આપણે જાણીએ છીએ કે મુક્ત પતનમાં પદાર્થ પ્રવેગનો અનુભવ કરે છે. સમીકરણ (10.9) પરથી, પદાર્થ દ્વારા અનુભવાતો પ્રવેગ તેના દ્રવ્યમાન પર આધાર રાખતો નથી. એનો અર્થ એ થયો કે, પદાર્થ પોલો હોય કે નક્કર, મોટો હોય કે નાનો, એક સરખા દરથી નીચે તરફ પડવો જોઈએ. એક વાર્તા મુજબ આ વિચારના સમર્થન માટે ગેલીલિયોએ ઈટાલીમાં આવેલા પીસાના ઢળતા મિનારા પરથી જુદા-જુદા પદાર્થો પડતા મુક્યાં હતા.

પૃથ્વીની નજીક g નું મૂલ્ય અચળ હોવાથી અચળ પ્રવેગી ગતિનાં સમીકરણોમાં પ્રવેગ a ના બદલે g મૂકવાથી દરેક સમીકરણો માન્ય રહેશે (જુઓ વિભાગ 8.5). આ સમીકરણો છે :

$$v = u + at \qquad (10.10)$$

$$s = ut + \frac{1}{2}at^2 \qquad (10.11)$$

$$v^2 = u^2 + 2as \qquad (10.12)$$

જ્યાં u તથા v અનુક્રમે પ્રારંભિક તેમજ અંતિમ વેગ તથા s વસ્તુ દ્વારા t સમયમાં કાપેલ અંતર છે.

આ સમીકરણોના ઉપયોગ વખતે જો પ્રવેગ (a) વેગની દિશામાં એટલે કે ગતિની દિશામાં હોય તો ધન લઈશું. જો પ્રવેગ (a) ગતિની વિરુદ્ધ દિશામાં હોય તો ઋણ લઈશું.

ઉદાહરણ 10.2 : એક કાર (રમકડાંની (!!!)) કોઈ છાજલી પરથી 0.5 s માં નીચે જમીન પર પડે છે. ગણતરીની સરળતા ખાતર g નું મૂલ્ય 10 m s^{-2} લો.

(i) જમીન પર અથડાતી વખતે કારનો વેગ કેટલો હશે ?

(ii) 0.5 s દરમિયાન કારની સરેરાશ ઝડપ કેટલી હશે ?

(iii) જમીનથી છાજલી કેટલી ઊંચાઈ પર હશે ?

ઉકેલ :

સમય t = $\frac{1}{2}$ s

પ્રારંભિક વેગ u = 0 m s^{-1}

ગુરુત્વીય પ્રવેગ g = 10 m s^{-2}

કારનો પ્રવેગ a = + 10 m s^{-1}. (નીચેની તરફ)

(i) ઝડપ $v = at$

v = 10 m s^{-2} × 0.5 s

= 5 m s^{-1}

(ii) સરેરાશ ઝડપ $= \frac{u+v}{2}$

$= \frac{(0\ \text{m s}^{-1} + 5\ \text{m s}^{-1})}{2}$

= 2.5 m s^{-1}

(iii) કાપેલ અંતર s = $\frac{1}{2}\ a\ t^2$

$= \frac{1}{2} \times 10\ \text{m s}^{-2} \times (0.5\ \text{s})^2$

$= \frac{1}{2} \times 10\ \text{m s}^{-2} \times 0.25\ \text{s}^2$

= 1.25 m

આમ,

(i) જમીન પર અથડાતી વખતે તેની ઝડપ = 5 m s^{-1}

(ii) 0.5 s દરમિયાન તેની સરેરાશ ઝડપ = 2.5 m s^{-1}

(iii) જમીનથી છાજલીની ઊંચાઈ = 1.25 m

ઉદાહરણ 10.3 : એક પદાર્થને ઊર્ધ્વદિશામાં ફેંકતા તે 10 mની ઊંચાઈએ પહોંચે છે. તો (i) પદાર્થને કેટલા વેગથી ઉપર તરફ ફેંકેલ હશે તથા (ii) પદાર્થને મહત્તમ ઊંચાઈએ પહોંચતા લાગતાં સમયની ગણતરી કરો.

ઉકેલ :

કાપેલ અંતર s = 10 m

અંતિમ વેગ v = 0 m s^{-1}

ગુરુત્વીય પ્રવેગ g = 9.8 m s^{-2}

પદાર્થનો પ્રવેગ a = – 9.8 m s^{-2}. (ઊર્ધ્વદિશામાં)

(i) $v^2 = u^2 + 2a$ s

0 = u^2 + 2 (–9.8 m s^{-2}) × 10 m

$-u^2 = -2 \times 9.8 \times 10\ \text{m}^2\text{s}^{-2}$

$u = \sqrt{196}$ m s^{-1}, u = 14 m s^{-1}

(ii) $v = u + at$

0 = 14 m s^{-1} – 9.8 m s^{-2} × t

t = 1.43 s

આમ,

(i) પ્રારંભિક વેગ u = 14 m s^{-1} તથા

(iii) લીધેલ સમય t = 1.43 s

પ્રશ્નો :

1. મુક્ત પતનનું તમે શું અર્થઘટન કરશો ?
2. ગુરુત્વીય પ્રવેગનું તમે શું અર્થઘટન કરશો ?

10.3 દ્રવ્યમાન (દળ) (Mass)

આપણે અગાઉના પ્રકરણમાં અભ્યાસ કર્યો કે પદાર્થનું દ્રવ્યમાન તેના જડત્વનું માપ છે. (વિભાગ 9.3) આપણે એ પણ શીખ્યાં કે, પદાર્થનું દ્રવ્યમાન જેટલું વધારે હશે તેનું જડત્વ પણ તેટલું જ વધારે હશે. પદાર્થનું દ્રવ્યમાન હંમેશાં અચળ રહે છે, પછી તે પૃથ્વી પર હોય, ચંદ્ર પર હોય કે બાહ્ય અંતરિક્ષમાં હોય. આમ, પદાર્થનું દ્રવ્યમાન અચળ હોય છે તથા એક સ્થાનેથી બીજા સ્થાને લઈ જતાં તે બદલાતું નથી.

10.4 વજન (Weight)

આપણે જાણીએ છીએ, કે પૃથ્વી દરેક પદાર્થને એક નિશ્ચિત બળથી આકર્ષે છે તથા આ બળ પદાર્થના દ્રવ્યમાન (m) અને પૃથ્વીના ગુરુત્વીય પ્રવેગ g પર આધાર રાખે છે. પૃથ્વી જે બળથી પદાર્થને પોતાનાં તરફ આકર્ષે છે, તેને પદાર્થનું વજન કહે છે.

આપણે જાણીએ છીએ, કે $F = m \times a$, (10.13)

એટલે કે,

$$F = m \times g \quad (10.14)$$

પદાર્થ પર પૃથ્વીનું આકર્ષણબળ પદાર્થનું વજન કહેવાય છે. તેને W સંજ્ઞા વડે દર્શાવાય છે. જે સમીકરણ (10.14) માં મૂકતાં,

$$W = m \times g \quad (10.15)$$

પદાર્થનું વજન એક બળ છે કે જેના વડે તે પૃથ્વી તરફ આકર્ષાય છે તેથી વજનનો SI એકમ બળનો જ એકમ છે એટલે કે ન્યૂટન (N) છે. વજનબળ હંમેશાં નીચેની તરફ લાગે છે. આમ, તેને મૂલ્ય અને દિશા બંને હોય છે.

આપણે જાણીએ છીએ કે, આપેલ સ્થળે g નું મૂલ્ય અચળ છે. તેથી કોઈ આપેલ સ્થળે પદાર્થનું વજન તેના દ્રવ્યમાન mના સમપ્રમાણમાં હોય છે એટલે કે, $W \propto m$. આ કારણે જ આપેલ સ્થળે પદાર્થના વજનને આપણે તેના દ્રવ્યમાનના માપ સ્વરૂપે ઉપયોગમાં લઈ શકીએ છીએ. કોઈ પદાર્થનું દ્રવ્યમાન દરેક સ્થાને એટલે કે પૃથ્વી પર કે અન્ય ગ્રહ પર સમાન રહે છે જ્યારે પદાર્થનું વજન તેનાં સ્થાન પર આધાર રાખે છે.

10.4.1 પદાર્થનું ચંદ્ર પર વજન

(Weight of an object on the moon)

આપણે અભ્યાસ કર્યો કે પૃથ્વી પર કોઈ પદાર્થનું વજન એ બળ છે કે જેના દ્વારા પૃથ્વી પદાર્થને પોતાની તરફ આકર્ષે છે. આ રીતે ચંદ્ર પર કોઈ પદાર્થનું વજન એ બળ છે કે જેના દ્વારા ચંદ્ર તે પદાર્થને પોતાની તરફ આકર્ષે છે. ચંદ્રનું દળ, પૃથ્વીની સાપેક્ષમાં ઓછું છે. તેથી ચંદ્ર પદાર્થો પર ઓછું આકર્ષણ બળ લગાડે છે.

ધારો કે, કોઈ પદાર્થનું દ્રવ્યમાન m છે તથા ચંદ્ર પર તેનું વજન W_m છે. ધારો કે, ચંદ્રનું દ્રવ્યમાન M_m છે અને તેની ત્રિજ્યા R_m છે.

ગુરુત્વાકર્ષણના સાર્વત્રિક નિયમ અનુસાર ચંદ્ર પર

પદાર્થનું વજન $W_m = G \dfrac{M_m \times m}{R_m^2}$ (10.16)

ધારો કે આ જ પદાર્થનું પૃથ્વી પર વજન W_e છે. પૃથ્વીનું દ્રવ્યમાન M તથા તેની ત્રિજ્યા R છે.

સમીકરણો (10.9) તથા (10.15) પરથી,

$$W_e = G \frac{M \times m}{R^2} \quad (10.17)$$

કોષ્ટક 10.1

ખગોળીય પદાર્થ	દ્રવ્યમાન (kg)	ત્રિજ્યા (m)
પૃથ્વી	5.98×10^{24}	6.37×10^{6}
ચંદ્ર	7.36×10^{22}	1.74×10^{6}

સમીકરણ (10.16) તથા (10.17) માં કોષ્ટક 10.1 માંથી મૂલ્યો મૂકતાં,

$$W_m = G \frac{7.36 \times 10^{22}\ \text{kg} \times m}{\left(1.74 \times 10^{6}\ \text{m}\right)^2}$$

$$W_m = 2.431 \times 10^{10}\ G \times m \quad (10.18a)$$

તથા $W_e = 1.474 \times 10^{11}\ G \times m$ (10.18b)

સમીકરણ (10.18a) ને (10.18b) વડે ભાગતાં,

$$\frac{W_m}{W_e} = \frac{2.431 \times 10^{10}}{1.474 \times 10^{11}}$$

અથવા $\dfrac{W_m}{W_e} = 0.165 \approx \dfrac{1}{6}$ (10.19)

$$\frac{\text{પદાર્થનું ચંદ્ર પર વજન}}{\text{પદાર્થનું પૃથ્વી પર વજન}} = \frac{1}{6}$$

પદાર્થનું ચંદ્ર પર વજન $= \left(\dfrac{1}{6}\right) \times$ તેનું પૃથ્વી પર વજન

ઉદાહરણ 10.4 : એક પદાર્થનું દળ 10 kg છે. પૃથ્વી પર તેનું વજન કેટલું હશે ?

ઉકેલ :

દ્રવ્યમાન m = 10 kg

ગુરુત્વપ્રવેગ $g = 9.8\ ms^{-2}$

$W = m \times g$

$W = 10\ kg \times 9.8\ ms^{-2}$

$= 98\ N$

આમ, પદાર્થનું વજન 98 N છે.

ઉદાહરણ 10.5 : એક પદાર્થનું વજન પૃથ્વીની સપાટી પર માપતાં 10 N મળે છે. તેનું વજન ચંદ્રની સપાટી પર માપતાં કેટલું મળશે ?

ઉકેલ :

આપણે જાણીએ છીએ કે,

ચંદ્ર પર પદાર્થનું વજન = $\left(\frac{1}{6}\right)$ × પૃથ્વી પર તેનું વજન

એટલે કે,

$$W_m = \frac{W_e}{6} = \frac{10}{6} N$$

$$= 1.67\ N$$

આમ, ચંદ્રની સપાટી પર પદાર્થનું વજન 1.67 N હશે.

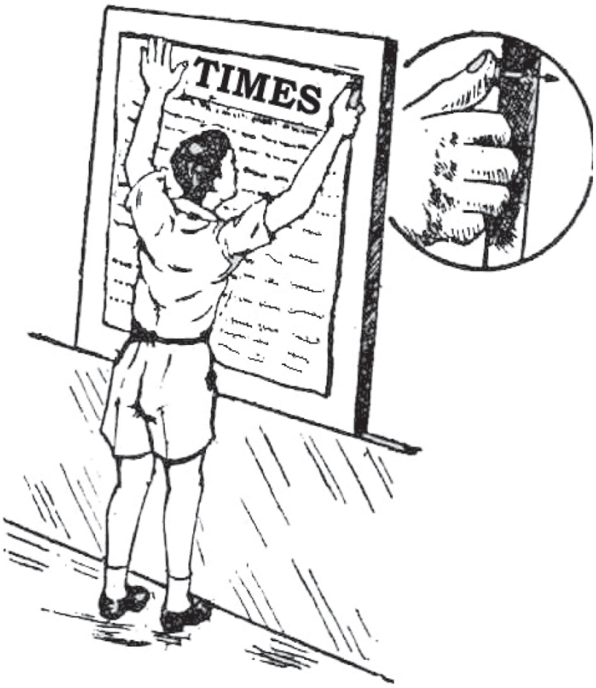
પ્રશ્નો :

1. પદાર્થના દળ તથા તેના વજન વચ્ચે શું તફાવત છે ?
2. કોઈ પદાર્થનું ચંદ્ર પર વજન પૃથ્વી પરના વજન કરતાં $\frac{1}{6}$ ભાગનું કેમ હોય છે ?

10.5 ધક્કો અને દબાણ (Thrust and Pressure)

શું તમે ક્યારેય વિચાર્યું છે કે ઊંટ રણમાં સરળતાથી કેમ દોડી શકે છે ? સેનાની ટૅન્ક કે જેનું વજન એક હજાર ટનથી પણ વધારે હોય છે, એક સતત ગતિ કરતી ચેઈન પર કેવી રીતે ટકે છે ? કોઈ બસ કે ટ્રકનાં ટાયર પ્રમાણમાં વધારે પહોળાં કેમ હોય છે ? કાપવા માટે વપરાતાં ઓજારોની ધાર તીક્ષ્ણ કેમ હોય છે ? આ પ્રશ્નોના જવાબ જાણવા માટે તથા તેની સાથે સંકળાયેલ ઘટનાઓને સમજવા માટે આપેલ વસ્તુ પર એક ચોક્કસ દિશામાં લાગતાં ચોખ્ખા બળ (ધક્કો-thrust) તથા એકમ ક્ષેત્રફળ દીઠ લાગતું બળ (દબાણ)ની ધારણા સમજવી જરૂરી છે. આવો, નીચે દર્શાવેલ પરિસ્થિતિઓનો વિચાર કરીએ.

સ્થિતિ 1 : આકૃતિ 10.3માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે કોઈ બુલેટિન બોર્ડ પર તમે એક ચાર્ટ લગાવવા ઇચ્છો છો. આ કાર્ય કરવા માટે તમારે ડ્રૉઇંગ પિનોને અંગૂઠા વડે દબાવવી પડશે. આ સ્થિતિમાં તમે પિનના શીર્ષ (ચપટા ભાગ)ની સપાટીના ક્ષેત્રફળ પર બળ લગાડો છો. આ બળ બોર્ડની સપાટી (પૃષ્ઠ)ને લંબરૂપે લાગે છે. આ બળ પિનની અણી પરના નાના ક્ષેત્રફળ પર લાગે છે.



આકૃતિ 10.3 : ચાર્ટ લગાડવા માટે ડ્રૉઇંગ પિનને અંગૂઠાથી બોર્ડ પર લંબરૂપે દબાવવામાં આવે છે

સ્થિતિ 2 : જ્યારે તમે ઢીલી (loose) રેતી પર ઊભા હો ત્યારે તમારા પગ રેતીમાં ઊંડે સુધી ઘૂસી જાય છે. હવે તમે રેતી પર સૂઈ જાઓ. તમે જોશો કે હવે તમારું શરીર રેતીમાં પહેલાં જેટલું ઘૂસતું નથી. બંને સ્થિતિમાં રેતી પર લાગતું બળ તમારા શરીરનું વજન છે.

તમે અભ્યાસ કરી ચૂક્યાં છો કે વજન એ શિરોલંબ દિશામાં નીચે તરફ લાગતું બળ છે. અહીં બળ રેતીની સપાટીને લંબરૂપે લાગી રહ્યું છે. કોઈ વસ્તુની સપાટીને લંબરૂપે લાગતા બળને થ્રસ્ટ (ધક્કો-thrust) કહે છે.

જ્યારે તમે ઢીલી રેતી પર ઊભા હો ત્યારે આ બળ એટલે કે તમારા શરીરનું વજન તમારા પગના ક્ષેત્રફળ જેટલા ક્ષેત્રફળ પર લાગી રહ્યું હોય છે. જ્યારે તમે સૂઈ જાઓ છો ત્યારે આ જ બળ પૂરા શરીરના સંપર્ક ક્ષેત્રફળ પર લાગે છે, જે તમારા પગના ક્ષેત્રફળની સાપેક્ષે વધારે છે. આમ, સમાન મૂલ્યનું બળ જુદાં-જુદાં ક્ષેત્રફળો પર જુદો-જુદો પ્રભાવ પાડે છે. આ સ્થિતિમાં થ્રસ્ટ (thrust) સમાન રહે છે, પરંતુ તેનો પ્રભાવ જુદો-જુદો હોય છે. આમ થ્રસ્ટ (thrust)ની અસર તે ક્ષેત્રફળ પર આધાર રાખે છે જેના પર તે લાગતું હોય.

તમે સૂતા હોય તે સ્થિતિ કરતાં ઊભા હોય ત્યારે રેતી પર ધક્કા (thrust)ની અસર વધુ હોય છે. એકમ ક્ષેત્રફળ પર લાગતાં ધક્કાને દબાણ કહે છે. આમ,

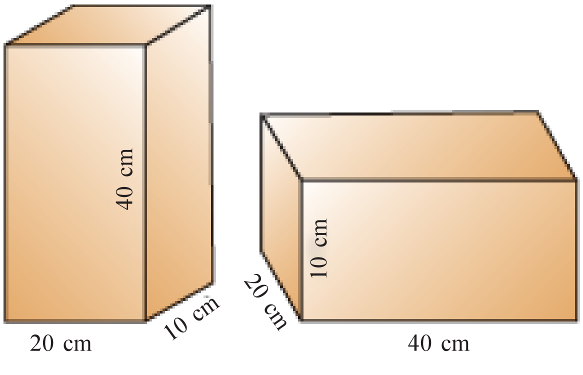
$$\text{દબાણ} = \frac{\text{ધક્કો}}{\text{ક્ષેત્રફળ}} \qquad (10.20)$$

સમીકરણ (10.20)માં થ્રસ્ટ અને ક્ષેત્રફળના SI એકમો મૂકતાં આપણને દબાણનો SI એકમ મળે છે જે N/m^2 અથવા $N\ m^{-2}$ છે.

વૈજ્ઞાનિક બ્લેઝ પાસ્કલના માનમાં દબાણના SI એકમને પાસ્કલ કહે છે, જેને Pa સંજ્ઞાથી દર્શાવાય છે.

જુદાં-જુદાં ક્ષેત્રફળો પર લાગતાં થ્રસ્ટની અસર સમજવા માટે ચાલો, આપણે એક સંખ્યાત્મક ઉદાહરણનો વિચાર કરીએ.

ઉદાહરણ 10.6 : લાકડાંનો એક બ્લૉક ટેબલ પર રાખેલ છે. બ્લૉકનું દળ 5 kg છે તથા તેનાં પરિમાણ 40 cm × 20 cm × 10 cm છે. જ્યારે (a) 20 cm × 10 cm તથા (b) 40 cm × 20 cm ક્ષેત્રફળ ધરાવતી સપાટીઓ ટેબલના સંપર્કમાં હોય, ત્યારે લાકડાના બ્લૉક દ્વારા ટેબલની સપાટી પર લાગતાં દબાણની ગણતરી કરો.



આકૃતિ 10.4

ઉકેલ :

લાકડાંના બ્લૉકનું દ્રવ્યમાન = 5 kg

તેનું પરિમાણ = 40 cm × 20 cm × 10 cm

અહીં લાકડાના બ્લૉકનું વજન ટેબલની સપાટી પર બળ લગાડે છે.

તેથી બળ = $F = m \times g$

$= 5\ kg \times 9.8\ m\ s^{-2}$

$= 49\ N$

સપાટીનું ક્ષેત્રફળ = લંબાઈ × પહોળાઈ

$= 20\ cm \times 10\ cm$

$= 200\ cm^2$

$= 0.02\ m^2$

સમીકરણ (10.20) પરથી,

$$\text{દબાણ} = \frac{49\,N}{0.02\,m^2}$$

$= 2450\ N\ m^{-2}$

જ્યારે બ્લૉકની 40 cm × 20 cm બાજુઓ ધરાવતી સપાટી ટેબલ પર રાખેલ હોય ત્યારે ટેબલ પર થ્રસ્ટ પહેલાં જેટલું જ લાગે છે.

ક્ષેત્રફળ = લંબાઈ × પહોળાઈ

$= 40\ cm \times 20\ cm$

$= 800\ cm^2 = 0.08\ m^2$

સમીકરણ (10.20) પરથી,

$$\text{દબાણ} = \frac{49\,N}{0.08\,m^2}$$

$= 612.5\ Nm^{-2}$

આમ, 20 cm × 10 cm ની સપાટી પર લાગતું દબાણ $2450\ N\ m^{-2}$ જ્યારે 40 cm × 20 cm ની સપાટી પર લાગતું દબાણ $612.5\ N\ m^{-2}$ છે.

આમ, સમાન મૂલ્યનાં બળો, જ્યારે ઓછા ક્ષેત્રફળ પર લાગે ત્યારે, વધારે દબાણ અને મોટા ક્ષેત્રફળ પર લાગે ત્યારે ઓછું દબાણ ઉત્પન્ન કરે છે. આ જ કારણસર ખીલીની ધાર અણીવાળી, ચપ્પાની ધાર તીક્ષ્ણ અને ઈમારતોના પાયા પહોળા હોય છે.

10.5.1 તરલમાં દબાણ (Pressure in fluids)

દરેક પ્રવાહી અને વાયુ તરલ છે. ઘન પદાર્થો પોતાના વજનને

કારણે કોઈ સપાટી પર દબાણ લગાડે છે. તે જ રીતે તરલોમાં પણ વજન હોય છે તથા તેને જે પાત્રમાં રાખવામાં આવે છે તેનાં તળિયા પર અને દીવાલો પર દબાણ લગાડે છે. કોઈ મર્યાદિત દ્રવ્યમાનના તરલમાં લાગતું દબાણ બધી જ દિશાઓમાં એકસરખું પ્રસરણ પામે છે.

10.5.2 ઉત્પ્લાવકતા (Buoyancy)

શું તમે ક્યારેય સ્વીમિંગ પુલમાં તરતી વખતે પોતાને કંઈક હલકા હોવાનો અનુભવ કરેલ છે ? શું તમે ક્યારેક કૂવામાંથી પાણી ખેંચતી વખતે એવો અનુભવ કર્યો છે કે જ્યારે પાણી ભરેલ ડોલ કૂવાનાં પાણીમાંથી બહાર આવે, ત્યારે વધારે વજનદાર લાગતી હોય ? શું તમે ક્યારેય એવો વિચાર કર્યો છે કે લોખંડ અને સ્ટીલમાંથી બનેલ જહાજ સમુદ્રના પાણીમાં ડૂબતું નથી પરંતુ તેટલી જ માત્રામાં લોખંડ તથા સ્ટીલને પતરાના સ્વરૂપમાં લેવામાં આવે તો તે કેમ ડૂબી જાય છે ? આ બધા પ્રશ્નોના જવાબ જાણવા માટે ઉત્પ્લાવકતા વિશે જાણવું જરૂરી છે. ઉત્પ્લાવકતાનો અર્થ જાણવા માટે આપણે એક પ્રવૃત્તિ કરીશું.

પ્રવૃત્તિ _______________ 10.4

- પ્લાસ્ટિકની એક ખાલી બૉટલ લો. બૉટલના મુખને હવાચુસ્ત ઢાંકણથી બંધ કરી દો. તેને એક પાણી ભરેલ ડોલમાં મૂકો. તમે જોશો કે બૉટલ તરે છે.
- બૉટલને પાણીમાં ધકેલો. તમે ઉપરની તરફ એક ધક્કો અનુભવશો. તેને હજુ વધારે અંદર તરફ ધકેલો. તમે તેને વધારે ઊંડાઈએ લઈ જવામાં મુશ્કેલી અનુભવશો. જે દર્શાવે છે કે પાણી બૉટલ પર ઉપરની દિશામાં એક બળ લગાડે છે. જેમ-જેમ બૉટલને પાણીમાં અંદરની તરફ ધકેલવામાં આવે છે તેમ-તેમ તેની પર પાણી દ્વારા લાગતું બળ વધતું જાય છે, જ્યાં સુધી તે પૂરી ડૂબી ન જાય.
- હવે બૉટલને છોડી દો. તે ઉછળીને સપાટી પર પાછી આવે છે.
- શું પૃથ્વીનું ગુરુત્વાકર્ષણબળ આ બૉટલ પર કાર્યરત છે ? જો એમ હોય તો બૉટલને છોડી દેતાં તે પાણીમાં ડૂબતી કેમ નથી ? તમે બૉટલને પાણીમાં કેવી રીતે ડુબાડશો ?

પૃથ્વીનું ગુરુત્વાકર્ષણ બળ બૉટલ પર નીચેની દિશામાં લાગે છે. તેનાં કારણે બૉટલ નીચેની દિશામાં ખેંચાય છે; પરંતુ પાણી બૉટલ પર ઉપરની તરફ બળ લગાડે છે. તેથી બૉટલ ઉપરની દિશામાં ધકેલાય છે. આપણે અભ્યાસ કરી ચૂક્યા છીએ કે પદાર્થનું વજન પૃથ્વીના ગુરુત્વાકર્ષણ બળ જેટલું હોય છે. જ્યારે બૉટલને ડુબાડવામાં આવે છે ત્યારે બૉટલ પર પાણી દ્વારા લાગતું ઉપર તરફનું બળ તેના વજન કરતાં વધુ હોય છે. તેથી તેને છોડતાં તે ઉપરની તરફ ગતિ કરે છે.

બૉટલને પૂરી ડુબાડી રાખવા માટે પાણી દ્વારા બૉટલ પર, ઉપરની તરફ લાગતાં બળને સંતુલિત કરવું પડશે. જે નીચેની તરફ એક બાહ્યબળ લગાડીને મેળવી શકાય છે. આ બળ ઓછામાં ઓછું ઉપર તરફ લાગતા બળ તથા બૉટલના વજનના તફાવત બરાબર હોવું જોઈએ.

બૉટલ પર પાણી દ્વારા ઉપર તરફ લાગતાં બળને ઉત્પ્લાવક બળ કહે છે. વાસ્તવમાં કોઈ પણ પદાર્થને જ્યારે તરલમાં ડુબાડવામાં આવે છે ત્યારે તેના પર ઉત્પ્લાવકબળ લાગે છે. ઉત્પ્લાવક બળનું મૂલ્ય તરલની ઘનતા પર આધારિત છે.

10.5.3 શા માટે પાણીની સપાટી પર રાખવામાં આવતા પદાર્થો તરે છે અથવા ડૂબી જાય છે ? (Why objects float or sink when placed on the surface of water ?)

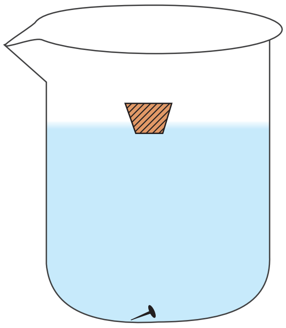
આ પ્રશ્નનો જવાબ આપવા માટે આપણે એક પ્રવૃત્તિ કરીએ.

પ્રવૃત્તિ _______________ 10.5

- પાણીથી ભરેલ એક બીકર લો.
- એક લોખંડની ખીલી લો તેને પાણીની સપાટી પર મૂકો.
- જુઓ શું થાય છે ?

ખીલી ડૂબી જાય છે. ખીલી પર લાગતું પૃથ્વીનું ગુરુત્વાકર્ષણ બળ તેને નીચેની તરફ ખેંચે છે. પાણી ખીલી પર ઉત્પ્લાવક બળ લગાડે છે જે તેને ઉપરની દિશામાં ધકેલે છે; પરંતુ ખીલી પર નીચેની તરફ લાગતું બળ, ખીલી પર પાણી દ્વારા લાગતા ઉત્પ્લાવક બળ કરતાં વધારે છે. તેથી તે ડૂબી જાય છે આકૃતિ (10.5).

પ્રવૃત્તિ _______________ 10.6



આકૃતિ 10.5 : પાણીની સપાટી પર મૂકેલ લોખંડની ખીલી ડૂબી જાય છે જ્યારે બૂચ તરે છે

- પાણીથી ભરેલ એક બીકર લો.
- એક ખીલી તથા સમાન દ્રવ્યમાન ધરાવતો એક બૂચ (Cork)નો ટુકડો લો.
- બંનેને પાણીની સપાટી પર મૂકો.
- જુઓ શું થાય છે ?

બૂચનો ટુકડો તરે છે જ્યારે ખીલી ડૂબી જાય છે. આમ થવાનું કારણ તેમની ઘનતાઓ વચ્ચેનો તફાવત છે. કોઈ પદાર્થની ઘનતા એટલે તેના એકમ કદ દીઠ દળ. બૂચની ઘનતા પાણીની ઘનતા કરતાં ઓછી હોય છે. તેનો અર્થ એ છે કે બૂચ પર પાણીનું ઉત્પ્લાવક બળ બૂચના વજન કરતાં વધુ છે. તેથી તે તરે છે. આકૃતિ (10.5).

લોખંડની ખીલીની ઘનતા પાણીની ઘનતા કરતાં વધારે છે. એનો અર્થ એ થયો કે લોખંડની ખીલી પર પાણીનું ઉત્પ્લાવક બળ ખીલીના વજન કરતાં ઓછું લાગે છે. તેથી તે ડૂબી જાય છે.

આમ, પ્રવાહીની ઘનતા કરતાં ઓછી ઘનતા ધરાવતાં દરેક દ્રવ્યો તે પ્રવાહી પર તરે છે અને પ્રવાહી કરતાં વધારે ઘનતા ધરાવતાં દ્રવ્યો ડૂબી જાય છે.

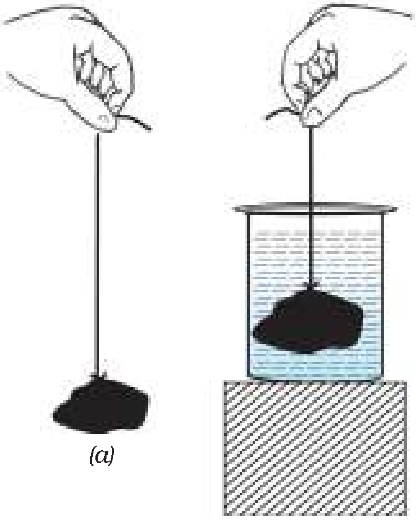
પ્રશ્નો :

1. એક પાતળી અને મજબૂત દોરીથી બનેલા પટ્ટાની મદદથી સ્કૂલબૅગને ઉપાડવાનું મુશ્કેલ હોય છે. - કેમ ?
2. ઉત્પ્લાવકતાનું તમે શું અર્થઘટન કરશો ?
3. પાણીની સપાટી પર કોઈ વસ્તુને રાખતાં તે કેમ તરે છે અથવા ડૂબે છે ?

10.5 આર્કિમિડીઝનો સિદ્ધાંત (Archimedes Principle)

પ્રવૃત્તિ ________ 10.7

- એક પથ્થરનો ટુકડો લો અને તેને એક છેડેથી રબરની દોરી કે સ્પ્રિંગ બૅલેન્સ સાથે બાંધો.
- આકૃતિ 10.6 (a)માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે બૅલેન્સ કે દોરીને પકડીને પથ્થરને લટકાવો.
- પથ્થરના વજનને કારણે રબરની દોરીની લંબાઈમાં થતો વધારો અથવા સ્પ્રિંગ બૅલેન્સનું વાંચન નોંધી લો.
- હવે પથ્થરને એક વાસણમાં રાખેલા પાણીમાં આકૃતિ 10.6 (b)માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે ધીરે-ધીરે ડુબાડો.



આકૃતિ 10.6 : (a) હવામાં લટકાવેલ પથ્થરના ટુકડાના વજનને કારણે રબરની દોરીની લંબાઈમાં વધારો થાય છે. (b) પથ્થરને પાણીમાં ડુબાડતાં દોરીની લંબાઈના વધારામાં ઘટાડો થાય છે.

- દોરીની લંબાઈમાં અથવા સ્પ્રિંગ બૅલેન્સના વજનમાં શું ફેરફાર થાય છે તે નોંધો.

તમે જોશો કે પથ્થરને ધીમે-ધીમે પાણીમાં નીચેની તરફ લઈ જવામાં આવે તેમ-તેમ દોરીની લંબાઈમાં અથવા બૅલેન્સના અવલોકનમાં ઘટાડો થાય છે. જ્યારે પથ્થર પાણીમાં સંપૂર્ણ ડૂબી જાય છે ત્યાર બાદ અવલોકનમાં કોઈ ફેરફાર થતો નથી. દોરીની લંબાઈમાં કે બૅલેન્સના માપનમાં થતા ઘટાડા પરથી તમે શું નિષ્કર્ષ તારવો છો ?

આપણે જાણીએ છીએ કે રબરની દોરીની લંબાઈમાં કે સ્પ્રિંગ બૅલેન્સના અવલોકનમાં વધારો પથ્થરના વજનના કારણે થાય છે. પથ્થરને પાણીમાં ડુબાડતા આ વધારામાં ઘટાડો થાય છે. એનો અર્થ એ થયો કે પથ્થર પર ઉપરની દિશામાં કોઈ બળ લાગે છે. જેના પરિણામ સ્વરૂપે રબરની દોરી પર લાગતા પરિણામી બળમાં ઘટાડો થાય છે અને તેથી લંબાઈના વધારામાં ઘટાડો થાય છે. જે ચર્ચા આપણે અગાઉ કરી ચૂક્યાં છીએ, તે મુજબ પાણી દ્વારા ઉપર તરફ લાગતાં આ બળને ઉત્પ્લાવક બળ કહે છે.

કોઈ પદાર્થ પર લાગતાં ઉત્પ્લાવક બળનું મૂલ્ય કેટલું હોય છે ? શું તે આપેલ એક જ વસ્તુ માટે બધાં જ તરલોમાં સમાન હોય છે ? શું આપેલ કોઈ એક તરલમાં બધી જ વસ્તુઓ સમાન ઉત્પ્લાવક બળ અનુભવે છે ? આ પ્રશ્નોનો જવાબ આર્કિમિડીઝના

સિદ્ધાંત પરથી મળે છે. જેને નીચે પ્રમાણે રજૂ કરી શકાય છે :

જ્યારે કોઈ પદાર્થને તરલમાં આંશિક કે સંપૂર્ણપણે ડુબાડવામાં આવે ત્યારે તે ઉપરની તરફ જે બળનો અનુભવ કરે છે તે પદાર્થ દ્વારા ખસેડાયેલા તરલના વજન બરાબર હોય છે.

શું હવે તમે એ સ્પષ્ટ કરી શકશો કે પ્રવૃત્તિ 10.7 માં પથ્થરને પાણીમાં પૂરેપૂરો ડુબાડ્યા બાદ દોરીની લંબાઈમાં પછી કોઈ ઘટાડો કેમ થતો નથી ?

આર્કિમિડીઝ

આર્કિમિડીઝ (Archimedes) એક ગ્રીક વૈજ્ઞાનિક હતા. તેમણે એક સિદ્ધાંતની શોધ કરી જે તેમના નામથી પ્રખ્યાત છે. આ સિદ્ધાંત તેમણે એ અવલોકન પરથી તારવ્યો કે જ્યારે નહાવાના ટબમાં પ્રવેશતાં પાણી ટબની બહાર વહેવા લાગે છે. તે રસ્તાઓ પર યૂરેકા (Eureka) યૂરેકા બૂમો પાડતાં દોડવા લાગ્યાં. જેનો અર્થ થાય છે 'મેં શોધી લીધું છે.' આ જ્ઞાનનો ઉપયોગ તેમણે રાજાના મુગટમાં ઉપયોગમાં લીધેલ સોનાની શુદ્ધતા માપવામાં કર્યો.

તેમના યંત્રશાસ્ત્ર અને ભૂમિતિમાં કરવામાં આવેલાં કાર્યોએ તેમને પ્રસિદ્ધ કરી દીધા તેમના ઉચ્ચાલન, ગરગડી, પૈડા તેમજ ધરી (axle)ના જ્ઞાનથી ગ્રીક સેનાને રોમન સેના વિરુદ્ધ લડાઈમાં ખૂબ જ સહાયતા મળી.

આર્કિમિડીઝના સિદ્ધાંતના ઘણા ઉપયોગો છે. તેને જહાજ તેમજ સબમરીનની રચનામાં તેમજ ડિઝાઇનમાં ઉપયોગમાં લેવામાં આવે છે. લૅક્ટૉમિટર જે દૂધના નમૂનાની શુદ્ધતા માપવામાં વપરાય છે તથા હાઇડ્રોમિટર જે દ્રવ્યની ઘનતા માપવા માટે વપરાય છે તે આ સિદ્ધાંત પર આધારિત છે.

પ્રશ્નો :

1. એક વજનકાંટા પર તમારું વજન 42 kg નોંધાય છે. શું તમારું દળ 42 kg કરતાં વધારે છે કે ઓછું ?
2. તમારી પાસે રૂ ભરેલો કોથળો અને લોખંડનો સળિયો છે તેમને વજનકાંટા પર મૂકતાં બંનેનું દળ 100 kg નોંધાય છે. વાસ્તવમાં એક પદાર્થ બીજા કરતાં ભારે છે. શું તમે કહી શકશો કે કયો પદાર્થ ભારે છે અને કેમ ?

10.7 સાપેક્ષ ઘનતા (Relative Density)

તમે જાણો છો કે કોઈ પદાર્થની ઘનતા એટલે તેના એકમ કદનું દળ. ઘનતાનો એકમ કિલોગ્રામ પ્રતિ ઘન મીટર છે. ($kg\ m^{-3}$). આપેલ પરિસ્થિતિમાં પદાર્થની ઘનતા અચળ હોય છે. આમ, કોઈ પદાર્થની ઘનતા તેનો લાક્ષણિક ગુણ છે. જે અલગ-અલગ પદાર્થો માટે અલગ-અલગ હોય છે. ઉદાહરણ તરીકે, સોનાની ઘનતા 19300 $kg\ m^{-3}$ છે જ્યારે પાણીની ઘનતા 1000 $kg\ m^{-3}$ છે. આપેલ પદાર્થના કોઈ નમૂનાની ઘનતા તે પદાર્થની શુદ્ધતા ચકાસવા માટે ઉપયોગી થાય છે.

ઘણી વાર કોઈ પદાર્થની ઘનતાને પાણીની ઘનતાની સાપેક્ષમાં રજૂ કરવી સુવિધાજનક હોય છે. કોઈ પદાર્થની સાપેક્ષ ઘનતા તે પદાર્થની ઘનતા અને પાણીની ઘનતાનો ગુણોત્તર છે. એટલે કે,

$$\text{સાપેક્ષ ઘનતા} = \frac{\text{કોઈ પદાર્થની ઘનતા}}{\text{પાણીની ઘનતા}}$$

સાપેક્ષ ઘનતા સમાન રાશિઓનો ગુણોત્તર હોવાથી તેને એકમ નથી.

ઉદાહરણ 10.7 : ચાંદીની સાપેક્ષ ઘનતા 10.8 છે. પાણીની ઘનતા $10^3\ kg\ m^{-3}$ છે. SI પદ્ધતિમાં ચાંદીની ઘનતા કેટલી હશે ?

ઉકેલ :

ચાંદીની સાપેક્ષ ઘનતા = 10.8

$$\text{સાપેક્ષ ઘનતા} = \frac{\text{ચાંદીની ઘનતા}}{\text{પાણીની ઘનતા}}$$

ચાંદીની ઘનતા = ચાંદીની સાપેક્ષ ઘનતા × પાણીની ઘનતા

$$= 10.8 \times 10^3\ kg\ m^{-3}$$

તમે શું શીખ્યાં

What You Have Learnt

- ગુરુત્વાકર્ષણના નિયમ અનુસાર કોઈ બે પદાર્થો વચ્ચે લાગતું ગુરુત્વાકર્ષણ બળ તેમના દ્રવ્યમાનના ગુણાકારના સમપ્રમાણમાં તથા તેમની વચ્ચેના અંતરના વર્ગના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં હોય છે. આ નિયમ દરેક પદાર્થને લાગુ પડે છે પછી તે વિશ્વમાં ગમે ત્યાં હોય. આ પ્રકારના નિયમને સાર્વત્રિક નિયમ કહે છે.
- ગુરુત્વાકર્ષણ એક નિર્બળ બળ છે જ્યાં સુધી ખૂબ જ વધારે દળ ધરાવતો પદાર્થ સંકળાયેલ ન હોય.
- પૃથ્વી દ્વારા લાગતાં ગુરુત્વાકર્ષણ બળને ગુરુત્વબળ (gravity) કહે છે.
- ગુરુત્વાકર્ષણ બળ પૃથ્વીની સપાટીથી ઊંચાઈના વધવા સાથે ઘટવા લાગે છે.
- તેનું મૂલ્ય પૃથ્વી પરનાં વિવિધ સ્થળોએ પણ જુદું-જુદું હોય છે તેનું મૂલ્ય ધ્રુવોથી વિષુવવૃત્ત તરફ જતાં ઘટતું જાય છે.
- કોઈ પદાર્થનું વજન એ બળ છે કે જેના દ્વારા પૃથ્વી તેને પોતાની તરફ આકર્ષિત કરતી હોય.
- કોઈ પદાર્થનું વજન તેના દ્રવ્યમાન અને ગુરુત્વપ્રવેગના ગુણાકાર બરાબર હોય છે.
- કોઈ પદાર્થનું વજન જુદાં-જુદાં સ્થળોએ જુદું-જુદું હોઈ શકે; પરંતુ દ્રવ્યમાન અચળ રહે છે.
- દરેક પદાર્થને કોઈ તરલમાં ડુબાડતા તે ઉત્પ્લાવક બળનો અનુભવ કરે છે.
- જે દ્રવ્યમાં પદાર્થને ડુબાડવામાં આવે છે તેની ઘનતાથી ઓછી ઘનતા ધરાવતા પદાર્થસપાટી પર તરતા હોય છે. જો કોઈ પદાર્થની ઘનતા તેને જેમાં ડુબાડવામાં આવે છે તે દ્રવ્યની ઘનતા કરતાં વધુ હોય તો તે પદાર્થ ડૂબી જાય છે.

સ્વાધ્યાય (Exercises)

1. જો બે પદાર્થો વચ્ચેનું અંતર અડધું કરવામાં આવે, તો તેમની વચ્ચે લાગતું ગુરુત્વાકર્ષબળ કેટલું થશે ?
2. દરેક પદાર્થ પર લાગતું ગુરુત્વાકર્ષણ બળ તેમના દ્રવ્યમાનના સમપ્રમાણમાં હોય છે, તો પછી એક ભારે પદાર્થ હલકા પદાર્થની સાપેક્ષમાં વધારે ઝડપથી નીચે કેમ પડતો નથી ?
3. પૃથ્વી તથા તેની સપાટી પર રાખેલ 1 kg ના પદાર્થ વચ્ચે લાગતા ગુરુત્વીય બળનું મૂલ્ય કેટલું હશે ? (પૃથ્વીનું દ્રવ્યમાન 6×10^{24} kg તથા પૃથ્વીની ત્રિજ્યા 6.4×10^{6} m છે.)
4. પૃથ્વી તથા ચંદ્ર એકબીજાને ગુરુત્વાકર્ષી બળથી આકર્ષે છે. શું પૃથ્વી જે બળથી ચંદ્રને આકર્ષે છે તે બળ, ચંદ્ર પૃથ્વીને આકર્ષે છે તે બળ કરતાં મોટું હોય છે, નાનું હોય છે કે સમાન હોય છે ? સમજાવો કેમ ?
5. જો ચંદ્ર પૃથ્વીને આકર્ષિત કરતો હોય તો પૃથ્વી ચંદ્ર તરફ ગતિ કેમ નથી કરતી ?

6. બે પદાર્થો વચ્ચે લાગતું ગુરુત્વાકર્ષણ બળ કેટલું થશે જો

(i) એક પદાર્થનું દ્રવ્યમાન બમણું કરવામાં આવે.

(ii) પદાર્થો વચ્ચેનું અંતર બમણું અને ત્રણગણું કરવામાં આવે.

(iii) બંને પદાર્થોનું દ્રવ્યમાન બમણું કરવામાં આવે.

7. ગુરુત્વાકર્ષણના સાર્વત્રિક નિયમનું શું મહત્ત્વ છે ?

8. મુક્ત પતનનો પ્રવેગ કેટલો છે ?

9. પૃથ્વી તથા કોઈ પદાર્થ વચ્ચે લાગતાં ગુરુત્વાકર્ષણ બળને આપણે શું કહીશું ?

10. અમિત પોતાના એક મિત્રના કહેવાથી ધ્રુવો પર કેટલાક ગ્રામ સોનું ખરીદે છે. તે સોનું વિષુવવૃત્ત પર પોતાના મિત્રને આપી દે છે. શું તેનો મિત્ર ખરીદાયેલા સોનાના વજનથી સંતુષ્ટ હશે ? જો ના તો કેમ ? (સૂચન : ધ્રુવો પર g નું મૂલ્ય વિષુવવૃત્ત પરના મૂલ્ય કરતાં વધુ હોય છે.)

11. એક કાગળની શીટ તેના જેવી જ શીટને વાળીને બનાવેલ દડાની સાપેક્ષમાં ધીમેથી નીચે પડે છે - કેમ ?

12. ચંદ્રની સપાટી પર ગુરુત્વાકર્ષણ બળ, પૃથ્વીની સપાટી પરના ગુરુત્વીય બળની સાપેક્ષમાં $\frac{1}{6}$ ગણું છે. એક 10 kg ની વસ્તુનું ચંદ્ર પર તથા પૃથ્વી પર ન્યૂટનમાં વજન કેટલું થશે ?

13. એક દડાને ઊર્ધ્વદિશામાં 49 m s^{-1} ના વેગથી ફેંકવામાં આવે છે. તો,

(i) દડાએ પ્રાપ્ત કરેલ મહત્તમ ઊંચાઈ શોધો.

(ii) પૃથ્વીની સપાટી પર પાછા ફરવા માટે લાગતો કુલ સમય શોધો.

14. 19.6 m ઊંચાઈના ટાવરની ટોચ પરથી એક પથ્થરને મુક્ત પતન કરવા દેવામાં આવે છે. પૃથ્વીની સપાટીને અડકે તે પહેલાં તેનો અંતિમ વેગ શોધો.

15. એક પથ્થરને ઊર્ધ્વ દિશામાં 40 m s^{-1} ના પ્રારંભિક વેગથી ફેંકવામાં આવે છે. g = 10 m s^{-2} લઈને પથ્થર દ્વારા પ્રાપ્ત કરેલ મહત્તમ ઊંચાઈ શોધો. પથ્થર દ્વારા થયેલ કુલ સ્થાનાંતર તથા તેણે કાપેલ કુલ અંતર કેટલું ?

16. પૃથ્વી તથા સૂર્ય વચ્ચે લાગતાં ગુરુત્વાકર્ષણ બળની ગણતરી કરો. પૃથ્વીનું દ્રવ્યમાન = 6×10^{24} kg તથા સૂર્યનું દ્રવ્યમાન = 2×10^{30} kg. બંને વચ્ચેનું સરેરાશ અંતર = 1.5×10^{11} m છે.

17. કોઈ પથ્થરને 100 m ઊંચા ટાવરની ટોચ પરથી પડતો મૂકવામાં આવે છે. તે જ સમયે બીજા પથ્થરને જમીન પરથી 25 m s^{-1} ના વેગથી ઊર્ધ્વદિશામાં ફેંકવામાં આવે છે, તો બંને પથ્થર ક્યારે અને ક્યાં એકબીજાને મળશે ?

18. ઉર્ધ્વદિશામાં ફેંકવામાં આવેલ એક દડો 6 s બાદ ફેંકવાવાળાના હાથમાં પાછો આવે છે. તો,

(a) તેને કેટલા વેગથી ઉપર ફેંકવામાં આવેલ છે ?

(b) દડાએ પ્રાપ્ત કરેલ મહત્તમ ઊંચાઈ કેટલી ?

(C) 4 s બાદ દડાનું સ્થાન શોધો.

19. કોઈ પ્રવાહીમાં ડુબાડેલ પદાર્થ પર ઉત્પ્લાવક બળ કઈ દિશામાં કાર્ય કરે છે ?

20. પાણીમાં ડુબાડેલ પ્લાસ્ટિકના બ્લૉકને છોડી દેતાં તે પાણીની સપાટી પર કેમ આવી જાય છે ?

21. 50 g દળ ધરાવતા કોઈ પદાર્થનું કદ 20 cm^3 છે. જો પાણીની ઘનતા 1 g cm^{-3} હોય, તો પદાર્થ તરશે કે ડૂબશે ?

22. 500 g ના સીલબંધ પૅકેટનું કદ 350 cm^3 છે. પૅકેટ 1 g cm^{-3} ઘનતા ધરાવતાં પાણીમાં ડૂબશે કે તરશે ? આ પૅકેટ દ્વારા વિસ્થાપિત પાણીનું દળ કેટલું હશે ?

પ્રકરણ 11

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 ખ્યાલો વિશે વિસ્તૃત રીતે સમજીશું.

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, ભણવું, 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 તેમનાં રોજિંદાં કાર્યોમાં 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, ગાડું ખેંચવા, ખેતર ખેડવાના ઉપયોગમાં લઈએ છીએ. આ બધી ક્રિયાઓ 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 ઈંધણની જરૂરિયાત કેમ હોય છે ? શા માટે સજીવો અને મશીન (યંત્રો)ને ઊર્જાની જરૂરિયાત હોય છે ?

11.1 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.

11.1.1 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, ચિત્ર બનાવે 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 પ્રક્રિયાઓમાં તે ઘણીબધી ઊર્જા વ્યય કરે 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 બહુ જ મોટા પથ્થરને ધક્કો મારવાનું મુશ્કેલ કામ 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 વજન મૂકીને થોડીક મિનિટો માટે સ્થિર ઊભા રહો. તમે થાકી જશો. તમે થાકી ગયા છો તથા તમે ઘણી શક્તિ વાપરી છે. શું તમે વજન ઉપર કંઈક કામ કરી રહ્યા છો ? આપણે વિજ્ઞાનમાં જે પ્રકારે 'કાર્ય' શબ્દનો અર્થ સમજીએ છીએ એ અર્થમાં આ પરિસ્થિતિમાં કાર્ય નથી થયું.

કુદરતી દૃશ્યોને 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 પ્રક્રિયામાં 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 ગણગણવી, કોઈ ફિલ્મને જોવી, કોઈ સમારંભમાં જોડાવું, આ બધાને ઘણી વાર કાર્ય સમજવામાં આવતું નથી. કાર્ય શું છે, તે એ વાત ઉપર આધારિત છે કે આપણે તેને કેવી રીતે વર્ણવીએ છીએ. વિજ્ઞાનમાં આપણે કાર્ય શબ્દનો અલગ પ્રકારથી ઉપયોગ કરીએ છીએ તે જાણવા માટે નીચે પ્રકારની પ્રવૃત્તિ કરીએ :

પ્રવૃત્તિ 11.1

- ઉપર જણાવેલ ફકરાઓમાં આપણે કેટલાંય આવાં કાર્યોની ચર્ચા કરી છે, જે સામાન્ય રીતે આપણા રોજિંદા

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

(i) કઈ વસ્તુ પર કાર્ય થયું ?

(ii) વસ્તુ પર કઈ ક્રિયા થઈ ?

(iii) કોણ (ક્યું) કાર્ય કરી રહ્યું છે ?

11.1.2 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 પડશે. પુસ્તક ઊંચુ જાય છે. પુસ્તક ઉપર એક બળ લગાડ્યું અને પુસ્તક ગતિમાન થયું એટલે કાર્ય થયું તેમ કહેવાય.

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

જો આમાંથી, કોઈપણ એક પરિસ્થિતિનું અસ્તિત્વ 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 11.2

- તમારા રોજિંદા જીવનની કેટલીક ઘટનાઓ પર વિચાર કરો - જેમાં કાર્ય સમાયેલ હોય.
- તેની સૂચિ બનાવો.
- તમારા મિત્રો સાથે વિચાર-વિમર્શ કરો કે શું દરેક સ્થિતિમાં કાર્ય કરેલું છે ?
- તમારા જવાબોનાં કારણો જાણવાનો પ્રયત્ન કરો.
- જો કાર્ય થયું છે તો વસ્તુ ઉપર ક્યું બળ કાર્ય કરી રહ્યું છે ?
- એ કઈ વસ્તુ છે કે જેના પર કાર્ય થયું છે ?
- જે વસ્તુ પર કાર્ય થયું છે, એની સ્થિતિમાં શું પરિવર્તન થાય છે ?

પ્રવૃત્તિ 11.3

- એવી પરિસ્થિતિઓ પર વિચાર કરો કે જેમાં વસ્તુ પર બળ લગાડવા છતાં પણ સ્થાનાંતરિત થતી ન હોય અને
- 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 ?

11.1.3 અચળ બળ દ્વારા થયેલ કાર્ય

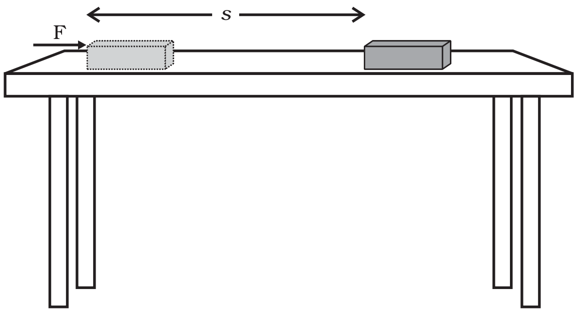
(Work Done by a Constant Force)

વિજ્ઞાનમાં કાર્યને કેવી રીતે વર્ણવવામાં 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 એક ચોક્કસ બળ F લાગે છે. માની લો કે વસ્તુ બળની દિશામાં s જેટલું અંતર કાપે છે. (આકૃતિ 11.1) માની લો કે W કરેલું કાર્ય છે. કાર્યની વ્યાખ્યા મુજબ કરેલ કાર્યબળ તથા સ્થાનાંતરના ગુણાકાર જેટલું છે.

કરેલું કાર્ય = બળ × સ્થાનાંતર

$$W = Fs \qquad (11.1)$$



આકૃતિ 11.1

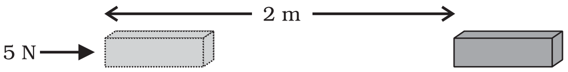
આમ, કોઈ વસ્તુ પર લાગતા બળ દ્વારા થયેલ કાર્ય બળના મૂલ્ય તથા બળની દિશામાં થયેલ સ્થાનાંતરના ગુણાકાર બરાબર હોય છે. કાર્ય ફક્ત મૂલ્ય જ ધરાવે છે તથા તેને કોઈ દિશા હોતી નથી.

સમીકરણ (11.1) 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 (11.1)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.

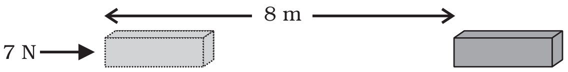
ઉદાહરણ 11.1 : કોઈ વસ્તુ પર 5 N બળ લાગી રહ્યું છે. વસ્તુ બળની દિશામાં 2 m અંતર કાપે છે (આકૃતિ 11.2). જો બળ વસ્તુના સમગ્ર સ્થાનાંતર દરમિયાન લાગતું હોય, તો સમીકરણ (11.1) મુજબ થયેલું કાર્ય $5N \times 2m = 10$ Nm અથવા 10 J



આકૃતિ 11.2

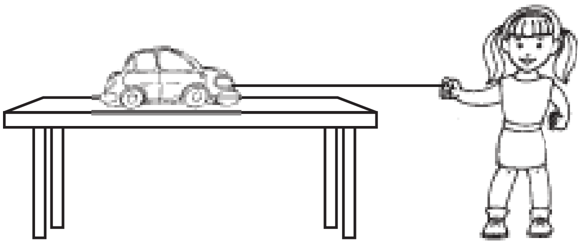
પ્રશ્નો :

1. કોઈ વસ્તુ ઉપર 7 N નું બળ લાગે છે. માની લો કે બળની દિશામાં વસ્તુનું સ્થાનાંતર 8 m છે. (આકૃતિ 11.3) માનીલો કે બળ વસ્તુના સમગ્ર સ્થાનાંતર દરમિયાન લાગી રહ્યું છે. આ સ્થિતિમાં કરેલું કાર્ય કેટલું હશે ?



આકૃતિ 11.3

એક બીજી સ્થિતિ પર વિચાર કરો જેમાં બળ તથા સ્થાનાંતર એક જ દિશામાં હોય. એક બાળકી કોઈ રમકડાની કારને આકૃતિ 11.4 માં બતાવ્યા 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 કરેલું કાર્ય ધન ગણાય છે.



આકૃતિ 11.4

હવે એક એવી સ્થિતિ પર વિચાર કરો જેમાં એક વસ્તુ ઘણાં બળોના પ્રભાવથી સ્થાનાંતરિત થાય છે અને તેમાંથી એક બળ F, સ્થાનાંતર sની વિરુદ્ધ દિશામાં લાગી રહ્યું છે. એટલે કે બંનેની દિશાઓની વચ્ચે 180° નો કોણ બની રહ્યો 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 ધનાત્મક અથવા ઋણાત્મક બંનેમાંથી કોઈ એક હોઈ શકે છે. આને સમજવા માટે કેટલીક પ્રવૃત્તિઓ કરીએ.

પ્રવૃત્તિ 11.4

- કોઈ વસ્તુ ઉપર ઉઠાવો. તમારા દ્વારા વસ્તુ ઉપર લગાવેલ બળ દ્વારા કાર્ય કરાયું. વસ્તુ ઊંચી થાય 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 બતાવો.

જ્યારે બળ સ્થાનાંતરની દિશાથી વિરુદ્ધ દિશામાં લાગે છે ત્યારે થતું કાર્ય ઋણાત્મક હોય છે. જ્યારે બળ સ્થાનાંતરની દિશામાં લાગે છે તો થતું કાર્ય ધનાત્મક હોય છે.

ઉદાહરણ 11.2 : એક કુલી 15 kg વજન જમીન પરથી ઉપાડીને જમીનથી 1.5 m ઊંચાઈએ પોતાનાં માથા પર રાખે છે. તેના દ્વારા વજન ઉપર કરેલ કાર્યની ગણતરી કરો.

ઉકેલ :

વજનનું 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 વજન ઉપર કરેલ કાર્ય 225 J છે.

પ્રશ્નો :

1. આપણે ક્યારે કહીએ છીએ કે કાર્ય થયું છે ?
2. જ્યારે કોઈ વસ્તુ ઉપર લગાવેલું બળ એના અંતરની 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 ?

11.2 ઊર્જા (Energy)

ઊર્જા વિના જીવન અસંભવ છે. ઊર્જાની માંગ દિન-પ્રતિદિન વધતી જાય છે. આપણને ઊર્જા ક્યાંથી પ્રાપ્ત થાય છે ? સૂર્ય આપણા માટે કુદરતી ઊર્જાનો સૌથી મોટો સ્રોત છે. આપણી ઊર્જાના ઘણાબધા સ્રોત સૂર્યથી ઉત્પન્ન 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 _______________ 11.5

- ઊર્જાના કેટલાક સ્રોત ઉપર દર્શાવ્યા છે. ઊર્જાના બીજા ઘણા સ્રોત છે. તેની યાદી બનાવો.
- નાના સમૂહોમાં 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 ઘણી વાર થતો રહ્યો 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 જઈને પડે છે. તે જ રીતે જ્યારે આપણે કોઈ વસ્તુને કોઈ ચોક્કસ ઊંચાઈ સુધી ઉપાડીએ છીએ ત્યારે તેમાં કાર્ય કરવાની ક્ષમતા આવી જાય 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 રમકડામાં (જેમકે રમકડાની કાર)માં ચાવી ભરતા જોયા હશે, અને જ્યારે તે રમકડું કોઈ જમીન ઉપર 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 એક વસ્તુમાંથી બીજી વસ્તુમાં સ્થળાંતરિત થઈ જાય 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. 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.

11.2.1 ઊર્જાનાં 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. એ વિદ્યુત તથા ઉષ્મા ગતિકીય સંશોધનો માટે વિશેષ રૂપથી જાણીતા થયા. અન્ય વિચારોથી અલગ એમણે વિદ્યુતના ઉષ્મીય પ્રભાવ 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.

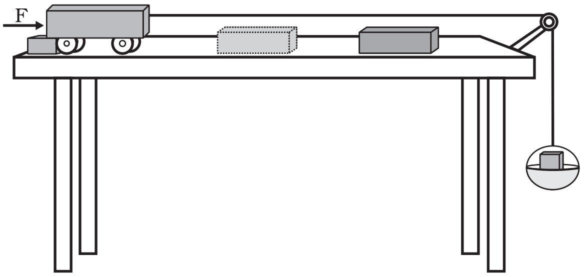
11.2.2 ગતિઊર્જા (Kinetic energy)

પ્રવૃત્તિ ________ 11.6

- 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.
- ચોક્કસ 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 ________ 11.7

- આકૃતિ 11.5 માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે સાધનો ગોઠવો.
- જાણીતા દળના લાકડાંના બ્લૉકને એક ટ્રોલીની સામે ચોક્કસ અંતરે મૂકો.
- પલ્લામાં એક જાણીતું દળ મૂકો કે જેથી ટ્રોલી ગતિ શરૂ કરે.



આકૃતિ 11.5

- 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.
- ક્યા કિસ્સામાં સ્થાનાંતર વધુ છે ? ક્યા કિસ્સામાં થતું કાર્ય વધું 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 ? વહેતો 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, વહેતી હવા, 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 વસ્તુ ને તે વેગ પ્રાપ્ત કરવા માટે કરવા પડતાં કાર્યના બરાબર હોય છે.

ચાલો, હવે આપણે વસ્તુની ગતિઊર્જાને એક સમીકરણ સ્વરૂપે રજૂ કરીએ. ધારો કે m દળની એક વસ્તુ u જેટલા સમાન વેગથી ગતિ કરી રહી છે. હવે ધારો કે, તેના પર F જેટલું અચળ બળ સ્થાનાંતરની દિશામાં લાગે છે, તેથી વસ્તુનું s જેટલું સ્થાનાંતર થાય છે. સમીકરણ (11.1) 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.

વિભાગ 8.5માં આપણે ગતિનાં ત્રણ સમીકરણનો અભ્યાસ કર્યો. અચળ પ્રવેગ a થી ગતિ કરતી કોઈ વસ્તુના પ્રારંભિક વેગ (u), અંતિમ વેગ v તથા સ્થાનાંતર s વચ્ચેનો સંબંધ નીચે પ્રમાણે છે :

$$v^2 - u^2 = 2a\,s \qquad (8.7)$$

અથવા

$$s = \frac{v^2 - u^2}{2a} \qquad (11.2)$$

વિભાગ 9.4 પરથી આપણે જાણીએ છીએ કે F = ma. આ રીતે સમીકરણ (11.2)ને સમીકરણ (11.1)માં મૂકતાં આપણે બળ F દ્વારા કરવામાં આવેલ કાર્યને લખી શકીએ છીએ.

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

$$W = \frac{1}{2}\,m\,(v^2 - u^2) \qquad (11.3)$$

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

$$W = \frac{1}{2}\,mv^2 \qquad (11.4)$$

સ્પષ્ટ છે કે કરેલ કાર્ય વસ્તુની ગતિઊર્જામાં રૂપાંતરણ પામે છે.

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

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

$$E_k = \frac{1}{2}\,mv^2 \qquad (11.5)$$

ઉદાહરણ 11.3 : 15 kg દળની એક વસ્તુ 4 m s^{-1} ના સમાન વેગથી ગતિ કરે છે. વસ્તુની ગતિઊર્જા કેટલી હશે ?

ઉકેલ :

વસ્તુનું દળ m = 15 kg

વસ્તુનો વેગ v = 4 m s^{-1}

સમીકરણ (11.5) 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 11.4 : જો કોઈ કારનું દ્રવ્યમાન 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 km h^{-1}

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

આ રીતે કારનો અંતિમ વેગ v = 60 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 ?

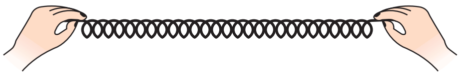
11.2.3 સ્થિતિઊર્જા (Potential Energy)

પ્રવૃત્તિ ______ 11.8

- 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 ખેંચાવાની સ્થિતિમાં કંઈક ઊર્જા મેળવી છે. ખેંચાવાથી તે કેવી રીતે ઊર્જા મેળવે છે ?

પ્રવૃત્તિ ______ 11.9

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

પ્રવૃત્તિ ______ 11.10

- 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 ?

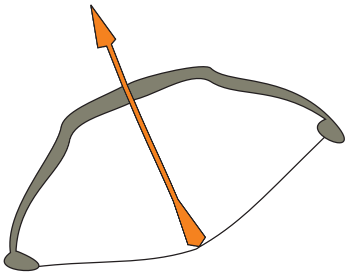
પ્રવૃત્તિ ______ 11.11

- 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 ઊર્જા નો સંગ્રહ થઈ જાય છે.
- આને ઊર્જા ક્યાંથી મળે છે ? તે વિચારો અને વિચાર-વિમર્શ કરો.

ઉપર્યુક્ત પરિસ્થિતિઓમાં વસ્તુ ઉપર કરેલ કાર્યના લીધે એમાં ઊર્જા ભેગી થાય છે. કોઈ વસ્તુમાં સ્થળાંતર કરેલી ઊર્જા તેમાં સ્થિતિઊર્જા રૂપે સંગ્રહ પામે 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 ______ 11.12

- વાંસની એક પટ્ટી લો અને તેમાંથી આકૃતિ 11.6 માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે એક ધનુષ્ય તૈયાર કરો.
- એક હલકી દંડીનું તીર બનાવો.
- તીરનો એક છેડો ધનુષ્ય પર ખેંચીને બાંધેલી દોરી પર રાખો.
- હવે દોરીને ખેંચી તીરને છોડો.
- તીર ધનુષ્યથી દૂર જાય છે તે નોંધો તથા ધનુષ્યના આકારમાં થતો ફેરફાર નોંધો.
- ખેંચેલી દોરી વખતે ધનુષ્યના આકારમાં થતા ફેરફારના કારણે તેમાં સંગ્રહ પામેલી સ્થિતિઊર્જા તીરને ગતિઊર્જા રૂપે મળે છે. જેથી તીર ગતિ કરીને દૂર પડે છે.

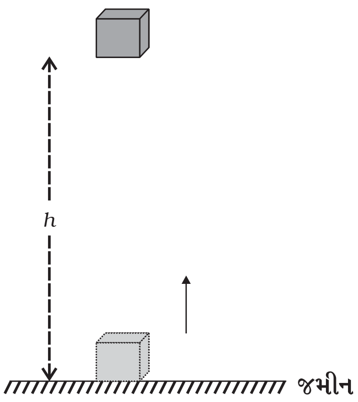


આકૃતિ 11.6 : ધનુષ્યની તાણેલી દોરી પર રાખેલ તીર

11.2.4 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 11.7

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. વસ્તુમાં તેના પર કરેલા કાર્ય જેટલી ઊર્જા સંગ્રહ પામે છે. ધારો કે, વસ્તુ પર ગુરુત્વીય બળની વિરુદ્ધમાં કરેલ કાર્ય W છે. આમ,

કરેલ કાર્ય W = બળ × સ્થાનાંતર

$= mg \times h$

$= mgh$

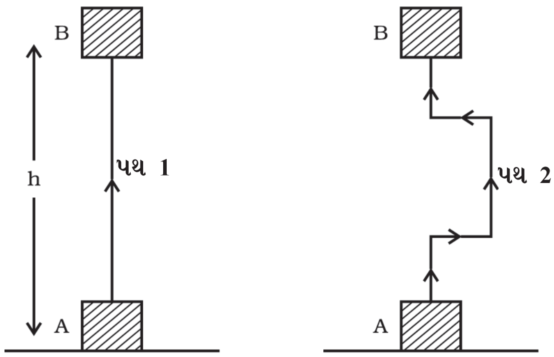
વસ્તુ પર કરેલ કાર્ય mgh જેટલું છે તેથી વસ્તુને mgh જેટલી ઊર્જા મળે છે, જે વસ્તુની સ્થિતિઊર્જા (E_p) છે.

$$E_p = mgh \quad (11.6)$$

વધારે જાણવા જેવું

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 11.8માં 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 11.8

ઉદાહરણ 11.5 : 10 kg દળની એક વસ્તુને જમીનથી 6 મીટરની ઊંચાઈ સુધી લઈ જવામાં આવે છે. આ વસ્તુમાં સંગ્રહ પામતી ઊર્જાની ગણતરી કરો. $g = 9.8 \text{ m s}^{-2}$

ઉકેલ :

વસ્તુનું દળ m = 10 kg

ઊંચાઈ h = 6 m

ગુરુત્વપ્રવેગ $g = 9.8 \text{ m s}^{-2}$

સમીકરણ (11.6) પરથી,

સ્થિતિઊર્જા = mgh

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

$= 588 \text{ J}$

સ્થિતિઊર્જા 588 J છે.

ઉદાહરણ 11.6 : 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

$E_P = mgh$

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

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

$= 4 \text{ m}$

વસ્તુ 4 m ની ઊંચાઈ પર આવેલ છે.

11.2.5 શું ઊર્જાનાં જુદાં-જુદાં રૂપ એકબીજામાં આંતર રૂપાંતરણીય છે ? (Are various energy forms interconvertible ?)

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

પ્રવૃત્તિ ______ 11.13

- નાનાં-નાનાં જૂથમાં બેસો.
- કુદરતમાં ઊર્જાના રૂપાંતરણના જુદા-જુદા પ્રકારો વિશે ચર્ચા કરો.
- તમારા સમૂહમાં નીચેના પ્રશ્નો વિશે વિચાર-વિમર્શ કરો :
  (i) લીલાં પર્ણો ખોરાક કેવી રીતે બનાવે છે ?
  (ii) તેમને ઊર્જા ક્યાંથી પ્રાપ્ત થાય છે ?
  (iii) વાયુ એક સ્થળેથી બીજા સ્થળે કેમ વહે છે ?
  (iv) કોલસો તથા પેટ્રોલિયમ જેવા ઇંધણ કેવી રીતે બન્યાં ?
  (v) કયા પ્રકારના ઊર્જાનાં રૂપાંતરણો જલચક્રને ટકાવી રાખે છે ?

પ્રવૃત્તિ ______ 11.14

- 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.

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

પ્રવૃત્તિ 11.13 તથા 11.14 માં આપણે શીખ્યાં કે ઊર્જા એક રૂપમાંથી બીજા રૂપમાં 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 અવસ્થા તેમજ તેના દરેક 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 $mhg + \frac{1}{2}mv^2$ = અચળ (11.7)

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 ________ 11.15

- 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. m	સ્થિતિઊર્જા ($E_p = mgh$) J	ગતિઊર્જા $\frac{mv^2}{2}$ J	$E_p + E_k$ 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 ?

11.3 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 (એજન્ટો) કે જે ઊર્જાનું રૂપાંતરણ કરે છે તે જુદા-જુદા દરે કાર્ય કરતાં હોય છે. ચાલો, નીચેની પ્રવૃત્તિ સમજીએ :

પ્રવૃત્તિ ________ 11.16

- 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.
- કયા બાળકે આપેલ સમય ધારો કે 1 s, માં 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 મોટરબાઈક તથા કાર જેવાં સાધનોના પાવર 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 (એજન્ટ) t સમયમાં W જેટલું કાર્ય કરતો હોય તો,

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

અથવા $$P = \frac{W}{t} \qquad (11.8)$$

પાવરનો એકમ વૉટ છે. [વૈજ્ઞાનિક જેમ્સ વૉટ (1736-1819)ના માનમાં] તેની સંજ્ઞા W છે. 1 વૉટ તે એજન્ટ (વસ્તુ)નો 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 અથવા 1000 J s^{-1}

કોઈ એજન્ટ(વસ્તુ)નો પાવર સમય સાથે બદલાતો હોય છે. એનો અર્થ એ થયો કે એજન્ટ(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 11.7 : 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 (11.8) પરથી,

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

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

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

= 160 W

(ii) છોકરી B દ્વારા વપરાયેલ પાવર :

છોકરીનું વજન mg = 400 N

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 અને છોકરી B દ્વારા વપરાયેલ પાવર 64 W છે.

ઉદાહરણ 11.8 : 50 kg દ્રવ્યમાન 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 (11.8) 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.

11.3.1 ઊર્જાના વ્યાવસાયિક એકમો (Commercial Units of Energy)

જૂલ ઊર્જાનો બહુ નાનો એકમ છે. તેથી ઊર્જાનાં મોટાં મૂલ્યો દર્શાવવા માટે તે અસુવિધાજનક છે. આથી આપણે ઊર્જાના મોટા એકમ કિલોવૉટ અવર (kW h)નો ઉપયોગ કરીશું.

1 kW h એટલે શું ? માની લો કે આપણી પાસે એક મશીન છે કે જે એક સેકન્ડમાં 1000 J ઊર્જા વાપરે છે. જો આ મશીન સતત એક કલાક સુધી કાર્યરત હોય તો તે 1 કિલોવૉટ કલાક (1 kW h) ઊર્જા વાપરશે. આ રીતે એક કિલો વૉટ કલાક (1 kW h), ઊર્જાનું તે મૂલ્ય છે કે જે 1000 J s^{-1} ના દરથીએક કલાકમાં વપરાતી ઊર્જાનું માપ દર્શાવે છે.

1 kW h = 1 kW × 1 h

= 1000 W × 3600 s

= 36,00,000 J

અથવા 1 kWh = 3.6 × 10^6 J

ઘરોમાં, ઉદ્યોગોમાં તથા વ્યાવસાયિક સંસ્થાઓમાં વપરાતી ઊર્જા મોટા ભાગે કિલોવૉટ કલાકમાં દર્શાવાય છે. ઉદાહરણ તરીકે એક મહિનામાં ઉપયોગમાં લીધેલ વિદ્યુત ઊર્જાને 'યુનિટ'ના રૂપમાં દર્શાવવામાં આવે છે. અહીં 1 'યુનિટ'નો અર્થ થાય છે 1 kW h.

ઉદાહરણ 11.9 : 60 Wનો એક વિદ્યુત બલ્બ દરરોજ 6 કલાક વપરાય છે. બલ્બ દ્વારા એક દિવસમાં ખર્ચાતી ઊર્જાના 'યુનિટો'ની ગણતરી કરો.

ઉકેલ :

વિદ્યુત બલ્બનો પાવર = 60 W

= 0.06 kW

સમય t = 6 h

ઊર્જા = પાવર × લીધેલ સમય

= 0.06 kW × 6 h

= 0.36 kWh

= 0.36 યુનિટ

બલ્બ દ્વારા 0.36 યુનિટ વપરાશે.

પ્રવૃત્તિ ______________ 11.17

- 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.
- દિવસમાં કેટલા 'યુનિટ' વપરાય છે ?
- રાતના સમયે કેટલા 'યુનિટ' વપરાય છે ?
- આ પ્રવૃત્તિ લગભગ 1 અઠવાડિયા સુધી કરો.
- તમારાં અવલોકનોને કોષ્ટકમાં નોંધો.
- આ અવલોકનો પરથી નિષ્કર્ષ તારવો.
- તમારાં અવલોકનોની તુલના વિદ્યુતના માસિક બિલ સાથે તેમાં આપેલ માહિતી સાથે કરો.

તમે શું શીખ્યાં

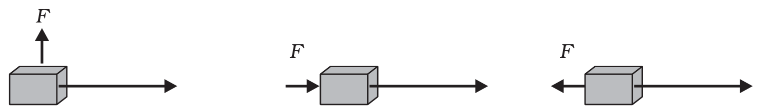
What You Have Learnt

- 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 kWh) કહે છે.

સ્વાધ્યાય (Exercises)

1. નીચેની યાદીમાં દર્શાવેલ પ્રવૃત્તિઓ જુઓ. તમારી 'કાર્ય' શબ્દની સમજને આધારે વિચારો કે તેમાં કાર્ય થઈ રહ્યું છે કે નહિ ?
   - સૂમા એક તળાવમાં તરી રહી છે.
   - એક ગધેડાએ પોતાની પીઠ પર બોજ (ભાર) ઉઠાવેલ 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 ગતિશીલ 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 ? કારણ જણાવો.
7. જ્યારે તમે સાઈકલ ચલાવો છો ત્યારે કઈ-કઈ ઊર્જાઓ રૂપાંતરિત 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 ? તમારો જવાબ તર્કસંગત રીતે આપો.
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 વ્યાજબીપણું 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 દઈએ છીએ તો તે દોલન કરે છે. આ ઘટનામાં થતાં ઊર્જાનાં રૂપાંતરણોની ચર્ચા કરો અને તે પરની ઊર્જા-સંરક્ષણના નિયમને સ્પષ્ટ કરો. લોલક થોડા સમય બાદ સ્થિર અવસ્થામાં કેમ આવી જાય છે ? આ સ્થિતિમાં 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. વસ્તુએ કેટલું કાર્ય કરવું જોઈએ કે જેથી તે સ્થિર સ્થિતિમાં આવી જાય ?
17. 1500 kg દ્રવ્યમાનની કાર કે જે 60 km/h ના વેગથી ગતિ કરી રહી છે. તેને રોકવા માટે કરવા પડતાં કાર્યની ગણતરી કરો.
18. નીચે આપેલ દરેક સ્થિતિ માટે m દ્રવ્યમાનની એક વસ્તુ પર 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 કરેલ 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. દરેકનો પાવર 500 W હોય તેવાં ચાર સાધનો 10 કલાક માટે વાપરવામાં આવે છે, તો તેમના દ્વારા વપરાતી ઊર્જા kWh માં શોધો.
21. મુક્ત પતન કરતી એક વસ્તુ જમીન પર પડીને સ્થિર થાય છે. તો તેની ગતિઊર્જાનું શું થશે ?

પ્રકરણ 12

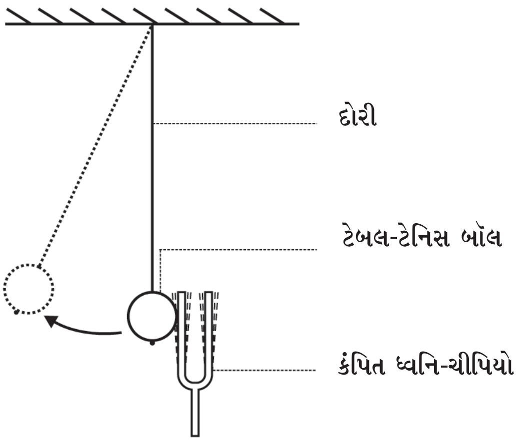
ધ્વનિ (Sound)

આપણે રોજિંદા જીવનમાં જુદા-જુદા સ્રોતો, જેવા કે માનવો, પક્ષીઓ, ઘંટડીઓ, મશીનો, વાહનો, ટેલિવિઝન, રેડિયો વગેરેનો ધ્વનિ સાંભળીએ છીએ. ધ્વનિ ઊર્જાનું એક સ્વરૂપ છે જે આપણા કાનમાં શ્રવણની સંવેદના ઉત્પન્ન કરે છે. ઊર્જાનાં અન્ય સ્વરૂપો પણ છે, જેમકે યાંત્રિકઊર્જા, ઉષ્માઊર્જા, પ્રકાશઊર્જા વગેરે. આગળનાં પ્રકરણોમાં આપણે યાંત્રિકઊર્જાનો અભ્યાસ કરી ચૂક્યા છીએ. તમે ઊર્જા-સંરક્ષણનો નિયમ પણ ભણ્યાં છો જે દર્શાવે છે કે આપણે ઊર્જા નથી ઉત્પન્ન કરી શકતા કે નથી તેનો નાશ કરી શકતા. આપણે તેને ફક્ત એક સ્વરૂપમાંથી બીજા સ્વરૂપમાં રૂપાંતરિત કરી શકીએ છીએ. જ્યારે તમે તાળી પાડો છો ત્યારે ધ્વનિ ઉત્પન્ન થાય છે. શું તમે તમારી ઊર્જાનો ઉપયોગ કર્યા વિના ધ્વનિ ઉત્પન્ન કરી શકશો ? ધ્વનિ ઉત્પન્ન કરવા માટે તમે ઊર્જાના કયા સ્વરૂપનો ઉપયોગ કર્યો ? આ પ્રકરણમાં આપણે શીખીશું કે ધ્વનિ કેવી રીતે ઉત્પન્ન થાય છે તથા કેવી રીતે કોઈ માધ્યમમાં તે પ્રસરણ પામી આપણા કાન દ્વારા ગ્રહણ કરાય છે.

12.1 ધ્વનિનું ઉત્પાદન (Production of Sound)

પ્રવૃત્તિ _______ 12.1

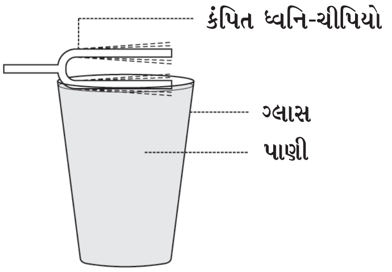
- એક ધ્વનિચીપિયો લઈ તેને રબરના પેડ પર અથડાવી કંપન કરાવો. તેને તમારા કાનની નજીક લાવો.
- શું તમે કોઈ ધ્વનિ સાંભળી શકો છો ?
- કંપિત ધ્વનિ ચીપિયાની એક ભુજાને તમારી આંગળી વડે સ્પર્શ કરો અને તમને થતો અનુભવ તમારા મિત્રો સાથે ચર્ચો.
- હવે એક આધાર પરથી ટેબલ ટેનિસ બૉલ કે નાના પ્લાસ્ટિકના બૉલને દોરી વડે લટકાવો. (એક મોટી સોય અને દોરી લો. દોરાના એક છેડે ગાંઠ મારો અને સોયની મદદથી બૉલને દોરીમાં પરોવો.) કંપિત ધ્વનિ-ચીપિયાને હળવેથી બૉલના સંપર્કમાં લાવો. (આકૃતિ 12.1)
- અવલોકન કરો કે શું થાય છે અને તેની ચર્ચા તમારા મિત્રો સાથે કરો.



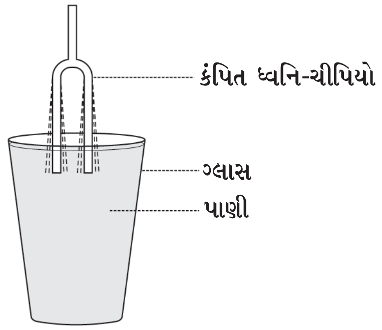
આકૃતિ 12.1 : કંપિત ધ્વનિ-ચીપિયો લટકાવેલ ટેનિસ બૉલને સહેજ અડકાવેલ છે

પ્રવૃત્તિ _______ 12.2

- એક બીકર અથવા ગ્લાસમાં ઉપરની કિનારી સુધી પાણી ભરો. કંપિત ધ્વનિ-ચીપિયાની એક ભુજાને આકૃતિ 12.2માં દર્શાવ્યા અનુસાર પાણીની સપાટી સાથે સ્પર્શ કરાવો.
- હવે આકૃતિ 12.3માં દર્શાવ્યા અનુસાર કંપિત ધ્વનિ-ચીપિયાની બંને ભુજાઓને પાણીમાં ડુબાડો.
- બંને અવસ્થાઓમાં શું થાય છે તેનું અવલોકન કરો.
- તમારા મિત્રો સાથે વિચાર-વિમર્શ કરો કે આવું કેમ થાય છે ?



આકૃતિ 12.2 : કંપિત ધ્વનિ-ચીપિયાની એક ભુજાને પાણીની સપાટી સાથે સ્પર્શ કરાવેલ છે.



આકૃતિ 12.3 : કંપિત ધ્વનિ-ચીપિયાની બંને ભુજાને પાણીમાં ડુબાડેલ છે

ઉપરની પ્રવૃત્તિઓ દ્વારા તમે શું નિષ્કર્ષ તારવો છો ? શું તમે કંપિત વસ્તુ સિવાય ધ્વનિ ઉત્પન્ન કરી શકો છો ?

અત્યાર સુધી વર્ણવેલ પ્રવૃત્તિઓમાં આપણે કંપિત ધ્વનિ-ચીપિયામાં આઘાત દ્વારા ધ્વનિ ઉત્પન્ન કર્યો. આપણે જુદી-જુદી વસ્તુઓમાં ઘર્ષણ દ્વારા, ખોતરવાથી (Scratch), ઘસવાથી, હવા ફૂંકીને અથવા તેને હલાવીને ધ્વનિ ઉત્પન્ન કરી શકીએ છીએ. આ પ્રવૃત્તિઓમાં આપણે શું કરીએ છીએ ? આપણે વસ્તુઓને કંપિત કરીએ છીએ અને ધ્વનિ ઉત્પન્ન કરીએ છીએ. કંપનનો અર્થ એ થાય છે કે વસ્તુની ઝડપથી વારંવાર આમ તેમ કે આગળ પાછળ ગતિ. મનુષ્યમાં ધ્વનિ તેના વાક્-તંતુઓના કંપનના કારણે ઉત્પન્ન થાય છે. જ્યારે કોઈ પક્ષી પોતાની પાંખો ફફડાવે ત્યારે શું તમે કોઈ ધ્વનિ સાંભળો છો ? શું તમે જાણો છો કે માખી ગણગણાટનો ધ્વનિ કેવી રીતે ઉત્પન્ન કરે છે ? એક ખેંચેલ રબર બૅન્ડને વચ્ચેથી ખેંચીને છોડી દેતા તે કંપન કરે છે અને ધ્વનિ ઉત્પન્ન કરે છે. જો તમે ક્યારેય એવું કર્યું ન હોય તો હવે આ પ્રવૃત્તિ કરો અને ખેંચાયેલ રબર બૅન્ડમાં કંપનો જુઓ.

પ્રવૃત્તિ 12.3

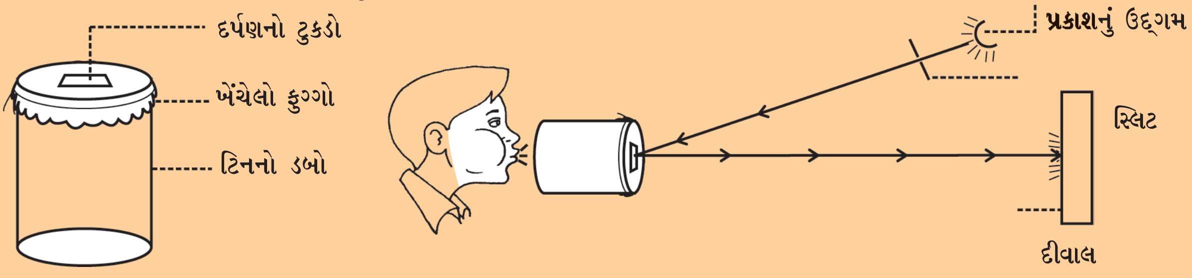
- જુદાં-જુદાં વાજિંત્રોની યાદી તૈયાર કરો તથા તમારા મિત્રો સાથે વિચાર-વિમર્શ કરો કે ધ્વનિ ઉત્પન્ન કરવા માટે આ વાજિંત્રોનો કયો ભાગ કંપન કરે છે.

12.2 ધ્વનિનું પ્રસરણ (Propagation of Sound)

કંપિત વસ્તુઓ દ્વારા ધ્વનિ ઉત્પન્ન થાય છે. જે દ્રવ્ય અથવા પદાર્થમાંથી ધ્વનિનું પ્રસરણ થાય છે, તેને માધ્યમ કહે છે. તે ઘન, પ્રવાહી કે વાયુ હોઈ શકે. કોઈ સ્રોતમાંથી ઉત્પન્ન થતો ધ્વનિ સાંભળનાર વ્યક્તિ સુધી કોઈ માધ્યમમાં પસાર થઈને જ પહોંચે છે. જ્યારે કોઈ વસ્તુ કંપન કરતી હોય ત્યારે તે પોતાની આસપાસ રહેલા માધ્યમના કણોને કંપિત કરે છે. આ કણ કંપિત વસ્તુથી આપણા કાન સુધી જાતે ગતિ કરીને પહોંચતો નથી. સૌપ્રથમ કંપિત વસ્તુના સંપર્કમાં રહેલ માધ્યમનો કણ પોતાની સંતુલન સ્થિતિમાંથી સ્થાનાંતરિત થાય છે. તે પોતાની બાજુમાં અડીને રહેલા કણો પર એક બળ લગાવે છે જેનાં પરિણામ સ્વરૂપ સંલગ્ન કણો પોતાની સંતુલિત અવસ્થામાંથી સ્થાનાંતરિત થાય છે. નજીકના કણનું સ્થાનાંતર થયા બાદ પ્રથમ કણ પોતાની મૂળ સ્થિતિમાં પાછો આવે છે. માધ્યમમાં આ પ્રક્રિયા ત્યાં સુધી

શું ધ્વનિ પ્રકાશના એક ટપકાને નૃત્ય કરાવી શકે છે ?

એક ટિનનો ડબો લો. તેના બંને છેડાઓને કાપીને પોલો નળાકાર બનાવો. એક ફુગ્ગો લો અને તેને ડબા પર ખેંચીને લગાવી દો. ફુગ્ગાની આ સપાટીની ચારેબાજુ એક રબરબૅન્ડ લગાવી દો. સમતલ દર્પણનો એક નાનો ટુકડો લો. દર્પણના આ ટુકડાને ગુંદરની મદદથી ફુગ્ગા પર એવી રીતે ચોંટાડો કે જેથી તેની ચકચકિત સપાટી ઉપર તરફ રહે. એક સ્લિટમાંથી આવતા પ્રકાશને દર્પણ પર પડવા દો. પરાવર્તન બાદ પ્રકાશનું એક બિંદુ દીવાલ પર પહોંચે છે જે આકૃતિ 12.4માં દર્શાવેલ છે. ડબાના ખુલ્લા ભાગ આગળ તમારા મુખમાંથી જોરથી અવાજ કરો. દીવાલ પર પ્રકાશનું બિંદુ નૃત્ય કરતું દેખાશે. તમારા મિત્રો સાથે પ્રકાશનાં ટપકાંના નૃત્યનું કારણ ચર્ચો.

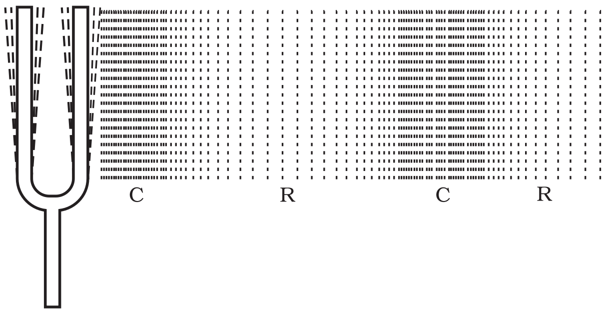


આકૃતિ 12.4 : પ્રકાશ સ્રોતમાંથી આવતું પ્રકાશનું કિરણ પરાવર્તક પર આપાત થાય છે. પરાવર્તિત પ્રકાશ દીવાલ પર પડે છે

ચાલતી રહે છે જ્યાં સુધી ધ્વનિ આપણા કાન સુધી ન પહોંચે. માધ્યમમાં ધ્વનિ દ્વારા ઉત્પન્ન થયેલો વિક્ષોભ આગળ પ્રસરણ પામે છે, નહિ કે માધ્યમનો કણ.

તરંગ એક વિક્ષોભ છે જે કોઈ માધ્યમમાં ગતિ કરે છે તથા માધ્યમના નિકટવર્તી કણોમાં ગતિ ઉત્પન્ન કરે છે. માધ્યમના કણો પોતે આગળની દિશામાં ગતિ કરવા લાગતાં નથી પરંતુ વિક્ષોભને આગળ વધારે છે. કોઈ માધ્યમમાં ધ્વનિના પ્રસરણ વખતે આ મુજબની પ્રક્રિયા થાય છે તેથી ધ્વનિને તરંગ સ્વરૂપે જ ઓળખી શકાય છે. ધ્વનિ-તરંગોની લાક્ષણિકતા માધ્યમના કણોની ગતિ દ્વારા દર્શાવવામાં આવે છે તથા તેને યાંત્રિક તરંગો કહે છે.

ધ્વનિના પ્રસરણ માટે હવા સૌથી સામાન્ય માધ્યમ છે. જ્યારે કોઈ કંપિત વસ્તુ આગળની તરફ કંપન કરે છે ત્યારે પોતાની સામેની હવાને ધક્કો મારી સંકોચન ઉત્પન્ન કરે છે અને આ રીતે એક ઉચ્ચ દબાણનું ક્ષેત્ર ઉત્પન્ન થાય છે. આ ક્ષેત્રને સંઘનન (C), કહે છે. આકૃતિ (12.5). આ સંઘનન કંપિત વસ્તુથી દૂર તરફ ગતિ શરૂ કરે છે. જ્યારે કંપિત વસ્તુ પાછળની તરફ કંપન કરે ત્યારે નીચા દબાણનું ક્ષેત્ર ઉત્પન્ન થાય છે જેને વિઘનન (R) કહે છે. આકૃતિ (12.5). જ્યારે વસ્તુ કંપન કરતી હોય એટલે કે આગળ અને પાછળ ખૂબ જ ઝડપથી ગતિ કરતી હોય ત્યારે હવામાં સંઘનન અને વિઘનનની એક શ્રેણી રચાય છે. આ સંઘનન અને વિઘનન ધ્વનિ-તરંગનું નિર્માણ કરે છે જે માધ્યમમાં પ્રસરણ પામે છે. સંઘનન ઉચ્ચ દબાણનું ક્ષેત્ર છે જ્યારે વિઘનન નિમ્ન દબાણનું ક્ષેત્ર છે. દબાણ માધ્યમના આપેલ કદમાં રહેલા કણોની સંખ્યા પર આધારિત હોય છે. કોઈ માધ્યમમાં, કણોની વધારે ઘનતા વધારે દબાણ અને ઓછી ઘનતા ઓછું દબાણ દર્શાવે છે. આમ, ધ્વનિનું પ્રસરણ માધ્યમમાં ઘનતા-સ્પંદન અથવા દબાણ-સ્પંદન સ્વરૂપે પણ જોઈ શકાય.



આકૃતિ 12.5 : કંપિત વસ્તુ કોઈ માધ્યમમાં સંઘનન (C) તથા વિઘનન (R)ની શ્રેણી રચે છે

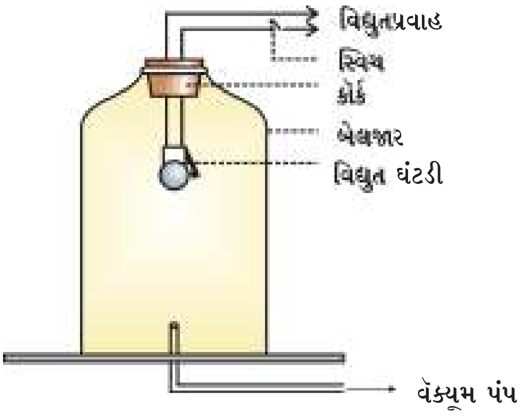
પ્રશ્ન :

1. કોઈ માધ્યમમાં કંપિત વસ્તુ દ્વારા ઉત્પન્ન થયેલ ધ્વનિ તમારા કાન સુધી કેવી રીતે પહોંચે છે ?

12.2.1 ધ્વનિ-પ્રસરણ માટે માધ્યમની આવશ્યકતા હોય છે (Sound Needs a Medium to Travel)

ધ્વનિ એક યાંત્રિક તરંગ છે અને પ્રસરણ માટે કોઈ માધ્યમ જેમ કે હવા, પાણી, સ્ટીલ વગેરેની જરૂરિયાત હોય છે. ધ્વનિના તરંગો શૂન્યાવકાશમાંથી પસાર થઈ શકતાં નથી, તે નીચેના પ્રયોગ દ્વારા દર્શાવી શકાય છે :

પ્રયોગ : એક વિદ્યુતઘંટડી અને એક કાચની હવાચુસ્ત બૅલજાર લો. વિદ્યુતઘંટડીને બૅલજારમાં લટકાવો. બૅલજારને આકૃતિ 12.6માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે એક હવાશોષક પંપ સાથે જોડો. જો તમે સ્વિચ દબાવશો તો તમે ઘંટડીનો અવાજ સાંભળી શકશો. હવે હવાશોષક (Vacuum) પંપને ચાલુ કરો જ્યારે બૅલજારમાંથી વાયુ ધીરે-ધીરે બહાર નીકળે છે ત્યારે ઘંટડીમાંથી વહેતો વિદ્યુતપ્રવાહ પહેલાં જેટલો હોવા છતાં તેનો અવાજ ધીમો થતો જાય છે. થોડા સમય બાદ જ્યારે બેલજારમાં બહુ જ ઓછી હવા રહે ત્યારે ખૂબ જ ધીમો અવાજ સંભળાય છે. જો બૅલજારમાંથી બધી જ હવા કાઢી લેવામાં આવે તો શું થશે ? શું આ સ્થિતિમાં પણ તમે ઘંટડીનો અવાજ સાંભળી શકશો ?



આકૃતિ 12.6 : શૂન્યાવકાશમાં ધ્વનિનું પ્રસરણ થતું નથી તે દર્શાવતો બૅલજારનો પ્રયોગ

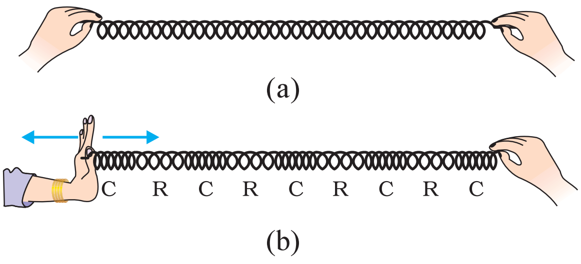
પ્રશ્નો :

1. તમારી શાળાનો ઘંટ, ધ્વનિ કેવી રીતે ઉત્પન્ન કરે છે તે સમજાવો.
2. ધ્વનિ-તરંગોને યાંત્રિક તરંગો કેમ કહે છે ?
3. માની લો કે તમે તમારા મિત્ર સાથે ચંદ્ર પર ગયા છો, શું તમે તમારા મિત્ર દ્વારા ઉત્પન્ન કરવામાં આવેલ ધ્વનિ સાંભળી શકશો ?

12.2.2 ધ્વનિ-તરંગો સંગત તરંગો છે (Sound Waves are Longitudinal Waves)

પ્રવૃત્તિ 12.4

- એક સ્લિંકી (લાંબી સ્પ્રિંગ-Slinky) લો. તેનો એક છેડો તમારા મિત્રને પકડવાનું કહો અને બીજો છેડો તમે પકડો. હવે આ લાંબી સ્પ્રિંગને આકૃતિ 12.6 (a)માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે ખેંચો. હવે તેને તમારા મિત્ર તરફ અચાનક ધક્કો આપો.
- તમે શું જુઓ છો ? જો તમે તમારા હાથથી સ્લિંકીને સતત આગળ-પાછળ એક પછી એક ધક્કો મારતા તથા ખેંચતા રહેશો તો તમે શું જોશો ?
- જો તમે સ્લિંકી પર એક ચિહ્ન લગાવી દો તો તમે જોશો કે સ્લિંકી પર લગાડેલ ચિહ્ન વિક્ષોભના પ્રસરણની દિશાને સમાંતર આગળ-પાછળ ગતિ કરે છે.



આકૃતિ 12.7 : સ્લિંકીમાં સંગત તરંગો

એવા વિસ્તારો કે જ્યાં સ્લિંકીના આંટાઓ પાસપાસે આવી જાય છે તેને સંઘનન (C) તથા જે વિસ્તારોમાં સ્લિંકીના આંટાઓ દૂર-દૂર ગોઠવાય છે તેને વિઘનન (R) કહે છે. આપણે જાણીએ છીએ કે કોઈ માધ્યમમાં ધ્વનિ સંઘનન અને વિઘનન સ્વરૂપે પ્રસરણ પામે છે. હવે આપણે સ્લિંકીમાં વિક્ષોભના પ્રસરણની કોઈ માધ્યમમાં વિક્ષોભના સંચરણ સાથે તુલના કરી શકીએ. આ તરંગોને સંગત તરંગો કહે છે. આ તરંગોમાં માધ્યમના કણોનું સ્થાનાંતર સંચરણની દિશાને સમાંતર થાય છે. કણ એક સ્થાનથી બીજા સ્થાન સુધી ગતિ નથી કરતા; પરંતુ પોતાના સમતોલન સ્થાનની આસપાસ આગળ-પાછળ દોલન કરે છે. ધ્વનિ-તરંગો પણ આ જ રીતે સંચરણ પામે છે તેથી ધ્વનિતરંગોને સંગત તરંગો કહે છે.

તરંગનો એક બીજો પણ પ્રકાર છે જેને લંબગત તરંગ કહે છે. લંબગત તરંગમાં કણો તરંગના પ્રસરણની દિશામાં દોલનો કરતાં નથી પરંતુ જેમ તરંગનું પ્રસરણ થાય છે તેમ તેઓ પોતાના મધ્યમાન સ્થાનની આસપાસ ઉપર અને નીચે તરફ ગતિ કરે છે. આ પ્રકારના તરંગોને લંબગત તરંગ કહે છે. આમ, લંબગત તરંગો એવા તરંગો છે કે જેમાં માધ્યમના કણ સ્વતંત્ર રીતે પોતાના મધ્યમાન સ્થાન પર તરંગના પ્રસરણની દિશાને લંબરૂપે ગતિ કરતા હોય. પ્રકાશ લંબગત તરંગ છે; પરંતુ પ્રકાશનાં દોલનો માધ્યમના કણો અથવા તેના દબાણ કે તેની ઘનતાને લીધે થતા નથી. પ્રકાશના તરંગો યાંત્રિક તરંગો નથી. તમે લંબગત તરંગો વિશે વધારે માહિતી આગળનાં ધોરણોમાં મેળવશો.

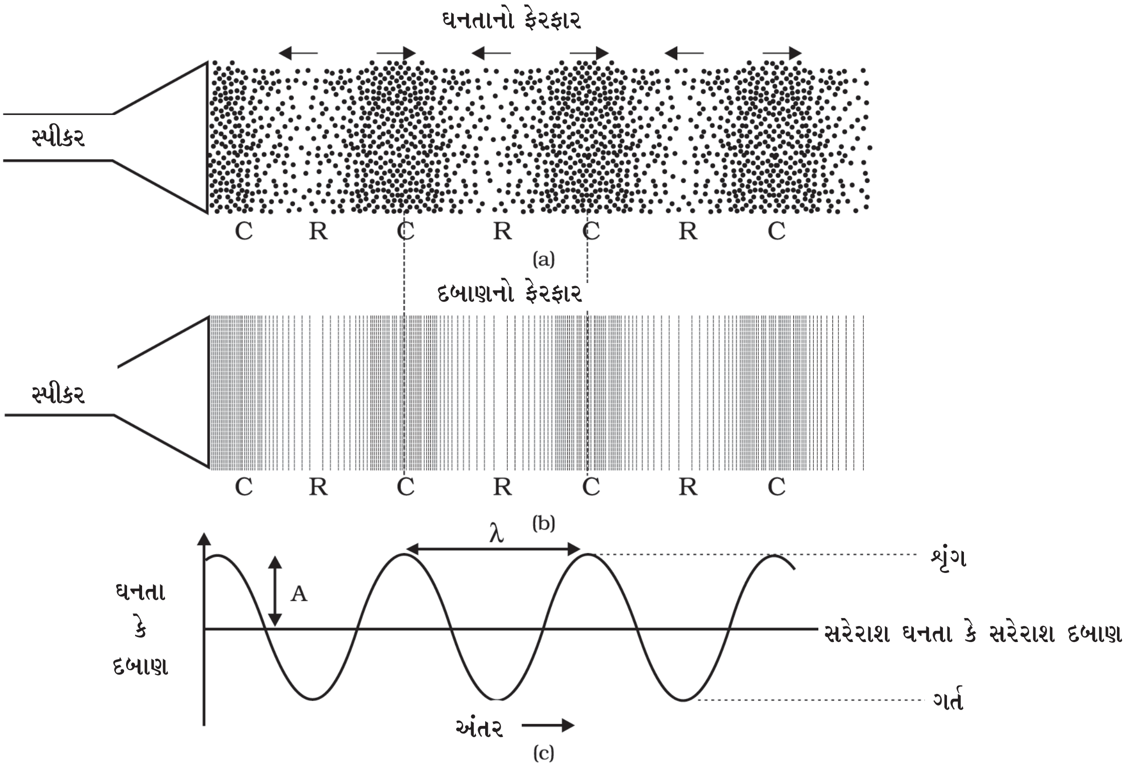
12.2.3 ધ્વનિ-તરંગોના ગુણધર્મો (Characteristics of a Sound Wave)

આપણે કોઈ ધ્વનિ તરંગને તેની

- આવૃત્તિ
- કંપવિસ્તાર અને
- ઝડપ વડે વર્ણવી શકીએ છીએ.

ધ્વનિ-તરંગોને આલેખ સ્વરૂપે આકૃતિ 12.8 (c)માં દર્શાવેલ છે, જે દર્શાવે છે કે જ્યારે ધ્વનિ-તરંગ કોઈ માધ્યમમાં ગતિ કરે છે ત્યારે સમય સાથે ઘનતા અને દબાણમાં કેવાં પરિવર્તનો થાય છે. કોઈ નિશ્ચિત સમય પર માધ્યમની ઘનતા તથા દબાણ તેમના સરેરાશ મૂલ્યથી ઉપર તથા નીચે અંતરની સાથે બદલાય છે. આકૃતિ 12.8 (a) તથા 12.8 (b) દર્શાવે છે કે જ્યારે ધ્વનિ તરંગ માધ્યમમાં પ્રસરણ પામે ત્યારે ઘનતા તથા દબાણમાં કેવા ફેરફારો થાય છે.

સંઘનન એવું ક્ષેત્ર છે કે જ્યાં કણ પાસે-પાસે આવી જાય છે, જેને વક્રના ઉપરના ભાગ તરીકે દર્શાવેલ છે (આકૃતિ 12.8 (c)). ટોચ મહત્તમ સંઘનનના ક્ષેત્રને દર્શાવે છે. આમ, સંઘનન એવું ક્ષેત્ર છે કે જ્યાં ઘનતા અને દબાણ બંને વધારે હોય છે.



આકૃતિ 12.8 : આકૃતિ 12.8 (a) તથા 12.8 (b)માં દર્શાવેલ છે કે ધ્વનિ ઘનતા કે દબાણના ઉતાર-ચઢાવના રૂપમાં પ્રસરણ પામે છે. આકૃતિ 12.8 (c)માં ઘનતા તથા દબાણમાં ઉતાર-ચઢાવને આલેખીય રીતે દર્શાવેલ છે.

વિઘનન નિમ્ન દબાણનું ક્ષેત્ર છે જ્યાં કણ એકબીજાથી દૂર ફેલાઈ જાય છે, જેને ખાડા વડે દર્શાવેલ છે, જેને વક્રમાં નીચેના ભાગ વડે દર્શાવેલ છે (આકૃતિ 12.8 (c)).

ટોચને તરંગનું શૃંગ તથા ખાડાને ગર્ત કહે છે. બે ક્રમિક સંઘનનો (C) અથવા બે ક્રમિક વિઘનનો (R) વચ્ચેના અંતરને તરંગલંબાઈ કહે છે. તરંગલંબાઈને સામાન્ય રીતે λ (ગ્રીક અક્ષર લેમ્ડા) વડે દર્શાવાય છે. જેનો SI એકમ મીટર (m) છે.

હેનરિચ રુડોલ્ફ હર્ટ્ઝ (Heinrich Rudolph Hertz)નો જન્મ 22 ફેબ્રુઆરી, 1857માં હેમબર્ગ, જર્મનીમાં થયો હતો અને તેમનો અભ્યાસ બર્લિન વિશ્વવિદ્યાલયમાં થયો હતો. તેમણે જે. સી. મેક્સવેલ (J. C. Maxwell's)ના વિદ્યુત ચુંબકીય સિદ્ધાંતની પ્રાયોગિક સાબિતી આપી. તેમણે રેડિયો, ટેલિફોન, ટેલિગ્રાફ તથા ટેવિવિઝનના ભવિષ્યમાં વિકાસ માટેનો પાયો નાખ્યો. તેમણે પ્રકાશ-વિદ્યુત પ્રભાવની પણ શોધ કરી. જેને બાદમાં આલ્બર્ટ આઇન્સ્ટાઇને વ્યાખ્યાઇત કર્યું. આવૃત્તિના SI એકમનું નામ તેમના સન્માનમાં હર્ટ્ઝ રાખવામાં આવ્યું છે.

આવૃત્તિથી આપણને ખ્યાલ આવે છે કે કોઈ ઘટના એકમ સમયમાં કેટલી-વાર પુનરાવર્તિત થાય છે. માની લો કે તમે કોઈ ઢોલને ટીપીટીપીને વગાડો છો. તમે ઢોલને એક સેકન્ડમાં જેટલી-વાર ટીપશો તે તમારા દ્વારા ઢોલને વગાડવાની આવૃત્તિ છે. આપણે જાણીએ છીએ કે, જ્યારે ધ્વનિ કોઈ માધ્યમમાં પ્રસરણ પામે છે ત્યારે માધ્યમની ઘનતા કોઈ મહત્તમ તથા લઘુતમ મૂલ્યોની વચ્ચે બદલાય છે. ઘનતા અધિકતમ મૂલ્યથી લઘુતમ મૂલ્ય સુધી જઈ ફરી અધિકતમ મૂલ્ય સુધી પહોંચે ત્યારે એક દોલન પૂરું થાય છે. એકમ સમયમાં થતાં દોલનોની કુલ સંખ્યાને ધ્વનિ-તરંગની આવૃત્તિ કહે છે. જો આપણે એકમ સમયમાં આપણી પાસેથી પસાર થતાં સંઘનનો અથવા વિઘનનોની સંખ્યા ગણીએ તો આપણને ધ્વનિ-તરંગની આવૃત્તિ મળે છે. જેને સામાન્ય રીતે ν (ગ્રીક અક્ષર, ન્યૂ)થી દર્શાવાય છે. તેનો SI એકમ એકમ હર્ટ્ઝ (Hertz) (સંજ્ઞા, Hz) છે.

બે ક્રમિક સંઘનનો કે બે ક્રમિક વિઘનનોને કોઈ નિશ્ચિત બિંદુ પાસેથી પસાર થવા માટે લાગતા સમયને તરંગનો આવર્તકાળ કહે છે. તમે કહી શકો કે માધ્યમની ઘનતાનાં એક સંપૂર્ણ દોલન માટે લીધેલ સમયને ધ્વનિ-તરંગનો આવર્તકાળ