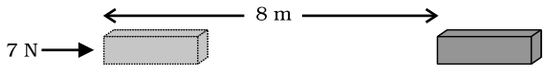
ઉદાહરણ 10.1 : કોઈ વસ્તુ પર 5 N બળ લાગી રહ્યું છે. વસ્તુ બળની દિશામાં 2 m ખસે છે (આકૃતિ 10.2). જો બળ વસ્તુના સમગ્ર સ્થાનાંતર દરમિયાન લાગતું હોય, તો થયેલું કાર્ય $5N \times 2m = 10$ Nm અથવા 10 J થશે.



આકૃતિ 10.2

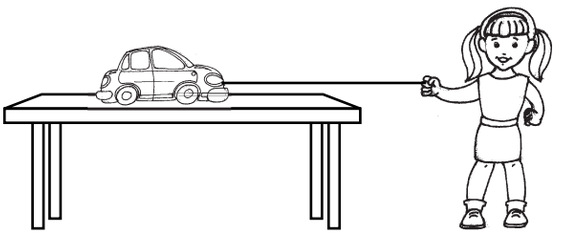
પ્રશ્નો :

1. કોઈ વસ્તુ ઉપર 7 N નું બળ લાગે છે. માની લો કે બળની દિશામાં વસ્તુનું સ્થાનાંતર 8 m છે (આકૃતિ 10.3) અને બળ વસ્તુના સમગ્ર સ્થાનાંતર દરમિયાન લાગી રહ્યું છે. આ સ્થિતિમાં થયેલું કાર્ય કેટલું હશે ?



આકૃતિ 10.3

એક બીજી સ્થિતિ પર વિચાર કરો જેમાં બળ તથા સ્થાનાંતર એક જ દિશામાં હોય. એક બાળકી કોઈ રમકડાની કારને આકૃતિ 10.4 માં દર્શાવ્યા મુજબ જમીનને સમાંતર ખેંચી રહી છે. બાળકીએ કારના સ્થાનાંતરની દિશામાં બળ લગાડ્યું છે. આ સ્થિતિમાં કરેલું કાર્ય બળ તથા સ્થાનાંતરના ગુણાકાર જેટલું થશે. આ પ્રકારની સ્થિતિમાં બળ દ્વારા થયેલું કાર્ય ધન ગણાય છે.



આકૃતિ 10.4

હવે એક એવી સ્થિતિ પર વિચાર કરો જેમાં એક વસ્તુ ચોક્કસ દિશામાં નિયમિત વેગથી ગતિ કરે છે. હવે એક અવરોધક બળ F, વિરુદ્ધ દિશામાં લાગી રહ્યું છે. એટલે કે બંનેની દિશાઓની વચ્ચે 180°નો કોણ બને છે. આવી સ્થિતિમાં બળ F વડે થયેલું કાર્ય ઋણાત્મક કહેવાય છે અને તેને ઋણ ચિહ્ન દ્વારા દર્શાવાય છે. બળ દ્વારા થયેલ કાર્ય $F \times (-s)$ અથવા $(-F \times s)$ થાય.

ઉપરની ચર્ચા પરથી સ્પષ્ટ છે કે, કોઈ બળ દ્વારા કરેલ કાર્ય ધન અથવા ઋણ બંનેમાંથી કોઈ એક હોઈ શકે છે. આને સમજવા માટે નીચેની પ્રવૃત્તિ કરીએ.

પ્રવૃત્તિ 10.4

- કોઈ વસ્તુ ઉપર ઉઠાવો. તમારા દ્વારા વસ્તુ ઉપર લગાવેલ બળ દ્વારા કાર્ય થાય છે. વસ્તુ ઉપર તરફ જાય છે. તમારા દ્વારા લગાવવામાં આવેલું બળ તેના સ્થાનાંતરની દિશામાં છે, જો કે વસ્તુ ઉપર ગુરુત્વીય બળ પણ કાર્યરત છે.
- આમાંથી કયું બળ ધનાત્મક કાર્ય કરી રહ્યું છે ?
- કયું બળ ઋણાત્મક કાર્ય કરી રહ્યું છે ?
- કારણ જણાવો.

જ્યારે બળ સ્થાનાંતરની દિશાથી વિરુદ્ધ દિશામાં લાગે છે ત્યારે થતું કાર્ય ઋણ હોય છે. જ્યારે બળ સ્થાનાંતરની દિશામાં લાગે છે તો થતું કાર્ય ધન હોય છે.

ઉદાહરણ 10.2 : એક કુલી 15 kg નો સામાન જમીન પરથી ઉપાડીને જમીનથી 1.5 m ઊંચાઈએ પોતાનાં માથા પર રાખે છે. તેના દ્વારા સામાન ઉપર કરેલ કાર્યની ગણતરી કરો.

ઉકેલ :

સામાનનું દળ m = 15 kg તથા

સ્થાનાંતર s = 1.5 m

કરેલ કાર્ય $w = F \times s = mg \times s$

$= 15\ kg \times 10\ ms^{-2} \times 1.5\ m$

$= 225\ kg\ m\ s^{-2}\ m$

$= 225\ N\ m = 225\ J$

કુલી દ્વારા થયેલું કાર્ય 225 J છે.

પ્રશ્નો :

1. આપણે ક્યારે કહીએ છીએ કે કાર્ય થયું છે ?
2. જ્યારે કોઈ વસ્તુ ઉપર લગાવેલું બળ એના સ્થાનાંતરની દિશામાં હોય તો કરેલ કાર્યનું સૂત્ર લખો.
3. 1 J કાર્યને વ્યાખ્યાયિત કરો.
4. બળદની એક જોડી ખેતર ખેડતી વખતે કોઈ હળ પર 140 N બળ લગાવે છે. ખેડાયેલ ખેતરની લંબાઈ 15 m છે. ખેતરને લંબાઈની દિશામાં ખેડવા માટે કેટલું કાર્ય કરવું પડશે ?

10.2 ઊર્જા (Energy)

ઊર્જા વિના જીવન અસંભવ છે. ઊર્જાની માંગ દિન-પ્રતિદિન વધતી જાય છે. આપણને ઊર્જા ક્યાંથી પ્રાપ્ત થાય છે ? સૂર્ય આપણા માટે ઊર્જાનો સૌથી મોટો કુદરતી સ્રોત છે. આપણા ઘણા ઊર્જા સ્રોત સૂર્યમાંથી પ્રાપ્ત થાય છે. આપણે પરમાણુઓનાં કેન્દ્ર, પૃથ્વીના અંદરના ભાગોમાંથી તથા સમુદ્રનાં મોજાંમાંથી પણ ઊર્જા મેળવી શકીએ છીએ. શું તમે ઊર્જાના બીજા સ્રોત વિશે વિચારી શકો છો ?

પ્રવૃત્તિ 10.5

- ઊર્જાના કેટલાક સ્રોત ઉપર દર્શાવ્યા છે. ઊર્જાના બીજા ઘણા સ્રોત છે. તેની યાદી બનાવો.
- નાના જૂથમાં વિચાર-વિમર્શ કરો કે કેવી રીતે ઊર્જાના કેટલાક સ્રોત સૂર્યના લીધે છે.
- શું ઊર્જાના કેટલાક એવા સ્રોત પણ છે જે સૂર્યના કારણે નથી ?

ઊર્જા શબ્દનો ઉપયોગ આપણા રોજિંદા જીવનમાં વારંવાર થાય છે, પરંતુ વિજ્ઞાનમાં આનો ચોક્કસ અને યોગ્ય અર્થ છે. આવો, નીચે દર્શાવેલ ઉદાહરણો પર વિચાર કરીએ. જ્યારે તીવ્ર ગતિથી ક્રિકેટનો દડો સ્થિર વિકેટ (સ્ટમ્પ)ને અથડાય છે ત્યારે વિકેટ દૂર ફેંકાઈ જાય છે. તે જ રીતે જ્યારે આપણે કોઈ વસ્તુને કોઈ ચોક્કસ ઊંચાઈ સુધી ઉપાડીએ છીએ ત્યારે તે કાર્ય કરવાની ક્ષમતા મેળવે છે. તમે ચોક્કસ જોયું હશે કે ઉપર સુધી ઉઠાવેલો હથોડો જ્યારે લાકડાના કોઈ ટુકડા ઉપર રાખેલી ખીલી ઉપર અથડાય છે ત્યારે તે ખીલી લાકડામાં ઘૂસી જાય છે. આપણે બાળકોને રમકડા (જેમકે રમકડાની કાર)માં ચાવી ભરતા જોયા હશે, અને જ્યારે તે રમકડું કોઈ ભોંયતળિયા પર રાખવામાં આવે તો તે ગતિ કરવા લાગે છે. જ્યારે કોઈ ફુગ્ગામાં હવા ભરી તેને દબાવીએ છીએ ત્યારે એના આકારમાં ફેરફાર થાય છે. જો આપણે ફુગ્ગાને ઓછું બળ આપીને દબાવીએ તો લાગુ પાડેલ બળ દૂર કરતાં તે પોતાના મૂળ આકારમાં પાછો આવે છે; પરંતુ, જો આપણે ફુગ્ગાને વધારે બળથી દબાવીએ તો મોટા અવાજથી ફૂટી પણ શકે છે. આ બધાં ઉદાહરણમાં વસ્તુઓ જુદા-જુદા પ્રકારથી કાર્ય કરવાની ક્ષમતા મેળવે છે. જો કોઈ વસ્તુમાં કાર્ય કરવાની ક્ષમતા હોય તો કહી શકાય કે તેમાં ઊર્જા છે. જે વસ્તુ કાર્ય કરે છે તે ઊર્જા ગુમાવે છે અને જે વસ્તુ ઉપર કાર્ય થાય છે તે ઊર્જા મેળવે છે.

જો કોઈ વસ્તુમાં ઊર્જા હોય તો તે કેવી રીતે કાર્ય કરે છે ? કોઈ વસ્તુ જેમાં ઊર્જા છે તે બીજી કોઈ વસ્તુ ઉપર બળ લગાડી શકે છે. જ્યારે આવું થાય છે ત્યારે ઊર્જા પ્રથમ વસ્તુમાંથી બીજી વસ્તુમાં વહન પામે છે. બીજી વસ્તુ થોડી ઊર્જા પ્રાપ્ત કરતી હોવાથી કંઈક કાર્ય કરી શકે છે અને આ રીતે તે ગતિમાં આવી શકે છે. આમ, પ્રથમ વસ્તુમાં કાર્ય કરવાની ક્ષમતા હતી, જે દર્શાવે છે કે કોઈ પણ વસ્તુ જેમાં ઊર્જા છે તે કાર્ય કરી શકે છે.

આ પ્રકારે કોઈ વસ્તુમાં રહેલી ઊર્જા તેના કાર્ય કરવાની ક્ષમતાના રૂપમાં માપી શકાય છે, એટલા માટે ઊર્જાનો એકમ એ જ છે જે કાર્યનો એકમ છે. એટલે કે જૂલ (J). એક જૂલ કાર્ય કરવા માટેની આવશ્યક ઊર્જાની માત્રા 1 J હોય છે. ક્યારેક-ક્યારેક ઊર્જાનો મોટો એકમ કિલો જૂલ (kJ)નો ઉપયોગ થાય છે. 1 kJ, 1000 J બરાબર હોય છે. (1 kJ = 1000 J)

10.2.1 ઊર્જાના પ્રકાર (Forms of Energy)

આપણું સૌભાગ્ય છે કે જે વિશ્વમાં આપણે રહીએ છીએ તે આપણને અનેક પ્રકારની ઊર્જા પૂરી પાડે છે. જેમાં યાંત્રિકઊર્જા (સ્થિતિઊર્જા + ગતિઊર્જા), ઉષ્માઊર્જા, રાસાયણિકઊર્જા, વિદ્યુતઊર્જા અને પ્રકાશઊર્જાનો સમાવેશ થાય છે.

આ વિશે વિચારો !

તમે કેવી રીતે નક્કી કરશો કે કોઈ entity (સ્પીસીઝ-વસ્તુ જેનું અસ્તિત્વ છે) ઊર્જાનું સ્વરૂપ છે ? તમારા મિત્રો અને શિક્ષકો સાથે ચર્ચા કરો.



જેમ્સ પ્રેસકોટ જૂલ
(1818 – 1889)

જેમ્સ પ્રેસકોટ જૂલ (James Prescott Joule) એક પ્રતિભાશાળી બ્રિટિશ ભૌતિક શાસ્ત્રી હતા. તેઓ વિદ્યુત તથા ઉષ્માગતિકીય સંશોધનો માટે વિશેષ રૂપથી જાણીતા થયા. અન્ય શોધોની સાથે તેમણે વિદ્યુતપ્રવાહની ઉષ્મીય અસર વિશે નિયમ બનાવ્યો. તેમણે ઊર્જા-સંરક્ષણના નિયમને પ્રયોગાત્મક રૂપે ચકાસ્યા તથા ઉષ્માના યાંત્રિક તુલ્યાંકના મૂલ્યની શોધ કરી. ઊર્જા અને કાર્યના એકમનું નામ જૂલ તેમના જ સન્માન માટે રાખેલ છે.

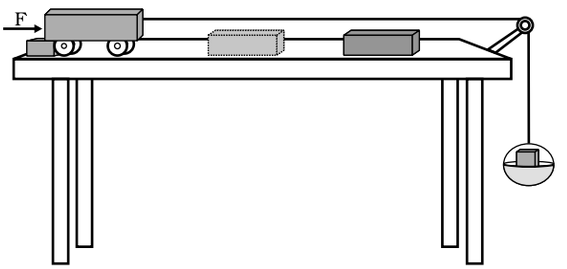
10.2.2 ગતિઊર્જા (Kinetic energy)

પ્રવૃત્તિ 10.6

- એક વજનદાર દડો લો. તેને રેતીના મોટા ઢગલા પર ફેંકો. ભીની રેતીની સપાટી પર આ પ્રવૃત્તિ સારી રીતે સમજી શકાશે. દડાને રેતી ઉપર લગભગ 25 cm ની ઊંચાઈથી ફેંકો. દડો રેતીમાં એક ખાડો બનાવી દેશે.
- આ પ્રવૃત્તિ 50 cm, 1 m તથા 1.5 m ની ઊંચાઈએથી પુનરાવર્તિત કરો.
- સુનિશ્ચિત કરો કે દરેક ખાડો સુસ્પષ્ટ દેખાય.
- દડાની ઊંચાઈ અનુસાર દરેક ખાડા પર નિશાન લગાવો.
- તેમની ઊંડાઈની સરખામણી કરો.
- તેમાંથી કયા ખાડાની ઊંડાઈ સૌથી વધુ છે ?
- કયા ખાડાની ઊંડાઈ સૌથી ઓછી છે ? કેમ ?
- દડાએ કયા કારણસર ઊંડો ખાડો બનાવ્યો ?
- વિચાર-વિમર્શ કરી તેનું વિશ્લેષણ કરો.

પ્રવૃત્તિ 10.7

- આકૃતિ 10.5 માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે સાધનો ગોઠવો.
- જાણીતા દળના લાકડાના બ્લૉકને એક ટ્રોલીની સામે ચોક્કસ અંતરે મૂકો.
- પલ્લામાં એક જાણીતું દળ મૂકો કે જેથી ટ્રોલી ગતિ શરૂ કરે.



આકૃતિ 10.5

- ટ્રોલી આગળ ગતિ કરીને લાકડાના બ્લૉકને અથડાશે.
- ટેબલ પર એક અવરોધક એવી રીતે રાખો કે બ્લૉકને અથડાયા બાદ ટ્રોલી ત્યાં અટકી જાય. બ્લૉક સ્થાનાંતરિત થાય.
- બ્લૉકનું સ્થાનાંતર માપો. આનો અર્થ એ થયો કે ટ્રોલી દ્વારા બ્લૉક પર કાર્ય થયું અને બ્લૉકે ઊર્જા મેળવી.
- આ ઊર્જા ક્યાંથી આવી ?
- પલ્લામાં મૂકેલા વજનમાં વધારો કરી આ પ્રયોગનું પુનરાવર્તન કરો. કયા કિસ્સામાં સ્થાનાંતર વધુ છે ?
- કયા કિસ્સામાં થતું કાર્ય વધુ છે ?
- આ પ્રવૃત્તિમાં ગતિમાન ટ્રોલી કાર્ય કરે છે અને તેથી તે ઊર્જા ધરાવે છે.

કોઈ ગતિમાન વસ્તુ કાર્ય કરી શકે છે. ઝડપથી ગતિ કરતી વસ્તુ તેના જેવી જ પણ ધીમેથી ગતિ કરતી વસ્તુની સાપેક્ષમાં વધારે કાર્ય કરી શકે છે. એક ગતિશીલ ગોળી, ઝડપથી ફૂંકાતો પવન, ગોળ ફરતું પૈંડું, એક ગતિશીલ પથ્થર કાર્ય કરી શકે છે. ગોળી પોતાના લક્ષ્યને કેવી રીતે વીંધી શકે છે ? પવન પવનચક્કીની પાંખોને કેવી રીતે ફેરવી શકે છે ? ગતિશીલ વસ્તુઓ ઊર્જા ધરાવતી હોય છે. આ ઊર્જાને આપણે ગતિઊર્જા કહીએ છીએ.

નીચે પડતું નારિયેળ, ગતિમાન કાર, ગબડતો પથ્થર, ઊડતું વિમાન, વહેતું પાણી, ઝડપથી ફૂંકાતો પવન, દોડતો ખેલાડી વગેરે ગતિ-ઊર્જા ધરાવે છે. ટૂંકમાં કોઈ વસ્તુમાં તેની ગતિને કારણે ધારણ થતી ઊર્જાને ગતિઊર્જા કહે છે. વસ્તુની ગતિઊર્જા તેની ઝડપ સાથે વધે છે.

કોઈ વસ્તુ તેની ગતિને કારણે કેટલી ઊર્જા ધરાવતી હશે ? વ્યાખ્યા પરથી આપણે કહી શકીએ કે કોઈ નિશ્ચિત વેગથી ગતિ કરતી વસ્તુની ગતિઊર્જા વસ્તુને તે વેગ પ્રાપ્ત કરવા માટે કરવા પડતા કાર્યના બરાબર હોય છે.

ચાલો, હવે આપણે વસ્તુની ગતિઊર્જાને એક સમીકરણ સ્વરૂપે રજૂ કરીએ. ધારો કે m દળની એક વસ્તુ u જેટલા નિયમિત વેગથી ગતિ કરી રહી છે. હવે ધારો કે, તેના પર F જેટલું બળ સ્થાનાંતરની દિશામાં લાગે છે, તેથી વસ્તુનું s જેટલું સ્થાનાંતર થાય છે. સમીકરણ (10.1) પરથી થયેલ કાર્ય W, F s જેટલું હશે. વસ્તુ પર થતાં કાર્યને કારણે તેના વેગમાં ફેરફાર થાય છે. ધારો કે તેનો વેગ u થી બદલાઈને v થાય છે. ધારો કે ઉત્પન્ન થતા પ્રવેગનું મૂલ્ય a છે.

આપણે ગતિનાં ત્રણ સમીકરણનો અભ્યાસ કર્યો. નિયમિત પ્રવેગ a થી ગતિ કરતી કોઈ વસ્તુના પ્રારંભિક વેગ (u), અંતિમ વેગ v તથા સ્થાનાંતર s વચ્ચેનો સંબંધ નીચે પ્રમાણે છે :

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

અથવા

$$s = \frac{v^2 - u^2}{2a} \qquad (10.2)$$

વિભાગ 9.4 પરથી આપણે જાણીએ છીએ કે $F = ma$. આ રીતે સમીકરણ (10.2)ને સમીકરણ (10.1)માં મૂકતાં આપણે બળ F દ્વારા કરવામાં આવેલ કાર્યને લખી શકીએ છીએ.

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

$$W = \frac{1}{2} m (v^2 - u^2) \qquad (10.3)$$

જો વસ્તુ સ્થિર અવસ્થામાંથી પોતાની ગતિની શરૂઆત કરતી હોય તો એટલે કે $u = 0$, હોય તો,

$$W = \frac{1}{2} mv^2 \qquad (10.4)$$

સ્પષ્ટ છે કે કરેલ કાર્ય વસ્તુની ગતિઊર્જામાં થયેલ ફેરફાર જેટલું હોય છે.

જો $u = 0$, તો થયેલ કાર્ય $\frac{1}{2} mv^2$

આમ, m દળ તથા v જેટલા નિયમિત વેગથી ગતિ કરતી વસ્તુની ગતિઊર્જાનું મૂલ્ય,

$$E_k = \frac{1}{2} mv^2 \qquad (10.5)$$

ઉદાહરણ 10.3 : 15 kg દળની એક વસ્તુ 4 ms^{-1} ના નિયમિત વેગથી ગતિ કરે છે. વસ્તુની ગતિઊર્જા કેટલી હશે ?

ઉકેલ :

વસ્તુનું દળ m = 15 kg

વસ્તુનો વેગ $v = 4 \text{ m s}^{-1}$

સમીકરણ (10.5) પરથી,

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

$$= \frac{1}{2} \times 15 \text{ kg} \times 4 \text{ m s}^{-1} \times 4 \text{ m s}^{-1}$$

$$= 120 \text{ J}$$

વસ્તુની ગતિઊર્જા 120 J છે.

ઉદાહરણ 10.4 : જો કોઈ કારનું દળ 1500 kg હોય, તો તેના વેગને 30 km h^{-1} થી વધારીને 60 km h^{-1} કરવા માટે કેટલું કાર્ય કરવું પડશે ?

ઉકેલ :

કારનું દળ m = 1500 kg

કારનો પ્રારંભિક વેગ $u = 30 \text{ km h}^{-1}$

$$= \frac{30 \times 1000 \text{ m}}{60 \times 60 \text{ s}} = \frac{25}{3} \text{ m s}^{-1}$$

આ રીતે કારનો અંતિમ વેગ $v = 60 \text{ km h}^{-1}$

$$= \frac{50}{3} \text{ m s}^{-1}$$

તેથી કારની પ્રારંભિક ગતિઊર્જા $E_{ki} = \frac{1}{2} mu^2$

$$= \frac{1}{2} \times 1500 \text{ kg} \times (\frac{25}{3} \text{ m s}^{-1})^2$$

$$= \frac{156250}{3} \text{ J}$$

આ જ રીતે કારની અંતિમ ગતિઊર્જા

$$E_{kf} = \frac{1}{2} \times 1500 \text{ kg} \times (\frac{50}{3} \text{ m s}^{-1})^2$$

$$= \frac{625000}{3} \text{ J}$$

આમ, થયેલ કાર્ય = ગતિઊર્જામાં ફેરફાર

$$= E_{kf} - E_{ki} = 156250 \text{ J}$$

પ્રશ્નો :

1. વસ્તુની ગતિઊર્જા એટલે શું ?
2. વસ્તુની ગતિઊર્જાનું સૂત્ર લખો.
3. 5 m s^{-1}ના વેગથી ગતિ કરતી m દળની વસ્તુની ગતિઊર્જા 25 J છે. જો વેગને બમણો કરી દેવામાં આવે, તો તેની ગતિઊર્જા કેટલી થશે ? જો વેગને ત્રણ ગણો કરવામાં આવે તો ગતિઊર્જા કેટલી થશે ?

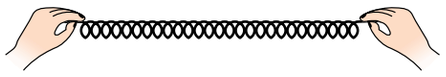
10.2.3 સ્થિતિઊર્જા (Potential Energy)

પ્રવૃત્તિ 10.8

- એક રબરની રિંગ લો.
- તેના એક છેડાને પકડીને બીજો છેડો ખેંચો. રિંગ ખેંચાશે.
- રિંગના કોઈ એક છેડાને છોડી દો.
- શું થાય છે ?
- રબર પોતાની મૂળ લંબાઈ મેળવવાનો પ્રયત્ન કરશે. સ્પષ્ટ છે કે રબરે તેના વિસ્તરણની સ્થિતિમાં કંઈક ઊર્જા મેળવી છે.
- જ્યારે ખેંચાય ત્યારે તે કેવી રીતે ઊર્જા મેળવે છે ?

પ્રવૃત્તિ 10.9

- એક સ્લિંકી (slinky-લાંબી સ્પ્રિંગ) લો.
- આકૃતિમાં દર્શાવ્યા પ્રમાણે તેનો એક છેડો તમારા મિત્રને પકડવાનું કહો. તમે બીજા છેડાને પકડો તથા મિત્રથી દૂર જાઓ. હવે તમે સ્લિંકીને છોડી દો.



- શું થાય છે ?
- સ્લિંકીને ખેંચવાથી તે કેવી રીતે ઊર્જા મેળવે છે ?
- શું સંકોચન સ્થિતિમાં પણ સ્લિંકી ઊર્જા મેળવશે ?

પ્રવૃત્તિ 10.10

- એક રમકડાની કાર લો. એમાં ચાવી ભરો.
- કારને જમીન ઉપર મૂકો.
- શું તે ચાલે છે ?
- તેણે ઊર્જા ક્યાંથી મેળવી ?
- શું મેળવેલ ઊર્જા ચાવી દ્વારા ફેરવેલા આંટાઓની સંખ્યા ઉપર આધારિત છે ?
- તમે આની તપાસ કેવી રીતે કરશો ?

પ્રવૃત્તિ 10.11

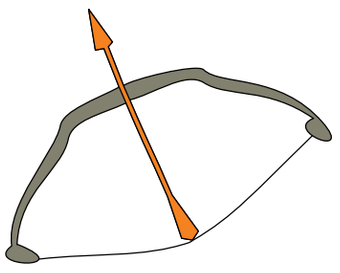
- કોઈ વસ્તુને એક ચોક્કસ ઊંચાઈ સુધી ઉઠાવો. વસ્તુ હવે કાર્ય કરી શકે છે. છોડી દેવાથી તે નીચે પડે છે.
- આનો અર્થ એ થાય છે કે એણે થોડીક ઊર્જા ધારણ કરી લીધી છે. વધુ ઊંચે લઈ જતા તે વધારે કાર્ય કરી શકે છે અને આ પ્રકારે એમાં વધારે ઊર્જાનો સંગ્રહ થઈ જાય છે.
- આને ઊર્જા ક્યાંથી મળે છે ? તે વિચારો અને વિચાર-વિમર્શ કરો.

ઉપર્યુક્ત પરિસ્થિતિઓમાં વસ્તુ ઉપર કરેલ કાર્યના લીધે એમાં ઊર્જાનો સંગ્રહ થાય છે. કોઈ વસ્તુમાં સ્થાનાંતર કરેલી ઊર્જા વસ્તુના વેગમાં કે ઝડપમાં ફેરફાર કરવા માટે ના વપરાય તો તેમાં સ્થિતિઊર્જા રૂપે સંગ્રહ પામે છે.

તમે જ્યારે રબર રિંગને ખેંચો છો ત્યારે તેમાં ઊર્જાનું સ્થાનાંતર કરો છો. રબર રિંગમાં સ્થાનાંતર થયેલ ઊર્જા તેની સ્થિતિઊર્જા બને છે. કોઈ રમકડાંની કારમાં ચાવી ભરતી વખતે તમે કાર્ય કરો છો તે તેની અંદરની કમાનમાં સ્થાનાંતર પામતી ઊર્જા સ્થિતિઊર્જા રૂપે સંગ્રહ પામે છે. કોઈ વસ્તુ દ્વારા તેની સ્થિતિ અથવા બંધારણ દ્વારા ધારણ થતી ઊર્જાને સ્થિતિઊર્જા કહે છે.

પ્રવૃત્તિ 10.12

- વાંસની એક પટ્ટી લો અને તેમાંથી આકૃતિ 10.6 માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે એક ધનુષ્ય તૈયાર કરો.
- એક હલકી દંડીના બનેલા તીરનો એક છેડો ધનુષ્યની પણછ પર રાખો.
- હવે પણછને ખેંચી તીરને છોડો.
- તીર ધનુષ્યથી દૂર જાય છે તે નોંધો તથા ધનુષ્યના આકારમાં થતો ફેરફાર નોંધો.
- ધનુષ્યના આકારમાં થતા ફેરફારના કારણે તેમાં સંગ્રહ પામેલી સ્થિતિઊર્જા તીરને ગતિઊર્જા રૂપે મળે છે. જેથી તીર ગતિ કરીને દૂર પડે છે.



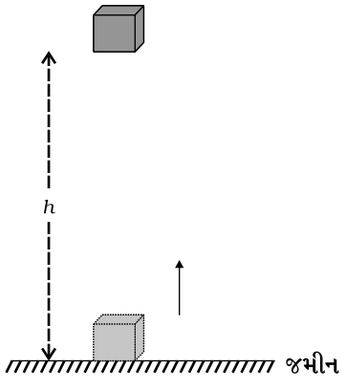
આકૃતિ 10.6 : ધનુષ્યની ખેંચેલી પણછ પર રાખેલ તીર

10.2.4 ઊંચાઈએ રહેલી વસ્તુની સ્થિતિઊર્જા (Potential Energy of an Object at a Height)

કોઈ વસ્તુને ઊંચાઈ પર લઈ જતાં તેની ઊર્જામાં વધારો થાય છે કારણ કે વસ્તુને ઉપર લઈ જવા માટે ગુરુત્વાકર્ષણ બળની વિરુદ્ધમાં કાર્ય કરવું પડે છે. વસ્તુમાં સંગ્રહ પામતી આ પ્રકારની ઊર્જાને તેની ગુરુત્વીય સ્થિતિઊર્જા કહે છે.

જમીનથી ઉપર કોઈ બિંદુ પાસે વસ્તુની ગુરુત્વીય સ્થિતિઊર્જાને, વસ્તુને જમીન પરથી તે બિંદુ સુધી લઈ જવા માટે ગુરુત્વીય બળની વિરુદ્ધમાં કરવા પડતા કાર્ય દ્વારા વ્યાખ્યાયિત કરવામાં આવે છે.

કોઈ ઊંચાઈ પર વસ્તુની ગુરુત્વીય સ્થિતિઊર્જાનું સૂત્ર મેળવવું સરળ છે.



આકૃતિ 10.7

એક m દળ ધરાવતી વસ્તુ લો. તેને જમીનથી h ઊંચાઈ સુધી લઈ જવામાં આવે છે. આ માટે બળની જરૂર પડશે. વસ્તુને આપેલ ઊંચાઈ સુધી લઈ જવા માટે જરૂરી લઘુતમ બળ વસ્તુના વજનબળ એટલે કે mg જેટલું હશે. વસ્તુ પર કરેલા કાર્ય જેટલી ઊર્જા તેમાં સંગ્રહ પામે છે. ધારો કે, વસ્તુ પર ગુરુત્વીય બળની વિરુદ્ધમાં કરેલ કાર્ય W છે. આમ,

કરેલ કાર્ય W = બળ × સ્થાનાંતર

= mg × h

= mgh

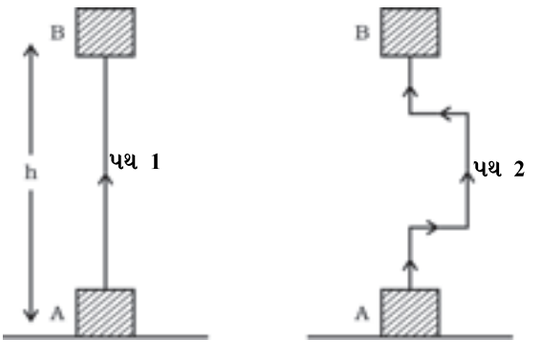
વસ્તુ પર કરેલ કાર્ય mgh જેટલું છે તેથી વસ્તુને mgh જેટલી ઊર્જા મળે છે, જે વસ્તુની સ્થિતિઊર્જા (E_p) છે.

$E_p = mgh$ (10.6)

નોંધ લો

વસ્તુની કોઈ ઊંચાઈ પર સ્થિતિઊર્જા જમીનની સપાટી પર કે પછી તમારા દ્વારા પસંદ કરવામાં આવેલ શૂન્ય તલ પર આધાર રાખે છે. કોઈ વસ્તુની આપેલ સ્થિતિ માટે એક સમતલની સાપેક્ષમાં સ્થિતિઊર્જાનું મૂલ્ય કંઈક હોઈ શકે તો બીજા કોઈ સમતલની સાપેક્ષમાં સ્થિતિ ઊર્જાનું મૂલ્ય કંઈક જુદું પણ હોઈ શકે છે.

અહીં ધ્યાનમાં લેવા જેવી વાત એ છે કે, ગુરુત્વીય બળ દ્વારા થયેલ કાર્ય વસ્તુના પ્રારંભિક તથા અંતિમ સ્થાન પર આધાર રાખે છે. તેના ગતિપથ પર આધાર રાખતું નથી. આકૃતિ 10.8માં આવી એક સ્થિતિ દર્શાવેલ છે જેમાં એક બ્લૉકને સ્થિતિ A થી સ્થિતિ B સુધી બે જુદા-જુદા પથ દ્વારા પહોંચાડાય છે. ધારો કે ઊંચાઈ AB = h. બંને સ્થિતિઓમાં વસ્તુ પર થયેલ કાર્ય mgh છે.



આકૃતિ 10.8

ઉદાહરણ 10.5 : 10 kg દળની એક વસ્તુને જમીનથી 6 મીટરની ઊંચાઈ સુધી લઈ જવામાં આવે છે. આ વસ્તુમાં સંગ્રહ પામતી ઊર્જાની ગણતરી કરો. $g = 9.8\ m\ s^{-2}$

ઉકેલ :

વસ્તુનું દળ m = 10 kg

ઊંચાઈ h = 6 m

ગુરુત્વપ્રવેગ $g = 9.8\ m\ s^{-2}$

સમીકરણ (10.6) પરથી,

સ્થિતિઊર્જા = mgh

$= 10\ kg \times 9.8\ m\ s^{-2} \times 6\ m$

= 588 J

સ્થિતિઊર્જા 588 J છે.

ઉદાહરણ 10.6 : 12 kg દળની એક વસ્તુ જમીન પરથી અમુક ઊંચાઈ પર આવેલ છે. જો આ વસ્તુની સ્થિતિઊર્જા 480 J હોય, તો વસ્તુની જમીનની સાપેક્ષ ઊંચાઈ શોધો. $g = 10\ m\ s^{-2}$ લો.

ઉકેલ :

વસ્તુનું દળ $m = 12\ kg$

સ્થિતિઊર્જા $E_P = 480\ J$

$$E_P = mgh$$

$$480\ J = 12\ kg \times 10\ m\ s^{-2} \times h$$

$$h = \frac{480\ J}{120\ kg\ m\ s^{-2}}$$

$$= 4\ m$$

વસ્તુ 4 m ની ઊંચાઈ પર આવેલ છે.

10.2.5 શું ઊર્જાનાં જુદાં-જુદાં સ્વરૂપ આંતર રૂપાંતરણીય છે ? (Are various energy forms interconvertible ?)

શું આપણે ઊર્જાના એક સ્વરૂપને બીજા સ્વરૂપમાં રૂપાંતરિત કરી શકીએ ? કુદરતમાં આપણને ઊર્જાના રૂપાંતરણનાં અનેક ઉદાહરણો જોવા મળે છે.

પ્રવૃત્તિ 10.13

- નાનાં-નાનાં જૂથમાં બેસો.
- કુદરતમાં ઊર્જાના રૂપાંતરણના જુદા-જુદા પ્રકારો વિશે ચર્ચા કરો.
- તમારા જૂથમાં નીચેના પ્રશ્નો વિશે વિચાર-વિમર્શ કરો :
  - (a) લીલી વનસ્પતિઓ ખોરાક કેવી રીતે બનાવે છે ?
  - (b) તેમને ઊર્જા ક્યાંથી પ્રાપ્ત થાય છે ?
  - (c) વાયુ એક સ્થળેથી બીજા સ્થળે કેમ વહે છે ?
  - (d) કોલસો તથા પેટ્રોલિયમ જેવા ઈંધણ કેવી રીતે બન્યાં ?
  - (e) કયા પ્રકારના ઊર્જાનાં રૂપાંતરણો જળચક્રને ટકાવી રાખે છે ?

પ્રવૃત્તિ 10.14

- અનેક માનવપ્રવૃત્તિઓ તથા આપણાં દ્વારા ઉપયોગમાં લેવાતાં ઉપકરણો (gadgets)માં ઊર્જાનું રૂપાંતરણ સામેલ થયેલું હોય છે.
- આવા પ્રકારની પ્રવૃત્તિઓ તથા ઉપકરણોની સૂચિ બનાવો.
- દરેક પ્રવૃત્તિ તથા ઉપકરણમાં કયા પ્રકારની ઊર્જા રૂપાંતરણ થાય છે તે ઓળખી બતાવો.

10.2.6 ઊર્જા-સંરક્ષણનો નિયમ (Law of conservation of energy)

પ્રવૃત્તિ 10.13 તથા 10.14 માં આપણે શીખ્યાં કે ઊર્જા એક સ્વરૂપમાંથી બીજા સ્વરૂપમાં રૂપાંતરિત થઈ શકે છે. આ પ્રક્રિયામાં તંત્રની કુલ ઊર્જાનું શું થશે ? જ્યારે પણ ઊર્જા રૂપાંતરણ થાય છે ત્યારે તંત્રની કુલ ઊર્જા અચળ રહે છે, જે ઊર્જા-સંરક્ષણનો નિયમ છે. આ નિયમાનુસાર ઊર્જા ફક્ત એક સ્વરૂપમાંથી બીજા સ્વરૂપમાં રૂપાંતરિત થઈ શકે છે; પરંતુ તેની ઉત્પત્તિ કે વિનાશ થઈ શકતો નથી. રૂપાંતરણ પહેલાં તથા રૂપાંતરણ બાદ કુલ ઊર્જા હંમેશાં અચળ રહે છે. ઊર્જા-સંરક્ષણનો નિયમ દરેક પરિસ્થિતિઓ તેમજ દરેક પ્રકારના રૂપાંતરણો માટે સાચો છે.

એક સાદા ઉદાહરણનો વિચાર કરીએ. ધારો કે, m દળની એક વસ્તુને h ઊંચાઈએથી મુક્ત પતન કરાવવામાં આવે છે. પ્રારંભમાં તેની સ્થિતિઊર્જા mgh છે તથા ગતિઊર્જા શૂન્ય છે. ગતિઊર્જા શૂન્ય કેમ છે ? તે શૂન્ય છે કારણ કે તેનો પ્રારંભિક વેગ શૂન્ય છે. આ રીતે વસ્તુની કુલ ઊર્જા mgh છે. જ્યારે વસ્તુ નીચે પડે છે ત્યારે તેની સ્થિતિઊર્જા, ગતિઊર્જામાં રૂપાંતરિત થાય છે. જો કોઈ આપેલ ક્ષણે વસ્તુનો વેગ v હોય તો તેની ગતિઊર્જા $\frac{1}{2} mv^2$ થશે. વસ્તુ જેમ જેમ નીચે આવતી જાય છે તેમ તેમ તેની સ્થિતિઊર્જા ઓછી થતી જાય છે અને ગતિઊર્જા વધતી જાય છે. જ્યારે વસ્તુ જમીન પર પહોંચે છે ત્યારે $h = 0$ થશે. આ સ્થિતિમાં અંતિમ વેગ મહત્તમ થશે. તેથી હવે ગતિઊર્જા મહત્તમ તથા સ્થિતિઊર્જા લઘુતમ થશે. જો કે દરેક બિંદુ પાસે વસ્તુની સ્થિતિઊર્જા તથા ગતિઊર્જાનો સરવાળો અચળ રહે છે.

એટલે કે સ્થિતિઊર્જા + ગતિઊર્જા = અચળ

અથવા $mgh + \frac{1}{2} mv^2 =$ અચળ (10.7)

કોઈ વસ્તુની ગતિઊર્જા તથા સ્થિતિઊર્જાના સરવાળાને તેની કુલ યાંત્રિકઊર્જા કહે છે.

આપણે જોઈએ છીએ કે, કોઈ વસ્તુના મુક્ત પતન દરમિયાન તેના ગતિપથના કોઈ બિંદુ પાસે સ્થિતિઊર્જામાં જેટલો ઘટાડો થાય છે તેટલો જ તેની ગતિઊર્જામાં વધારો થાય છે. (અહીં વસ્તુની ગતિ પર હવાનો અવરોધ વગેરેને અવગણેલ છે.) આ રીતે ગુરુત્વીય સ્થિતિઊર્જાનું ગતિઊર્જામાં સતત રૂપાંતરણ થયું હોય છે.

પ્રવૃત્તિ 10.15

- 20 kg દળની કોઈ વસ્તુ 4 m ની ઊંચાઈથી મુક્ત પતન પામે છે. નીચેના કોષ્ટક અનુસાર દરેક સ્થિતિમાં સ્થિતિઊર્જા તથા ગતિઊર્જાની ગણતરી કરો અને કોષ્ટકમાં ખાલી સ્થાનોની પૂર્તિ કરો.

ઊંચાઈ જ્યાં વસ્તુ આવેલી છે.	સ્થિતિઊર્જા	ગતિઊર્જા	$E_p + E_k$
	$(E_p = mgh)$	$\frac{mv^2}{2}$	
m	J	J	J
4			
3			
2			
1			
જમીનની સહેજ ઉપર			

- ગણતરીની સરળતા ખાતર g નું મૂલ્ય 10 m s^{-2} લો.

આ વિશે વિચારો !

જો કુદરતમાં ઊર્જાનું રૂપાંતરણ શક્ય ન હોત તો શું થાત ? એક વિચાર અનુસાર ઊર્જાના રૂપાંતરણ વિના જીવન શક્ય જ ન બનત. શું તમે આ હકીકત સાથે સહમત છો ?

10.3 કાર્ય કરવાનો દર (Rate of Doing Work)

શું આપણે બધા એક જ દરથી કાર્ય કરીએ છીએ ? શું યંત્રો ઊર્જાનો ઉપયોગ તથા તેનું રૂપાંતરણ સમાન દરથી કરે છે ? કાર્યકારી પદાર્થો કે જે ઊર્જાનું રૂપાંતરણ કરે છે તે જુદા-જુદા દરે કાર્ય કરતાં હોય છે. ચાલો, નીચેની પ્રવૃત્તિ સમજીએ :

પ્રવૃત્તિ 10.16

- બે બાળકો, ધારો કે A અને Bનો વિચાર કરો. ધારો કે, તેમનાં દળ સમાન છે. બંને દોરડા પર અલગ-અલગ ચડવાનો પ્રારંભ કરે છે. બંને 8 mની ઊંચાઈ સુધી પહોંચે છે. માની લો કે આ કાર્ય કરવામાં A, 15 s લે છે જ્યારે B, 20 s લે છે.
- દરેક બાળક દ્વારા થયેલ કાર્ય કેટલું છે ?
- કરેલ કાર્ય સમાન છે તથા A બાળકે કાર્ય કરવા માટે B બાળકની સરખામણીમાં ઓછો સમય લીધો છે.
- આપેલ સમય ધારો કે 1 s, માં કયા બાળકે વધારે કાર્ય કર્યું છે ?

એક શક્તિશાળી વ્યક્તિ તેને આપેલ કાર્ય અપેક્ષાકૃત સમય કરતાં ઓછા સમયમાં પૂરું કરી શકે છે. વધારે શક્તિશાળી વાહન ઓછા શક્તિશાળી વાહનની સરખામણીમાં કોઈ મુસાફરી ઓછા સમયમાં પૂરી કરી શકે છે. આપણે મોટરબાઇક તથા કાર જેવાં સાધનોના પાવર (કાર્યત્વરા) વિશે ચર્ચા કરીશું. તે કેટલી ઝડપથી ઊર્જાનું રૂપાંતરણ કરે છે કે કાર્ય કરે છે તે બાબતના આધારે તેમનું વર્ગીકરણ કરવામાં આવે છે. પાવર, કરેલ કાર્યની ઝડપ માપે છે, એટલે કે કાર્ય કેટલું ઝડપથી કે ધીમેથી કરવામાં આવ્યું. કાર્ય કરવાના સમય-દરને અથવા ઊર્જાના રૂપાંતરણના દરને પાવર કહે છે. જો કોઈ પદાર્થ t સમયમાં W જેટલું કાર્ય કરતો હોય તો,

$$\text{પાવર} = \frac{\text{કાર્ય}}{\text{સમય}}$$

અથવા $$P = \frac{W}{t} \qquad (10.8)$$

પાવરનો એકમ વૉટ છે. [વૈજ્ઞાનિક જેમ્સ વૉટ (1736-1819)ના માનમાં] તેની સંજ્ઞા W છે. 1 વૉટ તે વસ્તુનો પાવર છે કે જે 1 સેકન્ડમાં 1 જૂલકાર્ય કરતો હોય. આપણે તેમ પણ કહી શકીએ કે જો ઊર્જાના વપરાશનો દર 1 J s^{-1} હોય ત્યારે પાવર 1 W છે.

1 વૉટ = 1 જૂલ / સેકન્ડ અથવા 1 W = 1 J s^{-1}

આપણે ઊર્જાનાં મોટાં મૂલ્યોને કિલોવૉટ (kW) માં રજૂ કરીએ છીએ.

1 કિલોવૉટ = 1000 વૉટ

1 kW = 1000 W

1 kW = 1000 J s^{-1}

કોઈ વસ્તુનો પાવર સમય સાથે બદલાતો હોય છે. એનો અર્થ એ થયો કે વસ્તુ જુદા-જુદા દરથી કાર્ય કરે છે. તેથી સરેરાશ પાવરનો ખ્યાલ વધારે ઉપયોગી છે. આપણે સરેરાશ પાવર, કુલ ઉપયોગમાં લીધેલ ઊર્જા અને લીધેલ કુલ સમયના ગુણોત્તર દ્વારા મેળવી શકીએ છીએ.

ઉદાહરણ 10.7 : 400 N જેટલું સમાન વજન ધરાવતી બે છોકરીઓ એક દોરડાંની મદદથી 8 m ઉપર ચડે છે. આપણે એક છોકરીનું નામ A અને બીજી છોકરીનું નામ B રાખીશું. આ કાર્ય પૂરું કરવા માટે છોકરી A 20 sનો સમય લે છે જ્યારે છોકરી B 50 s નો સમય લે છે. દરેક છોકરી દ્વારા વપરાયેલ પાવરની ગણતરી ગણો.

ઉકેલ :

(i) છોકરી A દ્વારા વપરાયેલ પાવર :

છોકરીનું વજન mg = 400 N

સ્થાનાંતર (ઊંચાઈ) h = 8 m

લીધેલ સમય t = 20 s

સમીકરણ (10.8) પરથી,

$$\text{પાવર } P = \frac{\text{થયેલ કાર્ય}}{\text{લીધેલ સમય}}$$

$$= \frac{mgh}{t}$$

$$= \frac{400\ N \times 8\ m}{20\ s}$$

$$= 160\ W$$

(ii) છોકરી B દ્વારા વપરાયેલ પાવર :

છોકરીનું વજન mg = 400 N

સ્થાનાંતર (ઊંચાઈ) h = 8 m

લીધેલ સમય t = 50 s

$$\text{પાવર } P = \frac{mgh}{t} = \frac{400\ N \times 8\ m}{50\ s}$$

$$= 64\ W$$

છોકરી A દ્વારા વપરાયેલ પાવર 160 W છે.

છોકરી B દ્વારા વપરાયેલ પાવર 64 W છે.

ઉદાહરણ 10.8 : 50 kg દળ ધરાવતો એક છોકરો સીડીનાં 45 પગથિયાં દોડીને 9 s માં ચઢી જાય છે. જો દરેક પગથિયાની ઊંચાઈ 15 cm હોય, તો તેનો પાવર શોધો. g નું મૂલ્ય 10 m s^{-2} લો.

ઉકેલ :

છોકરાનું વજન mg = 50 kg × 10 m s^{-2} = 500 N

પગથિયાની ઊંચાઈ h = 45 × 15/100 m = 6.75 m

ચઢવા માટે લીધેલ સમય t = 9 s

સમીકરણ (10.8) પરથી,

$$\text{પાવર } P = \frac{\text{થયેલ કાર્ય}}{\text{લીધેલ સમય}} = \frac{mgh}{t}$$

$$= \frac{500\ N \times 6.75\ m}{9\ s}$$

$$= 375\ W$$

પાવર 375 W છે.

પ્રશ્નો :

1. પાવર એટલે શું ?
2. 1 W પાવર વ્યાખ્યાયિત કરો.
3. એક બલ્બ 1000 J વિદ્યુતઊર્જા 10 s માં વાપરે છે. તેનો પાવર કેટલો હશે ?
4. સરેરાશ પાવર વ્યાખ્યાયિત કરો.

પ્રવૃત્તિ 10.17

- તમારા ઘરમાં વિદ્યુત-પરિપથમાં લગાડેલ વિદ્યુતમીટરને ધ્યાનપૂર્વક જુઓ. તેની વિશેષતાઓ બારીકાઈથી જુઓ.
- દરરોજ સવારે 6:30 વાગે તથા સાંજે 6:30 વાગે વિદ્યુત મીટરનું વાચન કરો.
- આ પ્રવૃત્તિ લગભગ 1 અઠવાડિયા સુધી કરો.
- દિવસ દરમિયાન કેટલા 'યુનિટ' વપરાય છે ?
- રાત્રિ દરમિયાન કેટલા 'યુનિટ' વપરાય છે ?
- તમારાં અવલોકનોને કોષ્ટકમાં નોંધો.
- આ અવલોકનો પરથી નિષ્કર્ષ તારવો.
- તમારાં અવલોકનોની તુલના વીજળીના માસિક બિલ સાથે તેમાં આપેલ માહિતી સાથે કરો. (ચોક્કસ ઉપકરણ દ્વારા વપરાતી વીજળીનો અંદાજ તેમના જ્ઞાત વૉટ અને ઉપયોગના કલાકના કોષ્ટક દ્વારા કાઢી શકાય છે.)



તમે શું શીખ્યાં

What You Have Learnt

- કોઈ વસ્તુ પર કરેલ કાર્ય, તેના પર લગાડેલ બળના મૂલ્ય તથા બળની દિશામાં તેના દ્વારા થયેલ સ્થાનાંતરના ગુણાકાર દ્વારા વ્યાખ્યાયિત કરવામાં આવે છે. કાર્યનો એકમ જૂલ છે. 1 જૂલ = 1 ન્યૂટન × 1 મીટર
- કોઈ વસ્તુનું સ્થાનાંતર શૂન્ય હોય, તો બળ દ્વારા તે વસ્તુ પર થયેલ કાર્ય શૂન્ય હશે.
- જો કોઈ વસ્તુમાં કાર્ય કરવાની ક્ષમતા હોય, તો કહી શકાય કે તેમાં ઊર્જા છે. ઊર્જાનો એકમ અને કાર્યનો એકમ એક જ છે.
- કોઈ ગતિમાન વસ્તુની ગતિને કારણે સંકળાયેલ ઊર્જાને ગતિઊર્જા કહે છે. v વેગથી ગતિમાન કોઈ m દળની વસ્તુની ગતિઊર્જા $\frac{1}{2}\ mv^2$ જેટલી હોય છે.
- વસ્તુ દ્વારા તેનાં સ્થાન કે આકારમાં થતા ફેરફારને કારણે મળતી ઊર્જાને સ્થિતિઊર્જા કહે છે. પૃથ્વીની સપાટીથી h ઊંચાઈએ m દળની વસ્તુને લઈ જતાં મળતી ગુરુત્વીય સ્થિતિઊર્જા mgh હોય છે.
- ઊર્જા-સંરક્ષણના નિયમ અનુસાર ઊર્જા માત્ર એક સ્વરૂપમાંથી બીજા સ્વરૂપમાં રૂપાંતરિત થાય છે. તેને ઉત્પન્ન કરી શકાતી નથી કે તેનો નાશ થતો નથી. રૂપાંતરણની પહેલાં અને રૂપાંતરણની પછી કુલ ઊર્જા હંમેશાં અચળ જ રહે છે.
- કુદરતમાં ઊર્જા જુદાં-જુદાં સ્વરૂપે જોવા મળે છે. જેમકે ગતિઊર્જા, સ્થિતિઊર્જા, ઉષ્માઊર્જા, રાસાયણિક ઊર્જા વગેરે. કોઈ વસ્તુની ગતિઊર્જા તથા સ્થિતિઊર્જાના સરવાળાને તેની કુલ યાંત્રિકઊર્જા કહે છે.
- કાર્ય કરવાના સમય-દરને પાવર કહે છે. પાવરનો SI એકમ વૉટ છે.

  1 W = 1 J/s
- 1 kW ના દરે એક કલાકમાં વપરાયેલ ઊર્જાને 1 કિલોવૉટ કલાક (1 kW h) કહે છે.

સ્વાધ્યાય (Exercise)



1. નીચેની યાદીમાં દર્શાવેલ પ્રવૃત્તિઓ જુઓ. તમારી 'કાર્ય' શબ્દની સમજને આધારે વિચારો કે તેમાં કાર્ય થઈ રહ્યું છે કે નહિ ?
   - સુમા એક તળાવમાં તરી રહી છે.
   - એક ગધેડો પોતાની પીઠ પર ભાર ઉઠાવી રહ્યો છે.
   - એક પવનચક્કી કૂવામાંથી પાણી ખેંચી રહી છે.
   - એક લીલા છોડમાં પ્રકાશસંશ્લેષણની ક્રિયા થઈ રહી છે.
   - એક એન્જિન ટ્રેન (રેલગાડી)ને ખેંચી રહ્યું છે.

- સૂર્યના તડકામાં અનાજના દાણા સુકાઈ રહ્યા છે.
- સઢવાળી એક હોડી પવન ઊર્જાને કારણે ખસી રહી છે.

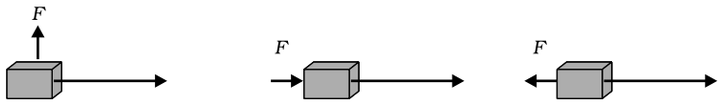
2. એક વસ્તુને જમીનથી કોઈ ચોક્કસ ખૂણે ફેંકવામાં આવે છે. તે એક વક્રમાર્ગ પર ભ્રમણ કરીને પાછી જમીન પર આવીને પડે છે. વસ્તુના માર્ગનું પ્રારંભિક અને અંતિમ બિંદુ એક જ સમક્ષિતિજ રેખા પર સ્થિર છે. વસ્તુ પર ગુરુત્વબળ દ્વારા કેટલું કાર્ય થયું હશે ?
3. એક બૅટરી એક વિદ્યુત ગોળા (બલ્બ)ને પ્રકાશે છે. આ પ્રક્રિયામાં થતા ઊર્જા-રૂપાંતરણોનું વર્ણન કરો.
4. 20 kg દળનો પદાર્થ તેના પર લાગતાં કોઈ બળને લીધે તેના વેગમાં 5 m s^{-1} થી 2 m s^{-1} જેટલો ફેરફાર અનુભવે છે. બળ દ્વારા થતાં કાર્યની ગણતરી કરો.
5. 10 kg દળની વસ્તુ ટેબલ પર A બિંદુ પર રાખેલ છે. તેને B બિંદુ સુધી લઈ જવામાં આવે છે. જો A અને B ને જોડતી રેખા સમક્ષિતિજ હોય, તો વસ્તુ પર ગુરુત્વબળ દ્વારા થતું કાર્ય કેટલું હશે ? તમારો ઉત્તર વર્ણવો.
6. મુક્ત પતન કરતી વસ્તુની સ્થિતિઊર્જા સતત ઘટતી જાય છે. શું તે ઊર્જા-સંરક્ષણના નિયમનું ઉલ્લંઘન કરે છે ? શા માટે ?
7. જ્યારે તમે સાઇકલ ચલાવો છો ત્યારે કયા કયા ઊર્જા રૂપાંતરણો થાય છે ?
8. જ્યારે તમે તમારી બધી જ તાકાત લગાડીને એક મોટા પથ્થરને ધકેલવાનો પ્રયત્ન કરો છો પરંતુ તેને ધકેલવામાં નિષ્ફળ થઈ જાઓ છો. શું આ અવસ્થામાં ઊર્જાનું રૂપાંતરણ થાય છે ખરું ? તમારા દ્વારા વપરાયેલી ઊર્જા ક્યાં જાય છે ?
9. એક ઘરમાં એક મહિનામાં 250 'યુનિટ' ઊર્જા વપરાય છે. આ ઊર્જા જૂલ એકમમાં કેટલી થશે ?
10. 40 kg દળની વસ્તુને જમીનથી 5 mની ઊંચાઈ પર લઈ જવામાં આવે છે. તેની સ્થિતિઊર્જા કેટલી થાય ? જો આ વસ્તુને મુક્ત પતન કરવા દેવામાં આવે અને તે જ્યારે અડધા રસ્તે પહોંચે ત્યારે તેની ગતિ ઊર્જાની ગણતરી કરો. (g = 10 m s^{-2})
11. પૃથ્વીની ચારેબાજુ ફરતાં કોઈ ઉપગ્રહ પર ગુરુત્વબળ દ્વારા કેટલું કાર્ય થશે ? તમારા જવાબનું વાજબીપણું ચકાસો.
12. શું કોઈ વસ્તુ પર લાગતાં બળની ગેરહાજરીમાં તેનું સ્થાનાંતર થશે ? વિચારો. આ પ્રશ્નની બાબતમાં તમારા મિત્રો તથા શિક્ષકો સાથે વિચાર-વિમર્શ કરો.
13. કોઈ વ્યક્તિ ભૂસાથી ભરેલ ગાંસડીને પોતાના માથા પર 30 મિનિટ સુધી રાખે છે. પછી થાકી જાય છે. શું તેણે કોઈ કાર્ય કર્યું કહેવાય ? તમારા જવાબનું વાજબીપણું ચકાસો.
14. એક વિદ્યુત હીટરનો પાવર 1500 W છે. 10 કલાકમાં તે કેટલી ઊર્જા વાપરશે ?
15. જ્યારે આપણે કોઈ સાદા લોલકને એક છેડે લઈ જઈને છોડી દઈ દોલન કરાવીએ છીએ ત્યારે થતાં ઊર્જાનાં રૂપાંતરણોની ચર્ચા પરથી ઊર્જા-સંરક્ષણના

નિયમને સ્પષ્ટ કરો. લોલક આખરે સ્થિર અવસ્થામાં કેમ આવી જાય છે ? છેવટે તેની ઊર્જાનું શું થાય છે ? શું તે ઊર્જા-સંરક્ષણના નિયમનું ઉલ્લંઘન કરે છે ?

16. m દળ ધરાવતી વસ્તુ એક અચળ વેગ v થી ગતિમાન છે. વસ્તુને સ્થિર અવસ્થામાં લાવવા તેના પર કેટલું કાર્ય કરવું જોઈએ ?

17. 60 km/h ના વેગથી ગતિ કરતી 1500 kg દળની કારને રોકવા માટે કરવા પડતાં કાર્યની ગણતરી કરો.

18. m દળની એક વસ્તુ પર નીચે આપેલ દરેક સ્થિતિ માટે એક બળ F લાગી રહ્યું છે. સ્થાનાંતરની દિશા પશ્ચિમથી પૂર્વ તરફ છે. જે એક લાંબા તીરથી દર્શાવેલ છે. ચિત્રોને ધ્યાનપૂર્વક જુઓ અને બતાવો કે દરેક કિસ્સામાં બળ દ્વારા થયેલ કાર્ય ઋણ છે કે ધન છે કે શૂન્ય છે.



19. સોની કહે છે કે કોઈ વસ્તુનો પ્રવેગ શૂન્ય હોઈ શકે પછી ભલે તેના પર ઘણાંબધાં બળ કાર્ય કરી રહ્યાં હોય. શું તમે તેની સાથે સહમત છો ? કેમ ?

20. 500 W પાવરના એક એવાં ચાર સાધનો દ્વારા 10 કલાકમાં વપરાતી ઊર્જા kWh માં શોધો.

21. મુક્ત પતન કરતી એક વસ્તુ જમીન પર પડીને સ્થિર થાય છે. તો તેની ગતિઊર્જાનું શું થશે ?