પ્રકરણ 8

બળ તથા ગતિના નિયમો
(Force and Laws of Motion)

આગળના પ્રકરણમાં આપણે સુરેખ પથ પર વસ્તુની ગતિની ચર્ચા તેનાં સ્થાન, વેગ અને પ્રવેગના સંદર્ભમાં કરી. આપણે જોયું કે આવી ગતિ નિયમિત કે અનિયમિત હોઈ શકે; પરંતુ હજુ આપણે એ જાણ્યું નથી કે ગતિ માટેનું કારણ શું હોઈ શકે ? સમયની સાથે વસ્તુની ઝડપ કેમ બદલાય છે ? શું બધા જ પ્રકારની ગતિ માટે કોઈ કારણ (પરિબળ) જરૂરી હોય છે ? જો એમ હોય તો આ કયાં કારણો છે ? આ પ્રકરણમાં આપણે આ બધી જ જિજ્ઞાસાઓ સંતોષવાનો પ્રયત્ન કરીશું.

સદીઓથી ગતિ અને તેનાં કારણોએ, વૈજ્ઞાનિકો તથા તત્ત્વજ્ઞાનીઓને મુંઝવણમાં રાખેલ હતાં. જમીન પર રાખેલ એક દડાને ધીમેથી ઠોકર મારતાં તે હંમેશ માટે ગતિશીલ રહેતો નથી. આ પ્રકારનાં અવલોકનો દર્શાવે છે કે, કોઈ વસ્તુની સ્થિર અવસ્થા જ તેની 'પ્રાકૃતિક અવસ્થા' છે. જ્યાં સુધી ગેલીલિયો ગેલેલી (Galileo Galilei) તથા આઈઝેક ન્યૂટને (Isaac Newton) ગતિને સમજાવવા માટે સંપૂર્ણપણે અલગ વિચારધારાનો વિકાસ ન કર્યો ત્યાં સુધી આવી માન્યતા પ્રર્વતતી રહી.



(a) ધક્કો મારવાથી ટ્રોલી લગાડેલ બળની દિશામાં ગતિ કરે છે



(b) તિજોરીના ખાનાને ખેંચવામાં આવે છે

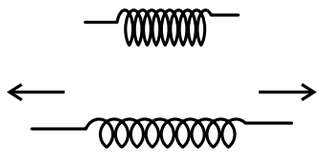


(c) હૉકી સ્ટિકથી દડાને આગળ તરફ ફટકારવામાં આવે છે

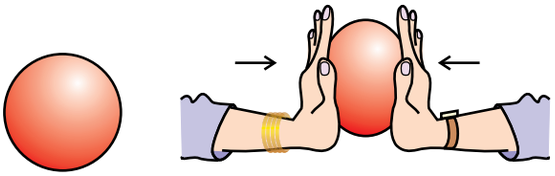
આકૃતિ 8.1 : વસ્તુઓને ધકેલવાથી, ખેંચવાથી કે ફટકારી તેની ગતિની અવસ્થા બદલી શકાય છે.

દૈનિક જીવનમાં આપણે જોઈએ છીએ કે એક સ્થિર વસ્તુને ગતિમાં લાવવા કે ગતિશીલ વસ્તુને અટકાવવા માટે આપણે કંઈક પ્રયાસ કરવો પડે છે તથા આપણે કહીએ છીએ કે કોઈ વસ્તુની ગતિની અવસ્થા બદલવા માટે તેને ખેંચવી પડે, ધકેલવી પડે કે આઘાત (ટૂંકા ગાળામાં લાગતું બળ) લગાડવો પડે છે. બળનો ખ્યાલ વસ્તુને આ રીતે ખેંચવા, ધકેલવા કે ઠોકર લગાડવા પર આધારિત છે. હવે આપણે બળના વિષયમાં વિચાર કરીએ કે તે શું છે ? વાસ્તવમાં બળને કોઈએ જોયું નથી, ચકાસ્યું નથી કે અનુભવ્યું નથી. તેમ છતાં આપણે બળનો પ્રભાવ જોઈ શકીએ છીએ કે અનુભવી શકીએ છીએ. જ્યારે કોઈ વસ્તુ પર બળ લગાડવામાં આવે ત્યારે શું થાય છે તેના વર્ણન પરથી જ તેને (બળને) સમજાવી શકાય છે. વસ્તુને ખેંચવી, ધકેલવી કે આઘાત લગાડવો આ બધી પ્રક્રિયાઓ વસ્તુને ગતિમાં લાવવાની પ્રયુક્તિઓ છે (આકૃતિ 8.1). આપણા દ્વારા તેની પર બળ લાગવાના કારણે જ તેની ગતિ થાય છે.

તમારાં અગાઉનાં ધોરણોના અભ્યાસ પરથી તમે જાણો જ છો કે કોઈ વસ્તુના વેગના મૂલ્યમાં ફેરફાર કરવા (એટલે કે વસ્તુની ગતિ વધારવા કે ધીમી કરવા) અથવા તેની ગતિની દિશા બદલવા માટે બળનો ઉપયોગ થાય છે. આપણે એ પણ જાણીએ છીએ કે બળ દ્વારા વસ્તુના આકાર અને પરિમાણમાં ફેરફાર કરી શકાય છે (આકૃતિ 8.2).



(a)

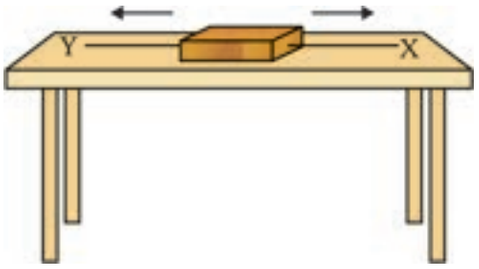


(b)

આકૃતિ 8.2 : (a) બળ લગાડવાથી સ્પ્રિંગ ખેંચાય છે. (b) બળ લગાડવાથી ગોળાકાર દડો અંડાકાર બની જાય છે.

8.1 સંતુલિત અને અસંતુલિત બળ (Balanced and Unbalanced Forces)

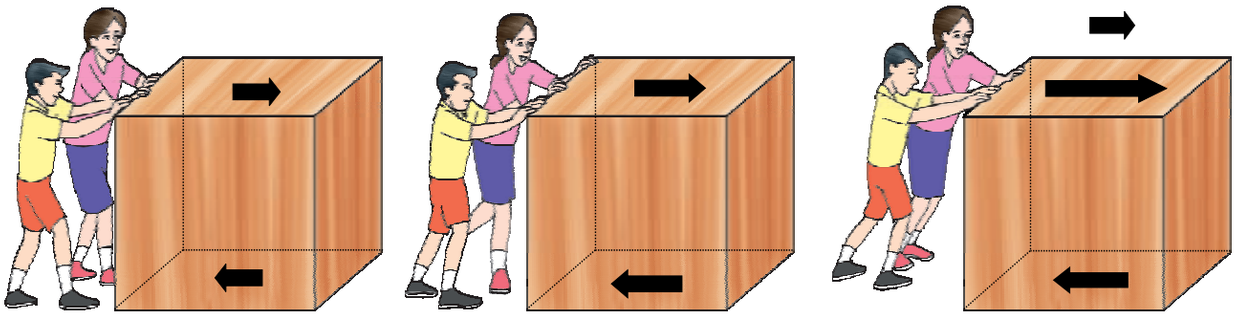
આકૃતિ 8.3માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે લાકડાનો એક બ્લૉક સમક્ષિતિજ ટેબલ પર મૂકેલ છે. આકૃતિમાં દર્શાવ્યા અનુસાર બે દોરી X અને Y બ્લૉકના સામસામેના છેડાઓ સાથે જોડેલ છે. હવે જો આપણે બળ લગાડીને દોરી Xને ખેંચીએ તો બ્લૉક જમણી બાજુ ખસવાની શરૂઆત કરે છે. તે જ રીતે, જો દોરી Yને ખેંચવામાં આવે તો બ્લૉક ડાબી બાજુ ખસવાની શરૂઆત કરે છે; પરંતુ જો બ્લૉકને બંને બાજુથી સમાન બળ દ્વારા ખેંચવામાં આવે તો બ્લૉક ગતિ કરતો નથી. આ પ્રકારનાં બળોને સંતુલિત બળો કહે છે અને તે વસ્તુની સ્થિર કે ગતિમાન અવસ્થામાં ફેરફાર કરતા નથી. હવે એક એવી અવસ્થાનો વિચાર કરો કે જેમાં અલગ-અલગ મૂલ્યનાં બે પરસ્પર વિરુદ્ધ દિશામાં લાગતાં બળો દ્વારા બ્લૉકને ખેંચવામાં આવે છે. આ કિસ્સામાં બ્લૉક વધારે મૂલ્ય ધરાવતાં બળની દિશામાં ગતિ કરવાની શરૂઆત કરે છે. આમ, અહીં બે બળો સંતુલિત નથી અને આ અસંતુલિત બળોનું પરિણામીબળ ગતિની દિશામાં કાર્યરત છે. આ પરથી કહી શકાય કે બ્લૉક પર લાગતું અસંતુલિત બળ બ્લૉકને ગતિમાં લાવે છે.



આકૃતિ 8.3 : લાકડાના એક બ્લૉક પર બે બળો

જ્યારે કેટલાંક બાળકો એક બૉક્સને ખરબચડી સપાટી પર ખસેડવાનો પ્રયત્ન કરે ત્યારે શું થશે ? જો તે ઓછા બળથી બૉક્સને ખસેડવાનો પ્રયત્ન કરે તો બૉક્સ ખસતું નથી. કારણ કે ધક્કાની વિરુદ્ધ દિશામાં ઘર્ષણબળ લાગી રહ્યું છે [આકૃતિ 8.4 (a)]. આ ઘર્ષણબળ બે સંપર્ક સપાટીઓ વચ્ચે ઉદ્‌ભવે છે, આ કિસ્સામાં બૉક્સના તળિયા અને ભોંયતળિયાની ખરબચડી સપાટી વચ્ચે. તે બૉક્સને ધકેલવા માટે લગાડેલ બળને સંતુલિત કરે છે અને તેથી બૉક્સ ગતિ કરતું નથી. આકૃતિ 8.4 (b)માં બાળકો બૉક્સને થોડા વધુ જોરથી ખસેડે છે તોપણ બૉક્સ ખસતું નથી, કારણ કે ધકેલવા માટે લગાડેલ બળને હજુ ઘર્ષણબળ સંતુલિત કરે છે. હવે જો બાળકો હજુ વધારે જોરથી ધક્કો મારે તો લાગતું બળ ઘર્ષણબળ કરતાં વધી જાય છે [આકૃતિ 8.4 (c)] જે અસંતુલિત બળ છે અને તેથી બૉક્સ ગતિ કરવાનું શરૂ કરે છે.

જ્યારે આપણે સાઇકલ ચલાવીએ છીએ ત્યારે શું થાય છે ? જ્યારે આપણે પૅડલ મારવાનું બંધ કરીએ ત્યારે સાઇકલની ગતિ ધીમી પડે છે. આમ થવાનું કારણ ગતિની વિરુદ્ધ દિશામાં લાગતું ઘર્ષણબળ છે. સાઇકલને ગતિમાં ચાલુ રાખવા માટે આપણે ફરીથી પૅડલ મારવાનું ચાલુ કરવું પડશે. આ પરિસ્થિતિ પરથી કહી શકાય કે કોઈ વસ્તુને સતત ગતિશીલ રહેવા માટે કોઈ અસંતુલિત બળની જરૂરિયાત છે - જોકે આ હકીકત સદંતર ખોટી છે. કોઈ વસ્તુ જ્યારે નિયમિત વેગથી ગતિ કરતી હોય ત્યારે વસ્તુ પર લાગતું બળ (ધક્કારૂપી બળ અને ઘર્ષણબળ) સંતુલિત હોય છે તથા તેની પર કોઈ ચોખ્ખું બાહ્યબળ લાગતું નથી. જો વસ્તુ પર કોઈ અસંતુલિત બાહ્યબળ લાગે તો તેની ઝડપમાં અથવા ગતિની દિશામાં ફેરફાર થાય છે. આમ, કોઈ વસ્તુને પ્રવેગિત ગતિ કરાવવા માટે અસંતુલિત બળ જરૂરી છે તથા તેની ઝડપ (કે ગતિની દિશા)માં જ્યાં સુધી અસંતુલિત બળ લાગે ત્યાં સુધી ફેરફાર થતો રહે છે.



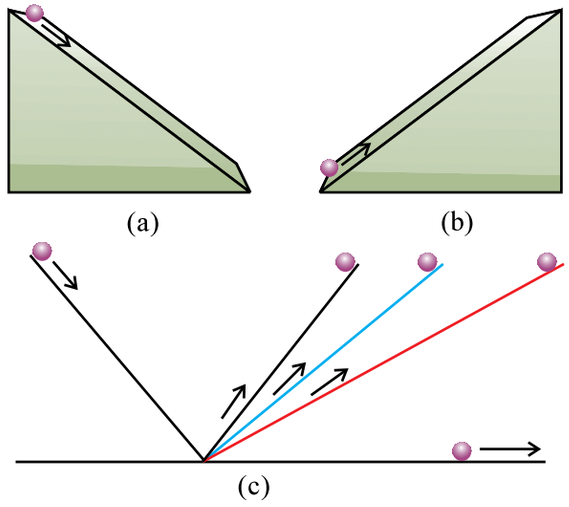
(a) (b) (c)

આકૃતિ 8.4

જ્યારે આ બળ સંપૂર્ણ દૂર કરવામાં આવે ત્યારે વસ્તુ ત્યાં સુધીમાં તેણે પ્રાપ્ત કરેલ વેગથી ગતિ ચાલુ રાખે છે.

8.2 ગતિનો પ્રથમ નિયમ (First Law of Motion)

ઢોળાવ ધરાવતી સપાટી પર થતી વસ્તુઓની ગતિના અવલોકન પરથી ગેલીલિયોએ તારણ કાઢ્યું કે જ્યાં સુધી કોઈ બાહ્ય બળ ન લાગે ત્યાં સુધી વસ્તુઓ અચળ ઝડપથી ગતિ કરે છે. તેમણે અવલોકન કર્યું કે જ્યારે લખોટી ઢોળાવવાળી સપાટી પર નીચે ગબડતી હોય ત્યારે તેનો વેગ વધી જાય છે [આકૃતિ 8.5 (a)]. હવે પછીના પ્રકરણમાં તમે શીખશો કે લખોટી અસંતુલિત ગુરુત્વીય બળને કારણે નીચે તરફ ગતિ કરે છે અને નીચે પહોંચતા સુધીમાં એક નિશ્ચિત વેગ પ્રાપ્ત કરે છે. આકૃતિ 8.5 (b)માં દર્શાવ્યા અનુસાર જ્યારે લખોટી ઉપર તરફ ગતિ કરે છે ત્યારે તેનો વેગ ઘટે છે. આકૃતિ 8.5 (c)માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે બંને બાજુ ઘર્ષણરહિત આદર્શ સમતલ ઢળેલી સપાટી પર એક લખોટી સ્થિર છે. ગેલીલિયોએ દલીલ કરી કે જ્યારે લખોટીને ડાબી બાજુથી છોડવામાં આવે ત્યારે તે ઢાળ પર નીચે તરફ ગબડે છે તથા જમણી બાજુના ઢાળ પર તેટલી જ ઊંચાઈ સુધી તેટલું જ અંતર કાપીને પહોંચે છે જેટલી ઊંચાઈએથી તેને છોડવામાં આવેલ હોય. જો બંને બાજુના સમતલના ઢોળાવ સમાન હોય તો લખોટી તેટલી જ ઊંચાઈ સુધી તેટલું જ અંતર કાપીને પહોંચશે જેટલી ઊંચાઈએથી તે ગબડે છે. જો જમણી બાજુના ઢાળનો નમનકોણ ધીરે-ધીરે ઘટાડવામાં આવે તો લખોટીને તેટલી જ ઊંચાઈ પ્રાપ્ત કરવા માટે વધારે અંતર કાપવું પડશે. હવે જો જમણી બાજુનું સમતલ સમક્ષિતિજ કરી દેવામાં આવે (એટલે કે ઢાળ ઘટાડીને શૂન્ય કરવામાં આવે) તો લખોટી મૂળ ઊંચાઈ પ્રાપ્ત કરવા માટે સમક્ષિતિજ સમતલ પર સતત ગતિ કરતી રહેશે. આ કિસ્સામાં લખોટી પર લાગતું અસંતુલિત બળ શૂન્ય છે. જે નિર્દેશ કરે છે કે લખોટીની ગતિ બદલવા માટે અસંતુલિત (બાહ્ય) બળ જરૂરી છે; પરંતુ લખોટીની નિયમિત ગતિ ચાલુ રાખવા માટે કોઈ પરિણામી બળની જરૂર પડતી નથી. વ્યવહારિક સ્થિતિમાં શૂન્ય અસંતુલિત બળ પ્રાપ્ત કરવું કઠિન છે. આમ થવા પાછળનું કારણ ગતિની વિરુદ્ધ દિશામાં લાગતા ઘર્ષણબળની હાજરી છે. તેથી વ્યવહારમાં લખોટી અમુક અંતર કાપ્યા બાદ સ્થિર થઈ જાય છે. અહીં ઘર્ષણબળની અસર ઘટાડવા માટે લીસી લખોટી તથા લીસી સપાટીનો ઉપયોગ કરવો જોઈએ. તેમજ સપાટી પર લુબ્રિકન્ટ લગાડવું જોઈએ.



આકૃતિ 8.5 : ઢોળાવવાળી સપાટી પર લખોટીની (a) અધોદિશામાં ગતિ (b) ઊર્ધ્વ દિશામાં ગતિ (c) સામસામા ઢોળાવવાળી સપાટી પર ગતિ

ન્યૂટને બળ તેમજ ગતિ વિશેના ગેલીલિયોના વિચારોનો આગળ અભ્યાસ કર્યો અને ગતિમાન પદાર્થની ગતિનું નિયમન કરતાં ત્રણ મૂળભૂત નિયમો રજૂ કર્યા. આ ત્રણ નિયમો ન્યૂટનની ગતિના નિયમો તરીકે ઓળખાય છે. ગતિનો પ્રથમ નિયમ આ પ્રમાણે છે :

જ્યાં સુધી કોઈ વસ્તુને કોઈ બાહ્ય બળ વડે અવસ્થા બદલવાની ફરજ ન પડે ત્યાં સુધી દરેક વસ્તુ પોતાની સ્થિર અવસ્થા કે સુરેખ પથ પર નિયમિત ગતિની અવસ્થા જાળવી રાખે છે.

બીજા શબ્દોમાં દરેક વસ્તુ પોતાની ગતિની અવસ્થામાં થતાં પરિવર્તનનો વિરોધ કરે છે. સમગ્રતયા કોઈ વસ્તુની સ્થિર અવસ્થામાં રહેવાની કે નિયમિત વેગથી ગતિમાં રહેવાની પ્રકૃતિને જડત્વ કહે છે. આ જ કારણથી ગતિના પ્રથમ નિયમને જડત્વનો નિયમ પણ કહે છે.

કોઈ મોટરકારમાં મુસાફરી કરતી વખતે થયેલા અમુક અનુભવોનું વર્ણન જડત્વના નિયમ દ્વારા કરી શકાય છે. જ્યાં સુધી મોટરકારને રોકવા માટે ડ્રાઇવર બ્રેક ન લગાડે ત્યાં સુધી આપણે સીટની સાપેક્ષમાં સ્થિર અવસ્થામાં રહીએ છીએ. બ્રેક લગાડવાથી ગાડીની સાથે સીટ પણ સ્થિર અવસ્થામાં આવે છે; પરંતુ આપણું શરીર જડત્વને કારણે ગતિમાન અવસ્થામાં જ રહેવાની વૃત્તિ ધરાવે છે. અચાનક બ્રેક લાગવાના કારણે આપણે



ગેલીલિયો ગેલિલી
(1564-1642)

ગેલીલિયો ગેલિલીનો જન્મ 15 ફેબ્રુઆરી, 1564ના રોજ ઇટાલીના પીસા શહેરમાં થયો હતો. ગેલીલિયોને નાનપણથી જ ગણિત તથા પ્રાકૃતિક તત્ત્વજ્ઞાનમાં રસ હતો; પરંતુ પિતા વિન્સેજો ગેલિલી તેમને તબીબ બનાવવા ઇચ્છતા હતા. તે અનુસાર ગેલીલિયો 1581માં તબીબની ઉપાધિ મેળવવા માટે પીસા વિશ્વવિદ્યાલયમાં દાખલ થયા; પરંતુ તે આ અભ્યાસક્રમ પૂર્ણ ન કરી શક્યા કારણ કે વાસ્તવિક રીતે તેમને ગણિતમાં રસ હતો. 1586માં તેમણે પોતાનું પ્રથમ વૈજ્ઞાનિક પુસ્તક ''ધ લિટલ બૅલેન્સ'' (લા બેલેન્સિટા) લખ્યું, જેમાં તેમણે એક તુલા દ્વારા પદાર્થોની સાપેક્ષ ઘનતા (અથવા વિશિષ્ટ ગુરુત્વ) શોધવા માટેની આર્કિમિડીઝની પદ્ધતિનું વર્ણન કર્યું. 1589માં તેમણે પોતાની નિબંધશ્રેણી 'ડી મોટું' (De motu)માં ઢોળાવવાળી સપાટીના પ્રયોગ દ્વારા કોઈ નીચે પડતી વસ્તુ માટે પડવાના દરમાં થતા ઘટાડાના સંબંધે પોતાના સિદ્ધાંત રજૂ કર્યા.

1592માં તેમને વેનિસ ગણરાજ્યના પડુઆ વિશ્વવિદ્યાલયમાં ગણિતના પ્રોફેસરના પદ પર નિયુક્ત કરવામાં આવ્યા. અહીં પણ તેમણે સતત ગતિના સિદ્ધાંતો પર અવલોકનો ચાલુ રાખ્યાં અને ઢોળાવવાળા સમતલ તથા લોલક સંબંધિત પોતાનાં અવલોકનો દ્વારા અચળ પ્રવેગથી ગતિશીલ વસ્તુઓ સાથે સંબંધિત નિયમ વસ્તુ દ્વારા કપાયેલ અંતરએ લીધેલ સમયના વર્ગના સમપ્રમાણમાં છે તેમ પ્રસ્થાપિત કર્યો.

ગેલીલિયો એક કુશળ કારીગર પણ હતા. તેમણે અલગ-અલગ પ્રકારના ટેલિસ્કોપની શ્રેણી વિકસિત કરી જેની પ્રકાશીય ક્ષમતા તે સમયે ઉપલબ્ધ ટેલિસ્કોપની ક્ષમતા કરતાં ઘણી સારી હતી. 1640ની આસપાસ તેમણે પ્રથમ લોલકવાળી ઘડિયાળની રચના કરી હતી. તેમની અવકાશીય શોધો અંગેના એક પુસ્તક ''સ્ટારી મેસેંજર'' (Starry messenger)માં ગેલીલિયોએ ચંદ્રમા પરના પહાડો, નાના-નાના તારાઓના ભેગા મળવાથી રચાતી આકાશગંગા તથા ગુરુ ગ્રહની આસપાસ ચાર નાના પિંડ કક્ષામાં પરિભ્રમણ કરતા જોયા હોવાનો દાવો કર્યો. તેમણે પોતાના પુસ્તક ''ડિસ્કોર્સ ઑન ફ્લોટિંગ બૉડીઝ'' (Discourse on Floating Bodies) અને ''લેટર્સ ઑન ધ સનસ્પોટ'' (Letters on the Sunspots)માં સૂર્ય પર ઉપસ્થિત સૂર્ય કલંકો (Sunspots) વિશેનાં રહસ્યો ઉજાગર કર્યા.

પોતાના દ્વારા બનાવેલ ટેલિસ્કોપની મદદથી શનિ તથા શુક્ર ગ્રહના નિરીક્ષણ દ્વારા ગેલીલિયોએ એ તર્ક આપ્યો કે, બધા જ ગ્રહ સૂર્યની આસપાસ કક્ષામાં ભ્રમણ કરે છે નહિ કે પૃથ્વીની આસપાસ. આ વિચાર તે સમયની પ્રચલિત માન્યતાથી વિપરિત હતો.

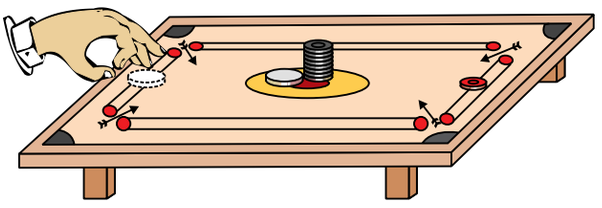
સીટની આગળ લગાડેલ પેનલ સાથે અથડાવાથી ઘાયલ થઈ શકીએ છીએ. આ પ્રકારની દુર્ઘટનાથી બચવા માટે સુરક્ષાબેલ્ટનો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે. સુરક્ષાબેલ્ટ આપણા શરીરની આગળ તરફની ગતિને ધીમી પાડતું બળ લગાડે છે. જ્યારે આપણે બસમાં ઊભા હોઈએ અને બસ અચાનક ગતિમાં આવે ત્યારે આપણને આનાથી વિપરીત અનુભવ થાય છે. આ સ્થિતિમાં આપણે પાછળની તરફ નમી પડીએ છીએ. આમ થવાનું કારણ બસ અચાનક ચાલુ થતાં આપણા પગ કે જે બસના તળિયા સાથે સંપર્કમાં છે તે ગતિમાં આવે છે; પરંતુ શરીરનો ઉપરનો ભાગ જડત્વને કારણે આ ગતિનો વિરોધ કરે છે.

જ્યારે કોઈ મોટરકાર અત્યંત ઝડપથી તીવ્ર વળાંક લે ત્યારે આપણે એક તરફ નમી પડીએ છીએ. આ હકીકત પણ જડત્વના નિયમથી સમજી શકાય છે. આપણું શરીર સુરેખ પથ પર ગતિ ચાલુ રાખે છે. જ્યારે મોટરકારની દિશા બદલવા માટે એન્જિન દ્વારા અસંતુલિત બળ લગાડવામાં આવે છે ત્યારે આપણાં શરીરના જડત્વને કારણે સીટની એક તરફ નમી પડીએ છીએ.

કોઈ વસ્તુ ત્યાં સુધી સ્થિર અવસ્થામાં રહેશે જ્યાં સુધી કોઈ અસંતુલિત બળ ન લાગે તે હકીકત નીચેની પ્રવૃત્તિઓ દ્વારા દર્શાવી શકાય છે :

પ્રવૃત્તિ 8.1

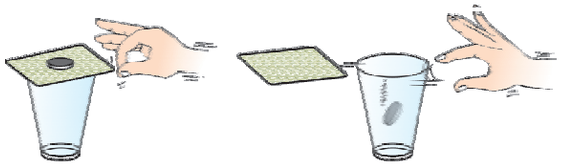
- આકૃતિ 8.6માં દર્શાવ્યા અનુસાર કૅરમની એકસરખી કૂકરીઓ (Coins)ને ગોઠવી થપ્પી (Pile) બનાવો.
- અન્ય એક કૂકરી અથવા સ્ટ્રાઇકરને પોતાની આંગળીઓની મદદથી સમક્ષિતિજ દિશામાં ફટકારી થપ્પીના તળિયે અથડાવો. જો તમે કૂકરીને પૂરતી તીવ્રતાથી અથડાવશો તો ફક્ત તળિયાની કૂકરી બહાર આવી જશે. એક વાર તળિયાની કૂકરી બહાર આવી ગયા બાદ બાકીની કૂકરીઓ જડત્વના કારણે અધો દિશામાં આવી જાય છે.



આકૃતિ 8.6 : સ્ટ્રાઇકરને તીવ્ર વેગથી કૂકરીની થપ્પી સાથે અથડાવતા ફક્ત તળિયાની કૂકરી ઢગલામાંથી બહાર નીકળી જાય છે

પ્રવૃત્તિ 8.2

- આકૃતિ 8.7માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે કાચના એક ખાલી ગ્લાસ (પ્યાલા) પર કડક પત્તાંને મૂકી તેની પર એક પાંચ રૂપિયાનો સિક્કો મૂકો.
- પત્તાને આંગળી વડે સમક્ષિતિજ દિશામાં જોરથી ધક્કો મારો. જો આપણે આ પ્રક્રિયા ઝડપથી કરીશું તો પત્તું બહાર તરફ ફેંકાઈ જશે. જ્યારે સિક્કો પોતાના જડત્વને કારણે નીચેની તરફ ગતિ કરી ગ્લાસમાં પડી જાય છે.
- પત્તું ખસવા છતાં પણ સિક્કો જડત્વને કારણે પોતાની સ્થિર અવસ્થા જાળવી રાખવાનો પ્રયત્ન કરે છે.



આકૃતિ 8.7 : આંગળીથી કડક પત્તાને ધક્કો મારતાં પત્તાની ઉપર રાખેલ સિક્કો નીચે રાખેલ ગ્લાસ (પ્યાલા)માં પડે છે

પ્રવૃત્તિ 8.3

- પાણી ભરેલ ગ્લાસ (પ્યાલો) કોઈ ટ્રે પર મૂકો.
- ટ્રેને હાથથી પકડી જેટલું થઈ શકે તેટલા જોરથી ગોળ ફેરવો.
- આપણે જોઈએ છીએ કે પાણી છલકાય છે. કેમ ?

અવલોકન કરો કે રકાબીમાં ચાનો કપ રાખવા માટે ખાંચો આપેલ હોય છે, અચાનક ધક્કો વાગવાની સ્થિતિમાં રકાબીનો ખાંચો કપને ડગમગ થઈને ગબડી પડતો અટકાવે છે.

8.3 જડત્વ તથા દળ (દ્રવ્યમાન) (Inertia and Mass)

અત્યાર સુધી આપેલ ઉદાહરણો તેમજ પ્રવૃત્તિઓ દર્શાવે છે કે પ્રત્યેક વસ્તુ પોતાની ગતિની અવસ્થામાં થતા ફેરફારનો વિરોધ કરે છે. જો તે સ્થિર અવસ્થામાં હોય તો સ્થિર અને ગતિમાન અવસ્થામાં હોય તો સતત ગતિમાં રહેવાનો પ્રયત્ન કરે છે. વસ્તુના આ ગુણને તેનું જડત્વ કહે છે. શું બધી જ વસ્તુઓનું જડત્વ સમાન હોય છે ? આપણે જાણીએ છીએ કે પુસ્તકોથી ભરેલા બૉક્સની સાપેક્ષે ખાલી બૉક્સને ધક્કો મારવો સરળ છે. તે જ રીતે જો આપણે એક ફૂટબૉલને કિક મારીએ તો તે દૂર સુધી ગતિ કરે છે જ્યારે તેટલા જ બળથી તેટલા જ કદના પથ્થરને કિક મારીએ તો તે ભાગ્યે જ ગતિ કરશે. એવું પણ બની શકે કે આવું કરતી વખતે આપણા પગને ઈજા પણ થાય. તે જ રીતે પ્રવૃત્તિ 8.2માં પાંચ રૂપિયાના સિક્કાને બદલે જો એક રૂપિયાનો સિક્કો લઈએ તો આપણે જોઈ શકીએ છીએ કે, આ જ ક્રિયા કરવા માટે આપણને ઓછા બળની જરૂર પડે છે. એક હાથલારીને ગતિ આપવા માટે જેટલા બળની જરૂરિયાત હોય છે તેટલું જ બળ જો ટ્રેન પર લગાડવામાં આવે તો તેની ગતિમાં અવગણ્ય (નગણ્ય) ફેરફાર થાય છે. કારણ કે હાથલારીની સાપેક્ષમાં ટ્રેન પોતાની ગતિમાં ફેરફારનું વલણ ઓછું ધરાવે છે. આ રીતે આપણે કહી શકીએ કે ટ્રેનનું જડત્વ હાથલારી કરતાં વધુ છે. આ પરથી સ્પષ્ટ થાય છે કે, ભારે અથવા વધારે દળદાર વસ્તુઓનું જડત્વ વધારે હોય છે. માત્રાત્મક રૂપે કોઈ વસ્તુનું જડત્વ તેના દળ દ્વારા માપી શકાય છે. આમ, આપણે જડત્વ તથા દળને નીચે પ્રમાણે સાંકળી શકીએ :

જડત્વ એ પદાર્થનું એવું કુદરતી વલણ છે જે પદાર્થની સ્થિર કે ગતિમાન અવસ્થામાં થતા ફેરફારનો વિરોધ કરે છે. કોઈ વસ્તુનું દળ તેના જડત્વનું માપ છે.

પ્રશ્નો :

1. નીચેના પૈકી કોનું જડત્વ વધુ છે : (a) રબરનો દડો અને તેટલા જ પરિમાણવાળો પથ્થર (b) સાઇકલ અને ટ્રેન (c) પાંચ રૂપિયાનો સિક્કો અને એક રૂપિયાનો સિક્કો
2. નીચે આપેલા ઉદાહરણમાં દડાનો વેગ કેટલી વાર બદલાય છે તે જાણવાનો પ્રયાસ કરો : ''ફૂટબૉલનો એક ખેલાડી બૉલ પર કિક મારીને બૉલને પોતાની ટીમના બીજા ખેલાડી પાસે પહોંચાડે છે. બીજો ખેલાડી તે દડાને કિક મારીને ગોલ તરફ પહોંચાડવાનો પ્રયત્ન કરે છે. પ્રતિસ્પર્ધી ટીમનો ગોલકીપર દડાને પકડે છે અને પોતાની ટીમના ખેલાડી તરફ કિક મારે છે.'' સાથે-સાથે દરેક કિસ્સામાં બળ લગાડનાર કારક (Agent) પણ ઓળખી બતાવો.
3. કોઈ ઝાડની ડાળીને તીવ્રતાથી હલાવતાં કેટલાંક પર્ણો ડાળીમાંથી કેમ છૂટા પડી જાય છે તે સમજાવો.
4. જ્યારે કોઈ ગતિશીલ બસ અચાનક સ્થિર થઈ જાય તો તમે આગળ તરફ નમી પડો છો અને સ્થિર બસ અચાનક ગતિમાન થાય તો પાછળ તરફ નમી પડો છો - કેમ ?

8.4 ગતિનો બીજો નિયમ (Second Law of Motion)

ગતિનો પ્રથમ નિયમ દર્શાવે છે કે જ્યારે કોઈ અસંતુલિત બાહ્ય બળ કોઈ વસ્તુ પર લાગે તો તેના વેગમાં ફેરફાર થાય છે, એટલે

કે વસ્તુ પ્રવેગ પ્રાપ્ત કરે છે. હવે, આપણે એ વાતનો અભ્યાસ કરીશું કે કોઈ વસ્તુનો પ્રવેગ તેના પર લગાડેલ બળ પર કેવી રીતે આધાર રાખે છે તથા તે બળને કેવી રીતે માપી શકાય છે. આવો, આપણે રોજબરોજના કેટલાક અનુભવોને યાદ કરીએ. ટેબલટેનિસની રમત દરમિયાન દડો જો કોઈ ખેલાડીના શરીરને અથડાય તો તે ઈજા કરતો નથી પરંતુ જ્યારે ઝડપથી આવતો ક્રિકેટનો દડો કોઈ દર્શકને વાગે તો તે તેને ઈજા કરે છે. રોડની સાઇડમાં ઊભેલા ટ્રકથી કોઈ જોખમ નથી. પરંતુ 5 m s^{-1} જેટલા ઓછા વેગથી ગતિ કરતી ટ્રકની ટક્કરથી પણ તેના રસ્તામાં ઊભેલ કોઈ વ્યક્તિનું મૃત્યુ થઈ શકે છે. ઓછું દળ ધરાવતી વસ્તુ જેમકે ગોળી જો બંદૂકમાંથી તીવ્ર વેગથી છોડવામાં આવે તો તે પણ કોઈ વ્યક્તિના મૃત્યુનું કારણ બની શકે છે. આ પરથી ખ્યાલ આવે છે કે વસ્તુ દ્વારા ઉત્પન્ન થતો આઘાત (impact) વસ્તુના દળ તેમજ વેગ પર આધાર રાખે છે. આ જ રીતે જો કોઈ વસ્તુને પ્રવેગિત કરવામાં આવે તો વધારે વેગ પ્રાપ્ત કરાવવા માટે વધારે બળની જરૂર પડે છે. બીજા શબ્દોમાં આપણે કહી શકીએ કે વસ્તુના દળ તેમજ વેગ સાથે સંબંધિત એક મહત્ત્વપૂર્ણ રાશિ અસ્તિત્વ ધરાવે છે. ન્યૂટને આ રાશિને વેગમાન તરીકે ઓળખાવી હતી. કોઈ વસ્તુનું વેગમાન p તેના દળ m અને વેગ v ના ગુણાકારથી વ્યાખ્યાયિત કરી શકાય છે. એટલે કે,

$$p = mv \tag{8.1}$$

વેગમાનને દિશા અને માન (મૂલ્ય) બંને છે. તે વેગ v ની દિશામાં હોય છે. વેગમાનનો SI એકમ કિલોગ્રામ-મીટર/સેકન્ડ (kg m s^{-1}) છે. કોઈ અસંતુલિત બળ વડે વસ્તુના વેગમાં પરિવર્તન થતું હોવાથી એ સ્પષ્ટ છે કે બળ દ્વારા જ વેગમાનમાં ફેરફાર થાય છે.

એક એવી સ્થિતિનો વિચાર કરો કે જેમાં ખરાબ બૅટરીવાળી કારને સુરેખ રસ્તા પર 1 m s^{-1}નો વેગ પ્રાપ્ત કરવા માટે ધક્કો મારવામાં આવે છે, જે તેના એન્જિનને ચાલુ કરવા માટે પૂરતો છે. જો એક કે બે વ્યક્તિ તેને ક્ષણિક ધક્કો (અસંતુલિત બળ) મારે તો તે ભાગ્યે જ ચાલુ થશે. પણ જો થોડા સમય સુધી સતત ધક્કો મારવામાં આવે તો કારમાં ઉદ્‌ભવતા ક્રમિક પ્રવેગથી તે આપેલ ઝડપ પ્રાપ્ત કરે છે. આનો અર્થ એ થયો કે કારના વેગમાનનો ફેરફાર ફક્ત બળના મૂલ્ય વડે માપી શકાતો નથી; પરંતુ જેટલા સમય સુધી બળ લાગે છે તે સમયગાળો પણ ધ્યાનમાં લેવો પડે. આ પરથી એ તારણ કાઢી શકાય કે કોઈ વસ્તુના વેગમાનમાં ફેરફાર કરવા જરૂરી બળ, વેગમાનનો ફેરફાર જે સમય-દરથી થાય છે તેના પર આધાર રાખે છે.

ગતિનો બીજો નિયમ કહે છે કે કોઈ વસ્તુના વેગમાનના ફેરફારનો સમય-દર તેના પર બળની દિશામાં લાગતાં અસંતુલિત બળ જેટલો હોય છે.

8.4.1 ગતિના બીજા નિયમની ગાણિતિક તારવણી (Mathematical formulation of second law of motion)

ધારો કે કોઈ m દળ ધરાવતી વસ્તુ સુરેખ પથ પર u જેટલા પ્રારંભિક વેગથી ગતિ કરે છે. t સમયમાં નિયમિત પ્રવેગી ગતિ કરી અચળ બળ F ની અસર હેઠળ v જેટલો વેગ પ્રાપ્ત કરે છે. વસ્તુનું પ્રારંભિક અને અંતિમ વેગમાન અનુક્રમે $p_1 = mu$ અને $p_2 = mv$.

વેગમાનમાં થતો ફેરફાર $\propto p_2 - p_1$

$\propto mv - mu$

$\propto m \times (v - u)$

વેગમાનના ફેરફારનો દર $\propto \dfrac{m \times (v-u)}{t}$

અથવા લાગુ પડેલ બળ,

$$F \propto \frac{m \times (v-u)}{t}$$

$$F = \frac{km \times (v-u)}{t} \tag{8.2}$$

$$= kma \tag{8.3}$$

અહીં $a\left[= \dfrac{(v-u)}{t}\right]$ પ્રવેગ છે, જે વેગના ફેરફારનો દર છે. k સપ્રમાણતાનો અચળાંક છે. દળ અને પ્રવેગના SI એકમો અનુક્રમે kg અને m s^{-2} છે. આપણે બળનો એકમ એવો પસંદ કરીશું કે જેથી અચળાંક k નું મૂલ્ય એક થાય. આ માટે 1 એકમ બળને આ પ્રમાણે વ્યાખ્યાયિત કરવામાં આવે છે. 1 kg દળની વસ્તુમાં 1 m s^{-2} નો પ્રવેગ ઉત્પન્ન કરવા માટે જરૂરી બળ 1 એકમ છે.

તેથી 1 એકમ બળ $= k \times (1\text{ kg}) \times (1\text{m s}^{-2})$

આમ, k નું મૂલ્ય 1 બને છે. સમીકરણ (8.3) પરથી,

$$F = ma \tag{8.4}$$

બળનો એકમ kg m s^{-2} અથવા ન્યૂટન છે, તેની સંજ્ઞા N છે. ગતિનો બીજો નિયમ પદાર્થ પર

લાગતા બળના માપનની પદ્ધતિ આપે છે, જે તેના દળ અને પ્રવેગનો ગુણાકાર છે.

ગતિના બીજા નિયમનો ઉપયોગ રોજિંદા જીવનમાં વારંવાર જોવા મળે છે. શું તમે નોધ્યું છે કે, ક્રિકેટ મૅચ દરમિયાન મેદાનમાં ફિલ્ડર ખૂબ જ ઝડપથી આવતાં દડાને કૅચ કરતી વખતે હાથને પાછળની બાજુ લઈ જાય છે ? આમ કરવાથી ફિલ્ડર ખૂબ જ ઝડપથી ગતિ કરતાં દડાનો વેગ શૂન્ય કરવા માટે લાગતો સમય વધારી દે છે. તેથી દડાના પ્રવેગમાં ઘટાડો થાય છે અને તેને પરિણામે ખૂબ જ ઝડપથી ગતિ કરતાં દડાને કૅચ કરતી વખતે લાગતો આઘાત (impact) ઘટાડી શકાય છે (આકૃતિ 8.8). જો દડાને અચાનક રોકવામાં આવે તો તેનો ઝડપી વેગ ખૂબ જ ટૂંકા સમયગાળામાં શૂન્ય થઈ જાય છે. આથી દડાના વેગમાનમાં થતો ફેરફારનો દર ઘણો મોટો થશે. આથી કૅચ પકડવા માટે વધારે બળ લગાડવું પડશે, જેના પરિણામે ફિલ્ડરની હથેળીમાં ઈજા થવાની શક્યતા છે. ઊંચી કૂદની રમતમાં ખેલાડીઓ ગાદલા પથારી કે રેતીની પથારી પર કૂદકો લગાવે છે. આવું ખેલાડીઓના છલાંગ લગાવ્યા બાદ નીચે પડવા માટે લાગતા સમયને વધારવા માટે કરવામાં આવે છે. જે વેગમાનમાં થતા ફેરફારનો દર અને પરિણામે બળ પણ ઘટાડે છે. વિચારવાનો પ્રયત્ન કરો કે કરાટેનો ખેલાડી એક જ ફટકામાં બરફની પાટને કેવી રીતે તોડી નાંખે છે.



આકૃતિ 8.8 : ક્રિકેટની રમતમાં કૅચ પકડવા માટે ફિલ્ડર દડાની સાથે પોતાના હાથને ધીરે ધીરે પાછળની તરફ લઈ જાય છે.

ગતિના બીજા નિયમના ગાણિતિક સૂત્રના ઉપયોગ દ્વારા ગતિના પ્રથમ નિયમને ગાણિતિક સ્વરૂપે મેળવી શકાય છે. સમીકરણ (8.4) પરથી,

$$F = ma$$

અથવા $$F = \frac{m(v-u)}{t} \qquad (8.5)$$

અથવા $Ft = mv - mu$

એટલે કે, જ્યારે $F = 0$ હોય ત્યારે કોઈ પણ સમય t માટે $v = u$. તેનો અર્થ એ થયો કે વસ્તુ સમાન વેગ u થી સમગ્ર સમય t દરમિયાન ગતિ ચાલુ રાખશે. જો u શૂન્ય હોય તો v પણ શૂન્ય થશે એટલે કે વસ્તુ સ્થિર રહેશે.

ઉદાહરણ 8.1 : એક 5 kg દ્રવ્યમાન ધરાવતી વસ્તુ પર 2 s માટે અચળ બળ લાગે છે. જે વસ્તુનો વેગ 3m s^{-1}થી વધારીને 7 m s^{-1} કરે છે. લગાડેલ બળનું મૂલ્ય શોધો. હવે, જો આ બળ 5 s માટે લગાડવામાં આવે. તો વસ્તુનો અંતિમ વેગ કેટલો હશે ?

ઉકેલ :

આપણને આપેલ છે :

$u = 3$ m s^{-1} તથા $v = 7$ m s^{-1}

$t = 2$ s અને $m = 5$ kg

સમીકરણ (8.5) પરથી, $F = \frac{m(v-u)}{t}$

આ સમીકરણમાં મૂલ્યો મૂકતાં

$$F = \frac{5 \text{ kg } \left(7 \text{ ms}^{-1} - 3 \text{ ms}^{-1}\right)}{2\text{s}}$$

$$F = 10 \text{ N}$$

હવે, જો આ બળ 5 s ($t = 5$ s) ના સમયગાળા માટે લગાડવામાં આવે, તો અંતિમ વેગની ગણતરી સમીકરણ 8.5ને નીચે પ્રમાણે ફરીથી લખીને મેળવી શકાય છે.

$$v = u + \frac{Ft}{m}$$

u, F, m અને t નાં મૂલ્યો મૂકતાં આપણને અંતિમ વેગ,

$v = 13$ m s^{-1} મળે છે.

ઉદાહરણ 8.2 : કઈ બાબતમાં વધારે બળની જરૂર પડશે ? 2 kg દળ ધરાવતી વસ્તુને 5 m s^{-2} ના દરે પ્રવેગિત કરવા માટે કે 4 kg દળ ધરાવતી વસ્તુને 2 m s^{-2}ના દરથી પ્રવેગિત કરવા માટે ?

ઉકેલ :

સમીકરણ (8.4) પરથી, $F = ma$

અહીં, $m_1 = 2$ kg, $a_1 = 5$ m s^{-2} તથા

$m_2 = 4$ kg, $a_2 = 2$ m s^{-2}

તેથી, $F_1 = m_1 a_1 = 2 \text{ kg} \times 5 \text{ m s}^{-2} = 10$ N તથા

$F_2 = m_2 a_2 = 4 \text{ kg} \times 2 \text{ m s}^{-2} = 8$ N

$\Rightarrow F_1 > F_2$

આમ, 2 kg દળ ધરાવતી વસ્તુને 5 m s^{-2}ના દરે પ્રવેગિત કરવા માટે વધારે બળની જરૂર પડશે.

ઉદાહરણ 8.3 : 108 km/h ના વેગથી ગતિ કરતી કારમાં બ્રેક લગાડતાં તે સ્થિર થવા માટે 4 sનો સમય લે છે. કાર પર બ્રેક લાગવાના કારણે લાગતાં બળની ગણતરી કરો. કારનું મુસાફરો સાથેનું કુલ દળ 1000 kg છે.

ઉકેલ :

કારનો પ્રારંભિક વેગ $u = 108$ km/h

$= 108 \times 1000 \text{ m}/(60 \times 60 \text{ s})$

$= 30 \text{ m s}^{-1}$

તથા કારનો અંતિમ વેગ, $v = 0 \text{ m s}^{-1}$

કારનું મુસાફરો સહિત કુલ દળ $m = 1000$ kg તથા કારને રોકવામાં લાગતો સમય $t = 4$ s. સમીકરણ (8.5) પરથી

બ્રેક દ્વારા લાગતા બળનું માન $F = \dfrac{m(v-u)}{t}$

આ સમીકરણમાં મૂલ્યો મૂકતાં,

$$F = \frac{1000 \text{ kg} \times (0 - 30) \text{ m s}^{-1}}{4 \text{ s}}$$

$= -7500 \text{ kg m s}^{-2}$ અથવા -7500 N.

અહીં ઋણ ચિહ્ન દર્શાવે છે કે બ્રેક દ્વારા લગાડેલ બળ કારની ગતિની વિરુદ્ધ દિશામાં છે.

ઉદાહરણ 8.4 : 5 N નું એક બળ કોઈ દળ m_1ને 10 m s^{-2}ના પ્રવેગથી પ્રવેગિત કરે છે તથા દળ m_2ને 20 m s^{-2}ના પ્રવેગથી પ્રવેગિત કરે છે. જો બંને દળને ભેગા બાંધી દેવામાં આવે, તો આ બળ દ્વારા કેટલો પ્રવેગ ઉત્પન્ન થશે ?

ઉકેલ :

સમીકરણ (8.4) પરથી $m_1 = \dfrac{F}{a_1}$ તથા $m_2 = \dfrac{F}{a_2}$

અહીં $a_1 = 10$ m s^{-2}, $a_2 = 20$ m s^{-2} તથા $F = 5$ N

તેથી, $m_1 = \dfrac{5 \text{ N}}{10 \text{ m s}^{-2}} = 0.50$ kg અને

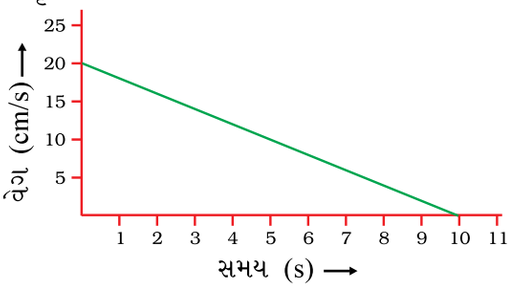
$$m_2 = \frac{5 \text{ N}}{20 \text{ m s}^{-2}} = 0.25 \text{ kg}.$$

જ્યારે બંને દળને ભેગા બાંધવામાં આવે ત્યારે કુલ દળ $m = 0.50$ kg + 0.25 kg

$= 0.75$ kg.

તેથી સંયુક્ત દળ પર 5 N બળ દ્વારા ઉત્પન્ન થતો પ્રવેગ $a = \dfrac{F}{m} = \dfrac{5 \text{ N}}{0.75 \text{ kg}} = 6.67 \text{ m s}^{-2}$

ઉદાહરણ 8.5 : એક લાંબા ટેબલ પર સુરેખ પથ પર ગતિ કરતાં 20 g દળના દડા માટે વેગ-સમયનો આલેખ આકૃતિ 8.9માં દર્શાવેલ છે.



આકૃતિ 8.9

દડાને સ્થિર સ્થિતિમાં લાવવા માટે ટેબલ દ્વારા કેટલું બળ લગાડવું પડશે ?

ઉકેલ :

દડાનો પ્રારંભિક વેગ 20 cm s^{-1} છે. ટેબલ દ્વારા દડા પર લાગતાં ઘર્ષણબળને કારણે દડાનો વેગ 10 sમાં શૂન્ય થાય છે. તેથી $u = 20$ cm s^{-1}, $v = 0$ cm s^{-1} અને $t = 10$ s. વેગ-સમયનો આલેખ સુરેખ છે તે દર્શાવે છે કે દડો અચળ પ્રવેગથી ગતિ કરે છે. તેથી પ્રવેગ,

$$a = \frac{v-u}{t} = \frac{\left(0 \text{ cm s}^{-1} - 20 \text{ cm s}^{-1}\right)}{10 \text{ s}}$$

$= -2 \text{ cm s}^{-2}$

$= -0.02 \text{ m s}^{-2}$

દડા પર લાગતું ઘર્ષણબળ,

$$F = ma$$

$$= \left(\frac{20}{1000}\right)\text{kg} \times \left(-0.02\ \text{m s}^{-2}\right)$$

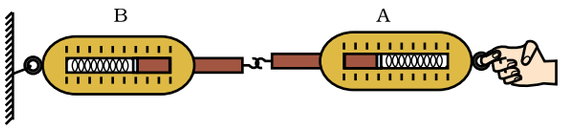
$$= -0.0004\ \text{N}$$

અહીં, ઋણ ચિહ્ન દર્શાવે છે કે ટેબલ દ્વારા લાગતું ઘર્ષણબળ દડાની ગતિની વિરુદ્ધ દિશામાં છે.

8.5 ગતિનો ત્રીજો નિયમ (Third Law of Motion)

ગતિના પ્રથમ બે નિયમો આપણને જણાવે છે કે કેવી રીતે લગાડેલ બળ ગતિમાં ફેરફાર કરે છે તથા તે બળના માપનની પદ્ધતિ પણ આપે છે. ગતિનો ત્રીજો નિયમ દર્શાવે છે કે, જ્યારે એક વસ્તુ બીજી વસ્તુ પર બળ લગાડે છે ત્યારે બીજી વસ્તુ પણ તત્કાળ પહેલી વસ્તુ પર બળ લગાડે છે. આ બંને બળો હંમેશાં સમાન મૂલ્યનાં અને પરસ્પર વિરુદ્ધ દિશામાં હોય છે. આ બળો અલગ-અલગ વસ્તુઓ પર લાગે છે તે કદાપિ એક જ વસ્તુ પર લાગતાં ન હોઈ શકે. ફૂટબૉલની રમતમાં ઘણી વાર આપણે ફૂટબૉલ તરફ જોવામાં અને તેને વધારે બળથી કિક મારવાના પ્રયત્ન વખતે પ્રતિસ્પર્ધી ટીમના ખેલાડી સાથે અથડાઈ પડીએ છીએ. આ ઘટનામાં બંને ખેલાડી ઈજાગ્રસ્ત થાય છે, કારણ કે બંને એકબીજા પર બળ લગાડે છે. બીજા શબ્દોમાં એકલા-અટૂલા બળનું અસ્તિત્વ શક્ય નથી. બળો હંમેશાં જોડમાં હોય છે. આ બંને પરસ્પર વિરોધી બળોને ક્રિયા બળ તથા પ્રતિક્રિયા બળ પણ કહે છે.

આકૃતિ 8.10માં દર્શાવ્યા મુજબ એકબીજા સાથે જોડેલા બે સ્પ્રિંગ બૅલેન્સ (વજન કાંટા)નો વિચાર કરો. સ્પ્રિંગ બૅલેન્સ Bનો સ્થિર છેડો એક દીવાલ જેવા દૃઢ આધાર સાથે જડિત કરેલ છે. જ્યારે સ્પ્રિંગ બૅલેન્સ Aના મુક્ત છેડા પાસે બળ લગાડવામાં આવે ત્યારે જોઈ શકાય છે કે, બંને સ્પ્રિંગ બૅલેન્સ તેમના સ્કેલ પર એકસરખું રીડિંગ દર્શાવે છે. એનો અર્થ એ થયો કે સ્પ્રિંગ બૅલેન્સ A દ્વારા સ્પ્રિંગ બૅલેન્સ B પર લાગતું બળ અને સ્પ્રિંગ બૅલેન્સ B દ્વારા સ્પ્રિંગ બૅલેન્સ A પર લાગતું બળ સમાન પરંતુ દિશા વિરુદ્ધ દિશામાં છે. આમાં કોઈપણ એક બળને ક્રિયાબળ અને અન્ય બળને પ્રતિક્રિયા બળ કહે છે. આ ન્યૂટનના ગતિના ત્રીજા નિયમનું વૈકલ્પિક વિધાન આપે છે, એટલે કે દરેક ક્રિયાબળ સામે સમાન મૂલ્યનું અને વિરુદ્ધ દિશામાં પ્રતિક્રિયાબળ લાગે છે. તેમ છતાં યાદ રાખો કે ક્રિયાબળ અને પ્રતિક્રિયાબળ હંમેશાં બે જુદી-જુદી વસ્તુઓ પર એકસાથે લાગે છે.

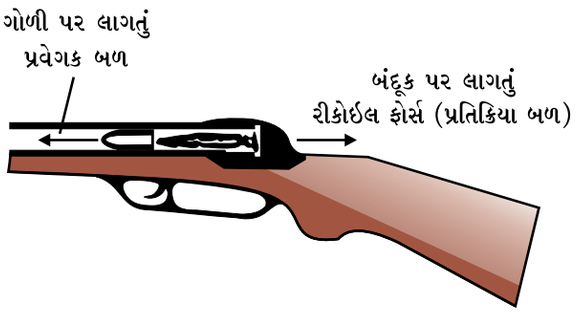


આકૃતિ 8.10 : ક્રિયા અને પ્રતિક્રિયાબળ સમાન તથા વિરુદ્ધ દિશામાં હોય છે

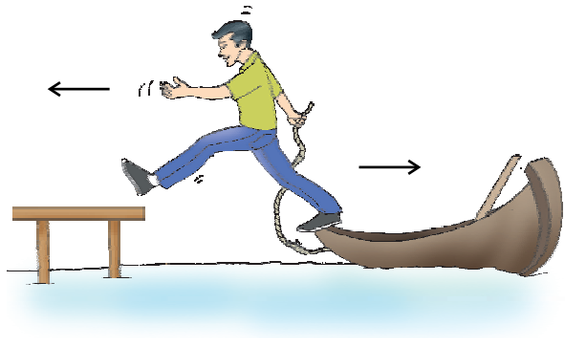
ધારો કે તમે સ્થિર ઊભા છો અને રસ્તા પર ચાલવાનું શરૂ કરવાનો ઇરાદો કરો છો. ગતિના બીજા નિયમ અનુસાર આ માટે એક બળની જરૂરિયાત ઊભી થાય છે કે જે તમારા શરીરમાં પ્રવેગ ઉત્પન્ન કરે. આ બળ કયું છે ? શું તે સ્નાયુબળ છે જે તમે રસ્તા પર લગાવો છો ? શું આ બળ આપણે તે જ દિશામાં લગાડીએ છીએ જે દિશામાં આપણે આગળ વધવું હોય ? ના, તમે રસ્તા પર બળ પાછળની તરફ લગાવો છો. રસ્તા વડે તે જ સમયે તમારા પગ પર તેટલા જ મૂલ્યનું; પરંતુ વિરુદ્ધ દિશામાં પ્રતિક્રિયા બળ લાગે છે કે જેથી તમે આગળ વધી શકો.

અહીં, એ નોંધવું જરૂરી છે કે ક્રિયા તથા પ્રતિક્રિયા બળ મૂલ્યમાં સમાન હોવા છતાં દરેક વખતે સમાન પ્રવેગ ઉત્પન્ન કરતાં નથી, કારણ કે આ બળો અલગ-અલગ વસ્તુ પર લાગે છે જેમનાં દળ અસમાન પણ હોઈ શકે.

બંદૂક દ્વારા ગોળી છોડવાની ઘટનામાં બંદૂક દ્વારા ગોળી પર આગળની તરફ એક બળ લાગે છે. ગોળી પણ બંદૂક પર તેટલા જ મૂલ્યનું પરંતુ વિરુદ્ધ દિશામાં બળ લગાડે છે, તેનાથી બંદૂક પાછળ તરફ ધકેલાય છે જે બંદૂકને રીકોઈલ કરવામાં પરિણમે છે (આકૃતિ 8.11). બંદૂકનું દળ ગોળીના દળ કરતાં ઘણું વધારે હોવાથી બંદૂકનો પ્રવેગ ગોળીના પ્રવેગ કરતાં ઘણો ઓછો હોય છે. એક ખલાસી દ્વારા બોટમાંથી આગળ તરફ કૂદવાની સ્થિતિ પણ ગતિના ત્રીજા નિયમનું ઉદાહરણ દર્શાવે છે. જ્યારે ખલાસી આગળ તરફ કૂદે છે ત્યારે બોટ પર લાગતું પ્રતિક્રિયા બળ બોટને પાછળ તરફ ધકેલે છે (આકૃતિ 8.12).



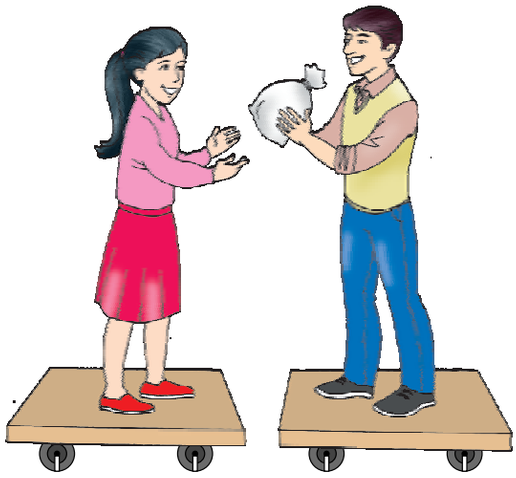
આકૃતિ 8.11 : ગોળી પર લાગતું અગ્રવર્તી બળ તથા બંદૂકનો રીકોઈલ



આકૃતિ 8.12 : જ્યારે ખલાસી આગળ તરફ કૂદે છે ત્યારે બોટ પાછળ તરફ ખસે છે.

પ્રવૃત્તિ 8.4

- બે બાળકોને ગરગડીવાળા પાટિયા (Cart) પર આકૃતિ 8.13માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે ઊભા રહેવાનું કહો.
- તેમને રેતીથી ભરેલો થેલો કે બીજી કોઈ ભારે વસ્તુ આપો. હવે તેમને આ થેલાને કૅચ કરવાની રમત રમવાનું કહો.
- શું રેતીનો થેલો ફેંકવાને કારણે તે બંને તત્કાળ બળનો અનુભવ કરશે ?
- તમે પાટિયાની ગરગડી પર એક સફેદ રેખા દોરો કે જેથી જ્યારે બંને બાળકો થેલાને ફેંકે ત્યારે બંને પાટિયાંની ગતિનું અવલોકન કરી શકાય.



આકૃતિ 8.13

બંને બાળકોને કોઈ એક પાટિયા પર ઊભા રાખો તથા બીજા એક બાળકને બીજા પાટિયા પર ઊભો રાખો. અહીં તમે ગતિના બીજા નિયમનો અનુભવ કરી શકો, કારણ કે આ સ્થિતિમાં એક જ બળ જુદો-જુદો પ્રવેગ ઉત્પન્ન કરશે.

આ પ્રવૃત્તિમાં દર્શાવેલ પાટિયું 50 cm × 100 cm માપના 12 mm કે 18 mm જાડાઈના પ્લાયવુડ બૉર્ડ અને બે જોડ બૉલ-બેરિંગ વ્હીલ દ્વારા બનાવી શકાય છે. (સ્કેટ વ્હીલનો ઉપયોગ વધારે સારો પડશે.) સ્કેટબૉર્ડ અહીં એટલું અસરકારક નહિ રહે કારણ કે તેના દ્વારા સુરેખ પથ પર ગતિ કરવી મુશ્કેલ છે.



તમે શું શીખ્યાં

What You Have Learnt

- ગતિનો પ્રથમ નિયમ : વસ્તુ પોતાની સ્થિર અવસ્થા કે સુરેખ પથ પર નિયમિત વેગથી ગતિની અવસ્થા ત્યાં સુધી જાળવી રાખે છે જ્યાં સુધી તેની પર અસંતુલિત બળ ન લાગે.
- વસ્તુઓ દ્વારા પોતાની સ્થિર કે નિયમિત ગતિની અવસ્થામાં થતા ફેરફારનો વિરોધ કરવાના ગુણધર્મને જડત્વ કહે છે.
- કોઈ વસ્તુનું દળ તેના જડત્વનું માપ દર્શાવે છે. તેનો SI એકમ કિલોગ્રામ (kg) છે
- ઘર્ષણબળ હંમેશાં વસ્તુની ગતિનો વિરોધ કરે છે.
- ગતિનો બીજો નિયમ : કોઈ વસ્તુના વેગમાનમાં થતા ફેરફારનો દર તેના પર બળની દિશામાં લાગતા અસંતુલિત બળ જેટલો હોય છે.

- બળનો SI એકમ kg m s^{-2} છે. જેને ન્યૂટન તરીકે પણ ઓળખવામાં આવે છે અને તેની સંજ્ઞા N છે. 1 ન્યૂટન જેટલું બળ 1 kg દળ ધરાવતા પદાર્થમાં 1 m s^{-2} જેટલો પ્રવેગ ઉત્પન્ન કરે છે.
- વસ્તુના દળ અને વેગના ગુણાકારને તેનું વેગમાન કહે છે અને તે વેગની દિશામાં જ હોય છે. તેનો SI એકમ kg m s^{-1} છે.
- ગતિનો ત્રીજો નિયમ : ક્રિયાબળ અને પ્રતિક્રિયાબળ સમાન મૂલ્યનાં અને પરસ્પર વિરુદ્ધ દિશામાં હોય છે અને તે બંને બળો અલગ-અલગ વસ્તુઓ પર લાગે છે.

સ્વાધ્યાય (Exercise)



1. કોઈ વસ્તુ શૂન્ય અસંતુલિત બાહ્યબળ અનુભવે છે. શું તે વસ્તુ માટે અશૂન્ય વેગથી ગતિ કરવી શક્ય છે ? જો હા તો અનિવાર્ય શરતોનો ઉલ્લેખ કરો.
2. જ્યારે કાર્પેટ (જાજમ)ને લાકડી વડે ફટકારવામાં આવે છે ત્યારે તેમાંથી ધૂળ બહાર આવે છે - સમજાવો.
3. બસની છત પર મૂકેલ સામાનને દોરડા વડે બાંધવાની સલાહ કેમ આપવામાં આવે છે ?
4. કોઈ બૅટ્સમૅન દ્વારા ક્રિકેટના બૉલને ફટકારાતાં તે જમીન પર ગબડે છે અને અમુક અંતર કાપીને સ્થિર થાય છે. દડો ધીમો પડી અને અટકે છે. કારણ કે,
   (a) બૅટ્સમૅન દ્વારા ક્રિકેટના બૉલને પૂરતા પ્રયત્નથી ફટકાર્યો નથી.
   (b) વેગ બૉલ પર લગાડેલ બળના સમપ્રમાણમાં છે.
   (c) બૉલની ગતિની વિરુદ્ધ દિશામાં એક બળ લાગી રહ્યું છે.
   (d) બૉલ પર કોઈ અસંતુલિત બળ કાર્યરત નથી તેથી બૉલ સ્થિર થવાનો પ્રયત્ન કરે છે.
5. સ્થિર અવસ્થામાં રહેલી એક ટ્રક કોઈ ટેકરી પરથી નીચે તરફ અચળ પ્રવેગથી ગતિની શરૂઆત કરે છે. તે 20 sમાં 400 m અંતર કાપે છે. તેનો પ્રવેગ શોધો. જો તેનું દળ 7 ટન હોય, તો તેના પર લાગતું બળ શોધો. (1 ટન = 1000 kg)
6. 1 kg દળ ધરાવતા એક પથ્થરને 20 m s^{-1} ના વેગથી તળાવની થીજી ગયેલ પાણીની સપાટી પર સપાટીને સમાંતર ફેંકવામાં આવે છે. પથ્થર 50 m અંતર કાપ્યા બાદ અટકી જાય છે. પથ્થર અને બરફ વચ્ચે લાગતું ઘર્ષણબળ કેટલું હશે ?
7. 8000 kg દળ ધરાવતું રેલવે એન્જિન 2000 kg દળ ધરાવતા તેના પાંચ ડબાઓને પાટા પર સમક્ષિતિજ દિશામાં ખેંચે છે. જો એન્જિન 40,000 N બળ લગાડતું હોય તથા પાટા દ્વારા 5000 N ઘર્ષણબળ લાગતું હોય તો,
   (a) ચોખ્ખું પ્રવેગી બળ અને
   (b) ટ્રેનના પ્રવેગની ગણતરી કરો.
8. એક વાહનનું દળ 1500 kg છે. જો વાહન 1.7 m s^{-2} ના પ્રતિપ્રવેગ (ઋણ પ્રવેગ)થી સ્થિર થતી હોય તો વાહન તથા રસ્તા વચ્ચે લાગતું બળ કેટલું હશે ?

9. કોઈ m દળની વસ્તુ જેનો વેગ v છે. તેનું વેગમાન કેટલું હશે ?
(a) $(mv)^2$ (b) mv^2 (c) $\frac{1}{2}mv^2$ (d) mv

10. જો આપણે લાકડાની એક પેટીને 200 N જેટલું સમક્ષિતિજ બળ લગાડીને અચળ વેગથી લાદી પર ધકેલીએ તો પેટી પર લાગતું ઘર્ષણબળ કેટલું હશે ?

11. ગતિના ત્રીજા નિયમ અનુસાર જ્યારે આપણે કોઈ વસ્તુને ધક્કો મારીએ ત્યારે તે વસ્તુ તેટલાં જ બળથી આપણને વિરુદ્ધ દિશામાં ધક્કો મારતી હોય છે. જો આ વસ્તુ રસ્તાના છેડે ઊભેલ ટ્રક હોય તો આપણા દ્વારા લગાડેલ બળથી તે ગતિમાં આવતી નથી. એક વિદ્યાર્થી આ ઘટનાને સમજાવતાં કહે છે કે બે બળો સમાન અને પરસ્પર વિરુદ્ધ દિશામાં છે જે એકબીજાની અસરો નાબૂદ કરે છે. આ તર્ક પર તમારાં સૂચન આપો અને બતાવો કે ટ્રક ગતિમાં કેમ નથી આવતી ?

12. 10 m s^{-1} ના વેગથી ગતિ કરતા 200 g દળના હૉકીના બૉલને હૉકીસ્ટિક વડે ફટકારતાં તે મૂળ ગતિની વિરુદ્ધ દિશામાં 5 m s^{-1}ના વેગથી પાછો ફરે છે. આ ગતિ દરમિયાન હૉકી સ્ટિક વડે લાગતા બળથી હૉકીના બૉલના વેગમાનમાં થતો ફેરફાર ગણો.

13. 10 g દળ ધરાવતી એક ગોળી સમક્ષિતિજ દિશામાં 150 m s^{-1} ના વેગથી ગતિ કરી લાકડાના એક બ્લૉક સાથે અથડાઈ તેમાં ઘૂસીને 0.03 sમાં સ્થિર થાય છે. ગોળીએ બ્લૉકમાં ઘૂસ્યા બાદ કેટલું અંતર કાપ્યું હશે ? લાકડાના બ્લૉક દ્વારા ગોળી પર લાગતા બળના મૂલ્યની પણ ગણતરી કરો.

14. 10 m s^{-1} ના વેગથી સુરેખ પથ પર ગતિ કરતી 1 kg દળ ધરાવતી વસ્તુ સ્થિર રહેલા 5 kg દળના લાકડાંના બ્લૉકને અથડાય છે. અથડામણ બાદ બંને સાથે-સાથે તે જ દિશામાં ગતિ કરે છે, તો અથડામણ પહેલાં અને પછીનું કુલ વેગમાન ગણો તથા બંનેનો સંયુક્ત વેગ પણ ગણો.

15. 100 kg દળની એક વસ્તુનો વેગ નિયમિત પ્રવેગિત કરી 6 sમાં 5 m s^{-1} થી 8 m s^{-1} કરવામાં આવે છે. વસ્તુના પ્રારંભિક અને અંતિમ વેગમાનોની ગણતરી કરો. વસ્તુ પર લાગતાં બળની પણ ગણતરી કરો.

16. અખ્તર, કિરણ અને રાહુલ કોઈ એક્સપ્રેસ હાઈવે પર તીવ્ર વેગથી ગતિ કરતી કારમાં બેઠેલા છે. અચાનક એક કીટક (Insect) ગાડીની સામેના કાચ પર અથડાય છે અને ચોંટી જાય છે. અખ્તર અને કિરણ આ સ્થિતિ પર વિચાર કરે છે. કિરણ એવું કહે છે કે, કીટકના વેગમાનમાં થતા ફેરફારનું મૂલ્ય કારના વેગમાનમાં થતા ફેરફારના મૂલ્યની સાપેક્ષમાં ખૂબ જ વધારે છે. (કારણ કે કીટકના વેગમાં થતા ફેરફારનું મૂલ્ય કારના વેગમાં થતાં ફેરફારના મૂલ્ય કરતાં ખૂબ જ વધારે છે.) અખ્તર એમ કહે છે કે કારનો વેગ પ્રચંડ હોવાથી કાર દ્વારા કીટક પર ખૂબ જ મોટું બળ લાગે

છે જેના પરિણામે કીટક મૃત્યુ પામે છે. રાહુલે એક નવો વિચાર આપતાં કહ્યું કે કાર તથા કીટક બંને પર સમાન બળ લાગ્યું તથા તેમના વેગમાનમાં સમાન ફેરફાર થયો. - આ વિચારો પર તમારી પ્રતિક્રિયા જણાવો.

17. 10 kg દળ ધરાવતી એક ડંબેલ (dumb-bell) 80 cm ઊંચાઈએથી જમીન પર પડે તો તે જમીન કેટલું વેગમાન આપશે ? તેનો અધોદિશામાં પ્રવેગ 10 m s^{-2} લો.

વધારાનું સ્વાધ્યાય (Additional Exercise)



A1. નીચેના કોષ્ટકમાં એક વસ્તુની ગતિ માટે સમય અને અંતરનાં મૂલ્યો દર્શાવ્યાં છે :

સમય સેકન્ડમાં	અંતર મીટરમાં
0	0
1	1
2	8
3	27
4	64
5	125
6	216
7	343

(a) તેના પ્રવેગ વિશે તમે શું અનુમાન કરશો ? શું તે અચળ છે, વધે છે, ઘટે છે કે શૂન્ય છે ?

(b) વસ્તુ પર લાગતાં બળ વિશે તમે શું અનુમાન કરશો ?

A2. બે વ્યક્તિઓ 1200 kg દળ ધરાવતી કારને સુરેખ રસ્તા પર નિયમિત વેગથી ધકેલી રહ્યા છે. જો આ જ કારને ત્રણ વ્યક્તિઓ ધકેલતા હોય, તો 0.2 m s^{-2} નો પ્રવેગ ઉત્પન્ન થાય છે. દરેક વ્યક્તિ કેટલા બળથી કારને ધકેલતા હશે ? (દરેક વ્યક્તિ એક સરખી સ્નાયુમય તાકાત (muscular effort)થી કારને ધકેલે છે તેમ ધારો.)

A3. 500 g દળ ધરાવતી હથોડી 50 m s^{-1} ના વેગથી એક ખીલીને અથડાય છે. ખીલી 0.01 sના ટૂંકા સમયગાળામાં હથોડીને અટકાવી દેતી હોય તો હથોડી પર ખીલી દ્વારા લાગતું બળ કેટલું હોય ?

A4. 1200 kg દળની એક કાર સુરેખ પથ પર 90 $\frac{km}{h}$ ના નિયમિત વેગથી ગતિ કરી રહી છે. બાહ્ય અસંતુલિત બળ દ્વારા તેનો વેગ 4 sમાં ઘટીને 18 $\frac{km}{h}$ જેટલો થાય છે, તો પ્રવેગ તથા વેગમાનમાં થતો ફેરફાર ગણો તથા જરૂરી બળનું મૂલ્ય પણ ગણો.