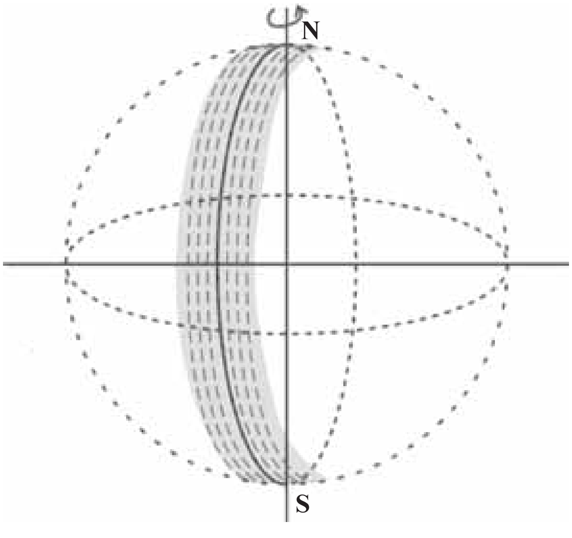
અને $T = 24$ કલાક માટે $h$નું મૂલ્ય 35,800 km મળે છે, જે $R_E$ કરતાં ઘણું મોટું છે. પૃથ્વીની આસપાસ વિષુવવૃત્તીય સમતલમાં વર્તુળાકાર કક્ષામાં $T = 24$ કલાક ધરાવતા ઉપગ્રહોને ભૂસ્થિર ઉપગ્રહો કહે છે. એ સ્પષ્ટ જ છે કે, પૃથ્વી આટલા જ આવર્તકાળથી ભ્રમણ કરતી હોવાથી, પૃથ્વી પરના કોઈ પણ આપેલા બિંદુએથી જોતાં આ ઉપગ્રહ સ્થિર દેખાય છે. પૃથ્વીથી આટલી બધી ઊંચાઈએ સેટેલાઇટને તરતો મૂકવા માટે ખૂબ શક્તિશાળી રૉકેટોની જરૂર પડે છે. ઘણા વ્યાવહારિક ઉપયોગોના લાભને ધ્યાનમાં રાખીને આમ કરવામાં આવ્યું છે.

એ જાણીતું છે કે અમુક નિશ્ચિત આવૃત્તિ કરતાં વધુ આવૃત્તિના વિદ્યુતચુંબકીય તરંગો આયનોસ્ફિયરથી પરાવર્તિત થતા નથી. રેડિયો બ્રોડકાસ્ટમાં વપરાતા રેડિયોતરંગો જેમની આવૃત્તિ 2 MHz થી 10 MHzના વિસ્તારમાં હોય છે, તેઓ આ ક્રાંતિ આવૃત્તિની નીચેના વિસ્તારમાં છે. તેથી તેઓ આયનોસ્ફિયર વડે પરાવર્તિત થાય છે. આમ, એન્ટેનામાંથી બ્રોડકાસ્ટ થયેલા રેડિયો-તરંગો દૂર આવેલાં બિંદુઓએ પ્રાપ્ત (Receive) કરી શકાય છે, જ્યાં સીધું તરંગ પૃથ્વીની વક્રતાને લીધે નિષ્ફળ જાય છે. ટેલિવિઝન બ્રોડકાસ્ટ અથવા દૂરસંચારનાં બીજાં સ્વરૂપોમાં વપરાતા તરંગોની આવૃત્તિઓ ઘણી ઊંચી હોય છે અને દૃષ્ટિરેખા (Line of Sight) સિવાય બહુ દૂર પ્રાપ્ત કરી શકાતા નથી. જોકે, બ્રોડકાસ્ટિંગ સ્ટેશનની ઉપર સ્થિર દેખાતા ભૂસ્થિર ઉપગ્રહ આવા સંકેતો (Signals) પ્રાપ્ત કરી શકે છે અને પાછા પૃથ્વી પર મોટા વિસ્તારમાં બ્રોડકાસ્ટ કરી શકે છે. ભારતે અવકાશમાં મોકલેલા ઉપગ્રહોનો INSAT સમૂહ, આવા ભૂસ્થિર ઉપગ્રહોનો સમૂહ છે. જે ભારતમાં દૂરસંચાર માટે વ્યાપક પ્રમાણમાં વપરાય છે.




*આકૃતિ* **8.11** *ધ્રુવીય ઉપગ્રહ. ઉપગ્રહના એક ચક્ર દરમ્યાન પૃથ્વીની સપાટી પરની એક પટ્ટી દૃશ્યમાન છે. ઉપગ્રહના તે પછીના ભ્રમણ દરમિયાન, પૃથ્વીએ પોતાની અક્ષ પર થોડું ભ્રમણ કરેલ છે. આથી તેની બાજુની પટ્ટી હવે દૃશ્યમાન બને છે.*

ઉપગ્રહોના અન્ય એક પ્રકારને ધ્રુવીય (Polar) ઉપગ્રહો કહે છે. (આકૃતિ 8.11). આ ઓછી ઊંચાઈ ($h \approx 500$ થી 800 km)ના ઉપગ્રહો છે, પરંતુ તેઓ પૃથ્વીની આસપાસ ઉત્તર-દક્ષિણ દિશામાં ધ્રુવોની ફરતે ભ્રમણ કરે છે. પૃથ્વી તેની અક્ષની આસપાસ પૂર્વ-પશ્ચિમ દિશામાં ભ્રમણ કરે છે. આ ઉપગ્રહનો આવર્તકાળ લગભગ 100 મિનિટ હોવાથી તે કોઈ પણ ઊંચાઈના બિંદુને (સ્થાનને) દિવસમાં ઘણી વખત પસાર કરે છે. જોકે પૃથ્વીની સપાટી પરથી તેની ઊંચાઈ લગભગ 500-800 km હોવાથી, તેની પર સ્થિર જડેલો કૅમેરા, એક કક્ષામાં (ભ્રમણમાં) પૃથ્વીની નાની પટ્ટીઓ જ જોઈ શકે છે. બાજુની પટ્ટીઓ તે પછીની કક્ષામાં (ભ્રમણમાં) દેખાય છે, જેથી આખા દિવસ દરમિયાન એક પછી બીજી પટ્ટી એમ કરીને સમગ્ર પૃથ્વીને જોઈ શકાય છે. આ ઉપગ્રહો ધ્રુવીય અને વિષુવવૃત્તીય વિસ્તારોને નજીકનાં અંતરોએથી સારા વિભેદન સાથે જોઈ શકે છે. આવા ઉપગ્રહોથી પ્રાપ્ત કરેલી માહિતી દૂર સંવેદન (Remote Sensing), હવામાનશાસ્ત્ર તેમજ પૃથ્વીના પર્યાવરણના અભ્યાસમાં ખૂબ ઉપયોગી છે.

## 8.12 વજનવિહીનતા (WEIGHTLESSNESS)

પૃથ્વી પદાર્થને જેટલા બળ વડે આકર્ષે છે તે, તે પદાર્થનું વજન છે. જ્યારે આપણે કોઈ સપાટી પર ઊભા રહીએ છીએ ત્યારે આપણે આપણા પોતાના વજનથી સભાન થઈએ છીએ, કારણ કે, સપાટી આપણને સ્થિર રાખવા માટે, આપણા વજન જેટલું જ બળ વિરુદ્ધ દિશામાં લગાડે છે. જ્યારે આપણે કોઈ પદાર્થનું વજન, નિશ્ચિત બિંદુ દા.ત., છતથી લટકાવેલા સ્પ્રિંગકાંટા વડે માપીએ છીએ ત્યારે પણ આ જ સિદ્ધાંત લાગુ પડે છે. જો ગુરુત્વબળની વિરુદ્ધમાં તેના પર બળ લાગતું ન હોય તો પદાર્થ નીચે પડી જાય. સ્પ્રિંગ આવું બળ પદાર્થ પર લગાડે છે. પદાર્થ પર ગુરુત્વીય ખેંચાણને લીધે સ્પ્રિંગ થોડી નીચે ખેંચાય છે અને બદલામાં સ્પ્રિંગ પદાર્થ પર ઊર્ધ્વદિશામાં બળ લગાડે છે.

હવે સ્પ્રિંગનો ઉપરનો છેડો છત સાથે જડિત રહેતો નથી એવું કલ્પો. સ્પ્રિંગના બંને છેડા તેમજ પદાર્થ પણ એક સમાન પ્રવેગ $g$થી ગતિ કરે છે. સ્પ્રિંગ ખેંચાયેલી નથી અને પદાર્થ કે જે $g$ જેટલા ગુરુત્વપ્રવેગથી નિમ્ન ગતિ કરે છે તેના પર કોઈ ઊર્ધ્વદિશામાં બળ લગાડતી નથી. સ્પ્રિંગ બૅલેન્સમાં નોંધાતું અવલોકન શૂન્ય છે કારણ કે સ્પ્રિંગ જરાય ખેંચાયેલી જ નથી. જો પદાર્થ તરીકે માનવી હોત, તો તે માનવીને પોતાનું વજન લાગત જ નહિ કારણ કે તેના પર ઊર્ધ્વદિશામાં કોઈ બળ નથી. આમ જ્યારે કોઈ પદાર્થ મુક્ત પતન કરતો હોય છે ત્યારે તે વજનવિહીન હોય છે અને આ ઘટનાને સામાન્યતઃ વજનવિહીનતાની ઘટના કહે છે.

પૃથ્વીની આસપાસ ફરતા ઉપગ્રહના દરેકેદરેક ભાગને પૃથ્વીના કેન્દ્ર તરફ પ્રવેગ હોય છે. જેનું મૂલ્ય તે સ્થાને પૃથ્વીના ગુરુત્વપ્રવેગ જેટલું જ હોય છે. આમ, ઉપગ્રહમાં, તેની અંદરની દરેક વસ્તુ

મુક્ત પતનની અવસ્થામાં છે. આ બાબત, કોઈ ઊંચાઈ પરથી આપણે પૃથ્વી પર પડતા હોઈએ તેના જેવી જ છે.

આમ, માનવસહિત ઉપગ્રહમાં તેની અંદરના લોકો કોઈ ગુરુત્વાકર્ષણનો અનુભવ કરતા નથી. આપણે માટે ગુરુત્વાકર્ષણ, ઊર્ધ્વદિશાને નક્કી કરે છે અને આમ તેમને માટે કોઈ ઊર્ધ્વ કે સમક્ષિતિજ દિશાઓ હોતી નથી, બધી દિશાઓ સમાન જ છે. ઉપગ્રહમાં તરતા અવકાશયાત્રીના ચિત્રો આ હકીકત દર્શાવે છે.

## સારાંશ

1. ન્યૂટનનો સાર્વત્રિક ગુરુત્વાકર્ષણનો નિયમ જણાવે છે કે, $r$ અંતરે રહેલા $m_1$ અને $m_2$ દળના કોઈ બે કણો વચ્ચે લાગતું ગુરુત્વાકર્ષણ બળનું માન

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2} \text{ છે.}$$

જ્યાં $G$ એ ગુરુત્વાકર્ષણનો સાર્વત્રિક અચળાંક છે, જેનું મૂલ્ય $6.672 \times 10^{-11}$ N m$^2$ kg$^{-2}$ છે.

2. જો આપણે કણ $m$ પર જુદાં જુદાં દળો $M_1, M_2, .... M_n$ વડે લાગતું પરિણામી બળ શોધવું હોય, તો આપણે સંપાતપણાના સિદ્ધાંતનો ઉપયોગ કરીએ. ગુરુત્વાકર્ષણના નિયમ પરથી $M_1, M_2, .... M_n$ને લીધે લાગતાં બળો ધારો કે $\boldsymbol{F}_1, \boldsymbol{F}_2, .... \boldsymbol{F}_n$ છે. સંપાતપણાના સિદ્ધાંત મુજબ દરેક બળ સ્વતંત્ર રીતે અને બીજા પદાર્થોની અસર વિના લાગે છે. ત્યાર બાદ પરિણામી બળ $\boldsymbol{F}_R$ સદિશ સરવાળા પરથી મેળવાય છે.

$$\boldsymbol{F}_R = \boldsymbol{F}_1 + \boldsymbol{F}_2 + \ ..... \ + \boldsymbol{F}_n = \sum_{i=1}^{n} \boldsymbol{F}_i$$

જ્યાં સંજ્ઞા '$\Sigma$' એ સરવાળો દર્શાવે છે.

3. ગ્રહોની ગતિ અંગેના કેપ્લરના નિયમો જણાવે છે કે,
   (a) બધા ગ્રહો, જેના એક કેન્દ્રબિંદુએ સૂર્ય હોય તેવી દીર્ઘવૃત્તિય કક્ષાઓમાં ભ્રમણ કરે છે.
   (b) સૂર્યથી ગ્રહ તરફ દોરેલો ત્રિજ્યા સદિશ સમાન સમયગાળામાં સમાન ક્ષેત્રફળ આંતરે છે. આ બાબત, ગ્રહ પર લાગતું ગુરુત્વબળ એ કેન્દ્રિય બળ છે તે હકીકત પરથી મળે છે, અને તેથી કોણીય વેગમાનનું સંરક્ષણ થાય છે.
   (c) ગ્રહના કક્ષીય આવર્તકાળનો વર્ગ, ગ્રહની દીર્ઘવૃત્તિય કક્ષાની અર્ધદીર્ઘ અક્ષના ઘનના સમપ્રમાણમાં હોય છે.

   સૂર્યની આસપાસ ગ્રહની વર્તુળકક્ષાનો આવર્તકાળ $T$ અને ત્રિજ્યા $R$ વચ્ચે

$$T^2 = \left(\frac{4\pi^2}{GM_s}\right)R^3$$

   સંબંધ છે, જ્યાં $M_s$ એ સૂર્યનું દળ છે. દીર્ઘવૃત્તિય કક્ષાઓ માટે ઉપરના સમીકરણમાં, $R$ની જગ્યાએ અર્ધદીર્ઘ અક્ષ $a$ મૂકીને વાપરી શકાય છે.

4. (a) પૃથ્વીની સપાટીથી $h$ ઊંચાઈએ ગુરુત્વપ્રવેગ

$$g(h) = \frac{GM_E}{(R_E + h)^2}$$

$$= \frac{GM_E}{R_E^2}\left(1 - \frac{2h}{R_E}\right) \ .... \ h << R_E \text{ માટે}$$

$$g(h) = g(0)\left(1 - \frac{2h}{R_E}\right) \text{ જ્યાં } g(0) = \frac{GM_E}{R_E^2}$$

(b) પૃથ્વીની સપાટીથી $d$ ઊંડાઈએ ગુરુત્વપ્રવેગ

$$g(d) = \frac{GM_E}{R_E^2}\left(1 - \frac{d}{R_E}\right) = g(0)\left(1 - \frac{d}{R_E}\right)$$

5. ગુરુત્વબળ એ સંરક્ષી બળ છે અને તેથી સ્થિતિઊર્જા વિધેયને વ્યાખ્યાયિત કરી શકાય. એકબીજાથી $r$ અંતરે રહેલા બે કણો સાથે સંકળાયેલ ગુરુત્વ સ્થિતિઊર્જા

$$V = -\frac{G m_1 m_2}{r}$$

પરથી મળે છે, જ્યાં $r \rightarrow \infty$ માટે $V$ને શૂન્ય લીધેલ છે. કણોના તંત્રની કુલ સ્થિતિઊર્જા એ કણોની દરેક જોડ (Pair) માટેની ઊર્જાના સરવાળા જેટલી છે, જેમાં દરેક જોડને ઉપરના સમીકરણ જેવા પદ વડે રજૂ કરાય છે. આ બાબત સંપાતપણાના સિદ્ધાંતને અનુસારે છે.

6. જો કોઈ અલગ કરેલું તંત્ર, $M$ દળના ભારે પદાર્થના સાનિધ્યમાં $v$ ઝડપથી પસાર થતા $m$ દળના કણનું બનેલું હોય, તો કણની કુલ યાંત્રિકઊર્જા

$$E = \frac{1}{2}m\upsilon^2 - \frac{GMm}{r}$$

એટલે કે કુલ યાંત્રિકઊર્જા એ ગતિઊર્જા અને સ્થિતિઊર્જાનો સરવાળો છે. કુલ ઊર્જા એ ગતિનો અચળાંક છે.

7. જો $m$ એ $M$ની આસપાસ $a$ ત્રિજ્યાની વર્તુળ કક્ષામાં ભ્રમણ કરતો હોય, તો તંત્રની કુલ ઊર્જા

$$E = -\frac{GMm}{2a} \text{ છે.}$$

અહીં, ઉપરના મુદ્દા 5માં આપેલ સ્થિતિઊર્જામાં અચળાંકની યાદચ્છિક પસંદગી કરી શકાય છે. કોઈ પણ બંધિત (Bound) તંત્ર માટે, એટલે કે દીર્ઘવૃત્તિય કક્ષા જેવી બંધ કક્ષા માટે કુલ ઊર્જા ઋણ છે. ગતિઊર્જા અને સ્થિતિઊર્જા

$$K = \frac{GMm}{2a}$$

$$V = -\frac{GMm}{a} \text{ છે.}$$

8. પૃથ્વીની સપાટી પરથી નિષ્ક્રમણ ઝડપ

$$\upsilon_e = \sqrt{\frac{2GM_E}{R_E}} = \sqrt{2gR_E} \text{ છે}$$

અને તેનું મૂલ્ય 11.2 km $s^{-1}$ છે.

9. જો કોઈ કણ નિયમિત ગોળીય કવચ અથવા ગોળીય રીતે સંમિત એવું આંતરિક દળ વિતરણ ધરાવતા ઘન ગોળાની બહાર હોય, તો કવચનું કે ગોળાનું સમગ્ર દળ જાણે કે તેના કેન્દ્ર પર કેન્દ્રિત થયેલું હોય તે રીતે કણને આકર્ષે છે.

10. જો કોઈ કણ નિયમિત ગોળાકાર કવચની અંદર હોય તો કણ પરનું ગુરુત્વીય બળ શૂન્ય છે. જો કણ સમાંગ (Homogeneous) ઘન ગોળાની અંદર હોય, તો કણ પર ગોળાના કેન્દ્ર તરફ બળ લાગે છે. આ બળ કણના સ્થાનથી અંદરના તરફના ગોળીય દળ દ્વારા લાગે છે.

11. ભૂસ્થિર (Geostationary) અથવા (Geosynchronous Communication) ઉપગ્રહ, વિષુવવૃત્તીય સમતલમાં પૃથ્વીના કેન્દ્રથી લગભગ $4.22 \times 10^4$ km અંતરે વર્તુળકક્ષામાં ભ્રમણ કરે છે.

| ભૌતિકરાશિ | પ્રતીક | પરિમાણ | એકમ | નોંધ |
|---|---|---|---|---|
| ગુરુત્વીય અચળાંક | $G$ | $[M^{-1}L^3T^{-2}]$ | $N\ m^2\ kg^2$ | $6.67 \times 10^{-11}$ |
| ગુરુત્વ સ્થિતિઊર્જા | $V(r)$ | $[ML^2T^{-2}]$ | J | $-\dfrac{GMm}{r}$ (અદિશ) |
| ગુરુત્વ સ્થિતિમાન | $U(r)$ | $[L^2T^{-2}]$ | $J\ kg^{-1}$ | $-\dfrac{GM}{r}$ (અદિશ) |
| ગુરુત્વ તીવ્રતા | **E** અથવા $\boldsymbol{g}$ | $[LT^{-2}]$ | $m\ s^{-2}$ | $\dfrac{GM}{r^2}\hat{r}$ (સદિશ) |

**ગહન વિચારણાના મુદ્દાઓ :**

1. એક પદાર્થની ગુરુત્વાકર્ષી અસરમાં થતી બીજા પદાર્થની ગતિની વિચારણામાં નીચેની રાશિઓનું સંરક્ષણ થાય છે : (a) કોણીય વેગમાન (b) કુલ યાંત્રિકઊર્જા
   રેખીય વેગમાનનું સંરક્ષણ થતું નથી.
2. કોણીય વેગમાનનું સંરક્ષણ કેપ્લરના બીજા નિયમ તરફ દોરી જાય છે. આમ છતાં તે ગુરુત્વાકર્ષણના વ્યસ્ત વર્ગના નિયમ માટે વિશિષ્ટ નથી. તે કોઈ પણ કેન્દ્રિય બળ માટે સત્ય છે.
3. કેપ્લરના ત્રીજો નિયમ (જુઓ સમીકરણ (8.1))માં $T^2 = K_S R^3$. વર્તુળાકાર કક્ષામાંના બધા ગ્રહો માટે અચળાંક $K_S$ સમાન જ છે. આ બાબત પૃથ્વીની ફરતે ભ્રમણ કરતા ઉપગ્રહોને પણ લાગુ પડે છે. (સમીકરણ (8.38))
4. અવકાશી ઉપગ્રહમાંનો અવકાશયાત્રી વજનવિહીનતાનો અનુભવ કરે છે. તેનું કારણ એવું નથી કે અવકાશમાં તે સ્થાને ગુરુત્વબળ નાનું છે. પણ કારણ એ છે કે, અવકાશયાત્રી અને ઉપગ્રહ બંને પૃથ્વી તરફ 'મુક્ત પતન'ની સ્થિતિમાં છે.
5. એકબીજાથી $r$ અંતરે બે પદાર્થોના તંત્રની ગુરુત્વ સ્થિતિઊર્જા

$$V = -\frac{G\,m_1 m_2}{r} + \text{અચળાંક}$$

   અચળાંકને ગમે તે મૂલ્ય આપી શકાય છે. સૌથી સાદી પસંદગી એ છે કે તેને શૂન્ય લેવાય. આ પસંદગી સાથે

$$V = -\frac{G\,m_1 m_2}{r}$$

   આ પસંદગી મુજબ $r \to \infty$ હોય ત્યારે $V \to 0$. ગુરુત્વ સ્થિતિઊર્જામાં શૂન્ય માટે સ્થાન પસંદ કરવું એ સ્થિતિઊર્જામાં યાદચ્છિક અચળાંક નક્કી કરવા બરાબર છે. એ નોંધો કે આ અચળાંકની પસંદગીથી ગુરુત્વબળ બદલાઈ જતું નથી.
6. પદાર્થની કુલ યાંત્રિકઊર્જા તેની ગતિઊર્જા (જે હંમેશાં ધન હોય છે.) અને સ્થિતિઊર્જાના સરવાળા જેટલી છે. અનંતની સાપેક્ષે (એટલે કે જો આપણે અનંત અંતરે સ્થિતિઊર્જા શૂન્ય છે એમ ધારી લઈએ તો) પદાર્થની ગુરુત્વ સ્થિતિઊર્જા ઋણ છે. ઉપગ્રહની કુલ ઊર્જા ઋણ છે.
7. સ્થિતિઊર્જા માટે સામાન્ય રીતે મળતું પદ $mgh$ એ ઉપરના મુદ્દા 6માં ચર્ચેલ ગુરુત્વ સ્થિતિઊર્જાના તફાવતની સંનિકટતા (Approximation) છે.
8. બે કણો વચ્ચેનું ગુરુત્વબળ કેન્દ્રિય હોવા છતાં બે પરિમિત દૃઢ પદાર્થો વચ્ચેનું બળ તેમનાં દ્રવ્યમાન કેન્દ્રોને જોડતી રેખા પર જ હોવું જરૂરી નથી. જોકે ગોળીય સંમિતિ ધરાવતાં પદાર્થ માટે પદાર્થની બહારના કણ પર લાગતું બળ જાણે કે દળ કેન્દ્ર પર કેન્દ્રિત થયું હોય તે પરથી મળે.
9. ગોળાકાર કવચની અંદર રહેલા કણ પર લાગતું બળ શૂન્ય છે. આમ છતાં, (ધાતુની કવચ વિદ્યુતબળોથી સુરક્ષિત (Shelding કરે–તેના કરતાં અલગ) આ કવચ તેની અંદરના કણને બહારના પદાર્થો દ્વારા લાગતાં ગુરુત્વબળોથી બચાવી લેતું નથી. ગુરુત્વાકર્ષણનું Shielding શક્ય નથી.

## સ્વાધ્યાય

**8.1 નીચેના પ્રશ્નોના જવાબ આપો :**

(a) એક પોલા વાહકની અંદર વિદ્યુતભાર મૂકીને વિદ્યુતબળોથી તમે તેનું Shielding કરી શકો છો. કોઈ પદાર્થને પોલા ગોળાની અંદર મૂકીને કે અન્ય રીતે તમે નજીકના દ્રવ્યની ગુરુત્વ અસરથી Shield કરી શકશો ?

(b) પૃથ્વીની આસપાસ ભ્રમણ કરતા નાના અવકાશયાનની અંદર રહેલો અવકાશયાત્રી ગુરુત્વાકર્ષણની પરખ (Detect) કરી શકતો નથી. જો પૃથ્વીની આસપાસ કક્ષીય ભ્રમણ કરતા અવકાશ-મથકનું પરિમાણ (Size) મોટું હોય તો તે ગુરુત્વાકર્ષણની પરખ કરવાની આશા રાખી શકશે ?

(c) જો તમે પૃથ્વી પર સૂર્યને લીધે લાગતાં અને ચંદ્રને લીધે લાગતાં ગુરુત્વીય બળોની સરખામણી કરો તો તમને જણાશે કે સૂર્યનું ખેંચાણબળ, ચંદ્રના ખેંચાણબળ કરતા મોટું છે. (તમે આ બાબતને હવે પછીના સ્વાધ્યાયમાં આવતી વિગતોની મદદથી ચકાસી શકો છો.) આમ છતાં, ભરતી પર ચંદ્રના ખેંચાણ બળની અસર, ભરતી પરની સૂર્યની અસર કરતાં મોટી છે. આવું શા માટે ?

**8.2 સાચો વિકલ્પ પસંદ કરો :**

(a) ઊંચાઈ વધતાં ગુરુત્વપ્રવેગ વધે છે / ઘટે છે.

(b) ઊંડાઈ વધતાં ગુરુત્વપ્રવેગ વધે છે / ઘટે છે. (પૃથ્વીને નિયમિત ઘનતાનો ગોળો ગણો.)

(c) ગુરુત્વપ્રવેગ પૃથ્વીના દળ / પદાર્થના દળથી સ્વતંત્ર છે.

(d) પૃથ્વીના કેન્દ્રથી $r_1$ અને $r_2$ અંતરે આવેલાં બે બિંદુઓએ સ્થિતિઊર્જાના તફાવત માટે $-GMm(1/r_1 - 1/r_2)$ સૂત્ર $mg(r_1 - r_2)$ સૂત્ર કરતાં વધુ / ઓછું ચોકસાઈભર્યું છે.

**8.3** ધારો કે કોઈ ગ્રહ સૂર્યની આસપાસ પૃથ્વીની ઝડપ કરતાં બમણી ઝડપે પરિભ્રમણ કરે છે, તો તેની કક્ષાનું પરિમાણ પૃથ્વીની કક્ષાના પરિમાણની સરખામણીએ કેટલું હોય ?

**8.4** ગુરુના એક ઉપગ્રહ, આયો (Io)નો કક્ષીય આવર્તકાળ 1.769 days છે અને કક્ષીય ત્રિજ્યા $4.22 \times 10^8$ m છે. દર્શાવો કે ગુરુનું દળ સૂર્યના દળના હજારમાં ભાગનું છે.

**8.5** આપણે એવું ધારીએ કે આપણી આકાશગંગા (Galaxy) સૂર્યના દળ જેટલું દરેકનું દળ હોય તેવા $2.5 \times 10^{11}$ તારાઓની બનેલી છે. આકાશગંગાના કેન્દ્રથી 50,000 ly (Light Year–પ્રકાશવર્ષ) દૂર રહેલો કોઈ તારો એક ભ્રમણ પૂરું કરવા માટે કેટલો સમય લેશે ? આકાશગંગાનો વ્યાસ $10^5$ ly લો.

**8.6 સાચો વિકલ્પ પસંદ કરો :**

(a) જો અનંત અંતરે સ્થિતિઊર્જા શૂન્ય લેવામાં આવે તો કક્ષામાં ભ્રમણ કરતા ઉપગ્રહની કુલ ઊર્જા તેની ગતિઊર્જા / સ્થિતિઊર્જાના ઋણ મૂલ્ય જેટલી હોય છે.

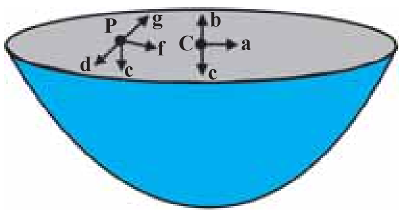
(b) કક્ષામાં ભ્રમણ કરતા ઉપગ્રહને પૃથ્વીના ગુરુત્વાકર્ષણની બહાર મોકલી દેવા માટે આપવી પડતી ઊર્જા, તે ઉપગ્રહના સ્થાને જ સ્થિર રહેલા કોઈ પદાર્થને પૃથ્વીના ગુરુત્વાકર્ષણમાંથી બહાર મોકલવા માટે જરૂરી ઊર્જા કરતાં વધુ / ઓછી હોય છે.

**8.7** પૃથ્વી પરથી ફેંકાતા પદાર્થ માટે નિષ્ક્રમણ ઝડપ (a) શું તે પદાર્થના દળ પર આધારિત છે ? (b) જ્યાંથી ફેંકવામાં આવે તે સ્થાન પર આધારિત છે ? (c) પ્રક્ષિપ્ત કરવાની દિશા પર આધારિત છે ? (d) પદાર્થને ફેંકવાના સ્થાનની ઊંચાઈ પર આધારિત છે ?

**8.8** એક ધૂમકેતુ સૂર્યની આસપાસ અતિ દીર્ઘવૃત્તિય કક્ષામાં ભ્રમણ કરે છે. આ ધૂમકેતુ માટે (a) રેખીય ઝડપ (b) કોણીય ઝડપ (c) કોણીય વેગમાન (d) ગતિઊર્જા (e) સ્થિતિઊર્જા (f) સમગ્ર કક્ષા પર કુલ ઊર્જાઅચળ છે ? ધૂમકેતુ જ્યારે સૂર્યની ખૂબ નજીક આવે ત્યારે કોઈ દળ ક્ષતિ થાય તો તે અવગણો.

**8.9** અવકાશમાંના અવકાશયાત્રીને થતી પીડા માટે કયાં લક્ષણો જણાય ? (a) પગમાં સોજો (b) ચહેરા પર સોજો (c) માથું દુઃખવું (d) સંરચનાની (Orientational) તકલીફ.

**8.10 નીચેના બે પ્રશ્નોમાં આપેલા ઉત્તરોમાંથી સાચો ઉત્તર પસંદ કરો :** (a) નિયમિત દળ ઘનતા ધરાવતા એક અર્ધગોળાકાર કવચના કેન્દ્ર પર ગુરુત્વ તીવ્રતાની દિશા દર્શાવતું તીર (જુઓ આકૃતિ 8.12.) (i) a (ii) b (iii) c (iv) d.




*આકૃતિ* **8.12**

**8.11** ઉપરના પ્રશ્નમાં કોઈ યાદચ્છિક બિંદુ P આગળ ગુરુત્વ તીવ્રતાની દિશા દર્શાવતું તીર (i) d (ii) e (iii) f (iv) g.

**8.12** પૃથ્વી પરથી એક રૉકેટ સૂર્ય તરફ છોડવામાં આવે છે. પૃથ્વીના કેન્દ્રથી કેટલા અંતરે રૉકેટ પરનું ગુરુત્વબળ શૂન્ય બને છે ? સૂર્યનું દળ $= 2 \times 10^{30}$ kg, પૃથ્વીનું દળ $= 6 \times 10^{24}$ kg બીજા ગ્રહો વગેરેની અસર અવગણો. (કક્ષીય ત્રિજ્યા $= 1.5 \times 10^{11}$ m)

**8.13** તમે 'સૂર્યનું વજન' કેવી રીતે કરશો, એટલે કે તેના દળનો અંદાજ કેવી રીતે મેળવશો ? સૂર્યની ફરતે પૃથ્વીની કક્ષાની સરેરાશ ત્રિજ્યા $1.5 \times 10^8$ km છે.

**8.14** શનિ પરના વર્ષનો સમયગાળો, પૃથ્વી પરના વર્ષના સમયગાળા કરતાં 29.5 ગણો છે. જો પૃથ્વી સૂર્યથી $1.50 \times 10^8$ km અંતરે હોય, તો સૂર્યથી શનિ કેટલે દૂર હશે ?

**8.15** એક પદાર્થનું પૃથ્વીની સપાટી પર વજન 63 N છે. પૃથ્વીની ત્રિજ્યા કરતાં અડધી ઊંચાઈએ તે પદાર્થ પરનું પૃથ્વીનું ગુરુત્વબળ કેટલું હશે ?

**8.16** પૃથ્વીને નિયમિત દળ ઘનતા ધરાવતો ગોળો ધારીને, જે પદાર્થનું સપાટી પર વજન 250 N હોય, તો તેનું પૃથ્વીના કેન્દ્ર તરફ અડધા અંતરે વજન કેટલું થશે ?

**8.17** પૃથ્વીની સપાટી પરથી 5 km $s^{-1}$ની ઝડપે ઊર્ધ્વદિશામાં એક રૉકેટ છોડવામાં આવે છે. પૃથ્વી પર પાછા આવતા અગાઉ રૉકેટ કેટલે દૂર સુધી જશે ? પૃથ્વીનું દળ $= 6 \times 10^{24}$ kg, પૃથ્વીની સરેરાશ ત્રિજ્યા $= 6.4 \times 10^6$ m, $G = 6.67 \times 10^{-11}$ N m$^2$ kg$^{-2}$.

**8.18** પૃથ્વીની સપાટી પરથી પ્રક્ષિપ્ત પદાર્થની નિષ્ક્રમણ ઝડપ 11.2 km $s^{-1}$ છે. એક પદાર્થને આના કરતાં ત્રણગણી ઝડપે બહાર ફેંકવામાં આવે છે. પૃથ્વીથી અત્યંત દૂરના અંતરે જતાં એ પદાર્થની ઝડપ કેટલી હશે ? સૂર્ય અને બીજા ગ્રહોના અસ્તિત્વ અવગણો.

**8.19** પૃથ્વીની સપાટીથી 400 km ઊંચાઈએ એક ઉપગ્રહ કક્ષામાં ભ્રમણ કરે છે. ઉપગ્રહને પૃથ્વીના ગુરુત્વાકર્ષણની અસરમાંથી બહાર મોકલવા માટે કેટલી ઊર્જા ખર્ચવી પડશે ? ઉપગ્રહનું દળ = 200 kg, પૃથ્વીનું દળ $= 6.0 \times 10^{24}$ kg, પૃથ્વીની ત્રિજ્યા $= 6.4 \times 10^6$ m, $G = 6.67 \times 10^{-11}$ N m$^2$ kg$^{-2}$.

**8.20** દરેકનું એક સોલર (સૂર્ય જેટલું $= 2 \times 10^{30}$ kg) દળ ધરાવતા બે તારા એકબીજા તરફ સન્મુખ (Head on) સંઘાત માટે જઈ રહ્યા છે. જ્યારે તેઓ $10^9$ km અંતરે હોય છે ત્યારે તેમની ઝડપ અવગણ્ય છે. તેઓ કેટલી ઝડપથી એકબીજાને અથડાશે ? દરેક તારાની ત્રિજ્યા $10^4$ km છે. સંઘાત થયા વિના વિના તારાઓ વિકૃત થતા નથી એમ ધારો. ($G$નું જ્ઞાત મૂલ્ય લો.)

**8.21** એક સમક્ષિતિજ કોષ્ટક પર દરેકનું 100 kg દળ અને 0.10 m ત્રિજ્યા હોય તેવા બે ભારે ગોળાઓને એકબીજાથી 1.0 m અંતરે મૂકેલા છે. ગોળાઓનાં કેન્દ્રોને જોડતી રેખાના મધ્યબિંદુએ ગુરુત્વબળ અને ગુરુત્વસ્થિતિમાન કેટલા હશે ? તે બિંદુએ મૂકેલો કોઈ પદાર્થ સંતુલનમાં છે ? જો તેમ હોય તો સંતુલન સ્થિર છે કે અસ્થિર ?

## વધારાનું સ્વાધ્યાય

**8.22** તમે પાઠ્યપુસ્તકમાં શીખ્યાં છો કે ભૂસ્થિર ઉપગ્રહ પૃથ્વીની આસપાસ પૃથ્વીની સપાટીથી લગભગ 36,000 km ઊંચાઈ ધરાવતી કક્ષામાં ભ્રમણ કરે છે. આ ઉપગ્રહના સ્થાને ગુરુત્વસ્થિતિમાન કેટલું હશે ? (અનંત અંતરે ગુરુત્વ સ્થિતિઊર્જા શૂન્ય લો.) પૃથ્વીનું દળ $= 6.0 \times 10^{24}$ kg, ત્રિજ્યા = 6400 km.

**8.23** સૂર્યના દળ કરતાં 2.5 ગણું દળ ધરાવતો અને સંકોચાઈને 12 kmનું પરિમાણ ધરાવતો એક તારો 1.2 પરિભ્રમણ પ્રતિ સેકન્ડ જેટલી ઝડપથી ભ્રમણ કરે છે. (આ પ્રકારના અત્યંત ઠાંસીને નક્કર બનેલા compact તારાને ન્યુટ્રૉન તારા કહે છે. પલ્સાર તરીકે ઓળખાતા કેટલાક અવકાશી પદાર્થો આ પ્રકારમાં આવે છે.) તેના વિષુવવૃત્ત પર મૂકેલો પદાર્થ ગુરુત્વાકર્ષણને લીધે તેની સપાટીને ચોંટીને રહેશે ? (સૂર્યનું દળ $= 2 \times 10^{30}$ kg).

**8.24** મંગળ પર એક અવકાશયાન સ્થિર થયેલ છે. આ અવકાશયાનને સૂર્યમંડળની બહાર ધકેલી દેવા માટે કેટલી ઊર્જા ખર્ચવી પડશે ? અવકાશયાનનું દળ = 1000 kg, સૂર્યનું દળ $= 2 \times 10^{30}$ kg, મંગળનું દળ $= 6.4 \times 10^{23}$ kg, મંગળની ત્રિજ્યા = 3395 km, મંગળની કક્ષાની ત્રિજ્યા $= 2.28 \times 10^8$ km, $G = 6.67 \times 10^{-11}$ N m$^2$ kg$^{-2}$.

**8.25** મંગળની સપાટી પરથી એક રૉકેટ ઊર્ધ્વદિશામાં 2 km $s^{-1}$ની ઝડપથી છોડવામાં આવે છે. જો મંગળના વાતાવરણના અવરોધને લીધે તેની પ્રારંભિક ઊર્જાની 20 % ઊર્જા વ્યય પામતી હોય, તો મંગળની સપાટી પર પાછું આવતા પહેલાં રૉકેટ કેટલે દૂર જશે ? મંગળનું દળ $= 6.4 \times 10^{23}$ kg, મંગળની ત્રિજ્યા = 3395 km, $G = 6.67 \times 10^{-11}$ N m$^2$ kg$^{-2}$.

# પરિશિષ્ટ (APPENDICES)

## પરિશિષ્ટ A 1
## ગ્રીક આલ્ફાબેટ

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| આલ્ફા (Alpha) | A | α | ન્યુ (Nu) | N | ν |
| બીટા (Beta) | B | β | ક્ઝાઈ (Xi) | Ξ | ξ |
| ગામા (Gamma) | Γ | γ | ઓમિક્રોન (Omicron) | O | o |
| ડેલ્ટા (Delta) | Δ | δ | પાઈ (Pi) | Π | π |
| એપ્સિલોન (Epsilon) | E | ε | ર્‌હો (Rho) | P | ρ |
| ઝેટા (Zeta) | Z | ς | સિગ્મા (Sigma) | Σ | σ |
| ઈટા (Eta) | H | η | ટાઉ (Tau) | T | τ |
| થીટા (Theta) | Θ | θ | અપ્સિલોન (Upsilon) | Y | υ |
| આયોટા (Iota) | I | ι | ફાઈ (Phi) | Φ | ϕ, φ |
| કેપ્પા (Kappa) | K | κ | ઝાઈ (Chi) | X | χ |
| લૅમ્ડા (Lambda) | Λ | λ | સાઈ (Psi) | Ψ | ψ |
| મ્યુ (Mu) | M | μ | ઓમેગા (Omega) | Ω | ω |

## પરિશિષ્ટ A 2
## ગુણકો અને અપૂર્ણાંક ગુણકો માટે સામાન્ય SI પૂર્વગો અને પ્રતીકો

| અવયવ | પૂર્વગ | પ્રતીક | અવયવ | પૂર્વગ | પ્રતીક |
|---|---|---|---|---|---|
| $10^{18}$ | એક્ઝા (Exa) | E | $10^{-18}$ | ઍટો (atto) | a |
| $10^{15}$ | પેટા (Peta) | P | $10^{-15}$ | ફેમ્ટો (femto) | f |
| $10^{12}$ | ટેરા (Tera) | T | $10^{-12}$ | પિકો (pico) | p |
| $10^{9}$ | ગિગા (Giga) | G | $10^{-9}$ | નેનો (nano) | n |
| $10^{6}$ | મેગા (Mega) | M | $10^{-6}$ | માઈક્રો (micro) | μ |
| $10^{3}$ | કિલો (kilo) | k | $10^{-3}$ | મિલિ (milli) | m |
| $10^{2}$ | હેક્ટો (Hecto) | h | $10^{-2}$ | સેન્ટિ (centi) | c |
| $10^{1}$ | ડેકા (Deca) | da | $10^{-1}$ | ડેસિ (deci) | d |

# પરિશિષ્ટ A 3

## કેટલાક અગત્યના અચળાંકો

| નામ | પ્રતીક | મૂલ્ય |
|---|---|---|
| શૂન્યાવકાશમાં પ્રકાશની ઝડપ | $c$ | $2.9979 \times 10^{8}$ m s$^{-1}$ |
| ઇલેક્ટ્રૉનનો વિદ્યુતભાર | $e$ | $1.602 \times 10^{-19}$ C |
| ગુરુત્વાકર્ષી અચળાંક | $G$ | $6.673 \times 10^{-11}$ N m$^{2}$ kg$^{-2}$ |
| પ્લાન્ક અચળાંક | $h$ | $6.626 \times 10^{-34}$ J s |
| બોલ્ટ્ઝમૅન અચળાંક | $k$ | $1.381 \times 10^{-23}$ J K$^{-1}$ |
| ઍવોગેડ્રો અંક | $N_A$ | $6.022 \times 10^{23}$ mol$^{-1}$ |
| સાર્વત્રિક વાયુ-અચળાંક | $R$ | 8.314 J mol$^{-1}$K$^{-1}$ |
| ઇલેક્ટ્રૉનનું દળ | $m_e$ | $9.110 \times 10^{-31}$ kg |
| ન્યુટ્રૉનનું દળ | $m_n$ | $1.675 \times 10^{-27}$ kg |
| પ્રોટોનનું દળ | $m_p$ | $1.673 \times 10^{-27}$ kg |
| ઇલેક્ટ્રૉનના વિદ્યુતભાર અને દળનો ગુણોત્તર | $e/m_e$ | $1.759 \times 10^{11}$ C/kg |
| ફેરેડે અચળાંક | $F$ | $9.648 \times 10^{4}$ C/mol |
| રીડબર્ગ અચળાંક | $R$ | $1.097 \times 10^{7}$ m$^{-1}$ |
| બોહ્‌ર ત્રિજ્યા | $a_0$ | $5.292 \times 10^{-11}$ m |
| સ્ટીફન-બોલ્ટ્ઝમૅન અચળાંક | $\sigma$ | $5.670 \times 10^{-8}$ W m$^{-2}$K$^{-4}$ |
| વીનનો અચળાંક | $b$ | $2.898 \times 10^{-3}$ m K |
| શૂન્યાવકાશનો પરાવૈદ્યુતાંક (પરમિટીવીટી) | $\varepsilon_0$<br>$1/4\pi\varepsilon_0$ | $8.854 \times 10^{-12}$ C$^{2}$N$^{-1}$m$^{-2}$<br>$8.987 \times 10^{9}$ N m$^{2}$C$^{-2}$ |
| શૂન્યાવકાશની પારગમ્યતા (પરમિએબીલીટી) | $\mu_0$ | $4\pi \times 10^{-7}$ T m A$^{-1}$<br>$\cong 1.257 \times 10^{-6}$ Wb A$^{-1}$m$^{-1}$ |

## બીજા ઉપયોગી અચળાંકો

| નામ | પ્રતીક | મૂલ્ય |
|---|---|---|
| ઉષ્માનો યાંત્રિક તુલ્યાંક | J | 4.186 J cal$^{-1}$ |
| પ્રમાણભૂત વાતાવરણનું દબાણ | 1 atm | $1.013 \times 10^{5}$ Pa |
| નિરપેક્ષ શૂન્ય | 0 K | −273.15 °C |
| ઇલેક્ટ્રૉન વૉલ્ટ | 1 eV | $1.602 \times 10^{-19}$ J |
| યુનિફાઇડ ઍટોમિક માસ યુનિટ | 1 u | $1.661 \times 10^{-27}$ kg |
| ઇલેક્ટ્રૉનની સ્થિરઊર્જા | mc$^2$ | 0.511 MeV |
| I u ને સમતુલ્ય ઊર્જા | 1 uc$^2$ | 931.5 MeV |
| આદર્શ વાયુનું કદ (0°C અને 1 વાતા.) | V | 22.4 L mol$^{-1}$ |
| ગુરુત્વપ્રવેગ<br>(વિષુવવૃત્ત પાસે દરિયાની સપાટીએ) | $g$ | 9.78049 m s$^{-2}$ |

# પરિશિષ્ટ A 4
## રૂપાંતરણ અવયવ

સરળતા ખાતર રૂપાંતરણ અવયવ નીચે મુજબ સમીકરણ સ્વરૂપે લખેલ છે :

**લંબાઈ (Length)**

1 km = 0.6215 mi

1mi = 1.609 km

1m = 1.0936 yd = 3.281 ft = 39.37 in

1 in = 2.54 cm

1 ft = 12 in = 30.48 cm

1 yd = 3ft = 91.44 cm

1 lightyear = 1 ly = $9.461 \times 10^{15}$m

1 Å = 0.1nm

**ક્ષેત્રફળ (Area)**

1 $m^2 = 10^4\ cm^2$

1$km^2$ = 0.3861 $mi^2$ = 247.1 acres

1 $in^2$= 6.4516 $cm^2$

1$ft^2$= $9.29 \times 10^{-2} m^2$

1 $m^2$= 10.76 $ft^2$

1 acre = 43,560 $ft^2$

1 $mi^2$= 460 acres = 2.590 $km^2$

**કદ (Volume)**

1$m^3$= $10^6 cm^3$

1 L = 1000 $cm^3$ = $10^{-3}\ m^3$

1 gal = 3.786 L

1 gal = 4 qt = 8 pt = 128 oz = 231 $in^3$

1 $in^3$ = 16.39 $cm^3$

1$ft^3$ = 1728 $in^3$ = 28.32 L = $2.832 \times 10^4\ cm^3$

**ઝડપ (Speed)**

1 km $h^{-1}$ = 0.2778 m $s^{-1}$ = 0.6215 mi $h^{-1}$

1mi $h^{-1}$ = 0.4470 m $s^{-1}$ = 1.609 km $h^{-1}$

1mi $h^{-1}$ = 1.467 ft $s^{-1}$

**ચુંબકીયક્ષેત્ર (Magnetic Field)**

1 G = $10^{-4}$ T

1 T = 1 Wb $m^{-2}$ = $10^4$ G

**ખૂણો અને કોણીય ઝડપ (Angle and Angular Speed)**

$\pi$ rad = $180^\circ$

1 rad = $57.30^\circ$

$1^\circ = 1.745 \times 10^{-2}$ rad

1 rev $min^{-1}$ = 0.1047 rad $s^{-1}$

1 rad $s^{-1}$ = 9.549 rev $min^{-1}$

**દળ (Mass)**

1 kg = 1000 g

1 tonne = 1000 kg = 1 Mg

1 u = $1.6606 \times 10^{-27}$ kg

1 kg = $6.022 \times 10^{26}$ u

1 slug = 14.59 kg

1 kg = $6.852 \times 10^{-2}$ slug

1 u = 931.50 MeV/ $c^2$

**ઘનતા (Density)**

1 g $cm^{-3}$ = 1000 kg $m^{-3}$ = 1 kg $L^{-1}$

**બળ (Force)**

1 N = 0.2248 lbf = $10^5$ dyn

1 lbf = 4.4482 N

1 kgf = 2.2046 lbf

**સમય (Time)**

1 h = 60 min = 3.6 ks

1 d = 24 h = 1440 min = 86.4 ks

1y = 365.24 d = 31.56 Ms

**દબાણ (Pressure)**

1 Pa = 1 N $m^{-2}$

1 bar = 100 kPa

1 atm = 101.325 kPa = 1.01325 bar

1atm = 14.7 lbf/$in^2$ = 760 mm Hg

= 29.9 in Hg = 33.8 ft $H_2O$

1 lbf $in^{-2}$ = 6.895 kPa

1 torr = 1mm Hg = 133.32 Pa

**ઊર્જા (Energy)**

1 kW h = 3.6 MJ

1 cal = 4.186 J

1ft lbf = 1.356 J = $1.286 \times 10^{-3}$ Btu

1 L atm = 101.325 J

1 L atm = 24.217 cal

1 Btu = 778 ft lb = 252 cal = 1054.35 J

1 eV = $1.602 \times 10^{-19}$J

1 u $c^2$ = 931.50 MeV

1 erg = $10^{-7}$J

**પાવર (Power)**

1 horsepower (hp) = 550 ft lbf/s

= 745.7 W

1 Btu $min^{-1}$ = 17.58 W

1 W = $1.341 \cdot 10^{-3}$ hp

= 0.7376 ft lbf/s

**ઉષ્માવાહકતા (Thermal Conductivity)**

1 W $m^{-1}$ $K^{-1}$ = 6.938 Btu in/h$ft^2$ °F

1 Btu in/h$ft^2$ °F = 0.1441 W/m K

# પરિશિષ્ટ A 5
## ગાણિતિક સૂત્રો

**ભૂમિતિ (Geometry)**

વર્તુળની ત્રિજ્યા r: પરિઘ = $2\pi r$;

ક્ષેત્રફળ = $\pi r^2$

ગોળાની ત્રિજ્યા *r:* ક્ષેત્રફળ = $4\pi r^2$;

કદ = $\frac{4}{3}\pi r^3$

*r* ત્રિજ્યા અને *h*, ઊંચાઈના વર્તુળાકાર નળાકાર માટે ક્ષેત્રફળ = $2\pi r^2 + 2\pi r h$;

કદ = $\pi r^2 h$;

*a* પાયો અને *h* વેધવાળા ત્રિકોણનું

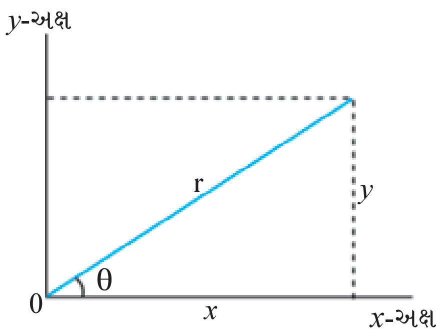
ક્ષેત્રફળ = $\frac{1}{2} a h$

**દ્વિઘાત સમીકરણ (Quadratic Formula)**

જો $ax^2 + bx + c = 0$,

તો $x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$

**θ ખૂણા માટે ત્રિકોણમિતીય વિધેયો (Trigonometric Functions of Angle θ)**




આકૃતિ A 5.1

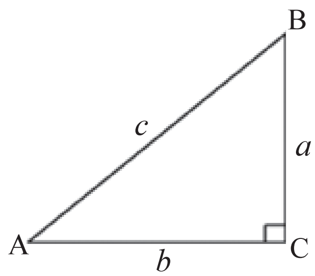
$\sin\theta = \frac{y}{r}$ $\cos\theta = \frac{x}{r}$

$\tan\theta = \frac{y}{x}$ $\cot\theta = \frac{x}{y}$

$\sec\theta = \frac{r}{x}$ $\csc\theta = \frac{r}{y}$

**પાયથાગોરસ પ્રમેય (Pythagorean Theorem)**

આ કાટકોણ ત્રિકોણ માટે, $a^2 + b^2 = c^2$




આકૃતિ A 5.2

**ત્રિકોણો (Triangles)**

ખૂણાઓ *A, B, C* છે.

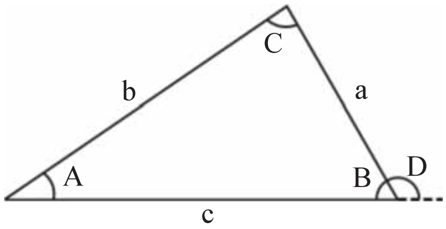
તેમની વિરુદ્ધ બાજુઓ *a, b, c* છે.

ખૂણાઓ $A + B + C = 180^0$

$$\frac{\sin A}{a} = \frac{\sin B}{b} = \frac{\sin C}{c}$$

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos C$$

બહિષ્કોણ $D = A + C$




આકૃતિ A 5.3

### ગણિતીય ચિહ્નો અને પ્રતીકો (Mathematical Signs and Symbols)

$=$ બરાબર

$\cong$ લગભગ બરાબર

$\sim$ માનના ક્રમનું છે.

$\neq$ બરાબર નથી.

$\equiv$ એકરૂપ છે, તરીકે વ્યાખ્યાયિત છે.

$>$ કરતાં મોટું છે. ($>>$ કરતાં ઘણું મોટું છે.)

$<$ કરતાં નાનું છે. ($<<$ કરતાં ઘણું નાનું છે.)

$\geq$ કરતાં મોટું અથવા બરાબર છે. (કરતાં નાનું નથી.)

$\leq$ કરતાં નાનું અથવા બરાબર છે. (કરતાં મોટું નથી.)

$\pm$ વત્તા કે ઓછા

$\propto$ ને સમપ્રમાણમાં છે.

$\Sigma$ નો સરવાળો

$\bar{x}$ અથવા $<x>$ અથવા $x_{av}$ $x$ નું સરેરાશ મૂલ્ય

### ત્રિકોણમિતીય સૂત્રો (Trigonometric Identities)

$\sin(90^0 - \theta) = \cos\theta$

$\cos(90^0 - \theta) = \sin\theta$

$\sin\theta / \cos\theta = \tan\theta$

$\sin^2\theta + \cos^2\theta = 1$

$\sec^2\theta - \tan^2\theta = 1$

$\csc^2\theta - \cot^2\theta = 1$

$\sin 2\theta = 2\sin\theta\cos\theta$

$\cos 2\theta = \cos^2\theta - \sin^2\theta = 2\cos^2\theta - 1$
$= 1 - 2\sin^2\theta$

$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin\alpha\cos\beta \pm \cos\alpha\sin\beta$

$\cos(\alpha \pm \beta) = \cos\alpha\cos\beta \mp \sin\alpha\sin\beta$

$$\tan(\alpha \pm \beta) = \frac{\tan\alpha \pm \tan\beta}{1 \mp \tan\alpha\tan\beta}$$

$$\sin\alpha \pm \sin\beta = 2\sin\frac{1}{2}(\alpha \pm \beta)\cos\frac{1}{2}(\alpha \mp \beta)$$

$\cos\alpha + \cos\beta$

$$= 2\cos\frac{1}{2}(\alpha + \beta)\cos\frac{1}{2}(\alpha - \beta)$$

$\cos\alpha - \cos\beta$

$$= -2\sin\frac{1}{2}(\alpha + \beta)\sin\frac{1}{2}(\alpha - \beta)$$

### દ્વિપદી પ્રમેય (Binomial Theorem)

$$(1 \pm x)^n = 1 \pm \frac{nx}{1!} + \frac{n(n-1)x^2}{2!} + \ldots\ldots (x^2 < 1)$$

$$(1 \pm x)^{-n} = 1 \mp \frac{nx}{1!} + \frac{n(n+1)x^2}{2!} + \ldots\ldots (x^2 < 1)$$

### ચર ઘાતાંકી વિસ્તરણ (Exponential Expansion)

$$e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \ldots\ldots$$

### લઘુગણકીય વિસ્તરણ (Logarithmic Expansion)

$$\ln(1+x) = x - \frac{1}{2}x^2 + \frac{1}{3}x^3 - \ldots\ldots \quad (|x| < 1)$$

### ત્રિકોણમિતીય વિસ્તરણ (Trigonometric Expansion) (θ in radians)

$$\sin\theta = \theta - \frac{\theta^3}{3!} + \frac{\theta^5}{5!} - \ldots\ldots$$

$$\cos\theta = 1 - \frac{\theta^2}{2!} + \frac{\theta^4}{4!} - \ldots\ldots$$

$$\tan\theta = \theta + \frac{\theta^3}{3} + \frac{2\theta^5}{15} - \ldots\ldots$$

### સદિશોના ગુણાકાર (Products of Vectors)

$x$, $y$ અને $z$ દિશામાંના એકમ સદિશોને $\hat{\mathbf{i}}$, $\hat{\mathbf{j}}$ અને $\hat{\mathbf{k}}$ તરીકે લખીએ તો

$$\hat{\mathbf{i}}\cdot\hat{\mathbf{i}} = \hat{\mathbf{j}}\cdot\hat{\mathbf{j}} = \hat{\mathbf{k}}\cdot\hat{\mathbf{k}} = 1,\ \hat{\mathbf{i}}\cdot\hat{\mathbf{j}} = \hat{\mathbf{j}}\cdot\hat{\mathbf{k}} = \hat{\mathbf{k}}\cdot\hat{\mathbf{i}} = 0$$

$$\hat{\mathbf{i}}\times\hat{\mathbf{i}} = \hat{\mathbf{j}}\times\hat{\mathbf{j}} = \hat{\mathbf{k}}\times\hat{\mathbf{k}} = 0,\ \hat{\mathbf{i}}\times\hat{\mathbf{j}} = \hat{\mathbf{k}},\ \hat{\mathbf{j}}\times\hat{\mathbf{k}} = \hat{\mathbf{i}},\ \hat{\mathbf{k}}\times\hat{\mathbf{i}} = \hat{\mathbf{j}}$$

$x$, $y$ અને $z$ અક્ષો પર $a_x$, $a_y$ અને $a_z$ ઘટકો ધરાવતો કોઈ પણ સદિશ **a** આ પ્રમાણે લખી શકાય :

$$\mathbf{a} = a_x\hat{\mathbf{i}} + a_y\hat{\mathbf{j}} + a_z\hat{\mathbf{k}}$$

કોઈ પણ સદિશો **a, b** અને **c** નાં માન $a$, $b$ અને $c$ હોય તો

$\mathbf{a} \times (\mathbf{b} + \mathbf{c}) = (\mathbf{a} \times \mathbf{b}) + (\mathbf{a} \times \mathbf{c})$

$(s\mathbf{a}) \times \mathbf{b} = \mathbf{a} \times (s\mathbf{b}) = s(\mathbf{a} \times \mathbf{b})$ (s અદિશ છે.)

**a** અને **b** વચ્ચેનો નાનો કોણ $\theta$ હોય તો

$\mathbf{a} \cdot \mathbf{b} = \mathbf{b} \cdot \mathbf{a} = a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z = ab\cos\theta$

$|\mathbf{a} \times \mathbf{b}| = ab\sin\theta$

$$\mathbf{a} \times \mathbf{b} = -\mathbf{b} \times \mathbf{a} = \begin{vmatrix} \hat{\mathbf{i}} & \hat{\mathbf{j}} & \hat{\mathbf{k}} \\ a_x & a_y & a_z \\ b_x & b_y & b_z \end{vmatrix}$$

$$= (a_y b_z - b_y a_z)\hat{\mathbf{i}} + (a_z b_x - b_z a_x)\hat{\mathbf{j}} + (a_x b_y - b_x a_y)\hat{\mathbf{k}}$$

$$\mathbf{a} \cdot (\mathbf{b} \times \mathbf{c}) = \mathbf{b} \cdot (\mathbf{c} \times \mathbf{a}) = \mathbf{c} \cdot (\mathbf{a} \times \mathbf{b})$$

$$\mathbf{a} \times (\mathbf{b} \times \mathbf{c}) = (\mathbf{a} \cdot \mathbf{c})\,\mathbf{b} - (\mathbf{a} \cdot \mathbf{b})\,\mathbf{c}$$

## પરિશિષ્ટ A 6
## SI સાધિત એકમો
### A 6.1 કેટલાક SI સાધિત એકમો SI મૂળ એકમોમાં દર્શાવ્યા છે.

| ભૌતિકરાશિ (Physical quantity) | SI એકમ (SI Unit) | |
|---|---|---|
| | નામ (Name) | પ્રતીક (Symbol) |
| ક્ષેત્રફળ | square metre | $m^2$ |
| કદ | cubic metre | $m^3$ |
| ઝડપ, વેગ | metre per second | m/s or $m\ s^{-1}$ |
| કોણીય વેગ | radian per second | rad/s or $rad\ s^{-1}$ |
| પ્રવેગ | metre per second square | $m/s^2$ or $m\ s^{-2}$ |
| કોણીય પ્રવેગ | radian per second square | $rad/s^2$ or $rad\ s^{-2}$ |
| તરંગસંખ્યા | per metre | $m^{-1}$ |
| ઘનતા, દળ ઘનતા | kilogram per cubic metre | $kg/m^3$ or $kg\ m^{-3}$ |
| પ્રવાહ ઘનતા | ampere per square metre | $A/m^2$ or $A\ m^{-2}$ |
| ચુંબકીયક્ષેત્ર પ્રબળતા, ચુંબકીય તીવ્રતા, ચુંબકીય ચાકમાત્રા ઘનતા | ampere per metre | A/m or $A\ m^{-1}$ |
| (દ્રવ્યના જથ્થાની) સાંદ્રતા | mole per cubic metre | $mol/m^3$ or $mol\ m^{-3}$ |
| વિશિષ્ટ કદ | cubic metre per kilogram | $m^3/kg$ or $m^3\ kg^{-1}$ |
| જ્યોતિર્મયતા, જ્યોતિતીવ્રતા | candela per square metre | $cd/m^2$ or $cd\ m^{-2}$ |
| શુદ્ધ ગતિક શ્યાનતા | square metre per second | $m^2/s$ or $m^2\ s^{-1}$ |
| વેગમાન | kilogram metre per second | $kg\ m\ s^{-1}$ |
| જડત્વની ચાકમાત્રા | kilogram square metre | $kg\ m^2$ |
| ચક્રાવર્તન ત્રિજ્યા | metre | m |
| રેખીય/ક્ષેત્રીય/કદ-પ્રસરણાંક | per kelvin | $K^{-1}$ |
| વહન દર | cubic metre per second | $m^3\ s^{-1}$ |

## A 6.2 SI સાધિત એકમો, વિશિષ્ટ નામ સહિત

| ભૌતિકરાશિ (Physical quantity) | | | SI એકમ (SI Unit) | |
|---|---|---|---|---|
| | નામ (Name) | પ્રતીક (Symbol) | બીજા એકમોના પદમાં (Expression in terms of other units) | SI મૂળ એકમોના પદમાં (Expression in terms of SI base Unit |
| આવૃત્તિ | hertz | Hz | - | $s^{-1}$ |
| બળ | newton | N | - | $kg\ m\ s^{-2}$ or $kg\ m/s^2$ |
| દબાણ, પ્રતિબળ | Pascal | Pa | $N/m^2$ or $N\ m^{-2}$ | $kg\ m^{-1}\ s^{-2}$ or $kg\ /\ s^2\ m$ |
| ઊર્જા, કાર્ય, ઉષ્માનો જથ્થો | joule | J | N m | $kg\ m^2\ s^{-2}$ or $kg\ m^2/s^2$ |
| પાવર, વિકિરણ ફ્લક્સ | watt | W | J/s or $J\ s^{-1}$ | $kg\ m^2\ s^{-3}$ or $kg\ m^2\ /\ s^3$ |
| વિદ્યુતનો જથ્થો, વિદ્યુતભાર | coulomb | C | - | A s |
| વિદ્યુત સ્થિતિમાન, સ્થિતિમાનનો તફાવત, વિદ્યુતચાલક બળ | volt | V | W/A or $W\ a^{-1}$ | $kg\ m^2 s^{-3}\ A^{-1}$ or $kg\ m^2/s^3\ A$ |
| કૅપેસિટન્સ | farad | F | C/V | $A^2 s^4\ kg^{-1}\ m^{-2}$ |
| વિદ્યુત અવરોધ | ohm | Ω | V/A | $kg\ m^2 s^{-3}\ A^{-2}$ |
| વાહકતા | siemens | S | A/V | $m^{-2}\ kg^{-1}\ s^3\ A^2$ |
| ચુંબકીય ફ્લક્સ | weber | Wb | V s or J/A | $kg\ m^2\ s^{-2}\ A^{-1}$ |
| ચુંબકીયક્ષેત્ર, ચુંબકીય ફ્લક્સ ઘનતા, ચુંબકીય પ્રેરણ | tesla | T | $Wb/m^2$ | $kg\ s^{-2}\ A^{-1}$ |
| પ્રેરકત્વ | henry | H | Wb/A | $kg\ m^2\ s^{-2}\ A^{-2}$ |
| જ્યોતિ ફ્લક્સ, જ્યોતિ તીવ્રતા | lumen | lm | - | cd / sr |
| પ્રદીપ્ત ઘનત્વ | lux | lx | $lm/m^2$ | $m^{-2}\ cd\ sr^{-1}$ |
| રેડિયો ન્યુક્લાઇડ/રેડિયો ઍક્ટિવ સ્રોતની ઍક્ટિવિટી | becquerel | Bq | - | $s^{-1}$ |
| શોષીત જથ્થો, શોષીત જથ્થાઅંક | gray | Gy | J/kg | $m^2/s^2$ or $m^2\ s^{-2}$ |

## A 6.3 વિશિષ્ટ નામ સાથે SI એકમોમાં દર્શાવતા કેટલાક SI સાધિત એકમો

| ભૌતિકરાશિ (Physical quantity) | | SI એકમ પ્રતીક | |
|---|---|---|---|
| | નામ (Name) | (SI Unit Symbol) | SI મૂળ એકમોના પદમાં (Expression in terms of SI base Unit) |
| ચુંબકીય ચાકમાત્રા | joule per tesla | $J\ T^{-1}$ | $m^2\ A$ |
| ડાયપોલ ચાકમાત્રા | coulomb metre | C m | s A m |
| ગતિક શ્યાનતા | poiseiulles or pascal second or newton second per sq. m | Pl or Pa s or $N\ s\ m^{-2}$ | $m^{-1}\ kg\ s^{-1}$ |
| ટૉર્ક, બળયુગ્મ, બળની ચાકમાત્રા | newton metre | N m | $m^2\ kg\ s^{-2}$ |
| પૃષ્ઠતાણ | newton per metre | N/m | $kg\ s^{-2}$ |
| પાવર ઘનતા, વિકિરણમાત્રા ઉષ્મા ફ્લક્સ ઘનતા | watt per square metre | $W/m^2$ | $kg\ s^{-3}$ |

| | | | |
|---|---|---|---|
| ઉષ્માધારિતા, એન્ટ્રોપી | joule per kelvin | J/K | $m^2$ kg $s^{-2}$ $k^{-1}$ |
| વિશિષ્ટ ઉષ્માધારિતા, વિશિષ્ટ એન્ટ્રોપી | joule per kilogram kelvin | J/kg K | $m^2$ $s^{-2}$ $K^{-1}$ |
| વિશિષ્ટ ઊર્જા, ગુપ્ત ઉષ્મા | joule per kilogram | J/kg | $m^2$ $s^{-2}$ |
| વિકિરણ તીવ્રતા | watt per steradian | W $sr^{-1}$ | kg $m^2$ $s^{-3}$ $sr^{-1}$ |
| ઉષ્માવાહકતા | watt per metre kelvin | W $m^{-1}$ $K^{-1}$ | kg m $s^{-3}$ $k^{-1}$ |
| ઊર્જા ઘનતા | joule per cubic metre | J/$m^3$ | kg $m^{-1}$ $s^{-2}$ |
| વિદ્યુતક્ષેત્ર તીવ્રતા | volt per metre | V/m | m kg $s^{-3}$ $A^{-1}$ |
| વિદ્યુતભાર ઘનતા | coulomb per cubic metre | C/$m^3$ | $m^{-3}$ A s |
| વિદ્યુત ફ્લક્સ ઘનતા | coulomb per square metre | C/$m^2$ | $m^{-2}$ A s |
| પરાવૈદ્યુતાંક | farad per metre | F/m | $m^{-3}$ $kg^{-1}$ $s^4$ $A^2$ |
| પારગમ્યતા | henry per metre | H/m | m kg $s^{-2}$ $A^{-2}$ |
| મોલર ઊર્જા | joule per mole | J/mol | $m^2$ kg $s^{-2}$ $mol^{-1}$ |
| કોણીય વેગમાન પ્લાન્કનો અચળાંક | joule second | J s | kg $m^2$ $s^{-1}$ |
| મોલર એન્ટ્રોપી, મોલર ઉષ્માધારિતા | joule per mole kelvin | $\frac{J}{mol\,k}$ | kg $m^2$ $s^{-2}$ $k^{-1}$ $mol^{-1}$ |
| એક્સ્પોઝર($x$-rays) અને($\gamma$-rays) | coulomb per kilogram | C/kg | $kg^{-1}$ s A |
| શોષીત જથ્થા-દર | gray per second | Gy/s | $m^2$ $s^{-3}$ |
| દબનીયતા | par pascal | $Pa^{-1}$ | m $kg^{-1}$ $s^2$ |
| સ્થિતિસ્થાપક અંકો | Newton per square metre | N/$m^2$ or N $m^{-2}$ | kg $m^{-1}$ $s^{-2}$ |
| દબાણ પ્રચલન | pascale per metre | Pa/m or N $m^{-3}$ | kg $m^{-2}$ $s^{-2}$ |
| પૃષ્ઠ સ્થિતિમાન | joule per kilogram | J/kg or N m / kg | $m^2$ $s^{-2}$ |
| દબાણઊર્જા | pascal cubic metre | Pa $m^3$ or N m | kg $m^2$ $s^{-2}$ |
| આઘાત | newton second | N s | kg m $s^{-1}$ |
| કોણીય આઘાત | newton metre second | N m s | kg $m^2$ $s^{-1}$ |
| વિશિષ્ટ અવરોધ | ohm metre | Ωm | kg $m^3$ $s^{-3}$ $A^{-2}$ |
| પૃષ્ઠ ઊર્જા | joule per square metre | J/$m^2$ or N/m | kg $s^{-2}$ |

## પરિશિષ્ટ A 7

## ભૌતિકરાશિઓ, રાસાયણિક તત્ત્વો અને ન્યુક્લાઇડ્ઝનાં પ્રતીકો (સંકેતો) વાપરવા માટે સામાન્ય માર્ગદર્શન

- ભૌતિકરાશિઓનાં પ્રતીકો સામાન્ય રીતે એક અક્ષર હોય છે અને ઇટાલિક (ઢળતા) ટાઈપમાં છપાય છે. આમ છતાં ગુણાકારમાં એક અવયવ તરીકે દેખાતા બે અક્ષરનાં પ્રતીકોના કિસ્સામાં બીજા પ્રતીકોથી અલગ પાડવા માટે આ પ્રતીકને થોડા અંતરે રખાય છે.
- ભૌતિક સમીકરણોમાં નામો કે પદોના ટૂંકાક્ષરી દા.ત., સ્થિતિઊર્જા માટે સ્થિ. ઊ. વપરાતા નથી. પુસ્તકમાં આ ટૂંકાક્ષરી સામાન્ય / રોમન (ઊભા) ટાઈપમાં લખાય છે.
- સદિશો ઘાટા (ઘટ્ટ) અને સામાન્ય/રોમન (ઊભા) ટાઈપમાં છપાય છે. જોકે વર્ગખંડની પરિસ્થિતિમાં સદિશો પ્રતીકના માથે તીર મૂકીને દર્શાવી શકાય.
- બે રાશિઓનો ગુણાકાર તેમની વચ્ચે થોડી જગ્યા રાખીને લખાય છે. એક રાશિનો બીજી રાશિ દ્વારા ભાગાકાર સમક્ષિતિજ લીટી અથવા ત્રાંસી લીટી (/) તરીકે દર્શાવાય અથવા અંશ અને છેદના પ્રથમ ઘાતના વ્યસ્તના ગુણાકાર તરીકે યોગ્ય સ્થળોએ અંશ અને છેદને સ્પષ્ટ જુદા પાડીને લખી શકાય.

- રાસાયણિક તત્ત્વોનાં પ્રતીકો સામાન્ય/રોમન (ઊભા) ટાઈપમાં લખાય છે. પ્રતીકના પછી પૂર્ણવિરામ મુકાતું નથી. ઉદાહરણ તરીકે, Ca, C, H, He, U વગેરે.
- ન્યુક્લાઇડને રજૂ કરવા માટે તેની સાથે જોડેલા અંકો ડાબા નિમ્નલિખિત (પરમાણુ-ક્રમાંક) અને ઉચ્ચલિખિત (દળાંક) તરીકે મુકાય છે.

  ઉદાહરણ તરીકે U–235 ન્યુક્લાઇડને ${}^{235}_{92}U$ તરીકે રજૂ કરાય છે. (રાસાયણિક સંજ્ઞા U સાથે, દળાંક 235 દ્વારા અને પરમાણુ-ક્રમાંક 92 દ્વારા દર્શાવાય છે.).
- જરૂર પડે તો જમણી બાજુ ઉચ્ચલિખિત સ્થાન આયનીકરણની સ્થિતિ (આયનોના કિસ્સામાં) દર્શાવવા માટે વપરાય છે. ઉદાહરણ તરીકે, $Ca^{2+}$, $PO_4^{3-}$

# પરિશિષ્ટ A 8
# SI એકમો, કેટલાક બીજા એકમો અને SI પૂર્વગોનાં પ્રતીકોના ઉપયોગ માટે સામાન્ય માર્ગદર્શન

- ભૌતિકરાશિઓના એકમો માટેનાં પ્રતીકો સામાન્ય/રોમન સીધા ટાઈપમાં છપાય છે / લખાય છે.
- એકમોનાં પ્રમાણભૂત અને અનુમોદિત પ્રતીકો નાના અક્ષરોથી શરૂ થતા રોમન (સીધા) ટાઈપમાં લખાય છે. એકમોનાં ટૂંકાં સ્વરૂપો જેવા કે, kg, m, s, cd વગેરે પ્રતીકો છે. ટૂંકાક્ષરી નથી. એકમોના નામ કેપિટલમાં કદી લખાતા નથી. છતાં જો એકમનો પ્રતીક, વિજ્ઞાનીના નામ પરથી મેળવેલ હોય તો તેને કેપિટલમાં શરૂ કરી સામાન્ય/રોમન અક્ષરમાં લખાય છે. ઉદાહરણ તરીકે, 'મીટર' એકમ માટે m, 'day' એકમ માટે d, 'atmospheric દબાણ' એકમ માટે atm, 'hertz' એકમ માટે Hz, 'weber' એકમ માટે Wb, 'joule' એકમ માટે J, 'ampere' એકમ માટે A, 'volt' એકમ માટે V, વગેરે. એક અપવાદ છે L જે 'litre' એકમનું પ્રતીક છે. આ અપવાદ, લઘુ સ્વરૂપમાં લખાતો અક્ષર *l* ની અરબી સંખ્યાંક 1 સાથે ગેરસમજ નિવારવા રાખેલ છે.
- એકમોનાં પ્રતીકોના અક્ષરને અંતે પૂર્ણવિરામ મુકાતું નથી અને બહુવચનમાં પણ તે બદલાતા નથી પણ એકવચનના રૂપમાં જ લખાય છે.

  ઉદાહરણ તરીકે, 25 centimetres લંબાઈ માટે એકમ પ્રતીક 25 cm તરીકે લખાય છે, નહિ કે 25 cms અથવા 25 cm વગેરે.
- ત્રાંસી લીટી ( / ) ફક્ત એકાક્ષરી એકમ પ્રતીકનો બીજા એકમ પ્રતીક સાથેનો ભાગાકાર દર્શાવવા જ વપરાય છે. એક જ એકમમાં એક કરતાં વધુ ત્રાંસી લીટી (એક કરતાં વધુ ગુણોત્તરો) વપરાતી નથી.

  ઉદાહરણ તરીકે :

  $m/s^2$ અથવા $m\ s^{-2}$ (m અને $s^{-2}$ વચ્ચે જગ્યા રાખીને), પરંતુ m/s/s તરીકે નહિ.

  $1\ Pl = 1\ N\ s\ m^{-2} = 1\ N\ s/m^2 = 1\ kg/s\ m = 1\ kg\ m^{-1}\ s^{-1}$, પરંતુ 1 kg/m/s તરીકે નહિ.

  J/K mol અથવા $J\ K^{-1}\ mol^{-1}$, પરંતુ J/K/mol તરીકે નહિ વગેરે.
- પૂર્વગ પ્રતીકો સામાન્ય/રોમન (સીધા) ટાઈપમાં છપાય છે અને પૂર્વગ પ્રતીક અને એકમ પ્રતીક વચ્ચે કોઈ જગ્યા રખાતી નથી. આમ એકમ પ્રતીકની નજીક કેટલાંક માન્ય પૂર્વગ પ્રતીકો, SI એકમના દશાંશ-અપૂર્ણાંકો કે ગુણકો દર્શાવવા માટે અગવડભર્યા નાના કે મોટા હોય, ત્યારે લખાય છે.

  ઉદાહરણ તરીકે :

| | |
|---|---|
| મેગાવૉટ ( $1MW = 10^6$ W); | નેનો સેકન્ડ ($1\ ns = 10^{-9}$ s); |
| સેન્ટિમીટર ($1\ cm = 10^{-2}$ m); | પિકોફેરડ ($1\ pF = 10^{-12}$ F);. |
| કિલોમીટર ( $1\ km = 10^3$ m); | માઇક્રોસેકન્ડ ($1\mu s = 10^{-6}$ s); |
| મિલિવોલ્ટ ($1\ mV = 10^{-3}$ V); | ગિગાહર્ટ્ઝ ($1GHz = 10^9$ Hz); |

કિલોવોટ-અવર ($1\ kWh = 10^3\ W\ h = 3.6\ MJ = 3.6 \times 10^6\ J$);

માઇક્રોએમ્પિયર ($1\mu\ A = 10^{-6}\ A$); માઇક્રોન ($1\mu m = 10^{-6}\ m$);

ઍન્ગસ્ટ્રોમ ($1\ \mathring{A} = 0.1\ nm = 10^{-10}\ m$); વગેરે.

'માઇક્રોન' એકમ જે $10^{-6}$ m, એટલે કે માઇક્રોમીટર બરાબર છે તેને આ નામ માત્ર મીટરના અપૂર્ણાંક ગુણકને સગવડ માટે અપાયું છે. એવી જ રીતે ન્યુક્લિયર અભ્યાસોમાં લંબાઈના સગવડભર્યા એકમ તરીકે 'ફર્મિ' જે ફેમ્ટોમીટર અથવા $10^{-15}$ m બરાબર છે તે વપરાય છે. તેવી જ રીતે પરમાણુની અંદરના કણો (sub–atomic particle)ના સંઘાતોમાં આડછેદના ક્ષેત્રફળનો સગવડભર્યો એકમ બાર્ન, જે $10^{-28}\ m^2$ બરાબર છે, તે વપરાય છે. જોકે લંબાઈ માપતા ઉપકરણ 'માઇક્રોમીટર' સાથે ગૂંચવાડો ન થાય તે માટે 'માઇક્રોમીટર' એકમને સ્થાને 'માઇક્રોન' વધુ પસંદ કરાય છે. SI એકમો મીટર અને સેકન્ડના આ નવા ગુણકો કે અપૂર્ણાંક ગુણકો (cm, km, μm, μs, ns) એકમોના સંયુક્ત અને અલગ ન પાડી શકાય તેવાં પ્રતીકોનું નિર્માણ કરે છે.

- જ્યારે એકમના પ્રતીકની આગળ પૂર્વગ મૂકવામાં આવે છે ત્યારે, પૂર્વગ અને પ્રતીકનું સંયોજન, એકમનું નવું પ્રતીક ગણાય છે જેને ધન કે ઋણ ઘાત કૌંસ વગર આપી શકાય છે. બીજા એકમ પ્રતીકો સાથે આને સંયોજીને સંયોજિત એકમ બનાવાય છે. ઘાતાંકોના બંધનના નિયમ સામાન્ય બીજગણિત જેવા નથી હોતા.

  ઉદાહરણ તરીકે :

  $cm^3$ નો અર્થ હંમેશાં $(cm)^3 = (0.01\ m)^3 = 10^{-6}\ m^3$, છે નહિ કે $0.01\ m^3$ અથવા

  $10^{-2}\ m^3$ અથવા $1\ cm^3$ ($m^3$ સાથે પૂર્વગ c વચ્ચે જગ્યા રાખેલી હોય, તો તે અર્થહીન છે કારણ કે પૂર્વગ c એકમના પ્રતીકને જોડાય છે અને એકમ પ્રતીક સાથે જોડાયા સિવાય તેની કોઈ ભૌતિક સાર્થકતા કે સ્વતંત્ર અસ્તિત્વ નથી.)

  તેવી જ રીતે, $mA^2$નો અર્થ હંમેશાં $(mA)^2 = (0.001A)^2 = 10^{-6}\ A^2$ છે નહિ કે $0.001\ A^2$ અથવા $10^{-3}\ A^2$ અથવા $m\ \ A^2$;

  $1\ cm^{-1} = (10^{-2}m)^{-1} = 10^2\ m^{-1}$, પરંતુ $1\ c\ m^{-1}$ અથવા $10^{-2}\ m^{-1}$ નથી.

  $1\mu s^{-1}$નો અર્થ હંમેશાં $(10^{-6}s)^{-1} = 10^6\ s^{-1}$, છે, પણ $1 \times 10^{-6}\ s^{-1}$ નથી.

  $1\ km^2$નો અર્થ હંમેશાં $(km)^2 = (10^3\ m)^2 = 10^6\ m^2$, છે, પણ $10^3\ m^2$ નથી.

  $1mm^2$નો અર્થ હંમેશાં $(mm)^2 = (10^{-3}\ m)^2 = 10^{-6}\ m^2$, છે, પણ $10^{-3}\ m^2$ નથી.

- પૂર્વગ કદી એકલો વપરાતો નથી. તે હંમેશાં એકમ પ્રતીકને જોડાયેલ છે અને એકમ પ્રતીકની પહેલાં (અગાઉ) લખાય છે.

  ઉદાહરણ તરીકે :

  $10^3/m^3$ નો અર્થ $1000/m^3$ અથવા $1000\ m^{-3}$, છે, પણ $k/m^3$ અથવા $k\ m^{-3}$ નથી.

  $10^6/m^3$ નો અર્થ $10,00,000/m^3$ અથવા $10,00,000\ m^{-3}$, છે, પણ $M/m^3$ અથવા $M\ m^{-3}$ નથી.

- પૂર્વગ પ્રતીક એ એકમ પ્રતીકની બહુ નજીક લખાય છે. તેમની વચ્ચે જગ્યા રખાતી નથી જ્યારે એકમોના ગુણાકાર થાય ત્યારે એકમ પ્રતીકો જુદા જુદા થોડી જગ્યા રાખીને લખાય છે.

  ઉદાહરણ તરીકે :

  $m\ s^{-1}$ (m અને $s^{-1}$, પ્રતીકો, m અને s નાના અક્ષર એ જુદા જુદા અને સ્વતંત્ર એકમ પ્રતીકો અનુક્રમે metre અને second માટેના છે, તેમની વચ્ચે થોડી જગ્યા છે)નો અર્થ 'metre per second' છે પણ 'milli per second' નથી.

  તેવી જ રીતે $ms^{-1}$ [પ્રતીકો m અને s એકબીજાની ખૂબ નજીક લખાય છે. પૂર્વગ milli માટેનો પૂર્વગ પ્રતીક m અને એકમ પ્રતીક s નાના અક્ષર (એકમ 'second' માટે) સાથે તેમની વચ્ચે જગ્યા રાખ્યા વિના અને ms ને નવો સંયોજિત એકમ બનાવીને લખાય) નો અર્થ 'per millisecond' છે પણ 'metre per second' નથી. $mS^{-1}$ [પ્રતીકો m અને S એકબીજાની ખૂબ નજીક લખાય છે. પૂર્વગ પ્રતીક m (પૂર્વગ milli માટે) અને એકમ પ્રતીક S (એકમ 'siemens' માટે), વચ્ચે જગ્યા રખાતી નથી અને ms એક નવો સંયોજિત એકમ બનાવે છે.] નો અર્થ 'per milli siemens' છે પણ 'per millisecond' નથી.

  C m [પ્રતીક C અને m જુદા લખાય છે, તેઓ એકમ પ્રતીક C ('coulomb' એકમ માટે) અને m ('metre' એકમ માટે) રજૂ કરે છે, તેમની વચ્ચે જગ્યા રખાય છે.] નો અર્થ 'coulomb metre', છે પણ 'centimetre' નથી વગેરે.

- જ્યારે એક પૂર્વગ પ્રાપ્ય હોય ત્યારે બે પૂર્વગોનો ઉપયોગ કરાતો નથી.

  ઉદાહરણ તરીકે :

$10^{-9}$ m = 1nm (nanometre), પરંતુ 1mμm (millimicrometre) નહિ.

$10^{-6}$ m= 1μm (micron), પરંતુ 1mmm(millimillimetre) નહિ.

$10^{-12}$ F= 1 pF (picofarad), પરંતુ 1μμF (micromicrofarad) નહિ.

$10^{9}$ W=1 GW (giga watt), પરંતુ 1 kMW (kilomega watt) નહિ વગેરે.

- જ્યારે ભૌતિકરાશિને બે કે વધુ એકમોના સંયોજન સ્વરૂપે લખાય છે ત્યારે એકમોનું અને એકમોનાં પ્રતીકોનું સંયોજન કરાતું નથી.

  ઉદાહરણ તરીકે :

  joule per mole kelvin ને J/mol K અથવા J $mol^{-1}$ $K^{-1}$ તરીકે લખાય છે પણ joule/mole K અથવા J/ mol kelvin અથવા J/mole K તરીકે નહિ વગેરે.

  joule per tesla ને J/T અથવા J $T^{-1}$ તરીકે પણ લખાય છે. joule /T અથવા J per tesla અથવા J/tesla તરીકે નહિ વગેરે.

  newton metre second ને N m s તરીકે લખાય છે પણ Newton m second અથવા N m second અથવા N metre s અથવા newton metre s તરીકે લખાય નહિ.

  joule per kilogram kelvin ને J/kg K અથવા J $kg^{-1}$ $K^{-1}$ તરીકે લખાય પણ J/kilog K અથવા joule/kg K અથવા J/kg kelvin અથવા J/kilogram K વગેરે તરીકે લખાય નહિ.

- ગણતરીઓ સહેલી બનાવવા, પૂર્વગ પ્રતીક અંશમાં એકમ પ્રતીક સાથે જોડાય છે પણ છેદમાં નહિ.

  ઉદાહરણ તરીકે :

  $10^{6}$ N/$m^{2}$ ને N/$mm^{2}$ને બદલે વધુ સુગમભરી રીતે લખવા માટે MN/$m^{2}$ ને પ્રાથમિકતા અપાય છે.

  જે સંખ્યાઓમાં ગુણકો અથવા અપૂર્ણાંક ગુણકો જેમાં 1000 અવયવ તરીકે આવે તેને $10^{\pm 3n}$, (જ્યાં n પૂર્ણાંક છે.) તરીકે લખવાની પ્રાથમિકતા અપાય છે.

- જ્યારે ભૌતિકરાશિઓ માટે અને ભૌતિકરાશિઓના એકમો માટે તે જ (સમાન) પ્રતીકો વપરાતાં હોય ત્યારે પૂરતી સાવધાની જરૂરી છે.

  ઉદાહરણ તરીકે :

  ભૌતિકરાશિ વજન ($W$) દળ ($m$) અને ગુરુત્વપ્રવેગ ($g$) ના ગુણાકાર તરીકે પ્રતીકો $W$, $m$ અને $g$ ના પદમાં ઇટાલિક (ત્રાંસા) ટાઈપમાં $W = m\ g$, તરીકે $m$ અને $g$ વચ્ચે જગ્યા રાખીને છપાય છે. તેમને એકમો watt (W), metre (m) અને gram (g)ના એકમ પ્રતીકો સાથે ગૂંચવવા ન જોઈએ. જોકે $W=m\ g$, સમીકરણમાં પ્રતીક $W$ વજન દર્શાવે છે, જેનો એકમ પ્રતીક N, $m$ દળ દર્શાવે છે જેનો એકમ પ્રતીક kg અને $g$ ગુરુત્વપ્રવેગ દર્શાવે છે. જેનો એકમ પ્રતીક m/$s^{2}$ છે. તે જ રીતે $F = m\ a$, સમીકરણમાં પ્રતીક $F$ બળ દર્શાવે છે જેનો એકમ પ્રતીક N છે, $m$ દળ દર્શાવે છે જેનો એકમ પ્રતીક kg અને $g$ ગુરુત્વપ્રવેગ દર્શાવે છે. જેનો એકમ પ્રતીક m/$s^{2}$ છે. ભૌતિકરાશિઓનાં આ પ્રતીકોને એકમો 'farad' (F), 'metre'(m) અને 'are' (a) નાં એકમ પ્રતીકો સાથે ગૂંચવવા ન જોઈએ. પ્રતીકો h (પૂર્વગ hecto અને એકમ hour). c (પૂર્વગ centi અને એકમ carat), d (પૂર્વગ deci અને એકમ day), T (પૂર્વગ tera અને એકમ ટેસ્લા, a (પૂર્વગ atto અને એકમ are), da (પૂર્વગ deca અને એકમ deciare) વગેરે વાપરતી વખતે યોગ્ય ભેદ (તફાવત) દર્શાવવો જોઈએ.

- દળનો મૂળભૂત SI એકમ 'kilogram' એક cgs (centimetre, gram, second) એકમ 'gram' ને SI પૂર્વગ (એક ગુણક = $10^{3}$) 'kilo' જોડીને બનાવેલ છે અને પરિણામે દેખીતી ભૂલ લાગે છે. આમ લંબાઈના એકમ મીટરના હજારમા ભાગને millimetre (mm) કહે છે પણ દળના એકમ (kg) ના હજારમા ભાગને millikilogram કહેવાતું નથી પણ માત્ર gram કહેવાય છે. આ પરથી એવી છાપ ઉદ્ભવતી દેખાય છે કે દળનો એકમ gram (g) છે. પણ તે સાચું નથી. આવી પરિસ્થિતિ એટલા માટે ઉદ્ભવી છે કે આપણે 'kilogram' નામની જગ્યાએ બીજો કોઈ યોગ્ય એકમ મૂકી શક્યા નથી. તેથી એક અપવાદ તરીકે દળના એકમના ગુણકો અને અપૂર્ણાંક ગુણકોનાં નામ 'gram' શબ્દની સાથે પૂર્વગો જોડીને બનાવાય છે, 'kilogram' શબ્દ સાથે નહિ.

  ઉદાહરણ તરીકે :

  $10^{3}$ kg =1 megagram ( 1Mg), પરંતુ 1 kilo kilogram (1 kkg) નહિ.

  $10^{-6}$ kg = 1 milligram ( 1 mg), પરંતુ 1 microkilogram ( 1μkg) નહિ.

  $10^{-3}$ kg = 1 gram (1g), પરંતુ 1 millikilogram (1 mkg) નહિ. વગેરે.

ફરીથી એ બાબતનું ધ્યાન રાખવાનું છે કે, તમારે આંતરરાષ્ટ્રીય માન્યતા પ્રાપ્ત અને ભલામણ કરેલ એકમો જ વાપરવા જોઈએ. એકમ પ્રતીકો લખવામાં સામાન્ય નિયમો અને માર્ગદર્શનનું પાલન કરવાના સતત મહાવરાથી SI એકમો, પૂર્વગો અને યોગ્ય સંદર્ભમાં ભૌતિકરાશિઓના સંબંધિત પ્રતીકોના ઉપયોગમાં નિપુણતા મેળવશો.

# પરિશિષ્ટ A 9
## ભૌતિકરાશિઓનાં પારિમાણિક સૂત્રો

| ક્રમ (S. No) | ભૌતિકરાશિ (Physical Quantity) | અન્ય ભૌતિકરાશિઓ સાથેનો સંબંધ (Relationship with other Physical Quantities) | પરિમાણ (Dimensions) | પારિમાણિક સૂત્ર (Dimensional Formula) |
|---|---|---|---|---|
| 1. | ક્ષેત્રફળ (Area) | લંબાઈ × પહોળાઈ | $[L^2]$ | $[M^0L^2T^0]$ |
| 2. | કદ (Volume) | લંબાઈ × પહોળાઈ × ઊંચાઈ | $[L^3]$ | $[M^0L^3T^0]$ |
| 3. | દળ-ઘનતા (Mass density) | દળ/કદ | $[M]/[L^3]$ અથવા $[ML^{-3}]$ | $[ML^{-3}T^0]$ |
| 4. | આવૃત્તિ (Frequency) | 1/આવર્તકાળ | $1/[T]$ | $[M^0L^0T^{-1}]$ |
| 5. | વેગ, ઝડપ (Velocity, speed) | સ્થાનાંતર/સમય | $[L]/[T]$ | $[M^0LT^{-1}]$ |
| 6. | પ્રવેગ (Acceleration) | વેગ/સમય | $[LT^{-1}]/[T]$ | $[M^0LT^{-2}]$ |
| 7. | બળ (Force) | દળ × પ્રવેગ | $[L]/[LT^{-2}]$ | $[MLT^{-2}]$ |
| 8. | બળનો આઘાત (Impulse) | બળ × સમય | $[MLT^{-2}][T]$ | $[MLT^{-1}]$ |
| 9. | કાર્ય, ઊર્જા (Work, Energy) | બળ × અંતર | $[MLT^{-2}]/[L]$ | $[ML^2T^{-2}]$ |
| 10. | પાવર (Power) | કાર્ય/સમય | $[ML^2T^{-2}]/[L]$ | $[ML^2T^{-3}]$ |
| 11. | વેગમાન (Momentum) | દળ × વેગ | $[M][LT^{-1}]$ | $[MLT^{-1}]$ |
| 12. | દબાણ, પ્રતિબળ(Pressure, stress) | બળ/ક્ષેત્રફળ | $[MLT^{-2}]/[L^2]$ | $[ML^{-1}T^{-2}]$ |
| 13. | વિકૃતિ (Strain) | $\frac{\text{પરિમાણમાં ફેરફાર}}{\text{મૂળ પરિમાણ}}$ | $[L]/[L]$ અથવા $[L^3]/[L^3]$ | $[M^0L^0T^0]$ |
| 14. | સ્થિતિસ્થાપક અંક (Modulus or elasticity) | પ્રતિબળ/વિકૃતિ | $\frac{[ML^{-1}T^{-2}]}{[M^0L^0T^0]}$ | $[ML^{-1}T^{-2}]$ |
| 15. | પૃષ્ઠતાણ (Surface tension) | બળ/લંબાઈ | $[MLT^{-2}]/[L]$ | $[ML^0T^{-2}]$ |
| 16. | પૃષ્ઠઊર્જા (Surface energy) | ઊર્જા/ક્ષેત્રફળ | $[ML^2T^{-2}]/[L^2]$ | $[ML^0T^{-2}]$ |
| 17. | વેગ-પ્રચલન (Velocity gradient) | વેગ/અંતર | $[LT^{-1}]/[L]$ | $[M^0L^0T^{-1}]$ |
| 18. | દબાણ પ્રચલન (Pressure gradient) | દબાણ/અંતર | $[ML^{-1}T^{-2}]/[L]$ | $[ML^{-2}T^{-2}]$ |
| 19. | દબાણઊર્જા (Pressure energy) | દબાણ × કદ | $[ML^{-1}T^{-2}]\times[L^3]$ | $[ML^2T^{-2}]$ |
| 20. | શ્યાનતા ગુણાંક (Coeffcient of viscosity) | બળ/(ક્ષેત્રફળ × વેગ-પ્રચલન) | $\frac{[MLT^{-2}]}{[L^2][LT^{-1}/L]}$ | $[ML^{-1}T^{-1}]$ |
| 21. | કોણ, કોણીય સ્થાનાંતર (Angle, angular displacement) | ચાપ/ત્રિજ્યા | $[L]/[L]$ | $[M^0L^0T^0]$ |
| 22. | ત્રિકોણમિતીય ગુણોત્તર (Trigonometric ratio) (sinθ, cosθ, tanθ, etc.) | લંબાઈ/લંબાઈ | $[L]/[L]$ | $[M^0L^0T^0]$ |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 23. | કોણીય વેગ (Angular velocity) | ખૂણો/સમય | $[L^0]/[T]$ | $[M^0L^0T^{-1}]$ |
| 24. | કોણીય પ્રવેગ (Angular acceleration) | કોણીય વેગ/સમય | $[T^{-1}]/[T]$ | $[M^0L^0T^{-2}]$ |
| 25. | ચક્રાવર્તન ત્રિજ્યા (Radius of gyration) | અંતર | $[L]$ | $[M^0LT^0]$ |
| 26. | જડત્વની ચાકમાત્રા (Moment of inertia) | દ્રવ્યમાન × (ચક્રાવર્તનની ત્રિજ્યા)$^2$ | $[M]\ [L^2]$ | $[ML^2T^0]$ |
| 27. | કોણીય વેગમાન (Angular momentum) | જડત્વની ચાકમાત્રા × કોણીય વેગ | $[ML^2][T^{-1}]$ | $[ML^2T^{-1}]$ |
| 28. | બળની ચાકમાત્રા,બળયુગ્મની ચાકમાત્રા (Moment of force, moment of couple) | બળ × અંતર | $[MLT^2][L]$ | $[ML^2T^{-2}]$ |
| 29. | ટૉર્ક (Torque) | કોણીય વેગમાન/સમય અથવા બળ × અંતર | $[M^1L^2T^{-1}]/[T]$ અથવા $[MLT^{-2}][L]$ | $[ML^2T^{-2}]$ |
| 30. | કોણીય આવૃત્તિ (Angular frequency) | $2\pi$ × આવૃત્તિ | $[T^{-1}]$ | $[M^0L^0T^{-1}]$ |
| 31. | તરંગલંબાઈ (Wavelength) | અંતર | $[L]$ | $[M^0LT^0]$ |
| 32. | હબલ અચળાંક (Hubble constant) | નિર્ગમન ઝડપ/અંતર | $[LT^{-1}]/[L]$ | $[M^0L^0T^{-1}]$ |
| 33. | તરંગની તીવ્રતા (Intensity of wave) | (ઊર્જા/સમય)/ક્ષેત્રફળ | $[ML^2T^{-2}/T]/[L^{+2}]$ | $[ML^0T^{-3}]$ |
| 34. | વિકિરણ દબાણ (Radiation pressure) | તરંગતીવ્રતા/પ્રકાશની ઝડપ | $[MT^{-3}]/[LT^{-1}]$ | $[ML^{-1}T^{-2}]$ |
| 35. | ઊર્જા-ઘનતા (Energy density) | ઊર્જા/કદ | $[ML^2T^{-2}]/[L^3]$ | $[ML^{-1}T^{-2}]$ |
| 36. | ક્રાંતિવેગ (Critical velocity) | $\frac{\text{રેનોલ્ડ અંક × શ્યાનતા ગુણાંક}}{\text{દળઘનતા × ત્રિજ્યા}}$ | $\frac{[M^0L^0T^0][ML^{-1}T^{-1}]}{[ML^{-3}][L]}$ | $[M^0LT^{-1}]$ |
| 37. | નિષ્ક્રમણ વેગ (Escape velocity) | (2 × ગુરુત્વપ્રવેગ × પૃથ્વીની ત્રિજ્યા)$^{1/2}$ | $[LT^{-2}]^{1/2} \times [L]^{1/2}$ | $[M^0LT^{-1}]$ |
| 38. | ઉષ્મીય ઊર્જા, આંતરિક ઊર્જા (Heat energy, internal energy) | કાર્ય (= બળ × અંતર) | $[MLT^{-2}][L]$ | $[ML^2T^{-2}]$ |
| 39. | ગતિઊર્જા (Kinetic energy) | (1/2) દળ × (વેગ)$^2$ | $[M][LT^{-1}]^2$ | $[ML^2T^{-2}]$ |
| 40. | સ્થિતિઊર્જા (Potential energy) | દળ × ગુરુત્વપ્રવેગ × ઊંચાઈ | $[M][LT^{-2}][L]$ | $[ML^2T^{-2}]$ |
| 41. | ચાકગતિ ઊર્જા (Rotational kinetic energy) | 1/2 × જડત્વની ચાકમાત્રા × (કોણીયવેગ)$^2$ | $[M^0L^0T^0]\ [ML^2] \times [T^{-1}]^2$ | $[ML^2T^{-2}]$ |
| 42. | કાર્યક્ષમતા (Efficiency) | $\frac{\text{આઉટપુટ ઊર્જા અથવા કાર્ય}}{\text{ઇનપુટ ઊર્જા અથવા કાર્ય}}$ | $\frac{[ML^2T^2]}{[ML^2T^2]}$ | $[M^0L^0T^0]$ |
| 43. | કોણીય આઘાત Angular impulse | ટૉર્ક × સમય | $[ML^2T^{-2}][T]$ | $[ML^2T^{-1}]$ |
| 44. | ગુરુત્વીય અચળાંક (Gravitational constant) | $\frac{\text{બળ × (અંતર)}^2}{\text{દળ × દળ}}$ | $\frac{[MLT^{-2}][L^2]}{[M]\ [M]}$ | $[M^{-1}L^3T^{-2}]$ |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 45. | પ્લાન્ક અચળાંક (Planck constant) | ઊર્જા/આવૃત્તિ | $[ML^2T^{-2}]/[T^{-1}]$ | $[ML^2T^{-1}]$ |
| 46. | ઉષ્માધારિતા, એન્ટ્રોપી (Heat capacity entropy) | ઉષ્મીય ઊર્જા/તાપમાન | $[ML^2T^{-2}]/[K]$ | $[ML^2T^{-2}K^{-1}]$ |
| 47. | વિશિષ્ટ ઉષ્માધારિતા (Specific heat capacity) | ઉષ્મીય ઊર્જા / (દ્રવ્યમાન × તાપમાન) | $[ML^2T^{-2}]/[M][K]$ | $[M^0L^2T^{-2}K^{-1}]$ |
| 48. | ગુપ્ત ઉષ્મા (Latent heat) | ઉષ્મીય ઊર્જા / દ્રવ્યમાન | $[ML^2T^{-2}]/[M]$ | $[M^0L^2T^{-2}]$ |
| 49. | ઉષ્મીય પ્રસરણાંક (Thermal expansion coefficient or Thermal expansivity) | પરિમાણમાં ફેરફાર / (મૂળ પરિમાણ × તાપમાન) | $[L]/[L][K]$ | $[M^0L^0K^{-1}]$ |
| 50. | ઉષ્મા-વાહકતા (Thermal conductivity) | (ઉષ્મીય ઊર્જા × જાડાઈ) / (ક્ષેત્રફળ × તાપમાન × સમય) | $\frac{[ML^2T^{-2}][L]}{[L^2][K][T]}$ | $[MLT^{-3}K^{-1}]$ |
| 51. | બલ્ક મોડ્યુલસ અથવા (દબનીયતા)$^{-1}$ Bulk modulus or (compressibility)$^{-1}$ | (કદ × દબાણનો ફેરફાર) / કદનો ફેરફાર | $\frac{[L^3][ML^{-1}T^{-2}]}{[L^3]}$ | $[ML^{-1}T^{-2}]$ |
| 52. | કેન્દ્રગામી પ્રવેગ (Centripetal acceleration) | (વેગ)$^2$/ત્રિજ્યા | $[LT^{-1}]^2/[L]$ | $[M^0LT^{-2}]$ |
| 53. | સ્ટીફન અચળાંક (Stefan constant) | (ઊર્જા / ક્ષેત્રફળ × સમય) / (તાપમાન)$^4$ | $\frac{[ML^2T^{-2}]}{[L^2][T][K]^4}$ | $[ML^0T^{-3}K^{-4}]$ |
| 54. | વીન અચળાંક (Wien constant) | તરંગલંબાઈ × તાપમાન | $[L][K]$ | $[M^0LT^0K]$ |
| 55. | બોલ્ટ્ઝમૅન અચળાંક (Boltzmann constant) | ઊર્જા/તાપમાન | $[ML^2T^{-2}]/[K]$ | $[ML^2T^{-2}K^{-1}]$ |
| 56. | સાર્વત્રિક વાયુ-નિયતાંક (Universal gas constant) | (દબાણ × કદ) / (મોલ × તાપમાન) | $\frac{[ML^{-1}T^{-2}][L^3]}{[mol][K]}$ | $[ML^2T^{-2}K^{-1}mol^{-1}]$ |
| 57. | વિદ્યુતભાર (Charge) | વિદ્યુતપ્રવાહ / સમય | $[A][T]$ | $[M^0L^0TA]$ |
| 58. | વીજપ્રવાહ ઘનતા (Current density) | વિદ્યુતપ્રવાહ / ક્ષેત્રફળ | $[A]/[L^2]$ | $[M^0L^{-2}T^0A]$ |
| 59. | વૉલ્ટેજ, વિદ્યુતસ્થિતિમાન તફાવત, વીજચાલક બળ (Voltage, electric potential, electromotive force) | કાર્ય/વીજભાર | $[ML^2T^{-2}]/[AT]$ | $[ML^2T^{-3}A^{-1}]$ |
| 60. | અવરોધ (Resistance) | વિદ્યુતસ્થિતિમાન તફાવત / વિદ્યુતપ્રવાહ | $\frac{[ML^2T^{-3}A^{-1}]}{[A]}$ | $[ML^2T^{-3}A^{-2}]$ |
| 61. | કૅપેસિટન્સ (Capacitance) | વીજભાર / વિદ્યુતસ્થિતિમાન-તફાવત | $\frac{[AT]}{[ML^2T^{-3}A^{-1}]}$ | $[M^{-1}L^{-2}T^4A^2]$ |
| 62. | વિદ્યુત અવરોધકતા અથવા (વિદ્યુત-વાહકતા)$^{-1}$ (Electrical resistivity or (electical conductivity)$^{-1}$ | (અવરોધ × ક્ષેત્રફળ) / લંબાઈ | $[ML^2T^{-3}A^{-2}]$ $[L^2]/[L]$ | $[ML^3T^3A^{-2}]$ |
| 63. | વિદ્યુતક્ષેત્ર (Electric field) | વિદ્યુતબળ / વીજભાર | $[MLT^{-2}]/[AT]$ | $[MLT^{-3}A^{-1}]$ |
| 64. | વિદ્યુતફ્લક્સ (Electric flux) | વિદ્યુતક્ષેત્ર × ક્ષેત્રફળ | $[MLT^{-3}A^{-1}][L^2]$ | $[ML^3T^{-3}A^{-1}]$ |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 65. | વિદ્યુત ડાયપોલ મોમેન્ટ (Electic dipole moment) | ટૉર્ક/વિદ્યુતક્ષેત્ર | $\frac{[ML^2T^2]}{[MLT^{-3}A^{-1}]}$ | $[M^0LTA]$ |
| 66. | વિદ્યુતક્ષેત્રની તીવ્રતા અથવાવિદ્યુતતીવ્રતા | $\frac{\text{વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત}}{\text{અંતર}}$ | $\frac{[ML^2T^{-3}A^{-1}]}{[L]}$ | $[MLT^{-3}A^{-1}]$ |
| 67. | ચુંબકીય ક્ષેત્ર, ચુંબકીય ફ્લક્સ ઘનતા, ચુંબકીયપ્રેરણ (Magnetic field, magnetic flux density, magnetic induction) | $\frac{\text{બળ}}{\text{વિદ્યુતપ્રવાહ} \times \text{લંબાઈ}}$ | $[MLT^{-2}]/[A][L]$ | $[ML^0T^{-2}A^{-1}]$ |
| 68. | ચુંબકીય ફ્લક્સ (Magnetic fluex) | ચુંબકીયક્ષેત્ર × ક્ષેત્રફળ | $[MT^{-2}A^{-1}][L^{+2}]$ | $[ML^2T^{-2}A^{-1}]$ |
| 69. | પ્રેરકત્વ (Inductance) | $\frac{\text{ચુંબકીય ફ્લક્સ}}{\text{વિદ્યુતપ્રવાહ}}$ | $\frac{[ML^2T^{-2}A^{-1}]}{[A]}$ | $[ML^2T^{-2}A^{-2}]$ |
| 70. | ચુંબકીય ડાયપોલ મોમેન્ટ (Magnetic dipole moment) | ટૉર્ક/ચુંબકીયક્ષેત્ર અથવા વિદ્યુતપ્રવાહ × ક્ષેત્રફળ | $[ML^2T^{-2}]/[MT^{-2}A^{-2}]$ or $[A][L^2]$ | $[M^0L^2T^0A]$ |
| 71. | ચુંબકીયક્ષેત્રની પ્રબળતા, ચુંબકીય તીવ્રતા અથવા ચુંબકીય મોમેન્ટ ઘનતા (Magnetic field strength, magnetic intensity or magnetic moment density) | $\frac{\text{ચુંબકીય મોમેન્ટ}}{\text{કદ}}$ | $\frac{[L^2A]}{[L^3]}$ | $[M^0L^{-1}T^0A]$ |
| 72. | પરાવૈદ્યુતાંક (મુક્ત અવકાશ માટે) Permittivity constant (of free space) | $\frac{\text{વીજભાર} \times \text{વીજભાર}}{4\pi \times \text{વિદ્યુતબળ} \times (\text{અંતર})^2}$ | $\frac{[AT][AT]}{[MLT^{-2}][L]^2}$ | $[M^{-1}L^{-3}T^4A^2]$ |
| 73. | પારગમ્યતા (મુક્ત અવકાશ માટે) Permeability constant (of free space) | $\frac{2\pi \times \text{બળ} \times \text{અંતર}}{\text{વિદ્યુતપ્રવાહ} \times \text{વિદ્યુતપ્રવાહ} \times \text{લંબાઈ}}$ | $\frac{[M^0L^0T^0][MLT^{-2}][L]}{[A][A][L]}$ | $[MLT^{-2}A^{-2}]$ |
| 74. | વક્રીભવનાંક (Refractive index) | $\frac{\text{શૂન્યાવકાશમાં પ્રકાશની ઝડપ}}{\text{માધ્યમમાં પ્રકાશની ઝડપ}}$ | $[LT^{-1}]/[LT^{-1}]$ | $[M^0L^0T^0]$ |
| 75. | ફેરેડે અચળાંક (Faraday constant) | ઍવોગેડ્રો અચળાંક × મૂળભૂત વીજભાર | [AT]/[mol] | $[M^0L^0TAmol^{-1}]$ |
| 76. | તરંગસંખ્યા (Wave number) | 2π/તરંગલંબાઈ | $[M^0L^0T^0]/[L]$ | $[M^0L^{-1}T^0]$ |
| 77. | વિકિરણ ફ્લક્સ, વિકિરણ શક્તિ (Radiant flux, Radiant power) | ઉત્સર્જિત ઊર્જા/સમય | $[ML^2T^{-2}]/[T]$ | $[ML^2T^{-3}]$ |
| 78. | વિકિરણ ફ્લક્સની જ્યોતિ અથવા વિકિરણ તીવ્રતા (Luminosity of radiant flux or radiant intensity) | $\frac{\text{વિકિરણ શક્તિ અથવા સ્રોતનું વિકિરણ ફ્લક્સ}}{\text{ઘનકોણ}}$ | $[ML^2T^{-3}]$ / $[M^0L^0T^0]$ | $[ML^2T^{-3}]$ |
| 79. | જ્યોતિ શક્તિ અથવા સ્રોતનો જ્યોતિ ફ્લક્સ (Luminous power or luminous flux of source) | $\frac{\text{ઉત્સર્જિત જ્યોતિ ઊર્જા}}{\text{સમય}}$ | $[ML^2T^{-2}]/[T]$ | $[ML^2T^{-3}]$ |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 80. | જ્યોતિ તીવ્રતા અથવા સ્રોતની પ્રદીપન શક્તિ (Luminous intensity or illuminating power of source) | જ્યોતિ ફ્લક્સ / ઘનકોણ | $\frac{[ML^2T^{-3}]}{[M^0L^0T^0]}$ | $[ML^2T^{-3}]$ |
| 81. | પ્રદીપન તીવ્રતા અથવા જ્યોતિર્મયતા (Intensity of illumination or luminance) | જ્યોતિ તીવ્રતા / (અંતર)$^2$ | $[ML^2T^{-3}]/[L^2]$ | $[ML^0T^{-3}]$ |
| 82. | સાપેક્ષ જ્યોતિ (Relative luminosity) | આપેલ તરંગલંબાઈના સ્રોતનો જ્યોતિ ફ્લક્સ / તે જ ક્ષમતાના સ્રોતનો મહત્તમ સંવેદી તરંગલંબાઈ (55 nm)નો જ્યોતિ ફ્લક્સ | $\frac{[ML^2T^{-3}]}{[ML^2T^{-3}]}$ | $[M^0L^0T^0]$ |
| 83. | જ્યોતિ-ક્ષમતા (Luminous efficiency) | કુલ જ્યોતિ ફ્લક્સ / કુલ વિકિરણ ફ્લક્સ | $[ML^2T^{-3}]/[ML^2T^{-3}]$ | $[M^0L^0T^0]$ |
| 84. | પ્રદિપ્ત ઘનત્વ અથવા પ્રદિપ્ત (Illuminance or illumination) | આપાત જ્યોતિ ફ્લક્સ / ક્ષેત્રફળ | $[ML^2T^{-3}]/[L^2]$ | $[ML^0T^{-3}]$ |
| 85. | દળક્ષતિ (Mass defect) | (ન્યુક્લિઓનનાં દળોનો સરવાળો) – ન્યુક્લિઓનનું દળ) | $[M]$ | $[ML^0T^0]$ |
| 86. | ન્યુક્લિયસની બંધનઊર્જા (Binding energy or nucleus) | દળક્ષતિ × (શૂન્યાવકાશમાં પ્રકાશની ઝડપ)$^2$ | $[M][LT^{-1}]^2$ | $[ML^2T^{-2}]$ |
| 87. | ક્ષયનિયતાંક (Decay constant) | 0.693/અર્ધઆયુ | $[T^{-1}]$ | $[M^0L^0T^{-1}]$ |
| 88. | અનુનાદ આવૃત્તિ (Resonant frequency) | (પ્રેરકત્વ × કેપેસિટન્સ)$^{-\frac{1}{2}}$ | $[ML^2T^{-2}A^{-2}]^{-\frac{1}{2}} \times [M^{-1}L^{-2}T^4A^2]^{-\frac{1}{2}}$ | $[M^0L^0A^0T^{-1}]$ |
| 89. | ગુણવત્તા અંક અથવા કોઇલનો Q-ફેક્ટર (Quality factor or Q-factor of coil) | અનુનાદ આવૃત્તિ × પ્રેરકત્વ / અવરોધ | $\frac{[T^{-1}][ML^2T^{-2}A^{-2}]}{[ML^2T^{-3}A^{-2}]}$ | $[M^0L^0T^0]$ |
| 90. | લેન્સનો પાવર (Power of lens) | (કેન્દ્રલંબાઈ)$^{-1}$ | $[L^{-1}]$ | $[M^0L^{-1}T^0]$ |
| 91. | મોટવણી (Magnification) | પ્રતિબિંબ અંતર / વસ્તુ અંતર | $[L]/[L]$ | $[M^0L^0T^0]$ |
| 92. | તરલવહનનો દર (Fluid flow rate) | $(\pi/8)$ × (દબાણ) × (ત્રિજ્યા)$^4$ / (શ્યાનતા ગુણાંક) × (લંબાઈ) | $\frac{[ML^{-1}T^{-2}][L^4]}{[ML^{-1}T^{-1}][L]}$ | $[M^0L^3T^{-1}]$ |
| 93. | કેપેસિટિવ રીએક્ટન્સ (Capacitive reactance) | (કોણીય આવૃત્તિ × કેપેસિટન્સ)$^{-1}$ | $[T^{-1}]^{-1}[M^{-1}L^{-2}T^4A^2]^{-1}$ | $[ML^2T^{-3}A^{-2}]$ |
| 94. | ઇન્ડક્ટિવ રીએક્ટન્સ (Inductive reactance) | (કોણીય આવૃત્તિ × પ્રેરકત્વ) | $[T^{-1}][ML^2T^{-2}A^{-2}]$ | $[ML^2T^{-3}A^{-2}]$ |

# જવાબો (Answers)

## પ્રકરણ 2

**2.1** (a) $10^{-6}$ ; (b) $1.5 \times 10^4$ ; (c) 5 ; (d) 11.3, $1.13 \times 10^4$.

**2.2** (a) $10^7$ ; (b) $10^{-16}$ ; (c) $3.9 \times 10^4$ ; (d) $6.67 \times 10^{-8}$.

**2.5** 500

**2.6** (c)

**2.7** 0.035 mm

**2.9** 94.1

**2.10** (a) 1 ; (b) 3 ; (c) 4 ; (d) 4 ; (e) 4 ; (f) 4.

**2.11** 8.72 $m^2$; 0.0855 $m^3$

**2.12** (a) 2.3 kg ; (b) 0.02 g

**2.13** 13 %; 3.8

**2.14** પારિમાણિક દૃષ્ટિએ (b) અને (c) ખોટાં છે. સૂચના : ત્રિકોણમિતીય વિધેયનો કોણાંક (argument) હંમેશાં પરિમાણરહિત હોવો જોઈએ.

**2.15** સાચું સૂત્ર $m = m_0 (1 - \upsilon^2/c^2)^{-1/2}$

**2.16** $\cong 3 \times 10^{-7}$ $m^3$

**2.17** $\cong 10^4$; વાયુમાં અણુઓ વચ્ચેનું અંતર અણુના પરિમાણ કરતાં ઘણું મોટું હોય છે.

**2.18** દૂરની વસ્તુઓ કરતાં નજીકની વસ્તુઓ, નિરીક્ષકની આંખ આગળ મોટો ખૂણો બનાવે છે. જ્યારે તમે ગતિ કરો છો ત્યારે નજીકની વસ્તુઓ કરતાં દૂરની વસ્તુઓ માટે કોણીય ફેરફાર ઓછો હોય છે. તેથી આ પદાર્થો તમારી સાથે ફરતા દેખાય છે, પરંતુ નજીકના પદાર્થો વિરુદ્ધ દિશામાં જતા જણાય છે.

**2.19** $\cong 3 \times 10^{16}$ m; લંબાઈના એકમ તરીકે 1 parsec, $3.084 \times 10^{16}$ m બરાબર વ્યાખ્યાયિત થયેલ છે.

**2.20** 1.32 parsec; 2.64″ [second of arc (ચાપ)]

**2.23** $1.4 \times 10^3$ kg $m^{-3}$; સૂર્યની દળ ઘનતા ઘન/પ્રવાહી પદાર્થોની ઘનતાના વિસ્તારમાં હોય છે, વાયુની ઘનતાના વિસ્તારમાં નહિ. આટલી ઊંચી ઘનતા; સૂર્યના અંદરના સ્તરો વડે બહારના સ્તરો પર લાગતા અંદર તરફના ગુરુત્વાકર્ષણના લીધે છે.

**2.24** $1.429 \times 10^5$ km

**2.25** સૂચના : tan $\theta$ પરિમાણરહિત હોવું જોઈએ. સાચું સૂત્ર tan $\theta = \upsilon/\upsilon'$ છે, જ્યાં $\upsilon'$ એ વરસાદની ઝડપ છે.

**2.26** $10^{11}$ થી $10^{12}$ માં 1 ભાગની ચોકસાઈ

**2.27** $\cong 0.7 \times 10^3$ kg m$^{-3}$. ઘન-અવસ્થામાં પરમાણુઓ ખીચોખીચ સમાવેલા હોય છે. તેથી પરમાણુ દળ ઘનતા, ઘન પદાર્થની દળ ઘનતાની નજીક હોય છે.

**2.28** $\cong 0.3 \times 10^{18}$ kg m$^{-3}$ ; ન્યુક્લિયર ઘનતા લાક્ષણિક રીતે દ્રવ્યની પરમાણુ ઘનતાના $10^{15}$ ગણી છે.

**2.29** $3.84 \times 10^8$ m

**2.30** 55.8 km

**2.31** $2.8 \times 10^{22}$ km

**2.32** 3,581 km

**2.33** સૂચના : $e^4/(16\pi^2 \epsilon_0^2 m_p m_e^2 c^3 G)$ પદને સમયનું પરિમાણ છે.

## પ્રકરણ 3

**3.1** (a), (b)

**3.2** (a) A....B, (b) A....B, (c) B....A, (d) તે જ/સમાન, (e) B....A.... એકવાર.

**3.4** 37 s

**3.5** 1000 km/h

**3.6** 3.06 m s$^{-2}$; 11.4 s

**3.7** 1250 m (સૂચના : B ની ગતિ Aની સાપેક્ષે જુઓ.)

**3.8** 1 m s$^{-2}$ (સૂચના : B અને Cની ગતિ Aની સાપેક્ષે જુઓ.)

**3.9** $T = 9$ min, ઝડપ = 40 km/h. સૂચના : $vT/(v-20) = 18$; $vT/(v+20) = 6$

**3.10** (a) શિરોલંબ અધોદિશામાં; (b) શૂન્ય વેગ, 9.8 m s$^{-2}$ નો પ્રવેગ અધોદિશામાં; (c) $x > 0$ (ઉપર તરફની અને નીચે તરફની ગતિ); $v < 0$ (ઉપર તરફ), $v > 0$ (નીચે તરફ), છેક સુધી $a > 0$ ; (d) 44.1 m, 6 s.

**3.11** (a) સાચું (b) ખોટું (c) સાચું (જો કણ તત્ક્ષણ તે જ ઝડપથી પાછો ફેંકાય (rebound); એનો અર્થ પ્રવેગ અનંત છે એમ થાય, જે ભૌતિક રીતે શક્ય નથી. (d) ખોટું (જ્યારે પસંદ કરેલ ધન દિશા ગતિની દિશામાં હોય ત્યારે જ સાચું)

**3.14** (a) 5 km h$^{-1}$, 5 km h$^{-1}$; (b) 0, 6 km h$^{-1}$; (c) $\frac{15}{8}$ km h$^{-1}$, $\frac{45}{8}$ km h$^{-1}$

**3.15** કારણ કે, કોઈ યાદચ્છિક નાના સમયગાળા માટે, સ્થાનાંતરનું માન પથની લંબાઈ જેટલું હોય છે.

**3.16** ચારેય આલેખો અશક્ય છે. (a) કણને એક જ સમયે બે જુદાં જુદાં સ્થાન ન હોઈ શકે; (b) કણને એક જ સમયે વિરુદ્ધ દિશાઓમાં વેગ ન હોઈ શકે; (c) ઝડપ હંમેશાં ધન હોય છે. (d) કણની કુલ પથલંબાઈ કદી સમય સાથે ઘટે નહિ. (નોંધો, આલેખો પર તીર અર્થહીન છે.

**3.17** ના, ખોટું. $x-t$ આલેખ કણનો ગતિપથ દર્શાવતો નથી. સંદર્ભ : પદાર્થને $t = 0$ સમયે ટાવર પરથી $(x = 0)$ પડવા દેવામાં આવે છે.

**3.18** 105 m s$^{-1}$

**3.19** (a) એક લીસા સમતલ પર સ્થિર રહેલા બૉલને લાત મારવામાં આવે છે, તે દીવાલ પરથી ઘટેલી ઝડપે પાછો ફેંકાય છે અને સામેની દીવાલ તરફ ગતિ કરે છે, જે તેને સ્થિર કરે છે; (b) બૉલને કંઈક પ્રારંભિક વેગથી ઉપર તરફ ફેંકેલો છે, અને દરેક વખતે તળિયાને અથડાઈને ઘટેલી ઝડપથી પાછો ફેંકાય છે; (c) એક નિયમિત ગતિ કરતા દડાને બૅટ વડે ખૂબ નાના સમયગાળા માટે ફટકારતાં પાછો ફરે છે.

**3.20** $x < 0, \upsilon < 0, a > 0$; $x > 0, \upsilon > 0, a < 0$; $x < 0, \upsilon > 0, a > 0$.

**3.21** 3 માં મહત્તમ, 2માં લઘુતમ; 1 અને 2 અંકમાં $\upsilon > 0$; 3માં $\upsilon < 0$.

**3.22** પ્રવેગનું માન 2માં મહત્તમ; ઝડપ 3 માં મહત્તમ; 1, 2 અને 3માં $\upsilon > 0$ ; 1 અને 3 માં $a > 0$ , 2 માં $a < 0$ ; A, B, C, D આગળ $a = 0$.

**3.23** નિયમિત પ્રવેગીગતિ માટે, સમય-અક્ષ સાથે ઢળતી સુરેખા; નિયમિત ગતિ માટે સમય-અક્ષને સમાંતર

**3.24** 10 s, 10 s

**3.25** (a) 13 km $h^{-1}$ ; (b) 5 km $h^{-1}$; (c) દરેક દિશામાં 20 s, મા-બાપમાંથી ગમે તે દ્વારા અવલોકિત થયેલ, બાળકની ઝડપ દરેક દિશામાં 9 km $h^{-1}$; (c) નો જવાબ બદલાતો નથી.

**3.26** $x_2 - x_1 = 15\,t$ (રેખીય વિભાગ); $x_2 - x_1 = 200 + 30\,t - 5\,t^2$ (વક્ર વિભાગ).

**3.27** (a) 60 m, 6 m $s^{-1}$ ; (b) 36 m, 9 m $s^{-1}$

**3.28** (c), (d), (f)

## પ્રકરણ 4

**4.1** કદ, દળ, ઝડપ, ઘનતા, મોલ સંખ્યા, કોણીય આવૃત્તિ અદિશ છે; બાકીના સદિશ છે.

**4.2** કાર્ય, વિદ્યુતપ્રવાહ

**4.3** બળનો આઘાત

**4.4** ફક્ત (c) અને (d) માન્ય કરી શકાય તેવા છે.

**4.5** (a) T, (b) F, (c) F, (d) T, (e) T

**4.6** ત્રિકોણની કોઈ પણ બે બાજુનો સરવાળો (બાદબાકી) ત્રીજી બાજુ કરતાં કદાપિ ઓછો (વધારે) હોઈ શકે નહિ. એક રેખસ્થ સદિશો માટે સમાનતા લાગુ પડે છે.

**4.7** (a) સિવાયનાં બધાં વિધાનો સત્ય છે.

**4.8** દરેક માટે 400 m; B

**4.9** (a) O; (b) O; (c) 21.4 km $h^{-1}$

**4.10** 1 km માન અને મૂળ દિશા સાથે 60° કોણની દિશામાં સ્થાનાંતર; કુલ પથલંબાઈ = 1.5 km (ત્રીજો આંટો); તટસ્થ સ્થાનાંતર સદિશ, પથલંબાઈ = 3 km (છઠ્ઠો આંટો); 866 m, 30°, 4 km (આઠમો આંટો)

**4.11** (a) 49.3 km $h^{-1}$ ; (b) 21.4 km $h^{-1}$. ના, સરેરાશ ઝડપ સરેરાશ વેગના માન બરાબર ફક્ત સુરેખ પથ માટે જ હોય છે.

**4.12** શિરોલંબ રેખા સાથે દક્ષિણ તરફ લગભગ 18°

**4.13** 15 min, 750 m

**4.14** પૂર્વ (લગભગ)

**4.15** 150.5 m

4.16 50 m

4.17 9.9 m $s^{-2}$, દરેક બિંદુએ ત્રિજ્યા પર કેન્દ્ર તરફ

4.18 6.4 g

4.19 (a) ખોટું (ફક્ત નિયમિત વર્તુળ ગતિ માટે સાચું)

(b) સાચું (c) સાચું

4.20 (a) $\mathbf{v}(t) = (3.0\,\hat{\mathbf{i}} - 4.0\,t\,\hat{\mathbf{j}})\,\hat{\mathbf{a}}\,(t) = -4.0\,\hat{\mathbf{j}}$

(b) 8.54 m $s^{-1}$, $x$–અક્ષ સાથે 70°

4.21 (a) 2 s, 24 m, 21.26 m $s^{-1}$

4.22 $\sqrt{2}$, $x$–અક્ષ સાથે 45° ; $\sqrt{2}$, $x$ – અક્ષ સાથે –45°, $(5/\sqrt{2},\ -1/\sqrt{2})$.

4.23 (b) અને (e)

4.24 ફક્ત (e) સાચું છે.

4.25 182 m $s^{-1}$

4.27 ના. વ્યાપક રીતે ભ્રમણ (Rotation) ને સદિશો સાથે સાંકળી શકાય નહિ.

4.28 સમતલના ક્ષેત્રફળ સાથે સદિશને સાંકળી શકાય.

4.29 ના.

4.30 શિરોલંબ સાથે $\sin^{-1}(1/3) = 19.5°$ ના કોણે; 16 km.

4.31 0.86 m $s^{-2}$, વેગની દિશા સાથે 54.5°

## પ્રકરણ 5

5.1 (a) થી (d) પહેલા નિયમ મુજબ કોઈ ચોખ્ખું (net) બળ લાગતું નથી.

(e) વિદ્યુતચુંબકીય અને ગુરુત્વીય બળો ઉત્પન્ન કરતા બધાં દ્રવ્ય પરિબળોથી તે ખૂબ દૂર હોવાથી કોઈ બળ લાગતું નથી.

5.2 દરેક કિસ્સામાં એક માત્ર બળ ગુરુત્વબળ (હવાની અસર અવગણતાં) જે 0.5 N જેટલું શિરોલંબ અધોદિશામાં છે. લખોટીની ગતિ ઊર્ધ્વ રેખા પર ન હોય તોપણ જવાબો બદલાતા નથી. ઉચ્ચતમ બિંદુએ લખોટી સ્થિર નથી. સમગ્ર ગતિ દરમિયાન તેને વેગનો અચળ સમક્ષિતિજ ઘટક છે.

5.3 (a) 1 N, શિરોલંબ અધોદિશામાં (b) (a)માં છે તે જ.

(c) (a)માં છે તે જ; કોઈ ક્ષણે બળ તે ક્ષણની પરિસ્થિતિ પર આધારિત છે, ઇતિહાસ પર નહિ.

(d) ટ્રેનની ગતિની દિશામાં 0.1 N

5.4 (i) T

5.5 $a = -2.5$ m $s^{-2}$. $\upsilon = u + at$ પરથી, $0 = 15 - 2.5\,t$ એટલે કે, $t = 6.0$ s

5.6 $a = 1.5/25 = 0.06$ m $s^{-2}$

$F = 3 \times 0.06 = 0.18$ N ગતિની દિશામાં

5.7 પરિણામી બળ = 10 N, જે 8 N બળની દિશા સાથે $\tan^{-1}(3/4) = 37°$ના કોણે છે.

પ્રવેગ = 2 m $s^{-2}$ પરિણામી બળની દિશામાં

5.8 $a = -2.5$ m $s^{-2}$, ગતિ વિરોધક બળ = $465 \times 2.5 = 1.2 \times 10^3$ N

5.9 $F - 20{,}000 \times 10 = 20{,}000 \times 5.0$, એટલે કે, $F = 3.0 \times 10^5$ N

5.10 $a = -20$ m $s^{-2}$ $0 \le t \le 30$ s

$t = -5$ s : $x = u\,t = -\ 10 \times 5 = -50$ m

$t = 25$ s : $x = u\,t + (½)\ a\,t^2 = (10 \times 25 - 10 \times 625)$m $= -\ 6$ km

$t = 100$ s : પ્રથમ, 30 s સુધીની ગતિ વિચારો.

$x_1 = 10 \times 30 - 10 \times 900 = -\ 8700$ m

$t = 30$ s, સમયે, $\upsilon = 10 - 20 \times 30 = -590$ m $s^{-1}$

30 s થી 100 s સુધીની ગતિ માટે : $x_2 = -\ 590 \times 70 = -\ 41300$ m

$x = x_1 + x_2 = -\ 50$ km

**5.11** (a) કારનો વેગ ($t = 10$ s સમયે ) $= 0 + 2 \times 10 = 20$ m $s^{-1}$

પહેલા નિયમ મુજબ, છેક સુધી વેગનો સમક્ષિતિજ ઘટક 20 m $s^{-1}$ છે.

વેગનો ઊર્ધ્વ ઘટક ($t = 11$ s) $= 0 + 10 \times 1 = 10$ m $s^{-1}$

પથ્થરનો ($t = 11$ s સમયે) વેગ $= \sqrt{20^2 + 10^2} = \sqrt{500} = 22.4$ m $s^{-1}$ જે સમક્ષિતિજ સાથે $\tan^{-1}$ ( ½) કોણે છે.

(b) 10 m $s^{-2}$ શિરોલંબ અધોદિશામાં

**5.12** (a) અંત્ય સ્થાને ગોળાની ઝડપ શૂન્ય છે. જો દોરી કાપવામાં આવે તો તે શિરોલંબ અધોદિશામાં પડશે.

(b) મધ્યમાન સ્થાને ગોળાને સમક્ષિતિજ વેગ છે. જો દોરી કાપવામાં આવે તો તે પરવલયાકાર પથ પર પડશે.

**5.13** સ્કેલ પરનું અવલોકન, માનવ દ્વારા તળિયા પર લગાડેલા બળનું માપ છે. ત્રીજા નિયમ અનુસાર તે તળિયા વડે માનવ પર લાગતા લંબબળ Nને સમાન અને વિરુદ્ધ દિશામાં છે.

(a) $N = 70 \times 10 = 700$ N ; અવલોકન 70 kg છે.

(b) $70 \times 10 - N = 70 \times 5$ ; અવલોકન 35 kg છે.

(c) $N - 70 \times 10 = 70 \times 5$ ; અવલોકન 105 kg છે.

(d) $70 \times 10 - N = 70 \times 10$; અવલોકન શૂન્ય છે, સ્કેલ શૂન્ય બતાવશે.

**5.14** (a) બધા ત્રણેય ગાળાઓમાં પ્રવેગ અને તેથી બળ શૂન્ય છે.

(b) $t = 0$ સમયે, 3 kg m $s^{-1}$ ; (c) $t = 4$ s સમયે $-3$ kg m $s^{-1}$.

**5.15** જો 20 kg દળને ખેંચવામાં આવે તો,

$600 - T = 20\ a$, $\quad T = 10\ a$

$a = 20$ m $s^{-2}$, $\quad T = 200$ N

જો 10 kg દળને ખેંચવામાં આવે તો a = 20 m $s^{-2}$, $T = 400$ N

**5.16** $T - 8 \times 10 = 8\ a$, $\quad 12 \times 10 - T = 12a$

એટલે કે $a = 2$ m $s^{-2}$, $\quad T = 96$ N

**5.17** વેગમાન સંરક્ષણના સિદ્ધાંત પરથી, કુલ અંતિમ વેગમાન શૂન્ય છે. બે વેગમાન સદિશોનો સરવાળો શૂન્ય વેગમાન ન થાય, સિવાય કે તેઓ સમાન અને વિરુદ્ધ દિશામાં હોય.

**5.18** દરેક બૉલ પરનો આઘાત $= 0.05 \times 12 = 0.6$ kg m $s^{-1}$ (માનમાં). બે આઘાતો સમાન અને વિરુદ્ધ દિશામાં છે.

**5.19** વેગમાન સંરક્ષણનો ઉપયોગ કરો : $100\ \upsilon = 0.02 \times 80$

$\upsilon = 0.016$ m $s^{-1} = 1.6$ cm $s^{-1}$

**5.20** પ્રારંભિક અને અંતિમ દિશાઓના દ્વિભાજક પર આઘાતની દિશા છે. તેનું માન

$0.15 \times 2 \times 15 \times \cos 22.5° = 4.2$ kg m $s^{-1}$ છે.

**5.21** $$\upsilon = 2\pi \times 1.5 \times \frac{40}{60} = 2\pi\, m\, s^{-1}$$

$$T = \frac{m\upsilon^2}{R} = \frac{0.25 \times 4\pi^2}{1.5} = 6.6\, N$$

$$200 = \frac{m\upsilon_{max}^2}{R}$$, તે પરથી $\upsilon_{max} = 35$ m $s^{-1}$

**5.22** પહેલા નિયમ મુજબ વિકલ્પ (b) સાચો છે.

**5.23** (a) ઘોડાગાડીના તંત્ર પર મુક્ત (ખાલી) અવકાશમાં કોઈ બાહ્ય બળ નથી. ઘોડા અને ગાડી વચ્ચેનાં પરસ્પર બળો નાબૂદ થાય છે. (ત્રીજો નિયમ). જમીન પર, તંત્ર અને જમીન વચ્ચેનું સંપર્ક બળ (ઘર્ષણ) તેમને સ્થિર સ્થિતિમાંથી ગતિમાં લાવે છે.

(b) બેઠક સાથે સીધા સંપર્કમાં નથી તે શરીરના જડત્વને લીધે.

(c) લોન-મુવર (ઘાસ-કાપતા મશીન)ને અમુક કોણે બળ લગાડીને ખેંચી શકાય અથવા ધકેલી શકાય. જ્યારે તમે ધકેલો ત્યારે, ઊર્ધ્વદિશામાંના સંતુલન માટે, લંબબળ તેના વજન કરતાં વધુ હોવું જ જોઈએ. આના પરિણામે વધારે ઘર્ષણબળ $f\,(f \propto N)$ લાગે છે અને તેથી ગતિ કરાવવા વધુ મોટા બળની જરૂર પડે છે. ખેંચવામાં આવે ત્યારે આનાથી બરાબર વિરુદ્ધ થાય છે.

(d) બૉલને અટકાવવા માટે વેગમાનના ફેરફારના દરને ઘટાડવા માટે અને તેથી જરૂરી બળને ઘટાડવા માટે.

**5.24** $1\ \text{cm s}^{-1}$ની અચળ ઝડપવાળા પદાર્થ પર દર 2 s પછી $x = 0$ અને $x = 2$ cm આગળ બળનો આઘાત લાગે છે, જેનું માન $0.04\ \text{kg} \times 0.02\ \text{m s}^{-1} = 8 \times 10^{-4}\ \text{kg m s}^{-1}$ છે.

**5.25** ચોખ્ખું (net) બળ $= 65\ \text{kg} \times 1\ \text{m s}^{-2} = 65\ \text{N}$

$a_{max} = \mu_s g = 2\ \text{m s}^{-2}$

**5.26** વિકલ્પ (a) સાચો છે. નોંધો કે, $mg + T_2 = m\upsilon_2^2/R$ ; $T_1 - mg = m\upsilon_1^2/R$

સાર એ છે કે, આ ઉદાહરણમાં દ્રવ્યથી ઉદ્‌ભવતાં વાસ્તવિક બળો (તણાવ, ગુરુત્વ બળ વગેરે)ને તેમનાથી નીપજેલી અસર કેન્દ્રગામી પ્રવેગ $\upsilon_2^2/R$ કે $\upsilon_1^2/R$ સાથે ગૂંચવવાં નહિ.

**5.27** (a) 'Free body' : સ્ટાફ અને મુસાફરો

તળિયા દ્વારા તંત્ર પરનું બળ $= F$ ઉપર તરફ; તંત્રનું વજન = mg નીચે તરફ;

$\therefore F - mg = ma$

$F - 300 \times 10 = 300 \times 15$

$F = 7.5 \times 10^3$ N ઉપર તરફ

ત્રીજા નિયમ પરથી, સ્ટાફ અને મુસાફરો દ્વારા તળિયા પરનું બળ $= 7.5 \times 10^3$ N નીચે તરફ.

(b) 'Free body' : હેલિકોપ્ટર + સ્ટાફ + મુસાફરો

હવા વડે તંત્ર પરનું બળ = R ઉપર તરફ; તંત્રનું વજન = mg નીચે તરફ

$\therefore R - mg = ma$

$R - 1300 \times 10 = 1300 \times 15$

$R = 3.25 \times 10^4$ N ઉપર તરફ

ત્રીજા નિયમ પરથી, હેલિકોપ્ટર વડે હવા પરનું બળ $= 3.25 \times 10^4$ N નીચે તરફ

(c) $3.25 \times 10^4$ N ઉપર તરફ

**5.28** દીવાલ પર દર સેકન્ડે અથડાતા પાણીનું દળ

$= 10^3\ \text{kg m}^{-3} \times 10^{-2}\ \text{m}^2 \times 15\ \text{m s}^{-1} = 150\ \text{kg s}^{-1}$

દીવાલ વડે લાગતું બળ = પાણીએ દર સેકન્ડે ગુમાવેલું વેગમાન $= 150\ \text{kg s}^{-1} \times 15\ \text{m s}^{-1} = 2.25 \times 10^3\ \text{N}$

**5.29** (a) $3\,m\,g$ (નીચે) (b) $3\,m\,g$ (નીચે) (c) $4\,m\,g$ (ઉપર)

**5.30** જો પાંખો પરનું લંબ બળ $N$ હોય તો,

$$N\cos\theta = mg, \qquad N\sin\theta = \frac{m\upsilon^2}{R}$$

તે પરથી $R = \dfrac{\upsilon^2}{g\ \tan\ \theta} = \dfrac{200\times 200}{10\times tan15^\circ} = 15km$

**5.31** રેલના પાટા વડે વીલની બહાર તરફની ઉપસેલી ધાર પર પાર્શ્વિક (Lateral) ધક્કા દ્વારા કેન્દ્રગામી બળ પૂરું પાડવામાં આવે છે. ત્રીજા નિયમ મુજબ, ટ્રેન સમાન અને વિરુદ્ધ દિશામાં રેલના પાટા પર બળ લગાડે છે તેના લીધે ઘસારો પહોંચે છે.

ઢોળાવનો કોણ $= \tan^{-1}\left(\dfrac{\upsilon^2}{R\,g}\right) = \tan^{-1}\left(\dfrac{15\times 15}{30\times 10}\right) \simeq 37^\circ$

**5.32** સંતુલનમાં માણસ પર લાગતાં બળો વિચારો : તેનું વજન, દોરડા વડે લાગતું બળ, તળિયા વડે લાગતું લંબબળ

(a) 750 N (b) 250 N (b) રીત અપનાવવી જોઈએ.

**5.33** (a) $T - 400 = 240$, $T = 640$ N

(b) $400 - T = 160$, $T = 240$ N

(c) $T = 400$ N

(*d*) $T = 0$

કિસ્સા (a) માં દોરડું તૂટી જશે.

**5.34** આપણે A અને B પદાર્થો અને દૃઢ દીવાલ વચ્ચે સંપૂર્ણ સંપર્ક ધારી લઈએ છીએ. આ કિસ્સામાં દીવાલ વડે (પ્રતિક્રિયા) B પરનું સ્વ-નિયમન થતું લંબબળ 200 N જેટલું છે. કોઈ અપેક્ષિત (impending) ગતિ કે ઘર્ષણ નથી. A અને B વચ્ચે ક્રિયાબળ અને પ્રતિક્રિયાબળ પણ 200 N છે. જ્યારે દીવાલ દૂર કરવામાં આવે ત્યારે ગતિક ઘર્ષણ લાગવા માંડે છે.

(A + B) નો પ્રવેગ $= [\,200 - (\,150 \times 0.15\,)\,] / 15 = 11.8\ \text{m s}^{-2}$

A પરનું ઘર્ષણબળ $= 0.15 \times 50 = 7.5$ N

$200 - 7.5 - F_{AB} = 5 \times 11.8$

$F_{AB} = 1.3 \times 10^2$ N; ગતિની વિરુદ્ધ દિશામાં

$F_{BA} = 1.3 \times 10^2$ N; ગતિની દિશામાં

**5.35** (a) બ્લૉક અને ટ્રૉલી વચ્ચેની અપેક્ષિત (impending) સાપેક્ષ ગતિનો વિરોધ કરતું શક્ય મહત્તમ ઘર્ષણબળ $= 150 \times 0.18 = 27$ N, તે ટ્રૉલી સાથે બૉક્સને પ્રવેગિત કરવા માટે જરૂરી ઘર્ષણબળ $15 \times 0.5 = 7.5$ N કરતાં વધુ છે. જ્યારે ટ્રૉલી નિયમિત (અચળ) વેગથી ગતિ કરે છે. ત્યારે બ્લૉક પર કોઈ ઘર્ષણબળ લાગતું નથી.

(b) પ્રવેગિત (અજડત્વીય) નિરીક્ષક માટે, ઘર્ષણ બળનો, તેના જેટલા જ માનવાળા આભાસી બળ દ્વારા વિરોધ થાય છે, જેનાથી નિરીક્ષકની સાપેક્ષે બૉક્સ સ્થિર રહે છે. જ્યારે ટ્રૉલી નિયમિત વેગથી ગતિ કરે છે ત્યારે ગતિમાન (જડત્વીય) નિરીક્ષક માટે કોઈ આભાસી બળ લાગતું નથી અને ઘર્ષણ લાગતું નથી.

**5.36** ઘર્ષણને લીધે બૉક્સનો પ્રવેગ $= \mu g = 0.15 \times 10 = 1.5\ \text{m s}^{-2}$. પરંતુ ટ્રકનો પ્રવેગ વધારે છે. બૉક્સનો ટ્રકની સાપેક્ષે પ્રવેગ $0.5\ \text{m s}^{-2}$ પાછળના છેડા તરફ છે. ટ્રકમાંથી બૉક્સને પડી જવા લાગતો સમય $= \sqrt{\dfrac{2\times 5}{0.5}} = \sqrt{20}$ s. આ સમય દરમિયાન ટ્રક $= \frac{1}{2} \times 2 \times 20 = 20$ m અંતર કાપે છે.

**5.37** સિક્કાને તક્તી સાથે ભ્રમણ કરવા માટે, ઘર્ષણબળ, કેન્દ્રગામી બળ પૂરું પાડી શકે તેટલું પૂરતું હોવું જોઈએ, એટલે કે $\frac{mv^2}{r} \le \mu mg$. હવે, $v = r\omega$, જ્યાં $\omega = \frac{2\pi}{T}$ એ તક્તીની કોણીય આવૃત્તિ છે. આપેલ $\mu$ અને $\omega$, માટે $r \le \mu g/\omega^2$ એ શરત છે. આ શરતનું પાલન નજીકના સિક્કા દ્વારા થાય છે (કેન્દ્રથી 4 cm).

**5.38** ઉચ્ચતમ બિંદુએ, $N + mg = \frac{mv^2}{R}$, જ્યાં $N$ એ ચેમ્બરની છત દ્વારા મોટર સાયકલિસ્ટ પર લાગતું લંબબળ (નીચે તરફ) છે. ઉચ્ચતમ બિંદુએ શક્ય લઘુતમ ઝડપ $N = 0$ ને અનુરૂપ છે.

એટલે કે, $v_{min} = \sqrt{Rg} = \sqrt{25\times10} \simeq 16\,m\,s^{-1}$

**5.39** દીવાલ વડે માણસ પર લાગતું સમક્ષિતિજ બળ $N$, જરૂરી કેન્દ્રગામી બળ પૂરું પાડે છે : $N = m\,R\,\omega^2$. ઘર્ષણબળ $f$ (શિરોલંબ ઊર્ધ્વદિશામાં) વજન $mg$નો વિરોધ કરે છે. તળિયાને દૂર કર્યા પછી માણસ દીવાલ સાથે ચોંટીને રહે તે માટે $mg = f < \mu N$ એટલે કે $mg < \mu\, m\, R\,\omega^2$. નળાકારના ભ્રમણની લઘુતમ કોણીય ઝડપ $\omega_{min} = \sqrt{g/\mu R} = 5\ s^{-1}$

**5.40** જ્યારે તારના મધ્યબિંદુને જોડતો ત્રિજ્યા સદિશ, શિરોલંબ અધોદિશા સાથે $\theta$ કોણ બનાવે ત્યારે ગોળીનો free-body diagram વિચારો. આપણને $mg = N\cos\theta$ અને $m\,R\sin\theta\ \omega^2 = N\sin\theta$ મળે. આ સમીકરણો પરથી $\cos\theta = g/R\omega^2$.

$\cos\theta \le 1$ હોવાથી, ગોળી નિમ્નતમ બિંદુએ રહે તે માટે $\theta = 0$ અને $\omega \le \sqrt{\frac{g}{R}}$.

$\omega = \sqrt{\frac{2g}{R}}$ માટે $\cos\theta = \frac{1}{2}$ એટલે કે $\theta = 60^{\circ}$.

## પ્રકરણ 6

**6.1** (a) +ve (b) −ve (c) −ve (d) + ve (e) − ve

**6.2** (a) 882 J (b) −247 J (c) 635 J (d) 635 J

ચોખ્ખા (net, પરિણામી) બળ વડે પદાર્થ પર થયેલું કાર્ય તેની ગતિઊર્જાના ફેરફાર બરાબર છે.

**6.3** (a) $x > a$ ; 0 (c) $x < a,\ x > b$ ; $-V_1$

(b) $-\infty < x < \infty$, $V_1$ (d) $-b/2 < x < -a/2,\ a/2 < x < b/2$; $-V_1$

**6.5** (a) રૉકેટ; (b) સંરક્ષીબળ માટે, કોઈ પથ પર થયેલું કાર્ય સ્થિતિઊર્જાના ફેરફારના ઋણ બરાબર છે. પૂર્ણ કક્ષા પર, સ્થિતિઊર્જામાં કોઈ ફેરફાર થતો નથી. (c) ગતિઊર્જા વધે છે, પણ સ્થિતિઊર્જા ઘટે છે અને ઘર્ષણ વિરુદ્ધમાં ઊર્જા ગુમાવાથી સરવાળો ઘટે છે. (d) બીજા કિસ્સામાં

**6.6** (a) ઘટે; (b) ગતિ ઊર્જા (c) બાહ્ય બળ (d) કુલ રેખીય વેગમાન અને કુલ ઊર્જા પણ (જો બે પદાર્થોનું તંત્ર અલગ કરેલું હોય.)

**6.7** (a) F (b) F (c) F (d) F (સામાન્ય રીતે સત્ય પણ હંમેશાં નહિ. કેમ ?)

**6.8** (a) ના

(b) હા

(c) અસ્થિતિસ્થાપક સંઘાત દરમિયાન રેખીય વેગમાનનું સંરક્ષણ થાય છે. અલબત્ત, સંઘાત પૂર્ણ થયા બાદ પણ ગતિઊર્જાનું સંરક્ષણ થતું નથી. (અચળ રહેતી નથી.)

(d) સ્થિતિસ્થાપક

**6.9** (b) $t$

**6.10** (c) $t^{3/2}$

**6.11** 12 J

**6.12** ઇલેક્ટ્રૉન વધુ ઝડપી છે, $\upsilon_e / \upsilon_p = 13.5$

**6.13** દરેક અર્ધગાળામાં 0.082 J ; − 0.163 J

**6.14** હા, (અણુ + દીવાલ) તંત્રનું વેગમાન અચળ રહે છે. દીવાલને પ્રારંભમાં સ્થિર ધારી લેતાં, દીવાલનું વેગમાન + બહાર જતા અણુનું વેગમાન બરાબર અંદર આવતા અણુનું વેગમાન હોય તે રીતે દીવાલને recoil (પાછા પડવું) વેગમાન છે. જોકે recoil વેગમાન દીવાલના ખૂબ મોટા દળને લીધે અવગણ્ય વેગ ઉત્પન્ન કરે છે. ગતિઊર્જાનું પણ સંરક્ષણ થતું હોવાથી સંઘાત સ્થિતિસ્થાપક છે.

**6.15** 43.6 kW

**6.16** (b)

**6.17** તે તેનું સમગ્ર વેગમાન બૉલને આપી દે છે અને જરા પણ ઊંચે જતો નથી.

**6.18** 5.3 m $s^{-1}$

**6.19** 27 km $h^{-1}$ (ઝડપમાં કોઈ ફેરફાર નહિ.)

**6.20** 50 J

**6.21** (a) $m = \rho A \upsilon t$ (b) $K = \rho A \upsilon^3 t / 2$ (c) $P = 4.5$ kW

**6.22** (a) 49,000 J (b) $6.45 \times 10^{-3}$ kg

**6.23** (a) 200 $m^2$ (b) મોટા ઘરના 14m × 14m પરિમાણવાળા છાપરા સાથે સરખાવી શકાય.

**6.24** 21.2 cm, 28.5 J

**6.25** ના, વધુ ઊંચા સમતલ પરનો પથ્થર તળિયે વહેલો પહોંચે છે; હા, તેઓ એક સમાન ઝડપ ($\upsilon$) થી પહોંચે છે. [કારણ કે $mgh = (1/2)\, m\, \upsilon^2$ ]

$\upsilon_B = \upsilon_C = 14.1$ m $s^{-1}$ , $t_B = 2\sqrt{2}$ s , $t_C = 2\sqrt{2}$ s

**6.26** 0.125

**6.27** બંને કિસ્સા માટે 8.82 J.

**6.28** બાળક, પ્રારંભમાં ટ્રૉલીને આઘાત આપે છે અને પછી ટ્રૉલીના નવા વેગની સાપેક્ષે 4 m $s^{-1}$ના અચળ વેગથી દોડે છે. બહારના નિરીક્ષક માટે વેગમાન સંરક્ષણ લાગુ પાડો. 10.36 m $s^{-1}$, 25.9 m.

**6.29** (V) સિવાયના બધા અશક્ય છે.

## પ્રકરણ 7

**7.1** દરેકનું ભૌમિતિક કેન્દ્ર. ના, રિંગ, પોલા નળાકાર, પોલા ગોળા, પોલા ઘન વગેરેની જેમ CM પદાર્થના દ્રવ્યની બહાર હોઈ શકે છે.

**7.2** H અને *Cl* ન્યુક્લિયસોને જોડતી રેખા પર, H છેડાથી 1.24 Å અંતરે રહેલું છે.

**7.3** (ટ્રૉલી + બાળક)ના બનેલા તંત્રના CMની ઝડપ અચળ (બરાબર *v*) રહે છે, કારણ કે તંત્ર પર કોઈ બાહ્ય બળ લાગતું નથી. ટ્રૉલી પર બાળકના દોડવાની ક્રિયામાં સંકળાયેલાં બળો આ તંત્રનાં આંતરિક બળો છે.

**7.6** $l_z = xp_y - yp_x$, $l_x = yp_z - zp_y$, $l_y = zp_x - xp_z$

**7.8** 72 cm

**7.9** દરેક આગળના પૈડા પર 3675 N, દરેક પાછળના પૈડા પર 5145 N

**7.10** (a) 7/5 $MR^2$ (b) 3/2 $MR^2$

**7.11** ગોળો

**7.12** ગતિઊર્જા = 3125 J; કોણીય વેગમાન = 62.5 J s

**7.13** (a) 100 rev/min (કોણીય વેગમાન સંરક્ષણ વાપરો.)

(b) નવી ચાકગતિ ઊર્જાએ પ્રારંભિક ચાકગતિ ઊર્જાના 2.5 ગણી છે. બાળક તેની આંતરિક ઊર્જાનો ઉપયોગ કરીને તેની ચાકગતિ ઊર્જા વધારે છે.

**7.14** $25\ s^{-2}$; $10\ m\ s^{-2}$

**7.15** 36 kW

**7.16** મૂળ તક્તીના કેન્દ્રથી R/6 અંતરે, કાપેલા ભાગના કેન્દ્રથી વિરુદ્ધ બાજુએ

**7.17** 66.0 g

**7.18** (a) હા (b) હા (c) ઓછા ઢોળાવવાળા સમતલ પર વધુ સમય લાગે ($\because a \propto \sin\theta$)

**7.19** 4J

**7.20** $6.75 \times 10^{12}\ rad\ s^{-1}$

**7.21** (a) 3.8 m (b) 3.0 s

**7.22** તણાવ = 98 N, $N_B$ = 245 N, $N_C$ = 147 N.

**7.23** (a) 59 rev/min (b)ના, ગતિઊર્જામાં વધારો થાય છે અને તે માણસે પ્રક્રિયામાં કરેલાં કાર્યમાંથી આવે છે.

**7.24** $0.625\ rad\ s^{-1}$

**7.25** (a) કોણીય વેગમાનના સંરક્ષણ પરથી, સામાન્ય કોણીય ઝડપ

$$\omega = (I_1\omega_1 + I_2\omega_2) / (I_1 + I_2)$$

(b) બે તક્તીઓ વચ્ચેના ઘર્ષણીય સંપર્ક જે તેમને બંનેને સમાન કોણીય ઝડપ ω પર લાવે છે તેમાં થતા વ્યયને લીધે ગતિ-ઊર્જામાં ઘટાડો થાય છે. જોકે ઘર્ષણથી ઉદ્ભવતા ટૉર્ક તંત્રના અંદરના હોવાથી કોણીય વેગમાન બદલાતું નથી.

**7.28** Aનો વેગ = $\omega_o R$ તીરની દિશામાં; Bનો વેગ = $\omega_o R$ તીરની વિરુદ્ધ દિશામાં, Cનો વેગ = $\omega_o R/2$ તીરની દિશામાં. ઘર્ષણરહિત સમતલ પર તક્તી ગબડશે નહિ.

**7.29** (a) B આગળનું ઘર્ષણબળ Bના વેગનો વિરોધ કરે છે. આથી, ઘર્ષણબળ તીરની દિશામાં છે. ઘર્ષણથી ઉદ્ભવતા ટૉર્કની દિશા એવી છે કે તે કોણીય ગતિનો વિરોધ કરે. $\boldsymbol{\omega}_0$ અને $\boldsymbol{\tau}$ બંને પાનાના પૃષ્ઠને લંબ છે. પહેલું પાનાની અંદર તરફ જતું અને બીજું પાનામાંથી બહાર તરફ આવતું.

(b) ઘર્ષણબળ સંપર્કબિંદુ Bના વેગને ઘટાડે છે. આ વેગ શૂન્ય બને તેના પરિણામે સંપૂર્ણ ગબડવાનું શરૂ કરે છે. એકવાર આમ બંને એટલે ઘર્ષણબળ શૂન્ય થાય છે.

**7.30** ઘર્ષણબળ CMને પ્રારંભિક શૂન્ય વેગથી પ્રવેગિત કરે છે. ઘર્ષણબળથી ઉદ્ભવતું ટૉર્ક પ્રારંભિક કોણીય ઝડપ $\omega_o$માં પ્રતિપ્રવેગ ઉત્પન્ન કરે છે. ગતિનાં સમીકરણો : $\mu_k\, m\, g = m\, a$ અને $\mu_k\, m\, g\, R = -I\alpha$, તેમના પરથી $\upsilon = \mu_k\, g\, t$, $\omega = \omega_o - \mu_k\, m\, g\, R\, t / I$. જ્યારે $\upsilon = R\,\omega$ હોય ત્યારે ગબડવાનું શરૂ થાય છે. રિંગ (વલય) માટે $I = m R^2$ અને $t = \omega_o\, R/2\,\mu_k\, g$ હોય ત્યારે ગબડવાનું શરૂ થાય છે. તક્તી માટે, $I = \frac{1}{2}\, m R^2$ અને break line $t = R\,\omega_o/3\,\mu_k\, g$ હોય ત્યારે ગબડવાનું શરૂ થાય છે. આમ $R$ અને $\omega_o$ બંનેનાં સમાન મૂલ્યો માટે તક્તી ગબડવાની ક્રિયા વહેલી શરૂ કરે છે. વાસ્તવિક રીતે લાગતા સમયનાં મૂલ્યો $R = 10$ cm, $\omega_o = 10\pi\ rad\ s^{-1}$, $\mu_k = 0.2$ માટે મેળવી શકાય.

**7.31** (a) 16.4 N

(b) Zero

(c) લગભગ 37°

## પ્રકરણ 8

**8.1** (a) ના.

(b) હા, જો અવકાશયાનનું પરિમાણ (size) એટલું મોટું હોય કે તે gમાં થતો ફેરફાર અનુભવી (પારખી) શકે તો.

(c) બળ જે અંતરના વર્ગના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં બદલાય થાય છે તેનાથી વિપરીત ભરતીની અસર અંતરના ઘનના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં બદલાય થાય છે.

**8.2** (a) ઘટે છે (b) ઘટે છે (c) પદાર્થના દળ (d) વધારે

**8.3** 0.63 ગણી નાની

**8.5** $3.54 \times 10^8$ years

**8.6** (a) ગતિ ઊર્જા (b) ઓછી

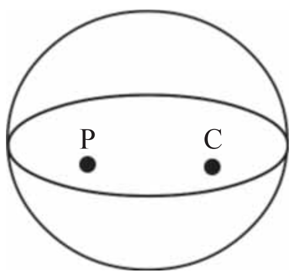
**8.7** (a) ના (b) ના (c) ના (d) હા

[નિષ્ક્રમણ વેગ, પદાર્થના દળ અને પ્રક્ષિપ્ત કરવાની દિશા પર આધારિત નથી. જે બિંદુએથી તેને મોકલવામાં (લૉન્ચ કરવામાં) આવે તે બિંદુએ ગુરુત્વ સ્થિતિમાન પર તે આધારિત છે. આ સ્થિતિમાન (થોડે અંશે) અક્ષાંશ અને ઊંચાઈ પર આધારિત હોવાથી; નિષ્ક્રમણ વેગ (થોડે અંશે) આ પરિબળો પર આધારિત છે.]

**8.8** સમગ્ર કક્ષા પર કોણીય વેગમાન અને કુલ ઊર્જા સિવાયની બધી રાશિઓ બદલાય છે.

**8.9** (b), (c) અને (d)

**8.10** અને **8.11** આ બે પ્રશ્નો માટે અર્ધગોળામાંથી ગોળો પૂર્ણ કરો. P અને C, બંને આગળ સ્થિતિમાન અચળ છે અને તેથી તીવ્રતા = 0. આથી અર્ધ ગોળા માટે (c) અને (e) સત્ય છે.




**8.12** $2.6 \times 10^8$ m

**8.13** $2.0 \times 10^{30}$ kg

**8.14** $1.43 \times 10^{12}$ m

**8.15** 28 N

**8.16** 125 N

**8.17** પૃથ્વીના કેન્દ્રથી $8.0 \times 10^6$ m

**8.18** 31.7 km/s

**8.19** $5.9 \times 10^9$ J

**8.20** $2.6 \times 10^6$ m/s

**8.21** 0, $2.7 \times 10^{-8}$ J/kg; મધ્યબિંદુએ મૂકેલ પદાર્થ અસ્થાયી સંતુલનમાં છે.

**8.22** $-9.4 \times 10^6$ J/kg

**8.23** $G\,M\,/\,R^2 = 2.3 \times 10^{12}$ m s$^{-2}$, $\omega^2\,R = 1.1 \times 10^6$ m s$^{-2}$; અહીં $\omega$ એ પરિભ્રમણની કોણીય ઝડપ છે. આમ તારાની ભ્રમણ કરતી નિર્દેશ ફ્રેમમાં તેના વિષુવવૃત્ત પર અંદર તરફનું બળ બહાર તરફના કેન્દ્રત્યાગી બળ કરતાં ઘણું મોટું છે. પદાર્થ તેને વળગીને રહેશે (અને કેન્દ્રત્યાગી બળને લીધે દૂર ભાગી નહિ જાય.) નોંધો કે જો ભ્રમણની કોણીય ઝડપ 2000 ગણી મોટી કરવામાં આવે તો પદાર્થ તેને છોડીને ભાગી જશે.

**8.24** $3 \times 10^{11}$ J

**8.25** 495 km