അധ്യായം 5

P8E8R9

ചലനനിയമങ്ങൾ (LAWS OF MOTION)

5.1. ആമുഖം
5.2. അരിസ്റ്റോട്ടിലിന്റെ മിഥ്യാധാരണ
5.3. ജഡത്വനിയമം
5.4. ന്യൂട്ടന്റെ ഒന്നാം ചലനനിയമം
5.5. ന്യൂട്ടന്റെ രണ്ടാം ചലനനിയമം
5.6. ന്യൂട്ടന്റെ മൂന്നാം ചലനനിയമം
5.7. ആക്കത്തിന്റെ സംരക്ഷണം
5.8. ഒരു വസ്തുവിന്റെ സംതുലനാവസ്ഥ
5.9. ബലതന്ത്രത്തിലെ സാധാരണ/ ലഘുബലങ്ങൾ
5.10. വർത്തുളചലനം
5.11. ബലതന്ത്രത്തിലെ പ്രശ്നങ്ങളുടെ പരിഹാരം
സംഗ്രഹം
വിചിന്തനവിഷയങ്ങൾ
പരിശീലനപ്രശ്നങ്ങൾ
അധിക പരിശീലനപ്രശ്നങ്ങൾ

5.1. ആമുഖം

ഒരു വസ്തു സഞ്ചരിക്കുന്നതെങ്ങനെയെന്ന് മുൻ അധ്യായത്തിൽ ചർച്ച ചെയ്തിരുന്നു. സമചലനത്തെപ്പറ്റി പഠിക്കാൻ പ്രവേഗം (velocity) മാത്രം മതിയാകുമെന്നും. അസമചലനത്തെ (non-uniform motion) കുറിച്ച് അറിയണമെങ്കിൽ പ്രവേഗത്തോടൊപ്പം ത്വരണം (acceleration) എന്ന ആശയംകൂടി പരിഗണിക്കേണ്ടിവരുമെന്നും നാം മനസ്സിലാക്കി. പ്രവേഗം, ത്വരണം എന്നിവയെ കുറിച്ചു പ്രതിപാദിക്കുമ്പോഴും വസ്തുക്കളുടെ ചലനം എപ്രകാരം സംഭവിക്കുന്നു എന്ന അടിസ്ഥാനപ്രശ്നത്തെക്കുറിച്ച് ചർച്ചചെയ്തിരുന്നില്ല. ഈ അധ്യായത്തിലൂടെ ഈ അടിസ്ഥാനപ്രശ്നത്തിനുള്ള ഉത്തരം കണ്ടെത്താൻ ശ്രമിക്കാം.

നിത്യജീവിതത്തിൽ നാം ചലനത്തിന് പല ഉദാഹരണങ്ങളും കാണാറുണ്ട്. ഇവയെ അധികരിച്ച് ഒരു ചോദ്യത്തിന് ഉത്തരം കണ്ടെത്താൻ ശ്രമിക്കാം. ഒരു പന്ത് ചലിക്കണമെങ്കിൽ ആരെങ്കിലും ആ പന്തിനെ കാലുകൊണ്ടു തട്ടിയേ മതിയാകൂ. ഒരു കല്ല് മുകളിലേക്കെറിയാൻ കല്ലിൽ മുകളിലേക്ക് ഒരു തള്ളൽ പ്രയോഗിക്കണം. ചെറിയ കാറ്റു വീശുമ്പോൾ മരച്ചില്ലകൾ ആടുന്നതു നാം കാണുന്നു. അതേസമയം ശക്തമായ കാറ്റിൽ ഭാരമേറിയ വസ്തുക്കൾക്കുപോലും ചലനം സംഭവിക്കുന്നു. ഒഴുകുന്ന നദിയിൽ തുഴഞ്ഞില്ലെങ്കിൽ പോലും വഞ്ചി ഒഴുക്കിനോടൊപ്പം മുന്നോട്ടു സഞ്ചരിക്കും. അതായത് നിശ്ചലാവസ്ഥയിലിരിക്കുന്ന വസ്തുവിനെ ചലിപ്പിക്കാനുള്ള ബലം നൽകുന്നതിന് ഒരു ബാഹ്യശക്തി ആവശ്യമായിവരുന്നുവെന്നു കാണാം. ഇതുപോലെ വസ്തുക്കളുടെ ചലനം നിർത്തുന്നതിനും ചലനവേഗത കുറക്കുന്നതിനും ഒരു ബാഹ്യബലം ആവശ്യമാണ്. ചരിഞ്ഞ പ്രതലത്തിലൂടെ താഴേക്ക് ഉരുളുന്ന പന്തിനെ പിടിച്ചുനിർത്തണമെങ്കിൽ പന്തിന്റെ ചലനദിശക്കു വിപരീതമായി ബലം പ്രയോഗിക്കേണ്ടതുണ്ട്.

ഈ ഉദാഹരണങ്ങളിലെല്ലാം ബലം നൽകുന്ന ബാഹ്യശക്തി (കൈകൾ, കാറ്റ്, നദിയുടെ ഒഴുക്ക് മുതലായവ) വസ്തുക്കളുമായി നേരിട്ട് സമ്പർക്കത്തിലാണ്. എന്നാൽ എപ്പോഴും ബാഹ്യശക്തി ഇപ്രകാരം ആയിരിക്കണമെന്നില്ല. ഒരു കെട്ടിടത്തിന്റെ മുകളിൽനിന്നും താഴേക്കിടുന്ന കല്ലിന് ഭൂമിയുടെ ഗുരുത്വാകർഷണംമൂലം താഴേക്ക് ത്വരണം സംഭവിക്കുന്നു. അൽപ്പം അകലെയിരിക്കുന്ന ഇരുമ്പാണിയെ ആകർഷിക്കാൻ കാന്തത്തിനു സാധിക്കുന്നു. അകലെയാണെങ്കിൽ പോലും ബാഹ്യശക്തികൾക്ക് **(ഉദാ:- ഗുരുത്വാകർഷണ ബലം, കാന്തിക ബലം) വസ്തുക്കളിൽ ബലം പ്രയോഗിക്കാനുള്ള കഴിവുണ്ടെന്ന് ഇതു വ്യക്തമാക്കുന്നു.**

ചുരുക്കത്തിൽ, നിശ്ചലാവസ്ഥയിലിരിക്കുന്ന വസ്തുവിനെ ചലിപ്പിക്കുന്നതിനും ചലനാവസ്ഥയിലുള്ള വസ്തുവിനെ നിശ്ചലമാക്കുന്നതിനും വേണ്ടിയുള്ള ബലം നൽകുന്നതിന് ഒരു ബാഹ്യശക്തി ആവശ്യമാണെന്നു കാണാം. ഈ ബാഹ്യശക്തി വസ്തുവുമായി നേരിട്ടു സമ്പർക്കത്തിലോ അല്ലാതെയോ ആകാം.

എന്നാൽ വസ്തു സമചലനത്തിലാണെങ്കിലോ? (ഉദാ: തിരശ്ചീനമായ മഞ്ഞുപാളിയിലൂടെ സ്ഥിരവേഗത്തിൽ സഞ്ചരിക്കുന്ന ഒരു സ്കേറ്റർ) **വസ്തുവിന്റെ സമചലനം അതേപടി തുടരുന്നതിന് ബാഹ്യബലം ആവശ്യമാണോ?**

5.2. അരിസ്റ്റോട്ടിലിന്റെ മിഥ്യാധാരണ (Aristotle's fallacy)

മുകളിൽ സൂചിപ്പിച്ച ചോദ്യം വളരെ നിസ്സാരമാണെന്നു തോന്നാം. എന്നാലതിന് തൃപ്തികരമായ ഉത്തരം കണ്ടെത്താൻ ഏറെക്കാലം കാത്തിരിക്കേണ്ടി വന്നു. പതിനേഴാം നൂറ്റാണ്ടിൽ ഗലീലിയോ ആണ് ഈ ചോദ്യത്തിന് ശരിയായ ഒരു ഉത്തരം കണ്ടെത്തിയത്. ഇത് ന്യൂട്ടോണിയൻ ബലതന്ത്രത്തിന് അടിസ്ഥാനമിടുകയും അങ്ങനെ ആധുനികശാസ്ത്രത്തിന്റെ പിറവിക്കു കാരണമാവുകയും ചെയ്തു.

ഒരു വസ്തു ചലിക്കുകയാണെങ്കിൽ അതിന്റെ ചലനം തുടർന്നുകൊണ്ടുപോകാൻ ബാഹ്യമായ ഏതോ ഒരു ശക്തി വേണമെന്നായിരുന്നു ബി.സി.384 മുതൽ ബി.സി. 322 വരെ ജീവിച്ചിരുന്ന ഗ്രീക്ക് ചിന്തകനായ അരിസ്റ്റോട്ടിലിന്റെ കാഴ്ചപ്പാട്. ഈ കാഴ്ചപ്പാടനുസരിച്ച് വില്ലിൽ നിന്ന് എയ്തുവിട്ട അമ്പ് അതിനു പിന്നിലുള്ള വായുവിന്റെ തള്ളൽമൂലം മുന്നോട്ടു സഞ്ചരിച്ചുകൊണ്ടേയിരിക്കും. പ്രപഞ്ചത്തിലെ വസ്തുക്കളുടെ ചലനത്തെക്കുറിച്ച് അരിസ്റ്റോട്ടിൽ രൂപപ്പെടുത്തിയ ആശയങ്ങളുടെ വിശാലമായ ചട്ടക്കൂടിന്റെ ഭാഗമായിരുന്നു ഈ വീക്ഷണം. എന്നാൽ പിൽക്കാലത്ത് അരിസ്റ്റോട്ടിൽ മുന്നോട്ടു വച്ച മിക്ക ആശയങ്ങളും തെറ്റാണെന്നും നമ്മെ ബാധിക്കുന്നവയല്ലെന്നും തെളിയിക്കപ്പെടുകയുണ്ടായി. അരിസ്റ്റോട്ടിലിന്റെ ചലനനിയമം ഇപ്രകാരം സംഗ്രഹിക്കാം: **"വസ്തുക്കളുടെ ചലനം തുടർന്നു കൊണ്ടുപോകുന്നതിന് ഒരു ബാഹ്യബലം ആവശ്യമാണ്."**

അരിസ്റ്റോട്ടിലിന്റെ തത്വം പാളിച്ചയുള്ളതാണെങ്കിലും ഒരു സാധാരണ മനുഷ്യൻ തന്റെ നിത്യജീവിത അനുഭവങ്ങളിൽനിന്നാണ് ഇത്തരം നിഗമനത്തിൽ എത്തിച്ചേരുന്നത്. കളിപ്പാട്ട കാറിനെ ചലിപ്പിക്കാൻ തുടർച്ചയായി അതിന്റെ ചരടിൽ പിടിച്ചുവലിക്കുന്ന ഒരു ബാലന് കളിപ്പാട്ട കാറിന്റെ (വൈദ്യുതി ഉപയോഗിക്കാത്ത) ചലനത്തിന് ഒരു ബാഹ്യബലം ആവശ്യമാണെന്ന് ഉൾക്കാഴ്ചയുണ്ട്. ചരടിൽനിന്നു പിടിവിട്ടു കഴിഞ്ഞാൽ കാറിന്റെ ചലനം നിലക്കുന്നതും കാണാം. ഭൂമിയിലെ ഭൂരിഭാഗം ചലനങ്ങൾക്കും സമാന അനുഭവമാണുള്ളത്. വസ്തുക്കളുടെ ചലനം തുടർന്നു പോകുന്നതിന് ഒരു ബാഹ്യബലത്തിന്റെ സാന്നിധ്യം ആവശ്യമാണ്. ഇത്തരം ബലത്തിന്റെ അഭാവത്തിൽ ക്രമേണ വസ്തുക്കൾ നിശ്ചലാവസ്ഥയിലേക്ക് എത്തിച്ചേരുന്നു.

അരിസ്റ്റോട്ടിലിന്റെ തത്വത്തിനുള്ള പാളിച്ച എന്താണ്? ചലിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന ഒരു കളിപ്പാട്ടകാർ അൽപസമയം കഴിയുമ്പോൾ നിശ്ചലമാകുന്നത് തറയിലൂടെ സഞ്ചരിക്കുമ്പോഴുണ്ടാകുന്ന ഘർഷണബലം മൂലമാണ്. ഈ ഘർഷണബലത്തെ പ്രതിരോധിക്കാൻ കുട്ടി ഒരു ബാഹ്യബലം കാറിൽ പ്രയോഗിക്കേണ്ടിവരുന്നു. കാർ സമചലനത്തിലാണെങ്കിൽ അതിൽ ഒരു ബാഹ്യബലവും പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്നില്ല എന്നു കാണാം. കാരണം കുട്ടി പ്രയോഗിക്കുന്ന ബലം ഘർഷണബലത്തെ നിർവീര്യമാക്കുന്നു. അതായത് ഘർഷണബലമില്ലെങ്കിൽ കുട്ടിക്ക് തന്റെ കളിപ്പാട്ട കാറിന്റെ സമചലനത്തിനായി ഒരു ബാഹ്യബലം പ്രയോഗിക്കേണ്ടതിന്റെ ആവശ്യകതയില്ലായെന്ന് അനുമാനിക്കാവുന്നതാണ്.

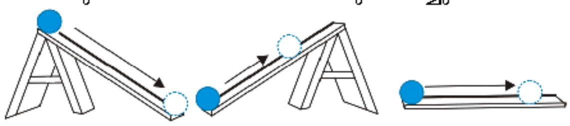
ഖരപദാർഥങ്ങളിലെ ഘർഷണബലം, ദ്രവപദാർഥങ്ങളിലെ (Fluids) വിസ്കസ്ബലം (Viscous force) എന്നിവ പ്രകൃതിയിൽ സർവസാധാരണയായി കാണപ്പെടുന്നവയാണ്. തന്മൂലം വസ്തുക്കളുടെ സമചലനം തുടർന്നു പോകണമെങ്കിൽ ഈ ഘർഷണബലങ്ങളെ മറികടക്കാനാവശ്യമായ ഒരു ബാഹ്യബലം കൂടിയേ കഴിയൂ. ഇവിടെയാണ് അരിസ്റ്റോട്ടിലിനു പാളിച്ച സംഭവിച്ചത്. നിത്യജീവിതത്തിലെ ഇത്തരം പ്രായോഗിക അനുഭവങ്ങളെയാണ് അടിസ്ഥാനവാദത്തിന്റെ രൂപത്തിൽ അദ്ദേഹം രൂപപ്പെടുത്തിയത്.

പ്രകൃതിയിലെ വസ്തുക്കളുടെ ചലനത്തിനെയും ബലങ്ങളെയുംകുറിച്ചുള്ള സാർവത്രികമായ ഒരു നിയമം രൂപീകരിക്കുന്നത് ഘർഷണബലങ്ങളാൽ തടസ്സപ്പെടാത്ത സമചലനത്തെ പരിഗണിച്ചുകൊണ്ടു മാത്രമേ സാധിക്കൂ. ഇതാണ് ഗലീലിയോ സ്വീകരിച്ച മാർഗം.

5.3 ജഡത്വനിയമം (The law of Inertia)

ഒരു ചരിഞ്ഞ പ്രതലത്തിലൂടെയുള്ള വസ്തുക്കളുടെ ചലനത്തെക്കുറിച്ച് ഗലീലിയോ പഠനം നടത്തുകയുണ്ടായി. ഇതിലൂടെ താഴെ പറയുന്ന നിഗമനങ്ങളിൽ അദ്ദേഹം എത്തിച്ചേർന്നു. (i) ചരിവുതലത്തിലൂടെ താഴേക്കു സഞ്ചരിക്കുന്ന വസ്തുക്കൾക്ക് ത്വരണവും (ii) ചരിവുതലത്തിലൂടെ മുകളിലേക്കു സഞ്ചരിക്കുന്ന വസ്തുക്കൾക്ക് മന്ദീകരണവും, കൂടാതെ (iii) നിരപ്പായ ഒരു പ്രതലത്തിൽ ഇവക്കു രണ്ടിനുമിടയിലുള്ള അവസ്ഥയും കാണിക്കുന്നു. അതായത് ഘർഷണബലമി

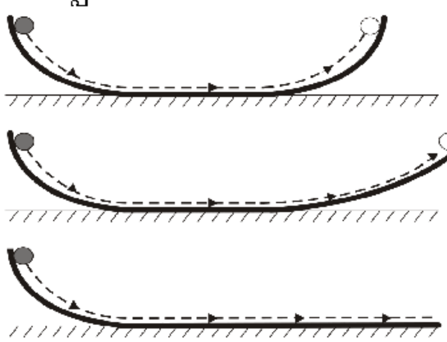
ല്ലാത്ത തിരശ്ചീനമായ ഒരു പ്രതലത്തിലൂടെ സഞ്ചരിക്കുന്ന വസ്തുവിന് ത്വരണമോ മന്ദീകരണമോ സംഭവിക്കുന്നില്ല. പകരം ആ വസ്തു സ്ഥിരപ്രവേഗത്തോടെ സഞ്ചരിക്കുമെന്ന് ഗലീലിയോ അനുമാനിച്ചു.



ചിത്രം 5.1. (a)

ഇരട്ട ചരിവുപ്രതലങ്ങൾ ഉപയോഗിച്ചുള്ള ഗലീലിയോയുടെ മറ്റൊരു പരീക്ഷണവും സമാന നിഗമനത്തിലെത്തിച്ചേരാൻ അദ്ദേഹത്തെ സഹായിച്ചു. നിശ്ചലാവസ്ഥയിൽ നിന്നു മുക്തമാക്കപ്പെട്ട ഒരു പന്ത് ഒന്നാമത്തെ ചരിവുപ്രതലത്തിലൂടെ താഴേക്കുരുളുകയും രണ്ടാമത്തെ പ്രതലത്തിലൂടെ മുകളിലേക്ക് ഉരുണ്ടു കയറുകയും ചെയ്യുന്നു. ഈ രണ്ടു പ്രതലങ്ങളും മിനുസമായിരുന്നെങ്കിൽ രണ്ടാമത്തെപ്രതലത്തിൽ പന്ത് എത്തിച്ചേരുന്ന ഉയരവും ആദ്യം പന്ത് സ്ഥിതിചെയ്തിരുന്ന ഉയരവും ഏകദേശം തുല്യമായിരുന്നേനേ (എത്തിച്ചേരുന്ന ഉയരം അൽപ്പം കുറഞ്ഞിരിക്കും, എന്നാൽ ഒരിക്കലും കൂടില്ല). ഈ ചലനത്തിൽ ഘർഷണബലം പ്രവർത്തിക്കുന്നില്ല എന്ന് സങ്കൽപ്പിച്ചാൽ പന്ത് എത്തിച്ചേരുന്ന ഉയരവും തുടക്കത്തിൽ പന്ത് സ്ഥിതിചെയ്തിരുന്ന ഉയരവും തുല്യമായിരിക്കുമെന്നു കാണാം.

രണ്ടാമത്തെ പ്രതലത്തിന്റെ ചരിവുകുറച്ചുകൊണ്ടു വന്നാലും പന്ത് അതേ ഉയരത്തിലേക്കുതന്നെ എത്തിച്ചേരുന്നതായി കാണാം. പക്ഷേ, ഇങ്ങനെ ചെയ്യുമ്പോൾ അതേ ഉയരത്തിൽ എത്താൻ പന്തിന് കൂടുതൽദൂരം സഞ്ചരിക്കേണ്ടിവരുന്നു. രണ്ടാമത്തെ പ്രതലത്തിന്റെ ചരിവ് പൂജ്യമായാൽ (പ്രതലം തിരശ്ചീനമായാൽ) പന്ത് അനന്തദൂരത്തേക്കു സഞ്ചരിക്കും. ഇത് തീർച്ചയായും ഒരു സാങ്കൽപ്പിക സന്ദർഭമാണ്.



ചിത്രം 5.1. (b) ഒരു ഇരട്ടച്ചരിവുപ്രതലത്തിലൂടെയുള്ള പന്തിന്റെ ചലനം നിരീക്ഷിച്ചതിലൂടെ ഗലീലിയോ ജഡത്വനിയമം കണ്ടെത്തി.

പ്രായോഗികമായി തിരശ്ചീനതലത്തിലൂടെ സഞ്ചരിക്കുന്ന പന്ത് കുറച്ചുദൂരം സഞ്ചരിച്ചതിനുശേഷം നിശ്ചലമായിത്തീരുന്നുവെന്ന് നമുക്കറിയാം. പന്തിന്റെ ചലനത്തെ എതിർക്കുന്ന ഘർഷണബലത്തെ പൂർണമായും ഒഴിവാക്കാൻ കഴിയാത്തതാണ് ഇതിനു കാരണം. ഘർഷണബലം നിലനിൽക്കുന്നില്ലെങ്കിൽ തിരശ്ചീന പ്രതലത്തിലൂടെ ഈ പന്ത് സ്ഥിരപ്രവേഗത്തോടെ സഞ്ചരിച്ചുകൊണ്ടേയിരിക്കും.

ഇപ്രകാരം അരിസ്റ്റോട്ടിൽ വിട്ടുപോയ ചലനത്തെ സംബന്ധിച്ച ഒരു വസ്തുത കൂട്ടിച്ചേർക്കാൻ ഗലീലിയോക്ക് കഴിഞ്ഞു. വസ്തുക്കളുടെ നിശ്ചലാവസ്ഥയും സ്ഥിരപ്രവേഗത്തോടെയുള്ള നേർരേഖാചലനവും സമാനമാണ്. ഈ രണ്ട് അവസ്ഥകളിലും വസ്തുവിൽ ഒരു ബലവും പ്രവർത്തിക്കുന്നില്ല. ഒരു വസ്തു സമചലനത്തിൽ തുടരണമെങ്കിൽ അതിൽ ഒരു ബലം പ്രയോഗിക്കപ്പെടണമെന്ന വാദഗതി ശരിയല്ല. വസ്തുവിന്റെ സമചലനം നിലനിർത്തുന്നതിനായി, വസ്തുവിൽ പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന ഘർഷണബലത്തെ നിർവീര്യമാക്കാൻ ഒരു ബാഹ്യബലം പ്രയോഗിക്കേണ്ടതുണ്ട്. ഇവിടെ ഈ രണ്ടു ബലങ്ങളുടെയും ആകത്തുകയായ ബാഹ്യബലം പൂജ്യമാകുന്നു.

ചുരുക്കത്തിൽ, ഒരു വസ്തുവിൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന സഫലബാഹ്യബലം (net external force) പൂജ്യമാകുമ്പോൾ നിശ്ചലാവസ്ഥയിലുള്ള ഒരു വസ്തു നിശ്ചലാവസ്ഥയിലും സമപ്രവേഗത്തിൽ ചലിക്കുന്ന വസ്തു അതേ അവസ്ഥയിലും തുടരുന്നു. വസ്തുക്കളുടെ ഈ അവസ്ഥയെ ജഡത്വം (inertia) എന്നു പറയുന്നു. ജഡത്വം എന്നാൽ 'മാറ്റത്തിനുള്ള വിമുഖത' (resistance to change) എന്നാണ്. ബാഹ്യബലത്തിന്റെ പ്രേരണയില്ലെങ്കിൽ ഒരു വസ്തുവിന് അതിന്റെ നിശ്ചലാവസ്ഥക്കോ സമചലനത്തിനോ മാറ്റം വരുത്താൻ സാധിക്കില്ല.

ചലനത്തെ സംബന്ധിച്ച് പ്രാചീന ഭാരതീയ ശാസ്ത്രരംഗത്ത് നിലനിന്നിരുന്ന ആശയങ്ങൾ

പ്രാചീന ഭാരതീയചിന്തകന്മാർ ചലനസംബന്ധിയായ നിരവധി ആശയങ്ങൾ കണ്ടെത്തിയിരുന്നു. ചലനത്തിനു കാരണമായ ബലം പലതരത്തിലുണ്ടെന്ന് അവർ കണക്കാക്കി. ഒരു ജലനൗകയിൽ കാറ്റുകൊടുക്കുന്ന ബലം പോലെ തുടർച്ചയായുള്ള മർദ്ദം കാരണമുണ്ടാകുന്ന ബലം (നോദൻ), കുശവന്റെ ദണ്ഡ് ചക്രത്തിൽ പതിക്കുമ്പോഴുണ്ടാകുന്നതുപോലുള്ള ആഘാതം (അഭിഘത്), നേർരേഖയിലൂടെ സഞ്ചരിക്കുന്നതിന് (വേഗ) ഉള്ള ചിരസ്ഥായിയായ പ്രവണത (സംസ്കാര) അല്ലെങ്കിൽ ഇലാസ്തികമായ ഒരു വസ്തു പൂർവസ്ഥിതിയിലേക്ക് എത്തിച്ചേരുന്നത്, ദണ്ഡുവഴിയോ ചരടുവഴിയോ ബലം നൽകുന്നത് തുടങ്ങിയവയെല്ലാം ഇതിനുദാഹരണങ്ങളാണ്.

വൈശേഷിക (Vaisesika Theory) സിദ്ധാന്തത്തിലെ വേഗ (Vega) എന്ന സങ്കൽപം ജഡത്വമെന്ന ആശയത്തോടു ഏറെ സാദൃശ്യമുള്ളതാണ്. വേഗ എന്നാൽ നേർരേഖയിലൂടെ സഞ്ചരിക്കുന്നതിനുള്ള പ്രവണതയാണ്. ഈ പ്രവണതയെ അന്തരീക്ഷവുമായോ വസ്തുക്കളുമായോ ഉള്ള സമ്പർക്കം പ്രതിരോധിക്കുന്നതായി കരുതിയിരുന്നു. ഘർഷണബലത്തെക്കുറിച്ചും വായുവിന്റെ പ്രതിരോധത്തെക്കുറിച്ചുമുള്ള ആശയങ്ങൾക്ക് തത്തുല്യമാണ് ഈ അനുമാനം. ഒരു സ്ഥൂലവസ്തുവി (extended body) നുണ്ടാകുന്ന വിവിധതരം ചലനങ്ങൾ [സ്ഥാനാന്തരചലനം, ഭ്രമണചലനം, കമ്പനചലനം (translational, rotational, vibrational)] ഈ വസ്തുവിന്റെ ഘടകങ്ങളായ വിവിധ കണികകളുടെ സ്ഥാനാന്തരചലനം മൂലം മാത്രമാണ് സൃഷ്ടിക്കപ്പെടുന്നതെന്ന് വളരെ കൃത്യമായി സംഗ്രഹിക്കാൻ കഴിഞ്ഞിരുന്നു. കാറ്റത്ത് താഴേക്കു വീഴുന്ന ഒരു ഇലയ്ക്ക് മൊത്തത്തിൽ താഴേക്കുള്ള ചലനമാണുള്ളതെങ്കിലും (പതൻ) അതോടൊപ്പം തന്നെ ഭ്രമണചലനവും കമ്പനചലനവും (ഭ്രമൺ, സ്പന്ദൻ) ഉണ്ട്. എന്നാൽ ഇലയിലെ ഓരോ കണികക്കും ഒരു പ്രത്യേകനിമിഷത്തിൽ നിശ്ചിത (ചെറിയ) സ്ഥാനാന്തരം മാത്രമാണുണ്ടാകുന്നത്. ചലനം അളക്കുന്നതിലും നീളത്തിന്റെയും സമയത്തിന്റെയും യൂണിറ്റുകൾ കണക്കാക്കുന്നതിലും ഇന്ത്യൻ ചിന്തകർ വളരെ ശ്രദ്ധ ചെലുത്തിയിരുന്നു. ഒരു സ്ഥലത്തു സ്ഥിതിചെയ്യുന്ന വസ്തുവിന്റെ സ്ഥാനം മൂന്ന് അക്ഷങ്ങളിൽ നിന്നുമുള്ള ദൂരത്തിന്റെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ കണക്കാക്കാമെന്ന് അവർക്ക് അറിയാമായിരുന്നു. 1150 AD യിൽ ജീവിച്ചിരുന്ന ഭാസ്കരാചാര്യനാണ് തൽക്ഷണചലനം (Instantaneous motion) (തത്കാലികി ഗതി) എന്ന ആശയം മുന്നോട്ടുവച്ചത്. ആധുനികകാലത്ത് തൽക്ഷണ പ്രവേഗമെന്ന ആശയം അവകലന ഗണിതരീതി (Differential calculus) ഉപയോഗിച്ച് കണ്ടെത്തിയിട്ടുണ്ട്. ഒരു തരംഗവും (wave) പ്രവാഹവും (ജലപ്രവാഹം) തമ്മിലുള്ള വ്യത്യാസം ഭാരതീയ ചിന്തകർ കൃത്യമായി മനസ്സിലാക്കിയിരുന്നു. പ്രവാഹമെന്നാൽ ജലകണികകൾ ഗുരുത്വാകർഷണവും ദ്രവത്വവും മൂലം സഞ്ചരിക്കുന്നതാണ്. എന്നാൽ തരംഗമെന്നത് ജലകണികകളുടെ കമ്പനം പ്രേഷണം ചെയ്യുന്നതുമൂലമാണെന്നും അവർ കണ്ടെത്തിയിരുന്നു.

5.4. ന്യൂട്ടന്റെ ഒന്നാം ചലനനിയമം (Newton's First Law of Motion)

ഗലീലിയോയുടെ വിപ്ലവകരമായ ആശയങ്ങൾ അരിസ്റ്റോട്ടിലിന്റെ സിദ്ധാന്തത്തെ പൂർണമായും പുറന്തള്ളിക്കൊണ്ട് ബലതന്ത്ര (Mechanics) ത്തിൽ ഒരു പുതുയുഗം സൃഷ്ടിച്ചു. ഈ മാറ്റത്തിന് സർ ഐസക് ന്യൂട്ടൺ കൂടുതൽ മഹത്തായ സംഭാവനകൾ നൽകി.

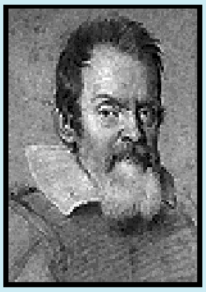
ഗലീലിയോയുടെ ആശയങ്ങളുടെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ ന്യൂട്ടൺ ബലതന്ത്രത്തിലെ മൂന്ന് അടിസ്ഥാനനിയമങ്ങൾക്ക് രൂപം നൽകി. ഇവ ന്യൂട്ടന്റെ നാമധേയത്തിൽ അറിയപ്പെടുന്നു. ഗലീലിയോയുടെ ജഡത്വനിയമത്തെ ആധാരമാക്കി ന്യൂട്ടൺ തന്റെ ഒന്നാം ചലനനിയമം (First law of motion) രൂപീകരിച്ചു.

'ഒരു ബാഹ്യബലത്തിന്റെ അഭാവത്തിൽ വസ്തുക്കൾ അവയുടെ നിശ്ചലാവസ്ഥയോ നേർരേഖയിലുള്ള സമചലനമോ തുടർന്നുകൊണ്ടേയിരിക്കും.' നിശ്ചലാവസ്ഥയിലും നേർരേഖയിലെ സമചലനത്തിലും വസ്തുവിന്റെ ത്വരണം പൂജ്യമാണ്. ഇതിന്റെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ ഒന്നാം ചലനനിയമത്തെ താഴെപറയുന്ന പ്രകാരവും നിർവചിക്കാം.

"ഒരു വസ്തുവിൽ പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന ആകെ ബാഹ്യബലം പൂജ്യമാണെങ്കിൽ ആ വസ്തുവിന്റെ ത്വരണം പൂജ്യമായിരിക്കും. വസ്തുവിൽ സഫല ബാഹ്യബലം (net external force) അനുഭവപ്പെടുന്നുണ്ടെങ്കിൽ മാത്രമേ ത്വരണം ഉണ്ടാകുകയുള്ളൂ."

ഈ നിയമം പ്രായോഗികമായി ഉപയോഗിക്കുമ്പോൾ രണ്ടു വ്യത്യസ്ത സന്ദർഭങ്ങൾ കണക്കിലെടുക്കേണ്ടതുണ്ട്. ചില സന്ദർഭങ്ങളിൽ, വസ്തുക്കളിൽ പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന സഫല ബാഹ്യബലം പൂജ്യമാണെന്ന് നമുക്കറിയാം. ഇവിടെ വസ്തുക്കൾക്കുണ്ടാകുന്ന ത്വരണം പൂജ്യമാണെന്ന് കണക്കാക്കുന്നു. ഉദാഹരണത്തിന് നക്ഷത്രാന്തര സ്ഥലത്തിലൂടെ (Interstellar space) സഞ്ചരിക്കുന്ന ഒരു ശൂന്യാകാശപേടകത്തിന്റെ കാര്യ

ഗലീലിയോ ഗലീലി (1564 - 1642)



1564 - ൽ ഇറ്റലിയിലെ പിസായിൽ ആണ് ഗലീലിയോ ജനിച്ചത്. നാലു നൂറ്റാണ്ടു മുമ്പ് യൂറോപ്പിലെ ശാസ്ത്രീയ വിപ്ലവത്തിന് ഗലീലിയോ സുപ്രധാനമായ പങ്കുവഹിച്ചു. ത്വരണം എന്ന ആശയം മുന്നോട്ടുവച്ചത് ഗലീലിയോ ആണ്. വസ്തുക്കളുടെ ചലനം നിലനിർത്താൻ ബലം ആവശ്യമാണെന്നും ഗുരുത്വാകർഷണം മൂലം ഭാരമേറിയ വസ്തുക്കൾ ഭാരം കുറഞ്ഞ വസ്തുക്കളേക്കാൾ വേഗത്തിൽ താഴേക്കു പതിക്കുമെന്നുമുള്ള അരിസ്റ്റോട്ടിലിന്റെ വാദഗതികളെ ഗലീലിയോ ഖണ്ഡിച്ചു. ചരിവുതലത്തിലൂടെയുള്ള വസ്തുക്കളുടെ ചലനത്തെക്കുറിച്ചും താഴേക്കു പതിക്കുന്ന വസ്തുക്കളുടെ ചലനത്തെക്കുറിച്ചുമുള്ള പരീക്ഷണങ്ങളിലൂടെയാണ് ഗലീലിയോ ഇതു തെളിയിച്ചത്. ഇപ്രകാരം അദ്ദേഹം കണ്ടെത്തിയ ജഡത്വനിയമമാണ് പിൽക്കാലത്ത് സർ. ഐസക് ന്യൂട്ടന്റെ ഐതിഹാസികമായ കണ്ടെത്തലുകൾക്ക് നാന്ദികുറിച്ചത്.

ജ്യോതിശ്ശാസ്ത്രരംഗത്ത് ഗലീലിയോ നടത്തിയ കണ്ടുപിടിത്തങ്ങൾ വിപ്ലവകരമായിരുന്നു. 1609 - ൽ അദ്ദേഹം സ്വന്തമായി ഒരു ടെലിസ്കോപ്പ് രൂപകൽപനചെയ്തു (മുമ്പുതന്നെ ഹോളണ്ടിൽ ഇത് കണ്ടുപിടിച്ചിരുന്നു). ഇതുപയോഗിച്ച് സുപ്രധാനമായ പല നിരീക്ഷണങ്ങളും അദ്ദേഹം നടത്തി. ചന്ദ്രന്റെ പ്രതലത്തിലെ ശൃംഗങ്ങളും ഗർത്തങ്ങളും (Mounts and Depressions), സൂര്യകളങ്കങ്ങൾ (Dark spots on the sun), വ്യാഴത്തിന്റെ ഉപഗ്രഹങ്ങൾ, ശുക്രന്റെ വിവിധദശകൾ/കലകൾ (Phases) എന്നിവ അവയിൽ ചിലതാണ്. ക്ഷീരപഥത്തിന്റെ പ്രകാശസ്രോതസ്സ് നഗ്നനേത്രങ്ങൾക്ക് ഗോചരമല്ലാത്ത വളരെയധികം നക്ഷത്രങ്ങളുടെ സാന്നിദ്ധ്യമാണെന്ന് അദ്ദേഹം നിർണയിച്ചു. അദ്ദേഹം രചിച്ച - 'ഡയലോഗ് ഓൺ ദ ടു ചീഫ് വേൾഡ് സിസ്റ്റംസ്' (Dialogue on the Two chief world systems) എന്ന, ശാസ്ത്രീയ ചിന്താഗതിയെക്കുറിച്ചുള്ള പ്രശസ്ത ഗ്രന്ഥം, കോപ്പർ നിക്കസ് മുന്നോട്ടുവച്ച സൂര്യകേന്ദ്രസിദ്ധാന്തത്തെ (Helio centric theory) പിന്തുണക്കുന്നതായിരുന്നു. ഇത് കാലക്രമേണ ലോകമാകെ അംഗീകരിക്കുകയും ചെയ്തു.

ശാസ്ത്രാന്വേഷണരംഗത്തെ ഒരു നാഴികക്കല്ലിനാണത്. ശാസ്ത്രമെന്നത് ചുറ്റുപാടുകളെ നിരീക്ഷിച്ച് അതിൽ നിന്നു രൂപപ്പെടുത്തുന്ന നിഗമനങ്ങൾ മാത്രമല്ല, പരീക്ഷണങ്ങൾ രൂപീകരിക്കുകയും നടത്തുകയും ചെയ്ത് സിദ്ധാന്തങ്ങളെ സമർഥിക്കുകയോ ഖണ്ഡിക്കുകയോ കൂടിയാണ്. വിവിധ ഭൗതികപ്രതിഭാസങ്ങളുടെ പരിമാണങ്ങളെ അളക്കുകയും അവ തമ്മിലുള്ള ഗണിതരൂപത്തിലുള്ള ബന്ധങ്ങൾ കണ്ടെത്തുകയും ചെയ്യുന്നതും ശാസ്ത്രത്തിന്റെ ഭാഗമാണ്. ഇതിനാലാണ് ഗലീലിയോ ആധുനികശാസ്ത്രത്തിന്റെ പിതാവ് എന്നറിയപ്പെടുന്നത്.

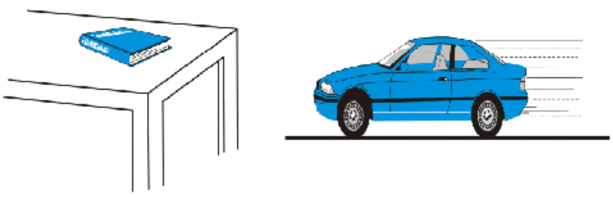
മെടുക്കുക. ഇത് മറ്റെല്ലാവസ്തുക്കളിൽനിന്നും വളരെ അകലെയാണെന്നും അതിന്റെ റോക്കറ്റുകളെല്ലാം പ്രവർത്തനരഹിതമാക്കിയിരിക്കുകയാണെന്നും കരുതുക. ഈ സമയത്ത് പേടകത്തിൽ ഒരു ബാഹ്യബലവും പ്രവർത്തിക്കുന്നില്ല. തന്മൂലം ഒന്നാംചലനനിയമമനുസരിച്ച് ഈ പേടകത്തിന്റെ ത്വരണം പൂജ്യമാണ്. പേടകം ചലിക്കുന്നുവെങ്കിൽ അത് സമപ്രവേഗത്തോടെ ചലനം തുടർന്നുകൊണ്ടേയിരിക്കും.

വസ്തുക്കളിൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന ബലങ്ങളെക്കുറിച്ച് നമുക്ക് എപ്പോഴും വ്യക്തമായ ധാരണ ഉണ്ടാവണമെന്നില്ല. അതായത്, ഒരു വസ്തുവിന് ത്വരണം സംഭവിക്കുന്നില്ലെങ്കിൽ (വസ്തു നിശ്ചലാവസ്ഥയിലോ രേഖീയ സമചലനത്തിലോ ആകാം) ന്യൂട്ടന്റെ ഒന്നാം ചലനനിയമമനുസരിച്ച് വസ്തുവിൽ ബാഹ്യബലം അനുഭവപ്പെടുന്നില്ല എന്നു നാം അനുമാനിക്കുന്നു. പ്രപഞ്ചത്തിൽ എല്ലായിടത്തും ഗുരുത്വാകർഷണം അനുഭവപ്പെടുന്നുണ്ട്. ഭൗമോപരിതലത്തിൽ സ്ഥിതിചെയ്യുന്ന വസ്തുക്കൾ ഭൂമിയുടെ ആകർഷണബലത്തിന്റെ പരിധിയിലാണ്. കൂടാതെ ഇവ സഞ്ചരിക്കുമ്പോൾ ഘർഷണബലം, വിസ്കസ്ബലം മുതലായവയും അനുഭവപ്പെടുന്നു. അപ്രകാരം കണക്കാക്കുമ്പോൾ ഭൗമോപരിതലത്തിൽ സ്ഥിതിചെയ്യുന്ന ഒരു വസ്തു നിശ്ചലാവസ്ഥയിലോ രേഖീയസമചലനത്തിലോ ആണെങ്കിൽ അത് വസ്തുവിൽ ബാഹ്യബലം അനുഭവപ്പെടാത്തതു മൂലമല്ല. മറിച്ച്, ആ വസ്തുവിൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന വ്യത്യസ്ത ബാഹ്യബലങ്ങൾ പരസ്പരം റദ്ദാക്കപ്പെടുന്നതുമൂലമോ അഥവാ സഫലബാഹ്യബലം പൂജ്യം ആകുന്നതുമൂലമോ ആയിരിക്കും.

ചിത്രം 5.2. (a) യിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ തിരശ്ചീനപ്രതലത്തിൽ നിശ്ചലാവസ്ഥയിൽ സ്ഥിതിചെയ്യുന്ന ഒരു പുസ്തകത്തെ പരിഗണിക്കുക. ഈ പുസ്തകത്തിൽ പ്രവർത്തിക്കുന്ന രണ്ടു ബാഹ്യബലങ്ങളാണ് താഴേക്കു പ്രവർത്തിക്കുന്ന ഭൂഗുരുത്വാകർഷണബലവും (അതായത് പുസ്തകത്തിന്റെ ഭാരം) പുസ്തകത്തിൻമേൽ മേശ മുകളിലേക്കു പ്രയോഗിക്കുന്ന R എന്ന ലംബബലവും സ്വയം ക്രമീകരിക്കാൻ കഴിവുള്ള ബലമാണ് R. മുകളിൽ പറഞ്ഞതു പോലെയുള്ള അവസ്ഥയുടെ ഒരു ഉദാഹരണമാണിത്. ഇവിടെ വസ്തുവിൽ പ്രയോ

ഗിക്കുന്ന ബലങ്ങളെ വ്യക്തമായി തിരിച്ചറിയാൻ കഴിയുന്നില്ലെങ്കിലും വസ്തുവിന്റെ ചലനത്തിന്റെ അവസ്ഥ നമുക്കു മനസ്സിലാക്കാൻ കഴിയുന്നതാണ്. പുസ്തകം നിശ്ചലാവസ്ഥയിലാണെന്ന് നമുക്ക് കാണാൻ സാധിക്കും. തന്മൂലം ന്യൂട്ടന്റെ ഒന്നാം ചലനനിയമമനുസരിച്ച് R എന്ന ബലത്തിന്റെ അളവും W എന്ന ബലത്തിന്റെ അളവും തുല്യമായിരിക്കണം എന്നനുമാനിക്കാം. (W=R). ആയതുകൊണ്ട് ഈ ബലങ്ങൾ നിർവീര്യമാക്കപ്പെടുകയും അതിനാൽ പുസ്തകം നിശ്ചലാവസ്ഥയിലായിരിക്കുമെന്നും നമുക്കു പറയാം. പക്ഷേ, ഇത് തെറ്റായ നിഗമനമാണ്.

"ഒന്നാം ചലനനിയമമനുസരിച്ച് പുസ്തകം നിശ്ചലാവസ്ഥയിൽ തുടരുന്നതിൽ നിന്ന് അതിൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന സഫലബാഹ്യബലം പൂജ്യമാണെന്നു കണക്കാക്കാം. അതായത് ഭാരം അഥവാ W എന്ന ബലവും ലംബമായ R എന്ന ബലവും തുല്യവും വിപരീതവുമായിരിക്കും" എന്നതാണ് ശരിയായ നിഗമനം.



(a) (b)

ചിത്രം (5.2)

(a) മേശപ്പുറത്തു നിശ്ചലാവസ്ഥയിലിരിക്കുന്ന പുസ്തകം
(b) സമപ്രവേഗത്തോടെ സഞ്ചരിക്കുന്ന കാർ ഈ രണ്ട് ഉദാഹരണങ്ങളിലും സഫല ബാഹ്യബലം പൂജ്യമാണ്.

നിശ്ചലാവസ്ഥയിൽ നിന്നു ചലിക്കാൻ തുടങ്ങുന്ന ഒരു കാർ സങ്കൽപ്പിക്കുക. കാർ വേഗം നേടുകയും തുടർന്ന് മിനുസമുള്ള നേർപാതയിലൂടെ സമവേഗത്തിൽ സഞ്ചരിക്കുകയും ചെയ്യുന്നുവെന്നു കരുതുക. (ചിത്രം. 5.2(b)). കാർ നിശ്ചലാവസ്ഥയിലിരിക്കുമ്പോൾ അതിൽ ഒരു ബാഹ്യബലവും പ്രവർത്തിക്കുന്നില്ല. ചലിച്ചു തുടങ്ങുമ്പോൾ കാറിന് ത്വരണം ഉണ്ടാകുന്നു. കാറിനുമേൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന ഒരു സഫലബാഹ്യബലത്തിന്റെ മാത്രം പ്രഭാവത്താലാണ് ഇത് സംഭവിക്കുന്നത്. ആന്തരികബലങ്ങൾക്ക് കാറിൽ ത്വരണം സൃഷ്ടിക്കാൻ സാധിക്കില്ല. റോഡിലൂടെ ചലിക്കുമ്പോൾ അനുഭവപ്പെടുന്ന ഘർഷണബലമാണ് കാറിൽ പ്രവർത്തിക്കുന്ന ഒരേയൊരു ബാഹ്യബലം. ഇതു നമ്മെ അമ്പരിപ്പിക്കുന്നുവെങ്കിലും ഒരു സത്യമാണ്. അതായത് ഘർഷണബലമാണ് കാറിന് ത്വരണം നൽകുന്നത്. (ഘർഷണ ബലത്തെക്കുറിച്ച് ഭാഗം 5.9 ൽ വിശദമായി പ്രതിപാദിച്ചിട്ടുണ്ട്). കാർ തുടർന്ന് സമപ്രവേഗത്തോടെ സഞ്ചരിക്കുമ്പോൾ അതിൽ ബാഹ്യബലം പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്നില്ല.

ഒന്നാം ചലനനിയമത്തിൽ നിർവചിക്കുന്ന ജഡത്വം വ്യത്യസ്ത സന്ദർഭങ്ങളിൽ നമുക്ക് അനുഭവവേദ്യമാണ്. നിർത്തിയിട്ടിരിക്കുന്ന ഒരു ബസിൽ നാം നിൽക്കുകയാണെന്നിരിക്കട്ടെ. ഡ്രൈവർ പെട്ടെന്ന് ബസ് മുന്നോട്ടെടുക്കുന്നുവെന്നു കരുതുക. നാം പുറകിലേക്ക് വീഴാൻ തുടങ്ങുന്നതു കാണാം. എന്താണിതിനു കാരണം? നമ്മുടെ പാദങ്ങൾ ബസിന്റെ തറയുമായി സമ്പർക്കത്തിലാണ്. ഘർഷണമില്ലെങ്കിൽ ബസ് മുന്നോട്ടുനീങ്ങുന്നതിനനുസരിച്ച് ബസിന്റെ തറ നമ്മുടെ പാദങ്ങൾക്കടിയിൽ കൂടി മുന്നോട്ട് തെന്നിനീങ്ങുകയും നാം നിൽക്കുന്ന അതേ സ്ഥലത്ത് തുടരുകയും അൽപ്പം കഴിയുമ്പോൾ ബസിന്റെ പിൻഭാഗം നമ്മെ ഇടിക്കുകയും ചെയ്യും. എന്നാൽ നമ്മുടെപാദങ്ങളും ബസിന്റെതറയും തമ്മിൽ ഘർഷണബലം നിലനിൽക്കുന്നുണ്ട്. ബസ് ചലിക്കാൻ തുടങ്ങുന്നത് വളരെ പെട്ടെന്നല്ലെങ്കിൽ, അതായത് ത്വരണം വളരെ കൂടുതലല്ലെങ്കിൽ, നമ്മുടെ പാദങ്ങൾക്ക് ബസിനോടൊപ്പം ത്വരണം നൽകാൻ ഘർഷണബലത്തിനു സാധിക്കും. പക്ഷേ, നമ്മുടെ ശരീരം ദൃഢവസ്തു (Rigid body) അല്ല. അത് രൂപമാറ്റം (Deformation) അനുവദിക്കുന്ന തരത്തിലുള്ളതാണ്. അതായത് ശരീരത്തിന്റെ വിവിധഭാഗങ്ങൾ തമ്മിൽ ആപേക്ഷികചലനം സാധിക്കും. പാദങ്ങൾ ബസ്സിനോടൊപ്പം മുന്നോട്ടു സഞ്ചരിച്ചാലും, മറ്റു ശരീരഭാഗങ്ങൾ ജഡത്വംമൂലം നിശ്ചലാവസ്ഥയിൽ തന്നെ തുടരും. തന്മൂലം ബസ് മുന്നോട്ടു ചലിക്കുമ്പോൾ ബസിനെ അപേക്ഷിച്ച് നാം പിന്നിലേക്കു വീഴുന്നു. ഇതു സംഭവിക്കുമ്പോൾ പാദത്തിനു മുകളിലുള്ള മറ്റു ശരീരഭാഗങ്ങളിലെ പേശികൾ ബലം പ്രയോഗിച്ച് നമ്മുടെ ശരീരത്തെയും ബസ്സിനോടൊപ്പം ചലിക്കാൻ സഹായിക്കുന്നു.

ചലിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന ബസ് പെട്ടെന്നുനിർത്തുമ്പോഴും ഇതേ അവസ്ഥതന്നെയാണുള്ളത്. നമ്മുടെ പാദങ്ങളും ബസിന്റെ തറയും തമ്മിലുള്ള ഘർഷണബലം പാദങ്ങൾക്ക് ബസിന്റെ തറയുമായുള്ള ആപേക്ഷികചലനത്തെ തടയുന്നു. എന്നാൽ നമ്മുടെ മറ്റു ശരീരഭാഗങ്ങൾ ജഡത്വം കാരണം മുന്നോട്ടു സഞ്ചരിച്ചുകൊണ്ടേയിരിക്കും. തന്മൂലം നാം മുന്നോട്ടു വീഴാൻ തുടങ്ങുകയും പേശികൾ പ്രയോഗിക്കുന്ന പുനഃസ്ഥാപന ബലം (restoring force) മൂലം ക്രമേണ ശരീരം മുഴുവൻ നിശ്ചലാവസ്ഥയിലേക്കെത്തുകയും ചെയ്യുന്നു.

ഉദാഹരണം: 5.1 നക്ഷത്രാന്തര തലത്തിലൂടെ (Interstellar space) $100 ms^{-2}$ സ്ഥിരനിരക്കിൽ ത്വരണമുള്ള ചെറിയ ബഹിരാകാശയാനത്തിൽ നിന്ന് ഒരു ബഹിരാകാശസഞ്ചാരി ആകസ്മികമായി വേർപെട്ടുപോകുന്നു. ബഹിരാകാശയാനത്തിൽ നിന്നു പുറത്തെത്തിയ ശേഷം തൊട്ടടുത്ത നിമിഷത്തിൽ ബഹിരാകാശസഞ്ചാരിക്കുള്ള ത്വരണം എത്ര? (ബഹിരാകാശസഞ്ചാരിയിൽ ഗുരുത്വബലം പ്രയോഗിക്കുന്നതിനായി മറ്റു നക്ഷത്രങ്ങളൊന്നും സമീപത്ത് സ്ഥിതിചെയ്യുന്നില്ലെന്ന് സങ്കൽപിക്കുക)

ഉത്തരം:

ഗുരുത്വബലം പ്രയോഗിക്കുന്നതിനുവേണ്ടി സമീപത്തായി മറ്റു നക്ഷത്രങ്ങളൊന്നും സ്ഥിതിചെയ്യാത്തതിനാലും ബഹിരാകാശയാനം സഞ്ചാരിയുടെമേൽ പ്രയോഗിക്കുന്ന ഗുരുത്വബലം വളരെ ദുർബലമായതിനാലും ബഹികാശയാനത്തിനു പുറത്തെത്തിയ സഞ്ചാരിയുടെ മേൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന ആകെ ബലം പൂജ്യമാണ്. അതിനാൽ ഒന്നാം ചലനനിയമമനുസരിച്ച് ബഹിരാകാശസഞ്ചാരിയുടെ ത്വരണവും പൂജ്യമാണ്.

5.5. ന്യൂട്ടന്റെ രണ്ടാം ചലനനിയമം (Newton's Second Law of Motion)

വസ്തുക്കളിൽ സഫലബാഹ്യബലം പൂജ്യമായിരിക്കുന്ന അവസ്ഥയെ കുറിച്ചാണ് ഒന്നാം ചലനനിയമം വിവക്ഷിക്കുന്നത്. എന്നാൽ രണ്ടാം ചലനനിയമം വസ്തുവിൽ ഒരു സഫലബാഹ്യബലം പ്രവർത്തിക്കുമ്പോഴുള്ള പൊതുവായ അവസ്ഥ വിശദീകരിക്കുന്നു. വസ്തുവിനുണ്ടാകുന്ന ത്വരണത്തെയും പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന ബാഹ്യബലത്തെയും തമ്മിൽ രണ്ടാം ചലനനിയമം ബന്ധിപ്പിക്കുന്നു.

ആക്കം (Momentum)

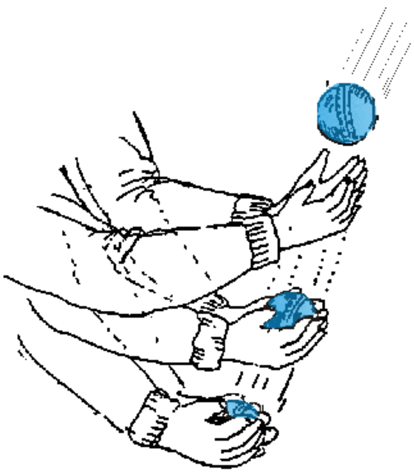
ഒരു വസ്തുവിന്റെ മാസും m (mass) പ്രവേഗവും v (velocity) തമ്മിലുള്ള ഗുണനഫലത്തെ ആക്കം എന്നു നിർവചിക്കുന്നു. ആക്കത്തെ **p** എന്നു സൂചിപ്പിക്കുന്നു.

$$\mathbf{p} = m\,\mathbf{v} \tag{5.1}$$

ആക്കം എന്നത് ഒരു സദിശ അളവാണ്. വസ്തുക്കളുടെ ചലനത്തിൽ ബലത്തിന്റെ സ്വാധീനം മനസ്സിലാക്കുന്നതിൽ ആക്കത്തിനുള്ള പ്രാധാന്യം താഴെ പറയുന്ന ചില ഉദാഹരണങ്ങളിൽനിന്നു വ്യക്തമാകും.

- ഭാരം കുറഞ്ഞ ഒരു വാഹനവും (ഉദാ: ഒരു ചെറിയ കാർ) ഭാരം കൂടിയ ഒരു വാഹനവും (ഉദാ: ഭാരം നിറച്ച ഒരു ട്രക്ക്) തിരശ്ചീനമായ ഒരു റോഡിൽ പാർക്ക് ചെയ്തിരിക്കുന്നുവെന്ന് വിചാരിക്കുക. ഈ രണ്ടു വാഹനങ്ങൾക്കും ഒരേ സമയത്ത് ഒരേ വേഗം നൽകണമെങ്കിൽ ട്രക്കിൻമേൽ കൂടുതൽ ബലം പ്രയോഗിക്കേണ്ടതുണ്ടെന്ന് അറിയാമല്ലോ. അതുപോലെ ഒരേവേഗത്തിൽ സഞ്ചരിക്കുന്ന ഭാരം കൂടിയ ഒരു വസ്തുവിനെയും ഭാരംകുറഞ്ഞ വസ്തുവിനേയും ഒരേസമയം തടഞ്ഞുനിർത്താൻ ശ്രമിക്കുമ്പോൾ ഭാരംകൂടിയ വസ്തുവിനെ തടഞ്ഞു നിർത്താൻ കൂടുതൽ ബലം ആവശ്യമായിവരുന്നു.
- ഒരു വലിയ കല്ലും ചെറിയ കല്ലും കെട്ടിടത്തിന്റെ മുകളിൽനിന്ന് ഒരേ സമയം താഴേക്കിട്ടെന്നു കരുതുക. താഴെ നിൽക്കുന്ന ഒരാൾക്കു വലിയ കല്ലിനെ അപേക്ഷിച്ച് ചെറിയകല്ലിനെ നിഷ്പ്രയാസം പിടിക്കാൻ സാധിക്കും. അതായത്, വസ്തുക്കളുടെ ചലനത്തിൽ ബലം പ്രയോഗിക്കുന്നതുമൂലമുള്ള ഫലങ്ങൾ ഉണ്ടാകുന്നതിന് അവയുടെ മാസ് ഒരു പ്രധാന ഘടകമാണ്.
- നാം കണക്കിലെടുക്കേണ്ട മറ്റൊരു പ്രധാന വസ്തുത വസ്തുക്കളുടെ പ്രവേഗമാണ്. തോക്കിൽനിന്നു വെടിയുതിർക്കുമ്പോൾ നിശ്ചലാവസ്ഥയിലെത്തുന്നതിനുമുമ്പ് ഒരാളുടെ ശരീരത്തിൽ തുളഞ്ഞു കയറാൻ വെടിയുണ്ടക്ക് കഴിയും. എന്നാൽ അതേ വെടിയുണ്ടയുപയോഗിച്ച് കുറഞ്ഞവേഗത്തിലാണ് വെടിയുതിർക്കുന്നതെങ്കിൽ ഉണ്ടാകുന്ന മുറിവ് അത്ര ഗുരുതരമായിരിക്കില്ല. അതായത് ഒരു നിശ്ചിത മാസുള്ള വസ്തുവിന്റെ വേഗത കൂടുന്നതിനനുസരിച്ച് വസ്തുവിന്റെ ചലനം നിർത്തുന്നതിനായി ഒരു നിശ്ചിതസമയത്ത് പ്രയോഗിക്കേണ്ട വിപരീതബലത്തിന്റെ ശക്തിയും കൂടുതലായിരിക്കും. വസ്തുവിന്റെ മാസിന്റെയും പ്രവേഗത്തിന്റെയും ഗുണനഫലമായ ആക്കം ചലനത്തെ സ്വാധീനിക്കുന്ന വളരെ പ്രധാനമായ ഘടകമാണ്. ഒരു നിശ്ചിത സമയത്തിനുള്ളിൽ ആക്കത്തിനുണ്ടാകുന്ന വ്യത്യാസം കൂടുന്നതിനനുസരിച്ച് പ്രയോഗിക്കേണ്ട ബലത്തിന്റെ അളവും കൂടുതലായിരിക്കും.
- വളരെ വേഗത്തിൽ വരുന്ന ക്രിക്കറ്റ് പന്ത് പിടിക്കാൻ ശ്രമിക്കുന്ന ഒരു പുതുമുഖ ക്രിക്കറ്റ്കളിക്കാരന്റെ കൈക്ക് പരിക്കുപറ്റുക സാധാരണമാണ്. എന്നാൽ പരിചയസമ്പന്നനായ ക്രിക്കറ്റ്കളിക്കാരനാണെങ്കിൽ വേഗത്തിൽ വരുന്ന പന്ത് അനായാസം പിടിക്കുന്നത് നാം കാണാറുള്ളതാണ്. ഇതിനു കാരണം പരി

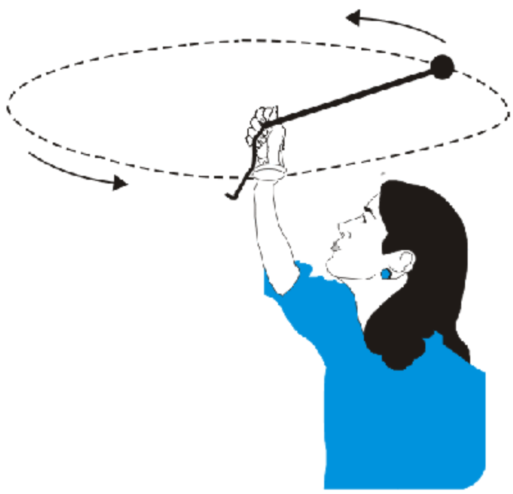
ചയസമ്പന്നനായ കളിക്കാരൻ പന്തിനെ തടഞ്ഞു നിർത്താൻ കൈകൾക്ക് കൂടുതൽ സമയം നൽകുന്നതാണ്. പന്തു പിടിക്കുമ്പോൾ കൈകൾ പിന്നോട്ടു ചലിപ്പിച്ചാണ് ഇതു സാധിക്കുന്നത് (ചിത്രം 5.3). എന്നാൽ ഒരു പുതുമുഖതാരമാണെങ്കിൽ കൈകൾ ഒരു സ്ഥാനത്തു തന്നെവച്ച് കുറഞ്ഞസമയം കൊണ്ട് പന്തിനെ പിടിച്ചുനിർത്താൻ ശ്രമിക്കുന്നു. ഇത് പരിക്കിനു കാരണമാകുന്നു. ഇതിൽനിന്നും ബലം ആക്കവ്യത്യാസത്തെ മാത്രമല്ല ആക്കവ്യത്യാസം സൃഷ്ടിക്കാനെടുക്കുന്ന സമയത്തെയും ആശ്രയിച്ചാണിരിക്കുന്നതെന്നു കാണാം. നിശ്ചിത ആക്കവ്യത്യാസം ഒരു ചെറിയ ഇടവേളയിൽ ഉണ്ടാക്കാൻ പ്രയോഗിക്കേണ്ട ബലം കൂടുതലായിരിക്കും. ചുരുക്കത്തിൽ, ആക്കവ്യത്യാസനിരക്ക് കൂടുന്നതിനനുസരിച്ച് ബലവും കൂടുതലായിരിക്കും.



ചിത്രം 5.3 ബലം ആക്കവ്യത്യാസത്തെ മാത്രമല്ല, ആക്കവ്യത്യാസം സൃഷ്ടിക്കാനാവശ്യമായ സമയത്തെയും ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. പരിചയസമ്പന്നായ ക്രിക്കറ്റ്കളിക്കാരൻ പന്തു പിടിക്കുമ്പോൾ കൈകൾ പിന്നിലേക്കു ചലിപ്പിച്ച് പന്തിനെ പിടിച്ചുനിർത്താൻ കൂടുതൽ സമയം അനുവദിക്കുന്നു. തന്മൂലം പ്രയോഗിക്കേണ്ട ബലം ചെറുതായിരിക്കും.

- വസ്തുക്കളുടെ മാസിന്റെയും പ്രവേഗത്തിന്റെയും ഗുണനഫലം അഥവാ ആക്കമാണ് ചലനത്തിൽ ബലത്തിന്റെ പ്രഭാവത്തിന്റെ അടിസ്ഥാനശില. വ്യത്യസ്തമാസുള്ള രണ്ടുവസ്തുക്കളിൽ ഒരു നിശ്ചിതഇടവേളയിൽ ഒരു നിശ്ചിതബലം പ്രയോഗിക്കുന്നുവെന്നിരിക്കട്ടെ. മാസ് കൂടുതലുള്ള വസ്തുവിനേക്കാൾ മാസ്കുറഞ്ഞ വസ്തുവിനായിരിക്കും പ്രവേഗം കൂടുതലായി ലഭിക്കുന്നത്. എന്നാൽ ഈ നിശ്ചിതഇടവേളയുടെ അവസാനം രണ്ടുവസ്തുക്കൾക്കുമുണ്ടാകുന്ന ആക്കം തുല്യമായിരിക്കും. അതായത് ഒരു നിശ്ചിതസമയംകൊണ്ട് വ്യത്യസ്ത വസ്തുക്കളിൽ ഒരേ ബലത്താൽ സൃഷ്ടിക്കപ്പെടുന്ന ആക്കവ്യത്യാസം തുല്യമായിരിക്കും. ഇതാണ് രണ്ടാം ചലനനിയമത്തിന്റെ സുപ്രധാന സൂചകം.

- മേൽപ്പറഞ്ഞ നിരീക്ഷണങ്ങളിലൊന്നും ആക്കത്തിന്റെ സദിശ സ്വഭാവം സ്പഷ്ടമായിരുന്നില്ല. നാം ചർച്ചചെയ്ത ഉദാഹരണങ്ങളിലെല്ലാം ആക്കത്തിന്റെയും ആക്കവ്യത്യാസത്തിന്റെയും ദിശ ഒന്നു തന്നെയായിരുന്നു. എന്നാൽ എപ്പോഴും ഇപ്രകാരമാവണമെന്നില്ല. ഉദാഹരണത്തിന്, ചരടിൽ കെട്ടിയ ഒരു കല്ലിനെ സമവേഗത്തിൽ തിരശ്ചീനതലത്തിൽ ക്കൂടി കറക്കുന്നുവെന്നിരിക്കട്ടെ. ഇവിടെ ആക്കത്തിന്റെ അളവ് സ്ഥിരമാണ്. എന്നാൽ അതിന്റെ ദിശ മാറിക്കൊണ്ടിരിക്കും (ചിത്രം 5.4). ആക്കസദിശത്തിന് ഇപ്രകാരം വ്യത്യാസം വരുത്തണമെങ്കിൽ ഒരു ബലം ആവശ്യമാണ്. നമ്മുടെ കൈയിൽനിന്നു ചരടിലൂടെയാണ് ഈ ബലം നൽകുന്നത്. ഒരു കല്ലിനെ കൂടുതൽവേഗത്തിലോ ചെറിയ ആരമുള്ള വൃത്തത്തിലൂടെയോ ഇതു രണ്ടുംകൂടി ചേർന്ന രീതിയിലോ കറക്കണമെങ്കിൽ നമ്മുടെ കൈകൾ കൂടുതൽബലം പ്രയോഗിക്കേണ്ടതുണ്ടെന്ന് അനുഭവങ്ങളിൽ നിന്നു നമുക്കറിയാം. ഇത് കൂടുതൽ ത്വരണത്തിനോ അഥവാ ആക്കവ്യത്യാസമെന്ന സദിശത്തിന്റെ കൂടുതൽ വ്യതിയാനത്തിനോ കാരണമാകുന്നു. ആക്കവ്യത്യാസത്തിന്റെ നിരക്ക് കൂടുന്നതിനനുസരിച്ച് പ്രയോഗിക്കേണ്ട ബലവും കൂടുന്നു.



ചിത്രം 5.4. ആക്കത്തിന്റെ അളവ് സ്ഥിരമായിരുന്നാൽപോലും ആക്കത്തിന്റെ ദിശമാറ്റുന്നതിന് ഒരു ബലം ആവശ്യമാണ്. കല്ലിനെ ചരടിൽകെട്ടി തിരശ്ചീനമായ വർത്തുളപാതയിലൂടെ സമപ്രവേഗത്തിൽ കറക്കുമ്പോൾ നമുക്ക് ഇത് അനുഭവപ്പെടാറുണ്ട്.

ഈ നിഗമനങ്ങൾ നമ്മെ ന്യൂട്ടന്റെ രണ്ടാം ചലനനിയമ ത്തിലേക്കെത്തിക്കുന്നു. ഈ ചലന നിയമത്തെ താഴെ പറയുന്ന രീതിയിൽ പ്രസ്താവിക്കാം.

'ഒരു വസ്തുവിനുണ്ടാകുന്ന ആക്കവ്യത്യാസത്തിന്റെ നിരക്ക് പ്രയോഗിക്കുന്ന ബലത്തിന് നേർ അനുപാ തത്തിലും അതിന്റെ ദിശ, പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന ബല ത്തിന്റെ ദിശയിലുമായിരിക്കും.'

അതായത്, '**F**' ബലം പ്രയോഗിക്കുന്നതുമൂലം 'm' മാസുള്ള ഒരു വസ്തുവിന്റെ പ്രവേഗം Δt ഇടവേള കൊണ്ട് $\mathbf{v}$ യിൽ നിന്നു $\mathbf{v}+\Delta\mathbf{v}$ ആകുന്നുവെന്നിരിക്കട്ടെ. വസ്തുവിന്റെ ആദ്യ ആക്കം $\mathbf{p} = m\,\mathbf{v}$ യ്ക്ക് $\Delta\mathbf{p} = m\,\Delta\mathbf{v}$ വ്യത്യാസമുണ്ടാകുന്നു. രണ്ടാം ചലനനിയമമനുസരിച്ച്

$$\mathbf{F} \propto \frac{\Delta\mathbf{p}}{\Delta t} \quad \text{or} \quad \mathbf{F} = k\,\frac{\Delta\mathbf{p}}{\Delta t}$$

ഇവിടെ k എന്നത് അനുപാതസ്ഥിരാങ്കമാണ് (constant of proportionality). ഇടവേളയുടെ പരിധി $\Delta t \to 0$ എന്നു കണക്കാക്കിയാൽ $\frac{\Delta\mathbf{p}}{\Delta t}$ എന്നതിനെ, ആനുമാനികം (derivative) അഥവാ t യിലുള്ള **p** യുടെ അവകലന ഗുണാങ്കം (differential coefficient) $\frac{d\mathbf{p}}{dt}$ എന്നു പറയാം.

അതുകൊണ്ട്, $$\mathbf{F} = k\,\frac{d\mathbf{p}}{dt} \qquad (5.2)$$

സ്ഥിരമായ 'm' മാസുള്ള ഒരു വസ്തുവിന്

$$\frac{d\mathbf{p}}{dt} = \frac{d}{dt}(m\,\mathbf{v}) = m\,\frac{d\mathbf{v}}{dt} = m\,\mathbf{a} \qquad (5.3)$$

അതായത് രണ്ടാംചലനനിയമത്തെ താഴെപ്പറയുന്ന പ്രകാരവും എഴുതാവുന്നതാണ്.

$$\mathbf{F} = k\,m\,\mathbf{a} \qquad (5.4)$$

ബലം വസ്തുവിന്റെ മാസ് 'm' നും ത്വരണം '**a**' യ്ക്കും ആനുപാതികമാണെന്ന് ഇതു വ്യക്തമാക്കുന്നു.

ബലത്തിന്റെ യൂണിറ്റ് എന്താണെന്ന് നാം ഇതുവരെയും നിർവചിച്ചിരുന്നില്ല. സമവാക്യം (5.4)ൽ നിന്നു ബല ത്തിന്റെ യൂണിറ്റ് നിർവചിക്കാനാകും. ഇതിനായി 'k' എന്നതിന് നമ്മുടെ ഇഷ്ടാനുസരണം ഏതെങ്കിലും സ്ഥിരമൂല്യം നൽകാം. അതായത് $k = 1$ എന്ന് സങ്ക ൽപ്പിക്കുക. അപ്പോൾ രണ്ടാം ചലനനിയമം

$$\mathbf{F} = \frac{d\mathbf{p}}{dt} = m\,\mathbf{a} \qquad (5.5)$$

എന്നാകുന്നു.

SI യൂണിറ്റിൽ, 1kg മാസുള്ള ഒരു വസ്തുവിൽ 1 m s^{-2} ത്വരണം സൃഷ്ടിക്കുന്ന അത്രയും ബലത്തെ ഒരു യൂണിറ്റ് ബലം എന്നു പറയുന്നു. ഈ യൂണിറ്റാണ് 'ന്യൂട്ടൺ'

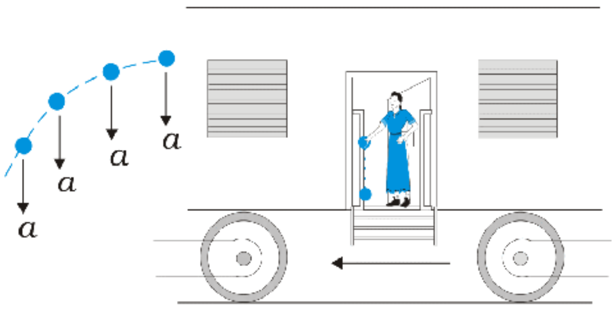
$$1\ \text{N} = 1\ \text{kg m s}^{-2}.$$

രണ്ടാം ചലനനിയമത്തിലെ ചില പ്രധാനവസ്തുതകളെ നമുക്ക് പരിശോധിക്കാം.

1. രണ്ടാം ചലനനിയമമനുസരിച്ച് $\mathbf{F} = 0$ സൂചിപ്പിക്കു ന്നത് $\mathbf{a} = 0$ ആയിരിക്കുമെന്നാണ്. അതായത് രണ്ടാം ചലനനിയമം ഒന്നാം ചലനനിയമവുമായി പൊരുത്ത മുള്ളതാണ്.
2. രണ്ടാം ചലനനിയമം ഒരു സദിശനിയമമാണ്. ഇത് മൂന്നു സമവാക്യങ്ങളായി എഴുതാൻ കഴിയും. അവ ഈ സദിശത്തിന്റെ മൂന്നു ഘടകങ്ങളിൽ ഓരോന്നി നെയും സൂചിപ്പിക്കുന്നു.

$$F_x = \frac{dp_x}{dt} = m a_x$$
$$F_y = \frac{dp_y}{dt} = m a_y$$
$$F_z = \frac{dp_z}{dt} = m a_z \qquad (5.6)$$

ഇതിനർഥം ബലം പ്രവേഗത്തിന് സമാന്തരദിശയി ലല്ലെങ്കിൽ, അതായത് അവ തമ്മിൽ ഒരു കോണള വുണ്ടെങ്കിൽ ബലത്തിന്റെ ദിശയിലുള്ള പ്രവേഗ ത്തിന്റെ ഘടകത്തിനു മാത്രമേ വ്യത്യാസമുണ്ടാവു കയുള്ളൂവെന്നാണ്. ബലത്തിന്റെ ദിശക്ക് ലംബമാ യുള്ള പ്രവേഗത്തിന് ഒരു മാറ്റവും സംഭവിക്കുകയി ല്ല. ഉദാഹരണത്തിന്, ലംബമായുള്ള ഗുരുത്വാ കർഷണബലത്തിന്റെ സ്വാധീനത്തിൽ വിക്ഷേപിക്ക പ്പെടുന്ന ഒരു വസ്തുവിന്റെ (projectile) തിരശ്ചീന ദിശയിലുള്ള പ്രവേഗം മാറ്റമില്ലാതെ തുടരും. (ചിത്രം 5.5)



ചിത്രം 5.5 തൽക്ഷണ ത്വരണം എന്നത് ആ സമയത്തു പ്രയോ ഗിക്കുന്ന ബലത്തെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. ത്വരണം സംഭവിച്ച് ട്രെയിനിൽ നിന്നു പുറത്തേക്കിട്ട കല്ലിന് ആ നിമിഷത്തിനു ശേഷം ബലം അനുഭവപ്പെടുകയോ (വായുവിന്റെ രോധം അവ ഗണിച്ചാൽ) തിരശ്ചീനമായ ത്വരണം ഉണ്ടാവുകയോ ഇല്ല.

3. സമവാക്യം (5.5) അനുസരിച്ചുള്ള രണ്ടാം ചലനനിയമം ഒരു ഏക ബിന്ദുവസ്തുവിനു (single point particle) മാത്രം ബാധകമായുള്ളതാണ്. നിയമത്തിലെ **F** എന്നത് ഈ ഒറ്റ വസ്തുവിൽ പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന സഫല ബാഹ്യബലവും **a** എന്നത് ഈ വസ്തുവിന്റെ ത്വരണവുമാണ്. എന്നാൽ ഇതേ നിയമം ഒരു ദൃഢവസ്തുവിനും കണികകളുടെ ഒരു വ്യൂഹത്തിനും ഒരേപോലെ ബാധകമാണ്. ഇവിടെ **F** എന്നത് ആ വ്യൂഹത്തിൽ പ്രവർത്തിക്കുന്ന സഫലബാഹ്യബലവും **a** ആ വ്യൂഹത്തിന്റെ ത്വരണവും ആകുന്നു. കൃത്യമായി പറഞ്ഞാൽ **a** എന്നത് ആ വ്യൂഹത്തിന്റെ ദ്രവ്യമാനകേന്ദ്രത്തിന്റെ (centre of mass) ത്വരണമാണ്. ഇതിനെക്കുറിച്ച് അധ്യായം 7-ൽ വിശദമായി പഠിക്കും. **"ഒരു വ്യൂഹത്തിൽ പ്രവർത്തിക്കുന്ന ആന്തരിക ബലങ്ങളെയൊന്നും F എന്ന ബലത്തിൽ ഉൾപ്പെടുത്തുകയില്ല."**

4. ഒരു പ്രത്യേക സ്ഥലത്ത് (വസ്തുവിന്റെ സ്ഥാനം) പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന **F** എന്ന ബലത്തെയും ആ ബലം പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന സമയത്ത് അവിടെയുണ്ടാകുന്ന **a** എന്ന ത്വരണത്തെയും പരസ്പരം ബന്ധിപ്പിക്കുന്നതാണ് രണ്ടാം ചലനനിയമം. അതുകൊണ്ട് ആ സ്ഥാനത്ത് ഒരു നിശ്ചിതസമയത്തുണ്ടാകുന്ന ത്വരണമെന്തെന്നു നിർണയിക്കുന്നത് ആ സമയത്ത് അവിടെ പ്രവർത്തിക്കുന്ന ബലമാണ്, അല്ലാതെ അതിനുമുമ്പ് വസ്തുവിനുള്ള ചലനത്തിന്റെ അവസ്ഥയല്ല. (ചിത്രം 5.5 കാണുക)

ഉദാഹരണം:– 5.2 0.04 kg മാസുള്ള 90 ms^{-1} വേഗത്തിൽ സഞ്ചരിക്കുന്ന ഒരു വെടിയുണ്ട ഭാരമേറിയ ഒരു തടിക്കഷണത്തിൽ തുളഞ്ഞുകയറുകയും 60cm ദൂരം സഞ്ചരിച്ചശേഷം നിശ്ചലമാവുകയും ചെയ്യുന്നു. ഈ വെടിയുണ്ടയിൽ തടിക്കഷണം പ്രയോഗിക്കുന്ന ശരാശരി പ്രതിരോധബലമെത്ര?

ഉത്തരം

വെടിയുണ്ടക്കുണ്ടാകുന്ന മന്ദീകരണം (സ്ഥിരമാണെന്ന് അനുമാനിക്കാം)

$$a = \frac{-u^2}{2s} = \frac{-90 \times 90}{2 \times 0.6} \text{m s}^{-2} = -6750 \text{ m s}^{-2}$$

രണ്ടാം ചലനനിയമമനുസരിച്ച് മന്ദീകരണം സൃഷ്ടിക്കുന്ന ബലം

$$= 0.04 \text{ kg} \times 6750 \text{ m s}^{-2} = 270 \text{ N}$$

വിവിധ സമയങ്ങളിൽ വെടിയുണ്ടയിൽ ഉണ്ടാകുന്ന യഥാർഥത്തിലുള്ള പ്രതിരോധവും മന്ദീകരണവും തുല്യമല്ലാത്തതിനാൽ ഇത് ശരാശരി പ്രതിരോധബലത്തെ മാത്രമാണ് സൂചിപ്പിക്കുന്നത്. ◀

ഉദാഹരണം: 5.3. 'm' മാസുള്ള ഒരു വസ്തുവിന്റെ ചലനം $y = ut + \frac{1}{2}gt^2$ എന്ന സമവാക്യമുപയോഗിച്ച് സൂചിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നു. വസ്തുവിൽ പ്രയോഗിക്കുന്ന ബലം കണക്കാക്കുക.

ഉത്തരം: $y = ut + \frac{1}{2}gt^2$ എന്ന് നമുക്കറിയാം.

അതിനാൽ $v = \frac{dy}{dt} = u + gt$

ത്വരണം $a = \frac{du}{dt} = g$

അപ്പോൾ സമവാക്യം 5.5 അനുസരിച്ച് ബലം
$F = ma = mg$

ഈ സമവാക്യം ഗുരുത്വത്വരണത്തോടെയുള്ള വസ്തുവിന്റെ ചലനത്തെ പ്രതിനിധാനം ചെയ്യുന്നു. 'y' g യുടെ ദിശയിലുള്ള സ്ഥാന നിർദേശാങ്കമാണ്. ◀

ആവേഗം (Impulse)

വളരെകുറഞ്ഞ സമയത്തിനുള്ളിൽ വളരെവലിയ ഒരു ബലം വസ്തുക്കൾക്ക് ആക്കവ്യതിയാനമുണ്ടാക്കുന്നത് നാം പലപ്പോഴും കാണാറുണ്ട്. ഉദാഹരണത്തിന്, പന്ത് ചുമരിൽ തട്ടിതിരിച്ചുവരുന്നത്. ഇവിടെ പന്തും ചുമരും തമ്മിൽ സമ്പർക്കത്തിലുള്ള വളരെ ചെറിയഇടവേളയിൽ മാത്രമാണ് പന്തിന്മേൽ ചുമർ ബലം പ്രയോഗിക്കുന്നത്. എങ്കിൽ പോലും പന്തിന്റെ ആക്കദിശ നേർവിപരീതമാക്കാൻ കഴിയുന്നതരത്തിൽ ആ ബലം വളരെ വലുതാണ്. ഇത്തരം സന്ദർഭങ്ങളിൽ ബലത്തെയും ബലം പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന ഇടവേളയെയും പ്രത്യേകമായി കണക്കിലെടുക്കുക പ്രയാസമാണ്. എന്നാൽ ബലത്തിന്റെയും സമയത്തിന്റെയും ഗുണനഫലം നമുക്ക് അളക്കാൻ കഴിയുന്നതരത്തിലാണ്. ഈ ഗുണനഫലത്തെ ആവേഗം (Impulse) എന്നു പറയുന്നു.

ആവേഗം = ബലം x സമയ ഇടവേള = ആക്കവ്യത്യാസം (5.7)

വളരെചെറിയ ഇടവേളയിൽ പ്രവർത്തിക്കുന്ന വളരെ വലിയ ബലത്തെയാണ് ആവേഗബലം (Impulsive force) എന്നു പറയുന്നത്. മുൻകാലങ്ങളിൽ ആവേഗബലത്തെ ഒരു പ്രത്യേക വിഭാഗമായാണ് കണക്കാക്കിയിരുന്നത്. എന്നാൽ ന്യൂട്ടോണിയൻ ബലതന്ത്രത്തിൽ അത്തരം വ്യത്യാസങ്ങളില്ല-ആവേഗബലം മറ്റെല്ലാ

ത്തരം ബലങ്ങളെയും പോലെയുള്ളതാണ്. വ്യത്യാസം ആവേഗബലം വളരെ ചെറിയ ഇടവേളയിൽ പ്രവർത്തിക്കുന്ന വലിയ ബലമാണെന്നതു മാത്രമാണ്.

ഉദാഹരണം 5.4.
ബൗളർ എറിഞ്ഞ വേഗമായ 12m/sൽ ഒരു ബാറ്റ്സ്മാൻ പന്തിനെ ബൗളറുടെ നേരേ തിരിച്ചടിക്കുന്നു. പന്തിന്റെ മാസ് 0.5 kg ആയാൽ പന്തിനു ലഭിക്കുന്ന ആവേഗം എത്രയെന്ന് കണക്കാക്കുക. (പന്തിന്റേത് രേഖീയചലനമാണെന്ന് സങ്കൽപിക്കുക).

ഉത്തരം ആക്കവ്യത്യാസം = 0.15 x 12 - (-0.15x 12)
= 3.6 Ns
ആവേഗം = 3.6 Ns

ഇതിന്റെ ദിശ ബാറ്റ്സ്മാനിൽനിന്നു ബൗളറിലേക്കാണ്.

മുകളിൽ സൂചിപ്പിച്ച ഉദാഹരണത്തിൽ പന്തിൽ പ്രയോഗിക്കപ്പെട്ട ബലമോ പന്തും ബാറ്റും തമ്മിൽ സമ്പർക്കത്തിലുണ്ടായിരുന്ന സമയമോ വ്യക്തമായി മനസ്സിലാക്കാൻ ബുദ്ധിമുട്ടാണ്. എന്നാൽ പന്തിനു ലഭിക്കുന്ന ആവേഗം കണക്കാക്കാൻ നമുക്ക് എളുപ്പത്തിൽ സാധിക്കുന്നുണ്ട്.

5.6 ന്യൂട്ടന്റെ മൂന്നാം ചലനനിയമം (Newton's Third Law of Motion)

രണ്ടാം ചലനനിയമം ഒരു വസ്തുവിൻമേൽ പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന ബാഹ്യബലത്തെയും വസ്തുവിന്റെ ത്വരണത്തെയും പരസ്പരം ബന്ധിപ്പിക്കുന്നു. എന്നാൽ എന്താണ് ഈ വസ്തുക്കളുടെമേലുള്ള ബാഹ്യബലത്തിന്റെ ഉറവിടം? ഈ ബാഹ്യബലത്തിന് കാരണമെന്ത്? ന്യൂട്ടോണിയൻ ബലതന്ത്രത്തിൽ ഇതിന്റെ ഏറ്റവും ലഘുവായ ഉത്തരം ഈ ബാഹ്യബലം എപ്പോഴും മറ്റൊരു വസ്തുമൂലമാണുണ്ടാകുന്നതെന്നാണ്. A,B എന്നിങ്ങനെ ഒരു ജോടി വസ്തുക്കളെ സങ്കൽപിക്കുക. A യിൽ B ഒരു ബാഹ്യബലം സൃഷ്ടിക്കുന്നു. അപ്പോൾ സ്വാഭാവികമായും നാം ഒരു ചോദ്യത്തിന് ഉത്തരം കണ്ടെത്തേണ്ടിവരും. A എന്ന വസ്തു തിരിച്ച് B യിൽ ബാഹ്യബലം പ്രയോഗിക്കുന്നുണ്ടോ? ചില ഉദാഹരണങ്ങളിൽനിന്ന് നമുക്ക് ഇതിന്റെ ഉത്തരം വ്യക്തമായി മനസ്സിലാക്കാം. ഒരു ചുരുളൻ സ്പ്രിങ്ങിനെ (coiled spring) അമർത്തിപ്പിടിക്കുമ്പോൾ നമ്മുടെ കൈയിൽ നിന്നുള്ള ബലം മൂലം സ്പ്രിങ് അമർന്നിരിക്കുന്നു. ഇതേസമയം ഇങ്ങനെ അമർന്നിരിക്കുന്ന സ്പ്രിംങ് നമ്മുടെ കൈയിൽ പ്രയോഗിക്കുന്ന ബലം നമുക്ക് അനുഭവിക്കാൻ കഴിയും. എന്നാൽ വസ്തുക്കൾ തമ്മിൽ പരസ്പരം സമ്പർക്കത്തിലല്ല എങ്കിലെന്തായിരിക്കും സംഭവിക്കുന്നത്? ഭൂമി ഒരു കല്ലിനെ ഗുരുത്വാകർഷണബലം വഴി താഴേക്ക് ആകർഷിക്കുന്നു. ഈ കല്ല് തിരിച്ച് ഭൂമിയിൽ ബലം പ്രയോഗിക്കുന്നുണ്ടോ? ഈ ചോദ്യത്തിനുള്ള ഉത്തരം വ്യക്തമല്ല, കാരണം, കല്ല് ഭൂമിയിൽ പ്രയോഗിക്കുന്ന ബലത്തിന്റെ ആഘാതം നമുക്ക് കാണാൻ കഴിയുന്നില്ല. എന്നാൽ ന്യൂട്ടനെ സംബന്ധിച്ചിടത്തോളം ഈ ചോദ്യത്തിന്റെ ഉത്തരം 'ഉണ്ട്' എന്നാണ്. കല്ല് ഭൂമിയിൽ തുല്യവും വിപരീതവുമായ ഒരു ബലം പ്രയോഗിക്കുന്നുണ്ട്. ഇത് നമുക്ക് തിരിച്ചറിയാൻ പറ്റാത്തതിനു കാരണം ഭൂമിയുടെ വലിയ മാസാണ്. അതുകൊണ്ട് കല്ലുണ്ടാക്കുന്ന ഒരു ചെറിയ ബലം മൂലം ഭൂമിക്കുണ്ടാകുന്ന ചലനം അവഗണിക്കാവുന്നതാണ്.

ഇപ്രകാരം ന്യൂട്ടോണിയൻ ബലതന്ത്രമനുസരിച്ച് ബലങ്ങൾ ഒരിക്കലും പ്രകൃതിയിൽ ഒറ്റപ്പെട്ടല്ല പ്രവർത്തിക്കുന്നതെന്നു കാണാം. രണ്ടു വസ്തുക്കൾ തമ്മിലുള്ള പരസ്പര ഇടപെടലാണ് ബലം. ബലങ്ങൾ എപ്പോഴും ജോടികളായാണ് നിലനിൽക്കുന്നത്. രണ്ടു വസ്തുക്കൾക്കിടയിൽ അന്യോന്യം പ്രവർത്തിക്കുന്ന ബലങ്ങൾ എപ്പോഴും തുല്യവും വിപരീതവുമായിരിക്കും. ഈ ആശയത്തെയാണ് ന്യൂട്ടന്റെ മൂന്നാം ചലനനിയമത്തിന്റെ രൂപത്തിൽ ആവിഷ്കരിച്ചിരിക്കുന്നത്.

"ഏതു പ്രവർത്തനത്തിനും തുല്യവും വിപരീതവുമായ ഒരു പ്രതിപ്രവർത്തനം ഉണ്ടായിരിക്കും."

ന്യൂട്ടന്റെ ഭാഷയിലുള്ള മൂന്നാം ചലനനിയമം വളരെ സ്പഷ്ടവും മനോഹരവുമാകയാൽ അത് സാധാരണ ശൈലിയുടെ ഭാഗമായി മാറിയിട്ടുണ്ട്. തന്മൂലം തന്നെ ഇത് വളരെ തെറ്റിദ്ധാരണകൾക്ക് ഇടയാക്കാം.

പ്രവർത്തനം, പ്രതിപ്രവർത്തനം എന്നീ വാക്കുകളുടെ പ്രയോഗം സംബന്ധിച്ച ചില വസ്തുതകൾ നമുക്ക് പരിശോധിക്കാം.

1. മൂന്നാം ചലനനിയമത്തിൽ പ്രതിപാദിക്കുന്ന പ്രവർത്തനവും പ്രതിപ്രവർത്തനവും ബലങ്ങളാണ്. മൂന്നാം ചലനനിയമത്തെ സ്പഷ്ടമായി താഴെ പറയുന്ന തരത്തിൽ നിർവചിക്കാം.

   "ബലങ്ങൾ എപ്പോഴും ജോടികളായാണ് പ്രവർത്തിക്കുന്നത്. A എന്ന വസ്തുവിൽ B എന്ന വസ്തു പ്രയോഗിക്കുന്ന ബലം, B എന്ന വസ്തുവിൽ A പ്രയോഗിക്കുന്ന ബലത്തിന് തുല്യവും വിപരീതവുമായിരിക്കും."

2. പ്രവർത്തനം, പ്രതിപ്രവർത്തനം എന്നീ പ്രയോഗങ്ങൾ തെറ്റായ ധാരണ സൃഷ്ടിക്കാറുണ്ട്. പ്രവർത്തനത്തെ തുടർന്നാണ് പ്രതിപ്രവർത്തനമുണ്ടാകുന്നതെന്ന, അതായത് പ്രവർത്തനം കാരണവും പ്രതിപ്രവർത്തനമെന്നത് അതിന്റെ ഫലവും ആണെന്ന തെറ്റായ ധാരണയാണ് ഉണ്ടാക്കുന്നത്. എന്നാൽ **പ്രവർത്തനവും പ്രതിപ്രവർത്തനവും തമ്മിൽ യാതൊരു കാര്യകാരണബന്ധവും മൂന്നാം ചലനനിയമം വിവക്ഷിക്കുന്നില്ല. A യിൽ B പ്രയോഗിക്കുന്ന ബലവും B യിൽ A പ്രയോ**

ഗിക്കുന്ന ബലവും ഒരേ സമയത്താണ് പ്രവർത്തിക്കുന്നത്. അതിനാൽ ഇവയിൽ ഏതിനെ വേണമെങ്കിലും പ്രവർത്തനമെന്നും മറ്റേതിനെ പ്രതിപ്രവർത്തനമെന്നും നിർവചിക്കാം.

3. പ്രവർത്തനവും പ്രതിപ്രവർത്തനവും വ്യത്യസ്ത വസ്തുക്കളിലാണ് പ്രവർത്തിക്കുന്നത്, ഒരേ വസ്തുവിലല്ല. A,B എന്നീ രണ്ടു വസ്തുക്കൾ സങ്കൽപ്പിക്കുക. മൂന്നാം ചലനനിയമമനുസരിച്ച്

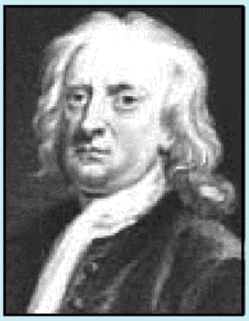
$$\mathbf{F}_{AB} = -\mathbf{F}_{BA} \qquad (5.8)$$

(A യിൽ പ്രയോഗിക്കുന്ന ബലം) = - (B യിൽ പ്രയോഗിക്കുന്ന ബലം)

ഏതെങ്കിലും ഒരു വസ്തുവിന്റെ മാത്രം ചലനമാണ് നാം പരിഗണിക്കുന്നതെങ്കിൽ (A യോ B യോ), മേൽപറഞ്ഞ വയിൽ ഏതെങ്കിലും ഒരു ബലം മാത്രമേ കണക്കിലെടുക്കേണ്ടതുള്ളൂ. ഈ രണ്ടു ബലങ്ങളും തമ്മിൽ കൂട്ടുന്നതുമൂലം കിട്ടുന്ന ആകെ ബലം പൂജ്യമാണെന്നു കരുതുന്നതും സാധാരണവരുത്താറുള്ള ഒരു പിഴവാണ്.

നാം രണ്ടു വസ്തുക്കളുള്ള ഒരു വ്യൂഹത്തെ മുഴുവനായി പരിഗണിച്ചാൽ $\mathbf{F}_{AB}$, $\mathbf{F}_{BA}$ എന്നിവ ഈ വ്യൂഹത്തിൽ (A+B യിൽ) പ്രവർത്തിക്കുന്ന ആന്തരികബലങ്ങളാണ്. ഇവ രണ്ടും തമ്മിൽ കൂട്ടിയാൽ കിട്ടുന്നത് ശൂന്യബലം (null force) ആണ്. അതായത് ഒരു വസ്തുവിൻമേലോ വസ്തുക്കളുടെ വ്യൂഹത്തിലോ പ്രവർത്തിക്കുന്ന ആന്തരികബലങ്ങൾ പരസ്പരം റദ്ദാക്കപ്പെടുന്നു. ഈ സുപ്രധാന വസ്തുത ഒരു വസ്തുവിൻമേലോ കണികകളുടെ ഒരു വ്യൂഹത്തിലോ ന്യൂട്ടന്റെ രണ്ടാം ചലനനിയമം പ്രയോഗയോഗ്യമാക്കുന്നതിന് സഹായകമാകുന്നു. (അധ്യായം 7 കാണുക).

ഐസക് ന്യൂട്ടൻ (Isaac Newton) (1642 - 1727)

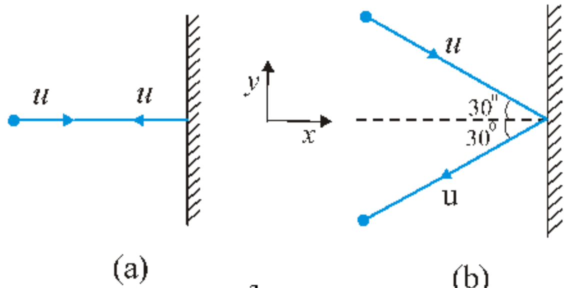


1642 - ൽ ഇംഗ്ലണ്ടിലെ വൂൾസ് തോർപ്പിലാണ് ഐസക് ന്യൂട്ടന്റെ ജനനം, ഗലീലിയോ മരണമടഞ്ഞതും ഇതേ വർഷമാണ്. സ്കൂൾ പഠനകാലത്ത് അദ്ദേഹത്തിന് ഗണിതത്തിലുണ്ടായിരുന്ന അസാമാന്യമായ കഴിവും യന്ത്രനിർമിതിയിലുള്ള അഭിരുചിയും ആരും തിരിച്ചറിഞ്ഞിരുന്നില്ല. 1662 - ൽ അദ്ദേഹം ബിരുദ പഠനത്തിനായി കേംബ്രിഡ്ജിൽ എത്തി. എന്നാൽ 1665ൽ പടർന്നുപിടിച്ച പ്ലേഗു മൂലം കേംബ്രിഡ്ജ് നഗരം അടച്ചുപൂട്ടുകയും ന്യൂട്ടന് തന്റെ അമ്മയുടെ കൃഷിയിടത്തിലേക്ക് മടങ്ങിപ്പോകേണ്ടിവരുകയും ചെയ്തു. രണ്ടുവർഷത്തോളം നീണ്ട ആ ഏകാന്തവാസത്തിനിടയിൽ അദ്ദേഹത്തിന്റെ ഒളിഞ്ഞു കിടന്ന കഴിവുകൾ പുറത്തുവരുകയും ഗണിതത്തിലും ഭൗതികശാസ്ത്രത്തിലുമുള്ള അടിസ്ഥാന തത്വങ്ങൾ കണ്ടെത്തുകയും ചെയ്തു. ഗണിതത്തിലെ നെഗറ്റീവും ഭിന്നകങ്ങളുമായ ഘാതങ്ങളും ഉൾക്കൊള്ളുന്ന ബൈനോമിയൽ സിദ്ധാന്തങ്ങൾ (Binomial theorem for negative and fractional exponents), കലനശാസ്ത്രത്തിന്റെ (calculus) ആരംഭം, ഗുരുത്വാകർഷണത്തിലെ വ്യുൽക്രമ വർഗ നിയമം (Inverse square law), ധവളപ്രകാശത്തിന്റെ വർണരാജി മുതലായവ. കേംബ്രിഡ്ജിലേക്ക് തിരിച്ചെത്തിയ ശേഷം അദ്ദേഹം പ്രകാശശാസ്ത്രത്തിൽ (optics) തന്റെ ഗവേഷണം തുടരുകയും പ്രതിഫലന ടെലിസ്കോപ്പ് (reflecting telescope) രൂപകൽപനചെയ്യുകയും ചെയ്തു.

1684 - ൽ തന്റെ സുഹൃത്ത് എഡ്മണ്ട് ഹാലിയുടെ പ്രേരണയും പ്രോത്സാഹനവും മൂലം ന്യൂട്ടൻ ശാസ്ത്രരംഗത്തെ എക്കാലത്തെയും ഏറ്റവും പ്രശസ്തമായ കൃതി പ്രസിദ്ധപ്പെടുത്തി - പ്രിൻസിപ്പിയ മാത്തമാറ്റിക്ക (The Principia Mathematica). ഈ ഗ്രന്ഥത്തിൽ തന്റെ മൂന്നു ചലനനിയമങ്ങളെയും ഗുരുത്വാകർഷണനിയമത്തെയും പ്രതിപാദിക്കുന്നു. ഗ്രഹചലനത്തെക്കുറിച്ച് കെപ്ലർ കണ്ടെത്തിയ മൂന്നു നിയമങ്ങൾക്കുള്ള വിശദീകരണം അതു നൽകി. ഈ പുസ്തകം വിപ്ലവകരമായ വിവിധ കണ്ടുപിടിത്തങ്ങൾ അടങ്ങിയതായിരുന്നു. ദ്രവബലതന്ത്രത്തിന്റെ (Fluid mechanics) അടിസ്ഥാനതത്ത്വങ്ങൾ, തരംഗചലനത്തിന്റെ ഗണിതം, ഭൂമി, സൂര്യൻ മറ്റു ഗ്രഹങ്ങൾ എന്നിവയുടെ മാസ് കണ്ടെത്തൽ, വിഷുവങ്ങളുടെ പുരസ്സരണത്തെ (Procession of Equinoxes) ക്കുറിച്ചുള്ള വിശദീകരണം, വേലിയേറ്റം - വേലിയിറക്കം (tides) എന്നിവയെക്കുറിച്ചുള്ള സിദ്ധാന്തം എന്നിവ ഇതിൽ ചിലതു മാത്രമാണ്. 1704 - ൽ തന്റെ മറ്റൊരു മാസ്റ്റർപീസായ 'ഓപ്റ്റിക്സ്' (optiks) പ്രസിദ്ധീകരിച്ചു. ഇതിൽ പ്രകാശത്തെയും നിറങ്ങളെയും കുറിച്ചുള്ള അദ്ദേഹത്തിന്റെ ഗവേഷണങ്ങൾ ഉൾക്കൊള്ളിച്ചിട്ടുണ്ട്.

കോപ്പർനിക്കസ് തുടക്കമിടുകയും ഗലീലിയോയും കെപ്ലറും മുന്നോട്ടു നയിക്കുകയും ചെയ്ത ശാസ്ത്രവിപ്ലവത്തെ പരിപൂർണതയിലെത്തിച്ചത് ന്യൂട്ടനാണ്. ഭൗമ പ്രതിഭാസങ്ങളെയും ആകാശഗോളങ്ങളുടെ ചലനപ്രതിഭാസങ്ങളെയും ഏകോപിപ്പിക്കാൻ ന്യൂട്ടോണിയൻ ബലതന്ത്രത്തിന് സാധിച്ചു. ആപ്പിൾ താഴേക്കു വീഴുന്നതിനെ വിശദീകരിക്കുന്ന അതേ ഗണിതസമവാക്യം ഭൂമിക്കുചുറ്റുമുള്ള ചന്ദ്രന്റെ ചലനത്തെ വിശദീകരിക്കാനും സഹായിക്കുന്നു. ന്യൂട്ടന്റെ കണ്ടുപിടിത്തങ്ങൾ ശാസ്ത്രരംഗത്ത് യുക്തിയുടെ യുഗപ്പിറവിക്കു കാരണമായി.

▶ഉദാഹരണം 5.5 സമാനമായ രണ്ട് ബില്യാർഡ്സ് പന്തുകൾ ഒരേ വേഗത്തിൽ എന്നാൽ വ്യത്യസ്ത കോണളവുകളിൽ ഒരു ഉറപ്പുള്ള ചുമരിൽ ഇടിക്കുകയും വേഗത്തിനു വ്യത്യാസമില്ലാതെ ചിത്രം 5.6.ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ തിരികെ വരുകയും ചെയ്യുന്നു. i) ഓരോ പന്തും ചുമരിന്മേൽ പ്രയോഗിക്കുന്ന ബലത്തിന്റെ ദിശ എന്ത്? ii) രണ്ടു പന്തുകൾക്കും ചുമരു നൽകുന്ന ആവേഗത്തിന്റെ അളവിന്റെ അനുപാതം കണക്കാക്കുക.



ചിത്രം 5.6

ഉത്തരം

ചോദ്യം (i) ന് സ്വാഭാവികമായി നൽകപ്പെടുവാൻ സാധ്യതയുള്ള ഉത്തരം സന്ദർഭം (a) യിൽ ചുമരിന്മേൽ പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന ബലം ചുമരിനു ലംബമായാണെന്നും സന്ദർഭം (b) യിൽ ലംബത്തിന് 30° കോണളവിലാണെന്നതുമാണ്. ഈ നിഗമനം തെറ്റാണ്. രണ്ട് ഉദാഹരണങ്ങളിലും ചുമരിന്മേൽ പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന ബലം ചുമരിനു ലംബമായാണ്.

എങ്ങിനെയാണ് ചുമരിൻമേൽ പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന ബലം കണക്കാക്കുന്നത്? ഇതിനുള്ള കുറുക്കുവഴി പന്ത് ചുമരിന്മേൽ പ്രയോഗിക്കുന്ന ബലം (അല്ലെങ്കിൽ ആവേഗം) രണ്ടാം ചലനനിയമമുപയോഗിച്ചു കണക്കാക്കുകയെന്നതും അതിനുശേഷം മൂന്നാം ചലനനിയമത്തിന്റെ സഹായത്തോടെ ഉത്തരം കണ്ടെത്തുകയെന്നതുമാണ്.

(i) പന്തുകളുടെ മാസ് 'm' ഉം ചുമരുമായുള്ള കൂട്ടിയിടിക്കുമുമ്പ് ഓരോ പന്തിന്റെയും വേഗത 'u' എന്നുമിരിക്കട്ടെ. x,y എന്നീ അക്ഷങ്ങളെ ചിത്രത്തിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ തിരഞ്ഞെടുക്കുക. തുടർന്ന് ഓരോ പന്തിന്റെയും ആക്കവ്യത്യാസം കണക്കാക്കുക.

സന്ദർഭം (a)

$(P_x)_{ആദ്യം} = mu \qquad (P_y)_{ആദ്യം} = 0$

$(P_x)_{അന്തിമം} = -mu \qquad (P_y)_{അന്തിമം} = 0$

ആക്കസദിശത്തിന്റെ വ്യത്യാസമാണ് ആവേഗം.

അതിനാൽ

ആവേഗത്തിന്റെ x - ഘടകം = -2 mu

ആവേഗത്തിന്റെ y - ഘടകം = 0

ആവേഗവും ബലവും ഒരേ ദിശയിലാണ്. ഇതിൽ നിന്ന് പന്തിന്മേൽ ചുമർ പ്രയോഗിക്കുന്നബലം ചുമരിനു ലംബമായാണെന്ന് സുവ്യക്തമാണ്. ഇത് നെഗറ്റീവ് x- ദിശയിലൂടെയാണ്. ന്യൂട്ടന്റെ മൂന്നാം ചലനനിയമമനുസരിച്ച് പന്ത് ചുമരിൻമേൽ പ്രയോഗിക്കുന്നബലം ചുമരിന് ലംബമായി പോസിറ്റീവ് x - ദിശയിലായിരിക്കും. ഈ പ്രശ്നത്തിൽ കൂട്ടിയിടിയുടെ ചെറിയ സമയം സൂചിപ്പിച്ചിട്ടില്ലാത്തതിനാൽ ബലത്തിന്റെ അളവ് കണക്കാക്കുക സാധ്യമല്ല.

സന്ദർഭം (b)

$(P_x)_{ആദ്യം} = m\,u\cos 30^0 \quad (P_y)_{ആദ്യം} = -m\,u\,\text{Sin}\,30^0$

$(P_x)_{അന്തിമം} = -m\,u\cos 30^0 \quad (P_y)_{അന്തിമം} = -m\,u\,\text{Sin}\,30^0$

കൂട്ടിയിടിക്കുശേഷം Px ന്റെ ചിഹ്നത്തിനു വ്യത്യാസമുണ്ടാകുന്നതും Py യുടെ ചിഹ്നം വ്യത്യാസപ്പെടാതിരിക്കുന്നതും ശ്രദ്ധിക്കുക.

ആവേഗത്തിന്റെ x ഘടകം = $-2\,m\,u\cos 30^0$

ആവേഗത്തിന്റെ y ഘടകം = 0

സന്ദർഭം (a) യിലേതുപോലെ ആവേഗത്തിന്റെ (ബലത്തിന്റെയും) ദിശ ചുമരിന് ലംബമായി നെഗറ്റീവ് x - ദിശയിലൂടെയാണ്. തന്മൂലം മുൻസന്ദർഭത്തിലേതുപോലെ ന്യൂട്ടന്റെ മൂന്നാം ചലനനിയമമനുസരിച്ച് ചുമരിൻമേൽ പന്ത് പ്രയോഗിക്കുന്ന ബലം ചുമരിനു ലംബമായി പോസിറ്റീവ് x - ദിശയിലേക്കാണ്.

സന്ദർഭം (a) യിലും (b) യിലും പന്തുകളിൽ സൃഷ്ടിക്കപ്പെടുന്ന ആവേഗങ്ങളുടെ അനുപാതം

$2\,m\,u / \left(2\,m\,u\cos 30^\circ\right) = \frac{2}{\sqrt{3}} \approx 1.2$ ആണ്. ◀

5.7 ആക്ക സംരക്ഷണം (Conservation of Momentum)

ന്യൂട്ടന്റെ രണ്ടും മൂന്നും ചലനനിയമങ്ങളിലൂടെ വളരെ പ്രധാനപ്പെട്ട ഒരു അനുമാനമായ – ആക്കസംരക്ഷണ നിയമത്തിൽ എത്തിച്ചേരുന്നു. നമുക്ക് സുപരിചിതമായ ഒരു ഉദാഹരണം പരിഗണിക്കാം. ഒരു തോക്കിൽ നിന്നു വെടിയുണ്ട ഉതിർക്കുന്നത് സങ്കൽപിക്കുക. മൂന്നാം ചലനനിയമമനുസരിച്ച് വെടിയുണ്ടയിൽ തോക്ക് പ്രയോഗിക്കുന്ന ബലം **F** ആണെങ്കിൽ, തോക്കിൽ വെടിയുണ്ട പ്രയോഗിക്കുന്ന ബലം – **F** ആണ്. ഈ രണ്ടു ബല

ങ്ങളും പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്നത് Δt എന്ന ഒരേ ഇടവേള യിലാണ്. രണ്ടാം ചലനനിയമമനുസരിച്ച് വെടിയുണ്ട ക്കുണ്ടാകുന്ന ആക്കവ്യത്യാസം $\mathbf{F}\Delta t$ യും തോക്കിനു ണ്ടാകുന്ന ആക്കവ്യത്യാസം $\mathbf{F}\Delta t$ യും ആണ്.

തുടക്കത്തിൽ തോക്കും വെടിയുണ്ടയും നിശ്ചലാവ സ്ഥയിലായിരിക്കുന്നതിനാൽ രണ്ടിനും ഉണ്ടാകുന്ന ആക്കവ്യത്യാസമെന്നത് അന്ത്യആക്കം തന്നെയായിരി ക്കും. അതായത്,

$\mathbf{p}_b$ എന്നത് വെടിയുതിർത്തതിനുശേഷം വെടിയുണ്ട ക്കുള്ള ആക്കവും $\mathbf{p}_g$ എന്നത് തോക്കിന്റെ പിൻചലന ആക്കവും (recoil momentum) ആണെങ്കിൽ $\mathbf{p}_g = -\mathbf{p}_b$

അതായത് $\mathbf{p}_b + \mathbf{p}_g = 0$. അതിനാൽ

വെടിയുണ്ടയും തോക്കും ചേർന്ന വ്യൂഹത്തിന്റെ സഫ ലആക്കമെന്നത് സംരക്ഷിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നതായി കാണാം.

ഇപ്രകാരം ഒറ്റപ്പെട്ട ഒരു വ്യൂഹത്തിലുള്ള (ഒരു ബാഹ്യ ബലവും ഇല്ലാത്ത വ്യൂഹത്തിൽ) ജോടികളായ വസ്തു ക്കളിൽ പരസ്പരം പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന ബലങ്ങൾ ഓരോ വസ്തുവിലും ആക്കവ്യത്യാസമുണ്ടാക്കുന്നു. എന്നാൽ ഈ പരസ്പരബലങ്ങൾ ഓരോ ജോടിയിലും തുല്യവും വിപരീതവുമാകയാൽ പരസ്പരം റദ്ദു ചെയ്യ പ്പെടുകയും ആകെ ആക്കം സ്ഥിരമായിരിക്കുകയും ചെയ്യും. ഈ വസ്തുതയെ ആക്കസംരക്ഷണനിയമ മെന്നു പറയുന്നു.

"ബാഹ്യബലമില്ലെങ്കിൽ ഒരു ഒറ്റപ്പെട്ട വ്യൂഹത്തിലെ, സമ്പർക്കത്തിലേർപ്പെട്ടിരിക്കുന്ന വസ്തുക്കളുടെ ആകെ ആക്കം സ്ഥിരമായിരിക്കും."

ആക്കസംരക്ഷണനിയമം പ്രയോഗിക്കാൻ കഴിയുന്ന വളരെ പ്രധാനപ്പെട്ട ഒരുദാഹരണമാണ് രണ്ടു വസ്തു ക്കൾ തമ്മിലുള്ള കൂട്ടിയിടി. A, B എന്നീ രണ്ടു വസ്തു ക്കളെ സങ്കൽപ്പിക്കുക. ഇവയുടെ ആദ്യആക്കം യഥാ ക്രമം $\mathbf{p}_A$, $\mathbf{p}_B$ എന്നിങ്ങനെയാണെന്നിരിക്കട്ടെ. ഈ വസ്തുക്കൾ പരസ്പരം കൂട്ടിയിടിച്ചശേഷം വേർപെടു മ്പോൾ അവയുടെ അന്തിമആക്കങ്ങൾ യഥാക്രമം $\mathbf{p}'_A$, $\mathbf{p}'_B$ എന്നിങ്ങനെയാണ്.

രണ്ടാം ചലനനിയമമനുസരിച്ച്

$\mathbf{F}_{AB}\Delta t = \mathbf{p}'_A - \mathbf{p}_A$ യും

$\mathbf{F}_{BA}\Delta t = \mathbf{p}'_B - \mathbf{p}_B$ യും ആയിരിക്കും.

(ഇവിടെ രണ്ടു ബലങ്ങളും അനുഭവപ്പെടുന്ന ഇടവേള ഒന്നുതന്നെയായി കണക്കാക്കിയിരിക്കുന്നു. അതായത് രണ്ടു വസ്തുക്കളും പരസ്പരം സമ്പർക്കത്തിലിരി ക്കുന്ന സമയം).

എന്നാൽ മൂന്നാം ചലനനിയമമനുസരിച്ച്,

$\mathbf{F}_{AB} = -\mathbf{F}_{BA}$

$\mathbf{p}'_A - \mathbf{p}_A = -(\mathbf{p}'_B - \mathbf{p}_B)$

അതായത് $\mathbf{p}'_A + \mathbf{p}'_B = \mathbf{p}_A + \mathbf{p}_B$ (5.9)

ഒറ്റപ്പെട്ട ഒരു വ്യൂഹത്തിന്റെ ആകെ ആദ്യആക്കവും ആകെ അന്തിമആക്കവും തുല്യമാണെന്ന് ഇതു തെളി യിക്കുന്നു. കൂട്ടിയിടി ഇലാസ്തികസംഘട്ടനമായാലും (Elastic collision) ഇലാസ്തികമല്ലാത്ത സംഘട്ടനമാ യാലും (Inelastic collision) ഇത് ബാധകമാണെന്നത് ശ്രദ്ധിക്കുമല്ലോ. ഇലാസ്തികസംഘട്ടനങ്ങളിൽ വ്യൂഹ ത്തിന്റെ ആകെ ആദ്യ ഗതികോർജവും ആകെ അന്ത്യ ഗതികോർജവും തുല്യമാണെന്നുള്ള രണ്ടാമതൊരു നിബന്ധന കൂടിയുണ്ട്. (അധ്യായം 6 കാണുക)

5.8 ഒരു കണികയുടെ സന്തുലനം (Equilibrium of a Particle)

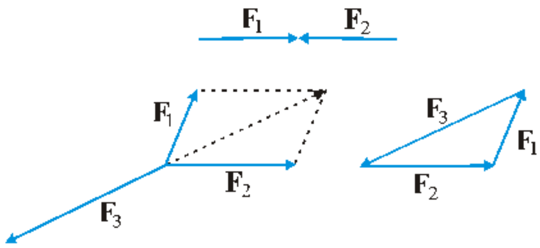
ഒരു കണികയിൽ പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന സഫലബാഹ്യ ബലം പൂജ്യമാകുമ്പോഴാണ് ബലതന്ത്രത്തിൽ ഒരു കണിക സന്തുലനാവസ്ഥയിലാണെന്നു പറയുന്നത്*. ഒന്നാം ചലനനിയമമനുസരിച്ച് കണിക ഒന്നുകിൽ നിശ്ച ലാവസ്ഥയിൽ അല്ലെങ്കിൽ സമചലനത്തിൽ തുടരുമെ ന്നാണ് ഇതിനർഥം.

ഒരു കണികയിന്മേൽ പ്രയോഗിക്കുന്ന ബലങ്ങൾ $\mathbf{F}_1$, $\mathbf{F}_2$ എന്നിവയാണെങ്കിൽ, വസ്തുവിന്റെ സന്തുലനാവ സ്ഥക്ക്

$\mathbf{F}_1 = -\mathbf{F}_2$ (5.10)

അതായത് കണികയിൻമേൽ പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന രണ്ടു ബലങ്ങളും തുല്യവും വിപരീതവുമായിരിക്കും. $\mathbf{F}_1$, $\mathbf{F}_2$, $\mathbf{F}_3$ എന്നിങ്ങനെയുള്ള മൂന്ന് സംഗാമിബലങ്ങൾ (concurrent forces) മൂലമുള്ള സന്തുലനാവസ്ഥക്ക് ഈ മൂന്നു ബലങ്ങളുടെയും സദിശ സങ്കലനഫലം പൂജ്യ മായിരിക്കണം.

$\mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_3 = 0$ (5.11)



ചിത്രം 5.7

സംഗാമിബലങ്ങൾ മൂലമുള്ള സന്തുലനാവസ്ഥ

** ഒരു വസ്തുവിന്റെ സന്തുലനാവസ്ഥക്ക്, സ്ഥാനാന്തര സന്തുലനാവസ്ഥയും ((translational equilibrium) (ആകെ ബാഹ്യബലം പൂജ്യമായിരിക്കും)) ഘൂർണന സന്തുലനാവസ്ഥയും ((Rotational equilibrium) (ആകെ ടോർക്ക് പൂജ്യമായിരിക്കും)) ആർജിക്കേണ്ടത് ആവശ്യമാണ്.*

മറ്റൊരുതരത്തിൽ പറഞ്ഞാൽ സാമാന്തരിക നിയമമനുസരിച്ച് (parallelogram law) ലഭിക്കുന്ന $\mathbf{F}_1$, $\mathbf{F}_2$ എന്നീ ബലങ്ങളുടെ പരിണതഫലം (resultant) മൂന്നാമത്തെ ബലമായ $\mathbf{F}_3$ യ്ക്ക് തുല്യവും വിപരീതവുമായിരിക്കണം. ചിത്രം 5.7ൽ ചിത്രീകരിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ സന്തുലനാവസ്ഥയിലിരിക്കുന്ന മൂന്നു ബലങ്ങളെയും ഒരു ത്രികോണത്തിന്റെ മൂന്നുവശങ്ങളായി, സദിശങ്ങളുടെ ദിശ സൂചിപ്പിക്കുന്ന അമ്പടയാളങ്ങൾ അതേ അർഥത്തിൽ, കണക്കിലെടുക്കാവുന്നതാണ്. ഇത് എത്ര ബലങ്ങളുടെ കാര്യത്തിലും സാമാന്യവൽക്കരിക്കാവുന്നതാണ്. $\mathbf{F}_1$, $\mathbf{F}_2$... $\mathbf{F}_n$ എന്നിങ്ങനെയുള്ള ബലങ്ങളുടെ സാന്നിധ്യം മൂലം സന്തുലനാവസ്ഥയിലിരിക്കുന്ന ഒരു കണികയിൽ, ഈ ബലങ്ങളെ n- വശങ്ങളുള്ള ഒരു ബഹുഭുജത്തിന്റെ വശങ്ങളായി അമ്പടയാളങ്ങളുപയോഗിച്ച് (Arrow Mark) പ്രതിനിധാനം ചെയ്യാം.

സമവാക്യം (5.11) അനുസരിച്ച്

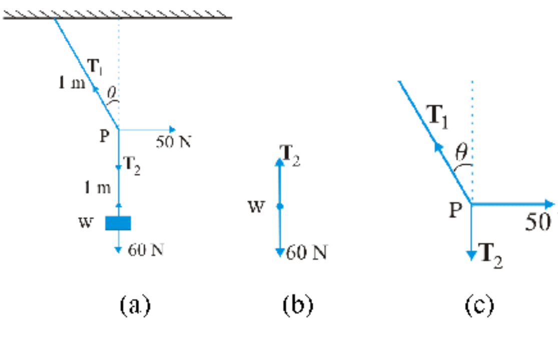
$$F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} = 0$$

$$F_{1y} - F_{2y} + F_{3y} = 0$$

$$F_{1z} + F_{2z} + F_{3z} = 0 \qquad (5.12)$$

F_{1x}, F_{1y}, F_{1z} എന്നിവ യഥാക്രമം F_1 ന്റെ x, y, z ദിശകളിലുള്ള ഘടകങ്ങളാണ്.

ഉദാഹരണം 5.6 : ചിത്രം 5.8 ശ്രദ്ധിക്കുക. ഒരു 6kg മാസിനെ 2m നീളമുള്ള കയറുപയോഗിച്ച് മുകൾത്തട്ടിൽനിന്നു തൂക്കിയിട്ടിരിക്കുന്നു. കയറിന്റെ മധ്യഭാഗമായ P യിൽ ഒരു 50N ബലം ചിത്രത്തിലേതുപോലെ തിരശ്ചീനദിശയിൽ പ്രയോഗിക്കുന്നുവെന്നിരിക്കട്ടെ. സന്തുലനാവസ്ഥയിൽ ഈ കയർ ലംബവുമായുണ്ടാക്കുന്ന കോണളവ് എത്ര? ($g = 10 ms^{-2}$ എന്നു കരുതുക) കയറിന്റെ മാസ് കണക്കിലെടുക്കേണ്ടതില്ല.



ചിത്രം 5.8

ഉത്തരം

ചിത്രം 5.8 (b), 5.8 (c) എന്നിവയെ സ്വതന്ത്രബല ചിത്രം (Freebody diagram) എന്നു പറയുന്നു.

ചിത്രം 5.8 (b) W വിന്റെ സ്വതന്ത്രബല ചിത്രവും ചിത്രം 5.8 (c) P എന്ന ബിന്ദുവിന്റെ സ്വതന്ത്ര ബലചിത്രവും ആണ്.

W എന്ന ഭാരത്തിന്റെ സന്തുലനാവസ്ഥ പരിഗണിക്കുക. തീർച്ചയായും $T_2 = 6 \times 10 = 60N$ ആണ്.

T_1, T_2 തിരശ്ചീനമായുള്ള 50N എന്നീ മൂന്നു ബലങ്ങളുടെ സാന്നിധ്യത്തിൽ P എന്ന ബിന്ദുവിന്റെ സന്തുലനാവസ്ഥ പരിഗണിക്കുക. ഇവിടെ സഫലബലത്തിന്റെ തിരശ്ചീനഘടകവും ലംബഘടകവും നിർവീര്യമാക്കപ്പെടുന്നു.

$$T_1 \cos\theta = T_2 = 60 \text{ N}$$

$$T_1 \sin\theta = 50 \text{ N}$$

ഇതിൽനിന്ന്

$$\tan\theta = \frac{5}{6} \text{ or } \theta = \tan^{-1}\left(\frac{5}{6}\right) = 40°$$

ഈ ഉത്തരം കയറിന്റെ നീളത്തെയോ (കയറിന്റെ മാസ് പരിഗണിക്കുന്നില്ല) തിരശ്ചീനബലം പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന ബിന്ദുവിനെയോ അടിസ്ഥാനമാക്കിയുള്ളതല്ലെന്ന് പ്രത്യേകം ശ്രദ്ധിക്കുക. ◀

5.9 ബലതന്ത്രത്തിലെ സാധാരണബലങ്ങൾ (Common Forces in Mechanics)

ബലതന്ത്രത്തിൽ നാം പലതരം ബലങ്ങളെയും അഭിമുഖീകരിക്കുന്നുണ്ട്. അതിൽ ഗുരുത്വബലം സർവവ്യാപിയാണ്. ഭൂമിയുടെ ഗുരുത്വബലം ഭൂമിയിലുള്ള എല്ലാ വസ്തുക്കളിൻമേലും അനുഭവപ്പെടുന്നു. ആകാശഗോളങ്ങളുടെ ചലനത്തെ നിയന്ത്രിക്കുന്നതും ഗുരുത്വബലമാണ്. ഒരു മാധ്യമത്തിന്റെ അഭാവത്തിൽ പോലും വളരെ ദൂരെ നിന്നും വസ്തുക്കളെ സ്വാധീനിക്കാൻ ഗുരുത്വബലത്തിനു കഴിയും.

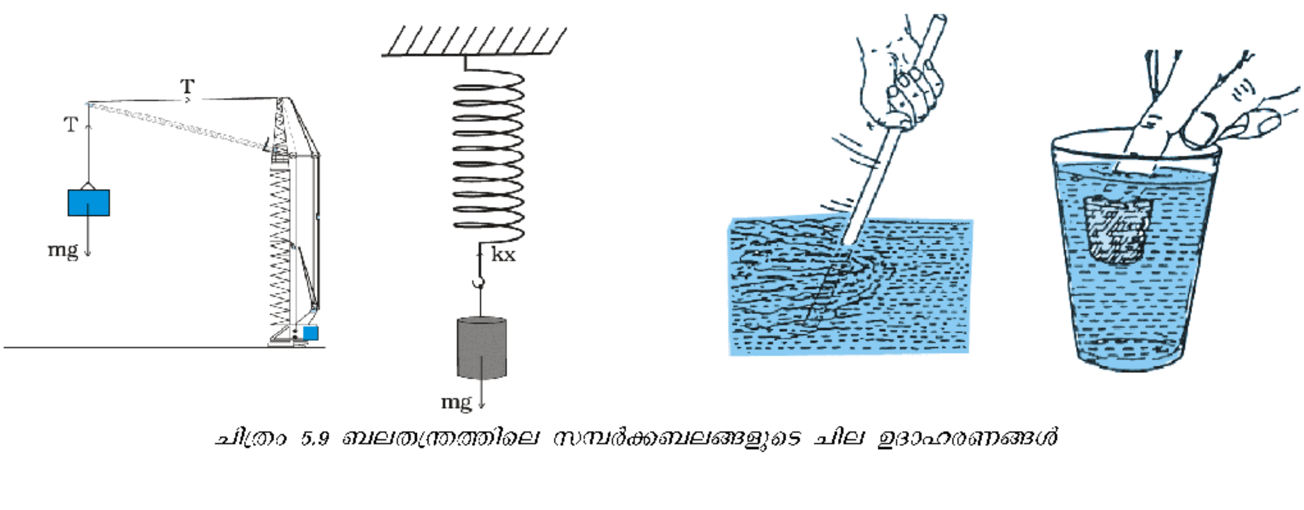
ബലതന്ത്രത്തിലെ മറ്റെല്ലാ ബലങ്ങളും സമ്പർക്കബലങ്ങളാണ്*. പേരു സൂചിപ്പിക്കുന്നതുപോലെ ഒരു വസ്തു മറ്റൊരു വസ്തുവിനോട് സമ്പർക്കത്തിൽ വരുമ്പോഴാണ് (അത് ദ്രാവകമോ ഖരമോ ആകാം.) ഈ ബലങ്ങൾ സൃഷ്ടിക്കപ്പെടുന്നത്. വസ്തുക്കൾ സമ്പർക്കത്തിലിരിക്കുമ്പോൾ (ഉദാ:- മേശപ്പുറത്തുള്ള പുസ്തകം, ഒരു ദണ്ഡിനാൽ ബന്ധിപ്പിച്ചിരിക്കുന്ന ദൃഢവസ്തുക്കളുടെ വ്യൂഹം, വിജാഗിരികളും മറ്റുതരത്തിലുള്ള താങ്ങുകളും) ഉണ്ടാക്കുന്ന പരസ്പരസമ്പർക്കബലങ്ങൾ (ഓരോ ജോടിവസ്തുക്കളിലും ഉള്ളത്) മൂന്നാം ചലനനിയമം

* എളുപ്പത്തിനു വേണ്ടി നാം ചാർജുള്ള വസ്തുക്കളെയും കാന്തികവസ്തുക്കളെയും കണക്കിലെടുക്കുന്നില്ല. ഇവയിൽ, ഗുരുത്വാകർഷണബലത്തെ കൂടാതെ, വൈദ്യുതബലമെന്നും കാന്തികബലമെന്നുമുള്ള സമ്പർക്കരഹിതബലങ്ങളും പ്രവർത്തിക്കുന്നുണ്ട്.

അനുസരിക്കുന്നു. സമ്പർക്കത്തിലുള്ള പ്രതലത്തിനു ലംബമായി പ്രവർത്തിക്കുന്ന സമ്പർക്കബലത്തിന്റെ ഘടകത്തെ ലംബമായ പ്രതിപ്രവർത്തനം (Normal reaction) എന്നു പറയുന്നു. സമ്പർക്കത്തിലുള്ള പ്രതലത്തിന് സമാന്തരമായി പ്രവർത്തിക്കുന്ന ഘടകത്തെ ഘർഷണം (Friction) എന്നു പറയുന്നു. ഖരപദാർഥങ്ങളും ദ്രവപദാർഥങ്ങളും തമ്മിൽ സമ്പർക്കത്തിൽ വരുമ്പോഴും സമ്പർക്കബലങ്ങൾ (Contact Forces) സൃഷ്ടിക്കപ്പെടാറുണ്ട്. ഉദാഹരണത്തിന്, ഒരു ഖരവസ്തുവിനെ ദ്രാവകത്തിൽ മുക്കിയിടുമ്പോൾ മുകളിലേക്കുള്ള പ്ലവക്ഷമബലവും ആദേശം ചെയ്യപ്പെടുന്ന ദ്രാവകത്തിന്റെ ഭാരവും തുല്യമായിരിക്കും. സമ്പർക്കബലങ്ങളുടെ മറ്റുദാഹരണങ്ങളാണ് വിസ്കസ്ബലം (viscous force), വായുവിന്റെ പ്രതിരോധം (air resistance) മുതലായവ (ചിത്രം 5.9).

ഒരു സ്പ്രിങ് മൂലമുണ്ടാകുന്ന ബലവും ഒരു ചരടിലനുഭവപ്പെടുന്ന വലിവുബലവും സാധാരണ കാണപ്പെടാറുള്ള മറ്റു രണ്ടു ബലങ്ങളാണ്. സ്പ്രിങ്ങിനെ ഒരു ബാഹ്യബലത്താൽ വലിച്ചുനീട്ടുകയോ (extend) ഞെരുക്കുകയോ (compress) ചെയ്യുമ്പോൾ അതിൽ ഒരു പുനസ്ഥാപനബലം രൂപപ്പെടുന്നു. ഈ ബലം സാധാരണ സ്പ്രിങ്ങിനുണ്ടാകുന്ന നീളക്കൂടുതലിനോ (extension) ചുരുങ്ങലിനോ (compression) ആനുപാതികമാണ് (ചെറിയ സ്ഥാനാന്തരങ്ങൾക്ക്). സ്പ്രിങ് ബലം രേഖപ്പെടുത്തുന്നത് $F = -k\,x$ എന്നാണ്. ഇവിടെ x എന്നത് സ്ഥാനാന്തരവും k എന്നത് ബലസ്ഥിരാങ്കവുമാണ് (Force costant). വലിച്ചുനീട്ടപ്പെടാത്ത അവസ്ഥയിൽ നിന്നുള്ള സ്ഥാനാന്തരത്തിന് വിപരീതമായി ഈ ബലം പ്രവർത്തിക്കുന്നുവെന്നതിനെയാണ് നെഗറ്റീവ് ചിഹ്നം സൂചിപ്പിക്കുന്നത്. വലിച്ചുനീട്ടാൻ കഴിയാത്ത (Inextensible) ഒരു ചരടിന്റെ ബലസ്ഥിരാങ്കത്തിന്റെ വില വളരെ ഉയർന്നതാണ്. ഒരു ചരടിൽ ഉണ്ടാകുന്ന പുനസ്ഥാപനബലമാണ് വലിവുബലം (Tension). ചരടിൽ എല്ലായിടത്തും വലിവുബലം T യുടെ മൂല്യം ഒന്നുതന്നെയായിരിക്കുമെന്നാണ് ധാരണ. വളരെ നിസ്സാരമാസുള്ള ചരടിൽ പോലും ഈ അനുമാനം കൃത്യമായി പാലിക്കപ്പെടും.

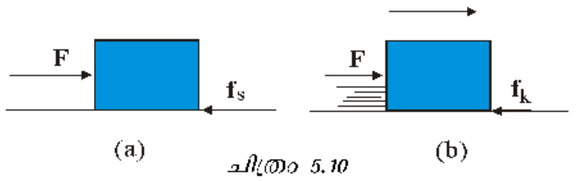
ഒന്നാം അധ്യായത്തിൽ പ്രകൃതിയിലെ നാല് അടിസ്ഥാനബലങ്ങളെക്കുറിച്ചു പഠിച്ചിരുന്നു. ഇവയിൽ ക്ഷീണബലവും പ്രബലബലവും ഇവിടെ നമ്മുടെ പരിഗണനയിലുള്ള മേഖലയിൽ പെടുന്നവയല്ല. ബലതന്ത്രത്തിന്റെ പശ്ചാത്തലത്തിൽ പ്രസക്തമായവ ഗുരുത്വബലവും (Gravitation force) വൈദ്യുതബലവും (Electric force) മാത്രമാണ്. മുകളിൽ സൂചിപ്പിച്ചിരിക്കുന്ന ബലതന്ത്രത്തിലെ വ്യത്യസ്ത സമ്പർക്കബലങ്ങൾ അടിസ്ഥാനപരമായി ഉടലെടുക്കുന്നത് വൈദ്യുതബലങ്ങളിൽ നിന്നാണ്. ചാർജില്ലാത്തതും കാന്തികസ്വഭാവമല്ലാത്തതുമായ വസ്തുക്കളെക്കുറിച്ച നാം ബലതന്ത്രത്തിൽ ചർച്ച ചെയ്യുമ്പോൾ ഈ വസ്തുത അദ്ഭുതാവഹമായി തോന്നാം. സൂക്ഷ്മതലത്തിൽ എല്ലാ വസ്തുക്കളും ചാർജുള്ള കണങ്ങളാലാണ് (അറ്റോമിക കേന്ദ്രവും ഇലക്ട്രോണുകളും) നിർമ്മിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നത്. മാത്രമല്ല, വസ്തുക്കളുടെ ഇലാസ്തികത, തന്മാത്രകൾ തമ്മിലുള്ള കൂട്ടിയിടി മൂലമുള്ള ആഘാതം ഇവ മൂലം വിവിധതരം സമ്പർക്കബലങ്ങൾ ഉടലെടുക്കാറുണ്ട്. ഇവയെല്ലാം ആത്യന്തികമായി വിവിധ വസ്തുക്കളുടെ മൂലപദാർഥങ്ങളിലെ ചാർജുള്ള കണങ്ങൾ തമ്മിലുള്ള വൈദ്യുതബലങ്ങളുടെ പരിണതഫലമാണെന്നു കണ്ടെത്താനാകും. ഇത്തരം ബലങ്ങളുടെ സൂക്ഷ്മതലത്തിലുള്ള ഉത്ഭവം വിശദീകരിക്കുന്നത് വളരെ സങ്കീർണമായ പ്രക്രിയയാണ്, കൂടാതെ സ്ഥൂലതലത്തിൽ (Macroscopic) ബലതന്ത്രത്തിലെ പ്രശ്നങ്ങളുടെ പരിഹാരം കണ്ടെത്താൻ ഇത് സഹായകവുമല്ല. അതുകൊണ്ടാണ് ഇത്തരം ബലങ്ങളെ അവയുടെ സവിശേഷ സ്വഭാവങ്ങളോടുകൂടി മറ്റൊരു വിഭാഗമായി ശാസ്ത്രം പരിഗണിക്കുന്നത്.



ചിത്രം 5.9 ബലതന്ത്രത്തിലെ സമ്പർക്കബലങ്ങളുടെ ചില ഉദാഹരണങ്ങൾ

5.9.1 ഘർഷണം (Friction)

തിരശ്ചീനമായ ഒരു മേശപ്പുറത്തിരിക്കുന്ന ‘m’ മാസുള്ള വസ്തുവിന്റെ ഉദാഹരണത്തിലേക്ക് നമുക്ക് തിരിച്ചുവരാം. ഗുരുത്വബലം (mg) മേശ പ്രയോഗിക്കുന്ന ലംബമായ പ്രതിപ്രവർത്തനത്താൽ (N) റദ്ദുചെയ്യപ്പെടുന്നു. വസ്തുവിൽ തിരശ്ചീനമായി ഒരു ചെറിയ ബലം പ്രയോഗിക്കുന്നുവെന്നു കരുതുക. പ്രയോഗിക്കുന്ന ഈ ചെറിയ ബലം, വസ്തുവിനെ ചലിപ്പിക്കാൻ പര്യാപ്തമല്ലെന്ന് അനുഭവത്തിൽനിന്ന് അറിയാവുന്നതാണ്. എന്നാൽ വസ്തുവിൽ പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന F എന്ന ഈ ബലം (എത്ര ചെറുതായാലും) മാത്രമേ ബാഹ്യബലമായി ഉള്ളൂവെങ്കിലും, ചെറുതാണെങ്കിൽ കൂടിയും F/m എന്ന ത്വരണത്തോടുകൂടി വസ്തു സഞ്ചരിക്കണം. അതിൽ ഇവിടെ മറ്റേതോ ബലം ഉപയോഗിക്കണം. F എന്ന ബാഹ്യബലത്തിന് വിപരീതമായി തിരശ്ചീന ദിശയിൽ പ്രവർത്തിക്കുന്നതുമൂലം വസ്തുവിൻമേലുള്ള ആകെ ബാഹ്യബലം പൂജ്യമാവുകയും വസ്തു നിശ്ചലാവസ്ഥയിൽ തുടരുകയും ചെയ്യുന്നുവെന്ന് നമുക്ക് മനസ്സിലാക്കാം. മേശയുമായി സമ്പർക്കത്തിൽ വരുന്ന, വസ്തുവിന്റെ വശത്തിന് സമാന്തരമായി പ്രവർത്തിക്കുന്ന f_s, എന്ന ഈ ബലത്തിനെയാണ് ഘർഷണബലം (frictional force) അഥവാ ഘർഷണം (Friction) എന്നു പറയുന്നത് (ചിത്രം 5.10 (a)) ൽ ഇവിടെ ‘S’ എന്ന ചുവടെഴുത്ത്, ഗതികഘർഷണത്തിൽ (Kinetic friction) f_k യിൽ നിന്നു സ്ഥിതഘർഷണത്തെ വേർതിരിച്ചറിയാനാണ് ഉപയോഗിച്ചിരിക്കുന്നത് ഗതികഘർഷണത്തെക്കുറിച്ചു നാം തുടർന്നു വരുന്ന ഭാഗങ്ങളിൽ ചർച്ച ചെയ്യുന്നതാണ് (ചിത്രം. 5.10 (b)).



ചിത്രം 5.10

സ്ഥിതഘർഷണവും നിരങ്ങൽഘർഷണവും (Static friction and sliding friction): (a) ഒരു വസ്തുവിനുണ്ടാകുന്ന ആസന്നചലനത്തെ സ്ഥിതഘർഷണം പ്രതിരോധിക്കുന്നു. എപ്പോഴാണോ പ്രയോഗിക്കുന്ന ബാഹ്യബലം സ്ഥിതഘർഷണത്തിന്റെ പരമാവധി പരിധി (Maximum limit of staticfriction) യേക്കാൾ കൂടുതലാകുന്നത്. അപ്പോൾ വസ്തു ചലിക്കാൻ തുടങ്ങുന്നു. (b) വസ്തു ചലിച്ചു തുടങ്ങിയാൽ നിരങ്ങൽ ഘർഷണം (Sliding friction) അഥവാ ഗതികഘർഷണം സമ്പർക്കത്തിലിരിക്കുന്ന രണ്ടു പ്രതലങ്ങൾ തമ്മിലുമുള്ള ആപേക്ഷികചലനത്തെ തടയുന്നു. ഗതികഘർഷണം സാധാരണയായി സ്ഥിതഘർഷണത്തിന്റെ പരമാവധി വിലയേക്കാൾ കുറവാണ്.

സ്ഥിതഘർഷണത്തിന് സ്വന്തമായി നിലനിൽപ്പില്ലെന്നുള്ളത് ശ്രദ്ധിക്കുക. ബലം പ്രയോഗിക്കുന്നില്ലെങ്കിൽ സ്ഥിത ഘർഷണവും പ്രവർത്തിക്കുന്നില്ല. എപ്പോഴാണോ വസ്തുവിൻമേൽ ബലംപ്രയോഗിക്കുന്നത് അതേ നിമിഷത്തിൽത്തന്നെ സ്ഥിതഘർഷണം ഉടലെടുക്കുന്നു. പ്രയോഗിക്കുന്ന ബലം F കൂടുന്നതിനനുസരിച്ച് f_s ഉം കൂടുന്നു. ഇത് (ഒരു പ്രത്യേക പരിധിവരെ) പ്രയോഗിക്കുന്ന ബലത്തിന് തുല്യവും വിപരീതവുമായിരിക്കുകയും വസ്തുവിനെ നിശ്ചലാവസ്ഥയിൽ നിലനിർത്തുകയും ചെയ്യും. തന്മൂലം ഇതിനെ സ്ഥിതഘർഷണം (static friction) എന്നു പറയുന്നു. സ്ഥിതഘർഷണം വസ്തുവിന്റെ ആസന്നചലനത്തെ (Impending motion) തടയുന്നു. ആസന്നചലനമെന്നത് ഘർഷണം ഇല്ലായിരുന്നെങ്കിൽ പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന ബലം മൂലം നടക്കാനിടയുള്ള (എന്നാൽ യഥാർഥത്തിൽ സംഭവിക്കാത്ത) ചലനമാണ്.

പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന ബലം ഒരു പ്രത്യേക പരിധി കഴിഞ്ഞാൽ വസ്തു ചലിക്കാൻ തുടങ്ങുമെന്ന് നമുക്ക് അനുഭവങ്ങളിൽനിന്ന് മനസ്സിലാക്കാം. പരീക്ഷണങ്ങൾ മുഖേന സ്ഥിതഘർഷണത്തിന്റെ പരിധി $(f_s)_{max}$ എന്നത് സമ്പർക്കത്തിലുള്ള പരപ്പളവിനെ ആശ്രയിക്കുന്നില്ലെന്നും എന്നാൽ ലംബമായ N (Normal force) ബലത്തിനനുസരിച്ച് വ്യത്യാസപ്പെടുന്നുവെന്നും അനുമാനിക്കാം. $(f_s)_{max}$ ന്റെ ഏകദേശ അളവിനെ

$$(f_s)_{max} = \mu_s N \qquad (5.13)$$

എന്നുള്ള സമവാക്യംകൊണ്ട് സൂചിപ്പിക്കുന്നു.

μ_s എന്നാൽ സമ്പർക്കത്തിലുള്ള പ്രതലങ്ങളുടെ സ്വഭാവസവിശേഷതകളെ ആശ്രയിക്കുന്ന ആനുപാതിക സ്ഥിരാങ്കമാണ്. μ_s നെ സ്ഥിതഘർഷണഗുണാങ്കം (Coefficient of static friction) എന്നു പറയുന്നു.

സ്ഥിതഘർഷണനിയമം (The Law of Static Friction) നമുക്ക് താഴെ പറയുന്ന രീതിയിൽ എഴുതാം.

$$f_s \le \mu_s N \qquad (5.14)$$

പ്രയോഗിക്കുന്ന F എന്ന ബലം $(f_s)_{max}$ നേക്കാൾ കൂടുന്നുവെങ്കിൽ വസ്തു പ്രതലത്തിനു മുകളിലൂടെ നിരങ്ങി നീങ്ങാൻ തുടങ്ങും. ഈ ആപേക്ഷികചലനം ആരംഭിക്കുമ്പോൾ സ്ഥിതഘർഷണത്തിന്റെ പരമാവധി വിലയായ $(f_s)_{max}$ -ൽ നിന്നു ഘർഷണബലം കുറയാൻ തുടങ്ങുന്നു. പരസ്പരസമ്പർക്കത്തിലുള്ള രണ്ടു പ്രതലങ്ങൾക്കിടയിലുള്ള ആപേക്ഷികചലനത്തെ എതിർക്കുന്ന ഘർഷണബലത്തെയാണ് ഗതികഘർഷണം (Kinetic friction) അഥവാ നിരങ്ങൽ ഘർഷണം (Sliding friction) എന്നു പറയുന്നത്. ഇതിനെ f_k എന്നു പ്രതിനിധാനം ചെയ്യുന്നു. ഗതികഘർഷണം സ്ഥിതഘർഷണത്തെ പോലെ സമ്പർക്കത്തിലുള്ള പ്രതലങ്ങ

ളുടെ പരപ്പളവിനെ ആശ്രയിക്കുന്നില്ല എന്നു കാണാം. ഈ ബലം വസ്തുവിന്റെ പ്രവേഗത്തെ ആശ്രയിച്ചുള്ള തല്ല. സ്ഥിതഘർഷണത്തിന്റേതിനു സമാനമായ നിയമമാണ് നിരങ്ങൽ ഘർഷണവും അനുസരിക്കുന്നത്.

$$\mathbf{f}_k = \mu_k \mathbf{N} \qquad (5.15)$$

μ_k എന്നത് ഗതികഘർഷണ ഗുണാങ്കമാണ് (coefficient of kinetic friction). ഇത് സമ്പർക്കത്തിലിരിക്കുന്ന പ്രതലങ്ങളെ മാത്രം ആശ്രയിക്കുന്നു. മുകളിൽ സൂചിപ്പിച്ചതു പോലെ പരീക്ഷണങ്ങൾ മുഖേന μ_k എന്നത് μ_s നേക്കാൾ കുറവാണെന്ന് തെളിയിക്കപ്പെട്ടിട്ടുണ്ട്. ആപേക്ഷികചലനം തുടങ്ങിക്കഴിയുമ്പോൾ വസ്തുവിനു ലഭിക്കുന്ന ത്വരണം $(F-f_k)/m$ ആണ് എന്നു രണ്ടാം ചലനനിയമം മുഖേന നമുക്ക് ലഭിക്കും. സ്ഥിര പ്രവേഗത്തിൽ (Constant velocity) സഞ്ചരിക്കുന്ന ഒരു വസ്തുവിന് $F \quad f_k$ ആയിരിക്കും. വസ്തുവിൽ പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന ബലം പിൻവലിക്കുമ്പോൾ വസ്തുവിന്റെ ത്വരണം $-f_k/m$ എന്നാവുകയും ക്രമേണ വസ്തു നിശ്ചലമാവുകയും ചെയ്യുന്നു.

ഗുരുത്വാകർഷണബലം, വൈദ്യുത–കാന്തികബലങ്ങൾ എന്നിവയുടേതുപോലെ മുകളിൽ സൂചിപ്പിച്ച ഘർഷണ നിയമം ഒരു അടിസ്ഥാനതത്വമല്ല. ഘർഷണനിയമം അനുഭവസിദ്ധവും ഏകദേശം വസ്തുതാപരമായതുമാണ്. എന്നാൽ പ്രായോഗികതലത്തിൽ ബലതന്ത്രത്തിലെ കണക്കുകൂട്ടലുകൾ നടത്തുന്നതിന് ഇവ വളരെയധികം സഹായകമാണ്.

രണ്ടുവസ്തുക്കൾ തമ്മിൽ സമ്പർക്കത്തിൽ വരുമ്പോൾ അവയ്ക്കിടയിൽ ഒരു സമ്പർക്കബലം രൂപപ്പെടുന്നു. പ്രതലങ്ങൾക്കിടയിലുണ്ടാകാനിടയുള്ള ആസന്നചലനത്തെയോ ഉണ്ടാകുന്ന യഥാർഥ ആപേക്ഷികചലനത്തെയോ തടസ്സപ്പെടുത്തുന്ന, സമ്പർക്കത്തിലുള്ള പ്രതലങ്ങൾക്ക് സമാന്തരമായി പ്രവർത്തിക്കുന്ന സമ്പർക്കബലത്തിന്റെ ഘടകത്തെയാണ് ഘർഷണമെന്ന് നിർവചിച്ചിട്ടുള്ളത്. ചലനത്തെയല്ല, ആപേക്ഷികചലനത്തെ (Relative motion) യാണ് ഘർഷണം പ്രതിരോധിക്കുന്നതെന്ന് പ്രത്യേകം ശ്രദ്ധിക്കുക. ത്വരണത്തോടെ സഞ്ചരിക്കുന്ന ഒരു തീവണ്ടിയുടെ കംപാർട്ട്മെന്റിൽ ഇരിക്കുന്ന ഒരു പെട്ടി സങ്കൽപ്പിക്കുക. പെട്ടി, തീവണ്ടിയെ അപേക്ഷിച്ച് നിശ്ചലാവസ്ഥയിലാണെങ്കിലും യഥാർഥത്തിൽ അതിന് തീവണ്ടിയോടൊപ്പം ത്വരണം സംഭവിക്കുന്നുണ്ട്. പെട്ടിയുടെ ത്വരണത്തിനു കാരണമാകുന്ന ബലങ്ങൾ ഏതൊക്കെയാണ്?

തിരശ്ചീനദിശയിൽ പ്രവർത്തിക്കുന്നതും കണക്കിലെടുക്കാൻ കഴിയുന്നതുമായ ഒരേ ഒരു ബലം ഘർഷണ ബലം മാത്രമാണെന്നു സുവ്യക്തമാണ്. ഘർഷണമില്ലാതിരുന്നെങ്കിൽ തീവണ്ടിയുടെ തറ തെന്നിമാറുകയും പെട്ടി ജഡത്വം മൂലം അതിന്റെ ആദ്യ സ്ഥാനത്തുതന്നെ നിലനിൽക്കുകയും ഇതു മൂലം അത് വണ്ടിയുടെ പിറകിൽ ചെന്നിടിക്കുകയും ചെയ്യും. ഇപ്രകാരം നടക്കാനിടയുള്ള ആസന്നചലനത്തെ സ്ഥിതഘർഷണം f_s പ്രതിരോധിക്കുന്നു. സ്ഥിതഘർഷണം തീവണ്ടിക്കുള്ള അതേ ത്വരണംതന്നെ പെട്ടിക്കും പ്രദാനം ചെയ്ത് ട്രെയിനിനെ അപേക്ഷിച്ച് പെട്ടിയെ നിശ്ചലമായി നിലനിർത്തുന്നു.

ഉദാഹരണം 5.7.: ട്രെയിനിന്റെ തറയിൽ വച്ചിരിക്കുന്ന പെട്ടി നിശ്ചലാവസ്ഥയിൽ തുടരണമെങ്കിൽ ട്രെയിനിനു ലഭിക്കാവുന്ന പരമാവധി ത്വരണമെത്രയെന്ന് കണക്കാക്കുക. പെട്ടിയും ട്രെയിനിന്റെ തറയും തമ്മിലുള്ള സ്ഥിതഘർഷണ ഗുണാങ്കം 0.15 ആണ്.

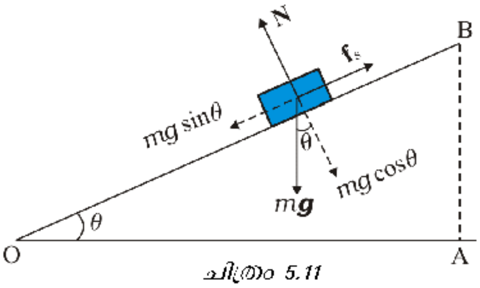
ഉത്തരം : പെട്ടിക്കുണ്ടാകുന്ന ത്വരണം സ്ഥിതഘർഷണം മൂലമാണ്. അതായത്

$ma \quad f_s \le \mu_s N \quad \mu_s\; m\, g$

$a \le \mu_s g$

$\therefore\; a_{max} \quad \mu_s g \quad 0.15 \times 10 \text{ m s}^{-2} = 1.5 \text{ m s}^{-2}$ ◀

ഉദാഹരണം 5.8: ചിത്രം 5.11 ശ്രദ്ധിക്കുക. ഒരു തിരശ്ചീനതലത്തിൽ ഒരു 4kg മാസ് സ്ഥിതിചെയ്യുന്നു. ഈ തലത്തെ ക്രമേണ ഉയർത്തി തിരശ്ചീനത്തിൽ നിന്നുമുള്ള ചരിവ് $\theta = 15^o$ ആകുമ്പോൾ മാസ് നിരങ്ങിനീങ്ങാൻ തുടങ്ങുന്നു. ഈ കട്ടയും പ്രതലവും തമ്മിലുള്ള സ്ഥിതഘർഷണ ഗുണാങ്കം എത്ര?



ചിത്രം 5.11

ഉത്തരം: ചരിവു തലത്തിൽ നിശ്ചലാവസ്ഥയിൽ സ്ഥിതി ചെയ്യുന്ന 'm' മാസുള്ള കട്ടയിൽ പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന ബലങ്ങൾ ഇവയാണ് (i) താഴേക്കു ലംബമായി പ്രവർത്തിക്കുന്ന ഭാരം mg (ii) പ്രതലം കട്ടയിൽ പ്രയോഗിക്കുന്ന ലംബമായ പ്രതിപ്രവർത്തനം N (iii) ആസന്നചലനത്തെ പ്രതിരോധിക്കുന്ന സ്ഥിതഘർഷണബലം f_s. സന്തുലനാവസ്ഥയിൽ ഈ എല്ലാ ബലങ്ങളുടെയും പരിണതഫലം പൂജ്യമാണ്. 'mg' എന്ന ഭാരത്തെ രണ്ടു ദിശയിലുള്ള ഘടകങ്ങളായി ചിത്രത്തിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ വിശ്ലേഷിക്കുമ്പോൾ (resolve) $m g \sin\theta \quad f_s$, $m g \cos\theta \quad N$ സ്വയം ക്രമീകരി

ക്കാൻ കഴിയുന്ന f_s എന്ന ഘർഷണബലം θ θ_{max} ആകുന്നതുവരെ θ കൂടുന്നതിനോടൊപ്പം കൂടുന്നു. θ θ_{max} ആകുമ്പോൾ f_s ന് പരമാവധി വില ലഭിക്കുന്നു.

$$(f_s)_{max} = \mu_s N.$$

അതുകൊണ്ട്

$$\tan\theta_{max} \quad \mu_s \text{ അതായത് } \theta_{max} \quad \tan^{-1}\mu_s$$

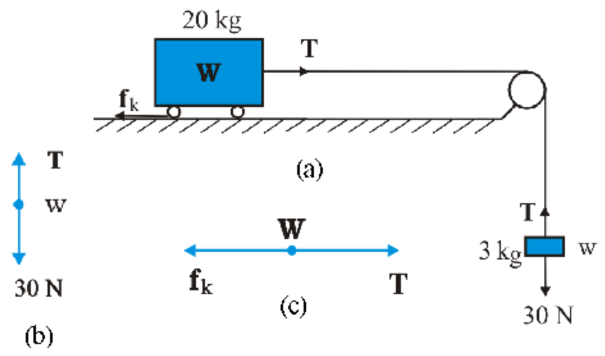
θ എന്നത് θ_{max} നേക്കാൾ അൽപ്പം കൂടുതലാകുമ്പോൾ കട്ടയിൽ ഒരു ചെറിയ സഫലബലം പ്രവർത്തിക്കുകയും കട്ട നിരങ്ങിനീങ്ങാൻ തുടങ്ങുകയും ചെയ്യും. θ_{max} എന്നത് μ_s നെ മാത്രം ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നുവെന്നും അത് കട്ടയുടെ മാസിനെ ആശ്രയിക്കുന്നില്ലെന്നും ശ്രദ്ധിക്കുക.

$\theta_{max} = 15°$, ആയാൽ

$\mu_s = \tan 15°$

$\mu_s = 0.27$ ◀

▶ **ഉദാഹരണം 5.9 :** ചിത്രം 5.12 (a) യിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്ന കട്ടയും ട്രോളിയും ചേർന്ന വ്യൂഹത്തിന്റെ ത്വരണം എത്രയെന്ന് കണക്കാക്കുക. ട്രോളിയും പ്രതലവും തമ്മിലുള്ള ഗതികഘർഷണഗുണാങ്കം 0.04 ആണ്. ചരടിൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന വലിവുബലം എത്ര? ($g=10ms^{-2}$ എന്നു കരുതുക) ചരടിന്റെ മാസ് പരിഗണിക്കേണ്ടതില്ല.



ചിത്രം 5.12

ഉത്തരം: കപ്പി മിനുസമുള്ളതും ചരടു വലിച്ചു നീട്ടാനാവാത്തതും (Inextensible) ആണെങ്കിൽ 3kg മാസുള്ള കട്ടക്കും 20kg മാസുള്ള ട്രോളിക്കും ലഭിക്കുന്ന ത്വരണത്തിന്റെ പരിമാണം തുല്യമായിരിക്കും. കട്ടയുടെ ചലനത്തിൽ രണ്ടാം ചലനനിയമം പ്രയോഗിക്കുമ്പോൾ (ചിത്രം 5.12 (b))

$$30 - T = 3a$$

ട്രോളിയുടെ ചലനത്തിൽ രണ്ടാം ചലനനിയമം പ്രയോഗിക്കുമ്പോൾ (ചിത്രം 5.12 (c))

$$T - f_k = 20\ a.$$

അപ്പോൾ $f_k = \mu_k N$,

ഇവിടെ $\mu_k = 0.04$,

$N = 20 \times 10 = 200$ N.

അപ്പോൾ ട്രോളിയുടെ ചലനത്തിനുള്ള സമവാക്യം

$T - 0.04 \times 200 = 20\ a$ അല്ലെങ്കിൽ

$T - 8 = 20a$. എന്നാകുന്നു.

ഈ സമവാക്യങ്ങളിൽ നിന്ന്

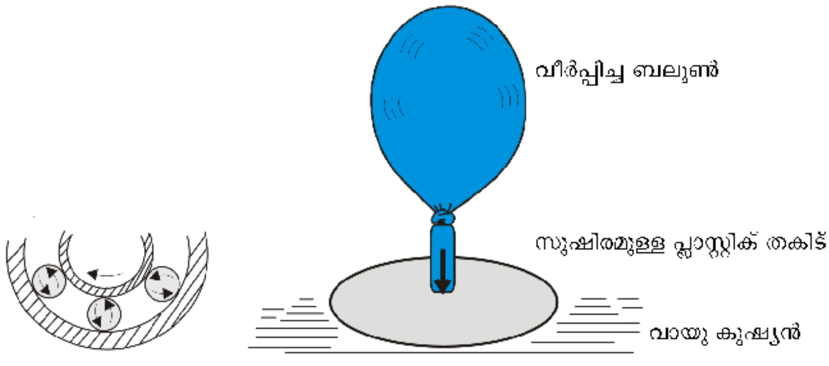
$$a = \frac{22}{23}\ m\ s^{-2} = 0.96\ m\ s^{-2}$$

$T = 27.1$ N. ◀

ഉരുളൽ ഘർഷണം (Rolling Friction)

ഒരു തിരശ്ചീനപ്രതലത്തിലൂടെ തെന്നിമാറാതെ ഉരുളുന്ന (Rolling without slipping) വളയത്തെയോ ഗോളത്തെയോ പോലുള്ള വസ്തുക്കളിൽ ഘർഷണം അനുഭവപ്പെടുന്നില്ലെന്ന് തത്വത്തിൽ പറയാം. ഓരോ നിമിഷവും വസ്തുവും പ്രതലവും തമ്മിൽ സമ്പർക്കത്തിൽ വരുന്നത് ഒരേ ഒരു ബിന്ദുവിൽ മാത്രമാണ്. ഈ ബിന്ദുവിന് പ്രതലത്തെ അപേക്ഷിച്ച് ചലനമുണ്ടാകുന്നുമില്ല. പരിപൂർണമായും സാങ്കൽപ്പികമായ ഇത്തരം സന്ദർഭത്തിൽ ഗതികഘർഷണമോ സ്ഥിതഘർഷണമോ പൂജ്യമായിരിക്കുകയും വസ്തു സ്ഥിരപ്രവേഗത്തോടെ ഉരുളൽ തുടരുകയും ചെയ്യും. എന്നാൽ പ്രായോഗികമായി ഇത്തരത്തിലല്ല സംഭവിക്കാറുള്ളത്. വസ്തുവിന്റെ ചലനത്തിന് (ഉരുളലിന്) പ്രതിരോധം അനുഭവപ്പെടാറുണ്ട്. അതായത്, വസ്തുവിന്റെ ഉരുളൽ തുടരുന്നതിന് ബലം പ്രയോഗിക്കേണ്ടത് ആവശ്യമാണ്. ഒരു നിശ്ചിത ഭാരത്തിന്, ഉരുളൽ ഘർഷണം സ്ഥിതഘർഷണത്തെയോ നിരങ്ങൽ ഘർഷണത്തെയോ അപേക്ഷിച്ച് വളരെ ചെറുതാണ്. ഉരുളൽഘർഷണത്തിന്റെ മൂല്യം മറ്റു രണ്ടു ഘർഷണങ്ങളുടെയും മൂല്യങ്ങളേക്കാൾ രണ്ടോ മൂന്നോ മടങ്ങ് ചെറുതാണ്. ഇതുമൂലമാണ് ചക്രങ്ങളുടെ കണ്ടുപിടിത്തം മനുഷ്യരാശിയുടെ ചരിത്രത്തിലെ ഒരു പ്രധാന നാഴികക്കല്ലായി മാറിയത്.

സ്ഥിതഘർഷണത്തിന്റെയും നിരങ്ങൽ ഘർഷണത്തിന്റെയും ഉദ്ഭവത്തിൽ നിന്ന് അൽപ്പം വ്യത്യസ്തമാണെങ്കിലും ഉരുളൽഘർഷണത്തിന്റെ ഉറവിടവും സങ്കീർണമാണ്. വസ്തുക്കൾ ഉരുളുമ്പോൾ സമ്പർക്കത്തിൽ വരുന്ന പ്രതലങ്ങൾക്ക് നൈമിഷികമായി ഒരു ചെറിയ രൂപമാറ്റം സംഭവിക്കുന്നു. തന്മൂലം വസ്തു പ്രതലവുമായി സമ്പർക്കത്തിൽ വരുന്നത് ഒരു ബിന്ദുവിനു പകരം ഒരുചെറിയ പരപ്പളവ് ആണ്. ഇതിന്റെ ഫലമായി പ്രതലത്തിനു സമാന്തരമായുള്ള സമ്പർക്കബലത്തിന്റെ ഘടകം ചലനത്തെ പ്രതിരോധിക്കുന്നു.



(a) (b)

ചിത്രം 5.13 ഘർഷണം ലഘൂകരിക്കാനുള്ള വിവിധ മാർഗങ്ങൾ
(a) യന്ത്രത്തിന്റെ ചലിക്കുന്ന ഭാഗങ്ങൾക്കിടയിൽ ബാൾ ബെയറിങ്ങുകൾ സ്ഥാപിക്കുന്നത്.
(b) ആപേക്ഷികചലനത്തിലുള്ള പ്രതലങ്ങൾക്കിടയിൽ വായുവിനെ ഞെരിച്ചമർത്തി ഒരു പാളി പോലെ നിലനിർത്തുന്നത്.

നാം പലപ്പോഴും ഘർഷണത്തെ അനഭിലഷണീയമായ കാര്യമായാണ് കണക്കാക്കാറുള്ളത്. യന്ത്രങ്ങളിലെ ചലിക്കുന്ന ഭാഗങ്ങളിലേതുപോലെ പല സന്ദർഭങ്ങളിലും ഘർഷണം ദൂഷ്യഫലങ്ങളാണ് നൽകുന്നത്. ഇവിടെ ഘർഷണം ആപേക്ഷികചലനത്തെ തടയുകയും ഇത് ഊർജത്തെ താപോർജത്തിന്റെയും മറ്റും രൂപത്തിൽ പാഴാക്കിക്കളയുകയും ചെയ്യുന്നു. ഒരു യന്ത്രത്തിലുണ്ടാകുന്ന ഗതികഘർഷണം കുറക്കുന്നതിനുള്ള മാർഗം സ്നേഹകങ്ങളുടെ (Lubricants) ഉപയോഗമാണ്. ഘർഷണം കുറക്കുന്നതിനുള്ള മറ്റൊരു മാർഗം ചലിക്കുന്ന യന്ത്രഭാഗങ്ങൾക്കിടയിൽ ബാൾ ബെയറിങ്ങുകൾ (ball bearings) ഉപയോഗിക്കുക്കയന്നതാണ് (ചിത്രം 5.13 (a)). സമ്പർക്കത്തിലുള്ള പ്രതലവും ബാൾ ബെയറിങ്ങുകളും തമ്മിലുള്ള ഉരുളൽഘർഷണം വളരെ കുറവായതിനാൽ ഊർജം പാഴായിപ്പോകുന്നത് കുറയുന്നു. രണ്ടു ഖരപ്രതലങ്ങൾക്കിടയിലുള്ള ഘർഷണം കുറക്കുന്നതിന് കനം കുറഞ്ഞ ഒരു പാളിപോലെ വായുവിനെ രണ്ടു പ്രതലങ്ങൾക്കിടയിൽ നിലനിർത്തുന്നത് ഫലപ്രദമായ മറ്റൊരു മാർഗ്ഗമാണ്. (ചിത്രം 5.13.(a)).

പ്രായോഗികഘട്ടങ്ങളിൽ പലപ്പോഴും ഘർഷണം വളരെ അത്യാവശ്യമാണ്. ഊർജം പാഴാക്കുമെങ്കിലും ആപേക്ഷികചലനത്തെ വളരെ പെട്ടെന്നു തടഞ്ഞുനിർത്താൻ സഹായിക്കുന്നത് ഗതികഘർഷണമാണ്. വാഹനങ്ങളിലും യന്ത്രങ്ങളിലുമുള്ള ബ്രേക്കുകൾ ഗതികഘർഷണം മൂലമാണ് പ്രവർത്തിക്കുന്നത്. സമാനമായി സ്ഥിതഘർഷണത്തിനും നിത്യജീവിതത്തിൽ വളരെ പ്രാധാന്യമുണ്ട്. നമുക്ക് നടക്കാൻ സാധിക്കുന്നത് ഘർഷണം മൂലമാണ്. വഴുക്കലേറിയ ഒരു റോഡിലൂടെ ഒരു കാറിന് സഞ്ചരിക്കാൻ സാധ്യമല്ല. എന്നാൽ സാധാരണ റോഡിൽ ടയറുകളും റോഡും തമ്മിലുള്ള ഘർഷണം കാറിന് ത്വരണം നൽകുന്നതിനാവശ്യമായ ബാഹ്യബലമായി പ്രവർത്തിക്കുന്നു.

5.10 വർത്തുളചലനം (Circular Motion)

'R' ആരമുള്ള വൃത്തത്തിലൂടെ v എന്ന സമവേഗത്തിൽ സഞ്ചരിക്കുന്ന ഒരു വസ്തുവിനുണ്ടാകുന്ന ത്വരണം v^2/R ആണെന്നും ഇതിന്റെ ദിശ വൃത്തകേന്ദ്രത്തിലേക്കാണെന്നും നാം 4-ാം അധ്യായത്തിൽ പഠിച്ചിട്ടുണ്ട്. രണ്ടാം ചലനനിയമമനുസരിച്ച് ഈ ത്വരണം നൽകാൻ സഹായിക്കുന്ന ബലം f_c എന്നത്

$$f_c \quad \frac{m v^2}{R} \qquad (5.16)$$

ആണെന്നു കണക്കാക്കാം.

ഇവിടെ 'm' എന്നത് വസ്തുവിന്റെ മാസാണ്. വൃത്തകേന്ദ്രത്തിലേക്കു പ്രവർത്തിക്കുന്ന ഈ ബലത്തെ അഭികേന്ദ്രബലം (Centripetal force) എന്നു പറയുന്നു. ഒരു കല്ലിനെ ചരടിൽകെട്ടി കറക്കുമ്പോൾ ചരടിലുണ്ടാകുന്ന വലിവാണ് അഭികേന്ദ്രബലം നൽകുന്നത്. സൂര്യനു ചുറ്റും പരിക്രമണം ചെയ്യുന്ന ഗ്രഹത്തിന്റെ ചലനത്തിനാവശ്യമായ അഭികേന്ദ്രബലം നൽകുന്നത് ആ ഗ്രഹത്തിൽ സൂര്യൻ പ്രയോഗിക്കുന്ന ഗുരുത്വബലമാണ്. തിരശ്ചീനമായ ഒരു റോഡിലെ വൃത്താകാരമായ വളവിലൂടെ സഞ്ചരിക്കുന്ന കാറിന് ആവശ്യമായ അഭികേന്ദ്രബലം നൽകുന്നത് ഘർഷണബലമാണ്.

നിരപ്പായ റോഡിലൂടെയും ബാങ്ക്ഡ് റോഡിലൂടെയുമുള്ള (Banked road) കാറിന്റെ വർത്തുളചലനം ചലനനിയമങ്ങളുടെ രസകരമായ പ്രയോഗസാധ്യത നൽകുന്നു.

നിരപ്പായ റോഡിലൂടെയുള്ള കാറിന്റെ ചലനം (Motion of a car on a level road)

കാറിൽ പ്രവർത്തിക്കുന്ന മൂന്നുബലങ്ങൾ (ചിത്രം 5.14 (a))

(i) കാറിന്റെ ഭാരം mg

(ii) ലംബമായ പ്രതിപ്രവർത്തനം- N

(iii) ഘർഷണബലം f എന്നിവയാണ്.

ലംബമായ ദിശയിൽ കാറിന് ത്വരണം സംഭവിക്കാത്തതിനാൽ

$$N - mg = 0$$

$$N = mg \qquad (5.17)$$

റോഡിന്റെ പ്രതലത്തിലൂടെയുള്ള വർത്തുളചലനത്തിന് അഭികേന്ദ്രബലം ആവശ്യമാണ്. റോഡും കാറി ന്റെ ടയറുകളും തമ്മിലുള്ള സമ്പർക്കബലത്തിന്റെ പ്രതലത്തിലൂടെയുള്ള ഘടകമാണ് ഇത് നൽകുന്നത്. നിർവചനമനുസരിച്ച് ഇതിനെയാണ് നാം ഘർഷണബലം എന്നു പറയുന്നത്. സ്ഥിതഘർഷണമാണ് അഭികേന്ദ്രത്വരണം നൽകുന്നതെന്ന് ശ്രദ്ധിക്കുക. വർത്തുളപാതയിൽ നിന്നു കാർ അകന്നുപോകുന്ന ആസന്നചലനത്തെ സരിതഘർഷണം തടയുന്നു. 5.14, 5.16 എന്നീ സമവാക്യങ്ങളുടെ സഹായത്തോടെ നമുക്ക്

$$f \le \mu_s N = \frac{mv^2}{R}$$ എന്നു ലഭിക്കുന്നു.

$$v^2 \le \frac{\mu_s RN}{m} = \mu_s Rg \quad [\because N = mg]$$

ഇത് കാറിന്റെ മാസിനെ ആശ്രയിച്ചുള്ളതല്ല. ഇതു സൂചിപ്പിക്കുന്നത് μ_s ന്റെയും R ന്റെയും തന്നിരിക്കുന്ന ഒരു വിലക്ക് വർത്തുളചലനം സാധ്യമാകുന്നതിനായി കാറിനുവേണ്ട പരമാവധി വേഗം

$$v_{max} = \sqrt{\mu_s Rg} \qquad (5.18)$$ എന്നാണ്.

ബാങ്ക്ഡ് റോഡിലൂടെയുള്ള കാറിന്റെ ചലനം (Motion of a car on a banked road)

റോഡ് ബാങ്ക്ഡ് ആണെങ്കിൽ കാറിന്റെ വർത്തുളചലനത്തിൽ ഘർഷണബലത്തിന്റെ പ്രഭാവം കുറക്കാൻ സാധിക്കും (ചിത്രം 5.14 (b)).

ലംബമായ ദിശയിൽ ത്വരണം ഉണ്ടാകാത്തതിനാൽ ഈ ദിശയിലുള്ള സഫലബലം പൂജ്യമായിരിക്കും.

അതിനാൽ $N \cos \theta = mg + f \sin \theta$ (5.19a)

N ന്റെയും f ന്റെയും തിരശ്ചീനദിശയിലുള്ള ഘടകങ്ങളാണ് ആവശ്യമായ അഭികേന്ദ്രബലം പ്രദാനം ചെയ്യുന്നത്. അതിനാൽ,

$$N \sin \theta + f \cos \theta = \frac{mv^2}{R} \qquad (5.19b)$$

എന്നാൽ $f \le \mu_s N$

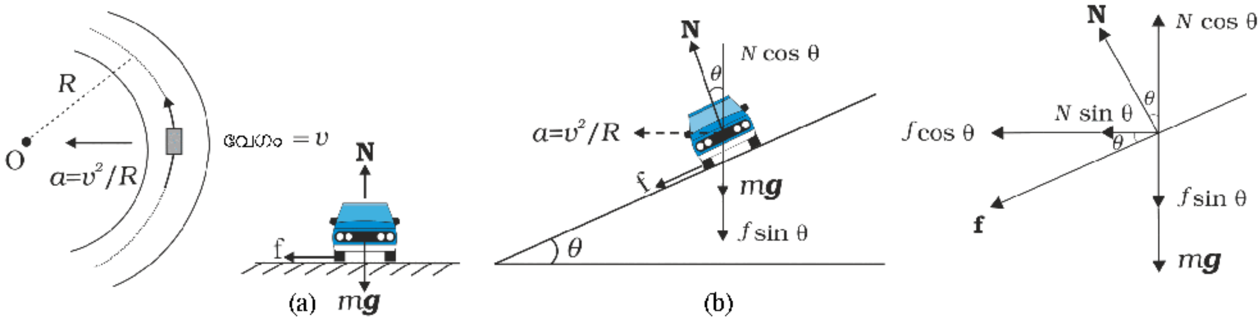
v_{max} ലഭിക്കുന്നതിന് നമുക്ക് $f = \mu_s N$ എന്ന് ഉപയോഗിക്കാം.

അപ്പോൾ സമവാക്യം 5.19(a), 5.19(b) ഇവ

$$N \cos \theta = mg + \mu_s N \sin \theta \qquad (5.20a)$$

$$N \sin \theta + \mu_s N \cos \theta = mv^2/R \qquad (5.20b)$$

എന്നിങ്ങനെയായി മാറുന്നു.



ചിത്രം 5.14 കാറിന്റെ വർത്തുളചലനം (a) നിരപ്പായ റോഡിലൂടെ (b) ബാങ്ക്ഡ് റോഡിലൂടെ

സമവാക്യം 5.20(a) യിൽനിന്ന്

$$N = \frac{mg}{\cos\theta - \mu_s \sin\theta}$$ എന്നു ലഭിക്കും.

N ന്റെ വില സമവാക്യം 5.20(b) യിൽ ആരോപിക്കുമ്പോൾ

$$\frac{mg(\sin\theta + \mu_s \cos\theta)}{\cos\theta - \mu_s \sin\theta} = \frac{m v_{max}^2}{R}$$ എന്നു ലഭിക്കുന്നു.

അല്ലെങ്കിൽ $$v_{max} = \left(Rg \frac{\mu_s + \tan\theta}{1 - \mu_s \tan\theta}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad (5.21)$$

ആയിരിക്കും. ഈ സമവാക്യത്തെ സമവാക്യം 5.18 മായി താരതമ്യപ്പെടുത്തിയാൽ ഒരു ബാങ്ക്ഡ്റോഡിൽ കാറിനു ലഭിക്കുന്ന പരമാവധി വേഗം നിരപ്പായ റോഡിലൂടെയുള്ളതിനേക്കാൾ കൂടുതലാണെന്നു കാണാം.

$\mu_s = 0$ ആകുമ്പോൾ സമവാക്യം (5.21), ൽ നിന്നും

$$v_o = (R g \tan\theta)^{1/2} \qquad (5.22)$$ ആകുന്നു.

ഈ വേഗത്തിനാവശ്യമായ അഭികേന്ദ്രബലം നൽകുന്നതിന് ഘർഷണബലത്തിന്റെ ആവശ്യമില്ല. എന്നാൽ ഈ വേഗത്തിൽ ഒരു ബാങ്ക്ഡ് റോഡിലൂടെ സഞ്ചരിക്കുന്നത് കാറിന്റെ ടയറുകൾക്ക് തേയ്മാനം ഉണ്ടാക്കുന്നു. $v < v_o$ ആണെങ്കിൽ ഘർഷണബലം ചരിവിലൂടെ മുകളിലേക്കായിരിക്കുമെന്നും കാർ നിർത്തിയിടണമെങ്കിൽ $\tan\theta \le \mu_s$ ആയിരിക്കണമെന്നുമുള്ള വസ്തുതകൾ ഈ സമവാക്യം നമുക്ക് വ്യക്തമാക്കിത്തരുന്നു.

▶ **ഉദാഹരണം 5.10 :** നിരപ്പായ ഒരു റോഡിലൂടെ 18km/hr വേഗത്തിൽ സഞ്ചരിക്കുന്ന സൈക്കിൾ യാത്രക്കാരൻ 3 മീറ്റർ ആരമുള്ള ഒരു കൊടുംവളവിലൂടെ വേഗം കുറക്കാതെ സഞ്ചരിക്കുന്നു. ടയറും റോഡും തമ്മിലുള്ള സ്ഥിതഘർഷണഗുണാങ്കം 0·1 ആണ്. വളവിലൂടെ സഞ്ചരിക്കുമ്പോൾ സൈക്കിൾ യാത്രക്കാരൻ തെന്നിമാറാൻ സാധ്യതയുണ്ടോ?

ഉത്തരം: ബാങ്ക്ഡ് അല്ലാത്ത ഒരു റോഡിലെ വളവിലൂടെ സൈക്കിൾയാത്രക്കാരൻ സഞ്ചരിക്കുമ്പോൾ തെന്നിമാറാതിരിക്കാൻ ആവശ്യമായ അഭികേന്ദ്രബലം നൽകുന്നത് ഘർഷണബലം മാത്രമാണ്. വേഗം കൂടുതലാണെങ്കിലോ, കൊടുംവളവ് (അതായത് ആരം വളരെ കുറവ്) ആണെങ്കിലോ അല്ലെങ്കിൽ ഇവ രണ്ടുമായാലോ ആവശ്യമായ അഭികേന്ദ്രബലം നൽകുന്നതിന് ഘർഷണബലം പര്യാപ്തമല്ല. ഇതുമൂലം സൈക്കിൾ യാത്രക്കാരൻ വഴുതിവീഴുന്നു. സൈക്കിൾ യാത്രക്കാരൻ തെന്നിമാറാതിരിക്കേണ്ടതിനുള്ള നിബന്ധന സമവാക്യം 5.18ൽ നിന്ന്

$v^2 \le \mu_s R g$ എന്നു കണക്കാക്കാം.

R= 3m, $g = 9.8 ms^{-2}$, μ_s 0.1. അതായത്

$\mu_s R g = 2.94 m^2s^{-2}$, ∴ $v = 18 km/h = 5 ms^{-1}$

അതായത് $v^2 = 25 m^2s^{-2}$

ഇത് മുകളിൽ പറഞ്ഞ നിബന്ധന അനുസരിക്കുന്നില്ല. അതിനാൽ വളവിലൂടെ സഞ്ചരിക്കുമ്പോൾ സൈക്കിൾ യാത്രക്കാരൻ തെന്നിമാറും. ◀

▶ **ഉദാഹരണം 5.11 :** വൃത്താകാരമായ ഒരു റേസ്ട്രാക്കിന്റെ ആരം 300 മീറ്ററും ട്രാക്കിന്റെ ചരിവ് 15° യുമാണ്. ഒരു റേസ് കാറിന്റെ ചക്രങ്ങളും റോഡും തമ്മിലുള്ള ഘർഷണഗുണാങ്കം 0.2 ആണെങ്കിൽ

(a) കാറോട്ടമത്സരം നടത്തുന്നതിനുള്ള ഏറ്റവും അഭിലഷണീയമായ വേഗം എത്ര?

(b) തെന്നിപ്പോവാതെ സഞ്ചരിക്കാൻ അനുവദനീയമായ പരമാവധി വേഗം എത്ര?

ഉത്തരം : ബാങ്ക്ഡ് (banked) റോഡിൽ ലംബമായ പ്രതിപ്രവർത്തനത്തിന്റെയും ഘർഷണബലത്തിന്റെയും തിരശ്ചീനഘടകം വഴുതിവീഴാതെ വൃത്താകൃതിയിലുള്ള വളവിലൂടെ സഞ്ചരിക്കാൻ കാറിനെ സഹായിക്കുന്ന അഭികേന്ദ്രബലം നൽകുന്നു. അഭിലഷണീയമായ വേഗത്തിൽ (optimum speed) സഞ്ചരിക്കുമ്പോൾ ലംബമായ പ്രതിപ്രവർത്തനത്തിന്റെ ഘടകം ആവശ്യമായ അഭികേന്ദ്രബലം നൽകാൻ പര്യാപ്തമാണ്. അതിനാൽ ഘർഷണബലത്തിന്റെ ആവശ്യമില്ല.

സമവാക്യം 5.22 അനുസരിച്ച് അഭിലഷണീയ വേഗം

v_O $(R g \tan\theta)^{1/2}$

ഇവിടെ R $300m$, θ 15^0, g $9.8 m s^{-2}$

അപ്പോൾ v_O $28.1 m s^{-1}$

സമവാക്യം 5.21 – ൽ നിന്ന് അനുവദനീയമായ പരമാവധി വേഗം v_{max} എന്നത്

$$v_{max} = \left(R g \frac{\mu_s + \tan\theta}{1 - \mu_s \tan\theta}\right)^{1/2} = 38.1 m s^{-1}$$ ◀

5.11 ബലതന്ത്രത്തിലെ പ്രശ്നങ്ങൾ പരിഹരിക്കുന്നവിധം (Solving problems in mechanics)

ഈ അധ്യായത്തിൽ നാം പഠിച്ച മൂന്നു ചലനനിയമങ്ങളും ബലതന്ത്രത്തിന്റെ അടിസ്ഥാനനിയമങ്ങളാണ്. ഇപ്പോൾ നമുക്ക് ബലതന്ത്രത്തിലെ വളരെ വ്യത്യസ്തമായ വിവിധ പ്രശ്നങ്ങൾക്കുള്ള ഉത്തരങ്ങൾ കണ്ടെത്താൻ സാധിക്കും. ബലതന്ത്രത്തിലെ മാതൃകാപരമായ ഒരു പ്രശ്നത്തിൽ തന്നിരിക്കുന്ന ബലങ്ങൾ ഒരു വസ്തുവിൽ മാത്രം പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്നതരത്തിലുള്ളതല്ല. മിക്കപ്പോഴും, പരസ്പരം ബലംപ്രയോഗിക്കുന്ന വ്യത്യസ്ത വസ്തുക്കളുടെ ഒരു കൂട്ടത്തെ നാം പരിഗണിക്കേണ്ടതായി വരും. ഇതിനു പുറമേയാണ് ഈ കൂട്ടത്തിലെ ഓരോ വസ്തുവിലും അനുഭവപ്പെടുന്ന ഗുരുത്വാകർഷണബലം. ഇത്തരത്തിലുള്ള പ്രശ്നങ്ങൾക്ക് ഉത്തരം കണ്ടെത്താൻ ശ്രമിക്കുമ്പോൾ ഈ കൂട്ടത്തിലെ ഏതു ഭാഗത്തെയും നമുക്ക് പ്രത്യേകമായി പരിഗണിച്ച് ചലനനിയമങ്ങൾ ആ ഭാഗത്തിൽ പ്രയോഗിക്കേണ്ടിവരും. ഈ ഭാഗത്തിൽ മറ്റുള്ള ഭാഗങ്ങളിൽനിന്നു പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന എല്ലാ ബലങ്ങളെയും നാം പരിഗണിക്കേണ്ട

തുണ്ട്. നാം പരിഗണിച്ച പ്രത്യേക ഭാഗത്തെ വ്യൂഹം (System) എന്നും അവശേഷിക്കുന്ന ഭാഗത്തെ (ബലത്തിന്റെ കാരണങ്ങൾ ഉൾപ്പെടെ) ചുറ്റുപാട് (Environment) എന്നും വിളിക്കുന്നു. ഉദാഹരണങ്ങളിൽ അവതരിപ്പിച്ചിരുന്ന പ്രശ്നങ്ങൾ പരിഹരിക്കുന്നതിന് നാം ഈ മാർഗമാണ് അവലംബിച്ചത്. ബലതന്ത്രത്തിലെ മാതൃകാപരമായ ഒരു പ്രശ്നം കൃത്യമായി പരിഹരിക്കുന്നതിന് ചുവടെ ചേർത്തിട്ടുള്ള വിവിധ ഘട്ടങ്ങൾ ഉപയോഗിക്കേണ്ടി വരും.

1. തന്നിരിക്കുന്ന പ്രശ്നത്തിലെ വസ്തുക്കൾ, ബന്ധങ്ങൾ, ലിങ്കുകൾ മുതലായവ പൂർണമായും ഉൾക്കൊള്ളുന്ന രേഖാചിത്രം വരക്കുക.
2. കൂട്ടത്തിലെ സൗകര്യപ്രദമായ ഏതെങ്കിലും ഒരു ഭാഗത്തെ വ്യൂഹമായി പരിഗണിക്കുക.
3. ഈ വ്യൂഹത്തിന്റെയും തന്നിരിക്കുന്ന കൂട്ടത്തിലെ അവശേഷിക്കുന്ന ഭാഗങ്ങൾ വ്യൂഹത്തിൽ പ്രയോഗിക്കുന്ന എല്ലാ ബലങ്ങളുടെയും ചിത്രം പ്രത്യേകം വരക്കുക. വ്യൂഹത്തിൽ പ്രയോഗിക്കുന്ന മറ്റു ബലങ്ങളെയും ചിത്രത്തിൽ ഉൾപ്പെടുത്തുക. ***(ചുറ്റുപാടിന്മേൽ വ്യൂഹം പ്രയോഗിക്കുന്ന ബലത്തെ ചിത്രത്തിൽ ഉൾപ്പെടുത്താൻ പാടില്ല.)*** ഇത്തരത്തിലുള്ള ഒരു ചിത്രത്തെയാണ് സ്വതന്ത്രബലചിത്രം (Free body diagram) എന്നു പറയുന്നത്. (ഇതിന്റെ അർഥം നമ്മുടെ പരിഗണനയിലിരിക്കുന്ന വ്യൂഹത്തിൽ ഒരു പരിണതബലവും പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്നില്ല എന്നല്ല.)
4. പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്നതോ പ്രവർത്തിക്കുന്നുവെന്ന് നമുക്ക് ഉറപ്പുള്ളതോ ആയ (ഉദാ:- ഒരു ചരടിന്റെ നീളത്തിലൂടെ പ്രവർത്തിക്കുന്ന വലിവ്) എല്ലാ ബലങ്ങളെയും കുറിച്ചുള്ള വിവരങ്ങൾ (അവയുടെ അളവും ദിശയും) സ്വതന്ത്രബലചിത്രത്തിൽ (Freebody diagram) ഉൾപ്പെടുത്തണം. ബാക്കിയുള്ളവയെല്ലാം അജ്ഞാതമായ ബലങ്ങളായി കണക്കാക്കി അവയെ ചലനനിയമങ്ങളുടെ സഹായത്താൽ കണ്ടെത്താവുന്നതാണ്.
5. വ്യൂഹത്തെ തിരഞ്ഞെടുക്കുന്നതിന് ആവശ്യമാണെങ്കിൽ മറ്റൊരു രീതിയും പരിഗണിക്കാം. ഇതിൽ ന്യൂട്ടന്റെ മൂന്നാംചലനനിയമം ഉപയോഗിക്കേണ്ടി വരും. A എന്ന വസ്തുവിന്റെ സ്വതന്ത്രബല ചിത്രത്തിൽ, B എന്ന വസ്തു A യിൽ പ്രയോഗിക്കുന്ന ബലം **F** എന്നു സൂചിപ്പിച്ചാൽ B യുടെ സ്വതന്ത്രബലചിത്രത്തിൽ A എന്ന വസ്തു B യിൽ പ്രയോഗിക്കുന്ന ബലം **F** എന്നു സൂചിപ്പിക്കണം. താഴെ പറയുന്ന ഉദാഹരണം ഇത് കൂടുതൽ സ്പഷ്ടമാക്കുന്നു.

ഉദാഹരണം 5.12. : ചിത്രം 5.15 ശ്രദ്ധിക്കുക. 2kg മാസുള്ള ഒരു തടിക്കഷണം മൃദുവും തിരശ്ചീനവുമായ തറയിൽ സ്ഥിതിചെയ്യുന്നു. ഈ കട്ടയുടെ മേൽ 25kg മാസുള്ള ഒരു ഇരുമ്പു സിലിണ്ടർ വക്കുമ്പോൾ തറ ക്രമമായി വളയുകയും തടിക്കഷണവും സിലിണ്ടറും $0.1\ m\ s^{-2}$. ത്വരണത്തോടുകൂടി താഴേക്കുപോകുകയും ചെയ്യുന്നു. തറ വഴങ്ങുന്നതിന് (yield) (a) മുമ്പും (b) പിമ്പും തടിക്കഷണം തറയിൽ പ്രയോഗിക്കുന്ന ബലം എത്ര? $g = 10 m\ s^{-2}$ എന്നു കരുതുക. ഈ പ്രശ്നത്തിലെ പ്രവർത്തന–പ്രതിപ്രവർത്തന ജോടികൾ തിരിച്ചറിയുക.

ഉത്തരം:

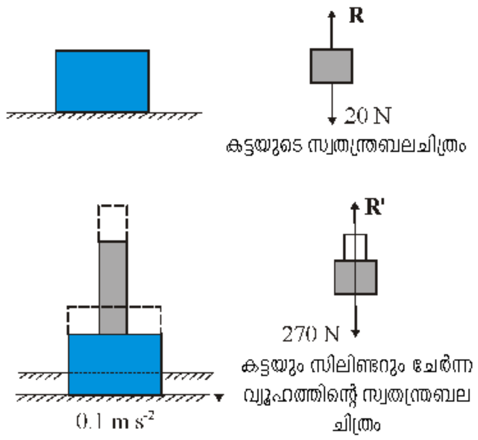
(a) തടിക്കഷണം തറയിൽ നിശ്ചലമായാണ് സ്ഥിതി ചെയ്യുന്നത്. ഇതിന്റെ സ്വതന്ത്രബലചിത്രത്തിൽ കട്ടയിലുള്ള രണ്ടു ബലങ്ങളെ കാണിക്കുന്നു. ഭൂമി പ്രയോഗിക്കുന്ന ഗുരുത്വാകർഷണബലം 2x10= 20N ഉം തറ കട്ടയുടെമേൽ പ്രയോഗിക്കുന്ന ലംബമായ പ്രതിപ്രവർത്തനം R ഉം. ഒന്നാം ചലനനിയമമനുസരിച്ച് കട്ടയുടെ മേലുള്ള പരിണതബലം പൂജ്യമായിരിക്കണം, അതായത് R = 20 N. മൂന്നാം ചലനനിയമമനുസരിച്ച് കട്ട പ്രയോഗിക്കുന്ന പ്രവർത്തനം (അഥവാ തറയിൽ കട്ട പ്രയോഗിക്കുന്ന ബലം) 20N നു തുല്യമായിരിക്കും. ഇതിന്റെ ദിശ നേരെ താഴേക്കാണ്.

(b) കട്ടയും സിലിണ്ടറും അടങ്ങിയ വ്യൂഹം താഴേക്കു വരുമ്പോഴുണ്ടാകുന്ന ത്വരണം $0.1 ms^{-2}$ ആണ്. വ്യൂഹത്തിന്റെ സ്വതന്ത്രബലചിത്രം ഇതിൽ പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന രണ്ടു ബലങ്ങളെ സൂചിപ്പിക്കുന്നു. ഭൂമി പ്രയോഗിക്കുന്ന ഗുരുത്വബലം (270N), തറ പ്രയോഗിക്കുന്ന ലംബമായ പ്രതിപ്രവർത്തനം R'. ബ്ലോക്കും സിലിണ്ടറും തമ്മിലുള്ള ആന്തരികബലങ്ങൾ സ്വതന്ത്രബലചിത്രത്തിൽ സൂചിപ്പിക്കുന്നില്ലെന്ന് ശ്രദ്ധിക്കുക. ഈ വ്യൂഹത്തിൽ രണ്ടാം ചലനനിയമം പ്രയോഗിക്കുമ്പോൾ

$270 - R' = 27 \times 0.1N$

അതായത്, $R' = 267.3$ N

മൂന്നാം ചലനനിയമമനുസരിച്ച് വ്യൂഹം തറയിൽ നേരേ താഴേക്ക് പ്രയോഗിക്കുന്ന പ്രവർത്തിക്കുന്ന ബലം (പ്രവർത്തനം) ആണ് ഇത്.



ചിത്രം 5.15

പ്രവർത്തന – പ്രതിപ്രവർത്തന ജോടികൾ (Action - reaction pairs)

പ്രശ്നം (a) യിൽ (i) കട്ടയുടെമേൽ ഭൂമി പ്രയോഗിക്കുന്ന

ഗുരുത്വബലം (20 N) (പ്രവർത്തനം); ഭൂമിയിൽ കട്ട പ്രയോഗിക്കുന്ന ഗുരുത്വബലം 20 N (ദിശ മുകളിലേക്ക്) (പ്രതിപ്രവർത്തനം) (പ്രതിപ്രവർത്തനം ചിത്രത്തിൽ കാണിച്ചിട്ടില്ല).
(ii) തറയിൽ കട്ട പ്രയോഗിക്കുന്ന ബലം (പ്രവർത്തനം), കട്ടയുടെമേൽ തറ പ്രയോഗിക്കുന്ന ബലം (പ്രതിപ്രവർത്തനം).
പ്രശ്നം b) യിൽ (i) വ്യൂഹത്തിൽ ഭൂമിയുടെ ഗുരുത്വബലം (270N) (പ്രവർത്തനം), വ്യൂഹം ഭൂമിയിൽ പ്രയോഗിക്കുന്ന 270N ഗുരുത്വബലം (പ്രതിപ്രവർത്തനം). ഇത് മുകളിലേക്കുള്ള ദിശയിലാണ് (ചിത്രത്തിൽ സൂചിപ്പിച്ചിട്ടില്ല).
(ii) തറയിൽ വ്യൂഹം പ്രയോഗിക്കുന്ന ബലം (പ്രവർത്തനം); വ്യൂഹത്തിൻമേൽ തറ പ്രയോഗിക്കുന്ന ബലം (പ്രതിപ്രവർത്തനം). ഇതു കൂടാതെ (b) യിൽ കട്ട സിലിണ്ടറിൽ പ്രയോഗിക്കുന്ന ബലവും തിരിച്ച് സിലിണ്ടർ കട്ടയിൽ പ്രയോഗിക്കുന്ന ബലവും പ്രവർത്തന – പ്രതിപ്രവർത്തന ജോടിയാണ്.
രണ്ടു വ്യത്യസ്ത വസ്തുക്കളിൽ പരസ്പരം പ്രവർത്തിക്കുന്ന എല്ലായ്പ്പോഴും തുല്യവും വിപരീതവുമായ ബലങ്ങളാണ് പ്രവർത്തന–പ്രതിപ്രവർത്തന ജോടി എന്ന വസ്തുത പ്രത്യേകം ശ്രദ്ധയിൽവെക്കേണ്ടതാണ്. ഒരേ വസ്തുവിൽ പ്രവർത്തിക്കുന്ന തുല്യവും വിപരീതവുമായ രണ്ടു ബലങ്ങൾ ഒരിക്കലും പ്രവർത്തന–പ്രതിപ്രവർത്തന ജോടി ആകുന്നില്ല. (a) യിലെയും (b) യിലെയും മാസുകളിൽ പ്രവർത്തിക്കുന്ന ഗുരുത്വബലവും തറ മാസിൽ പ്രയോഗിക്കുന്ന ലംബമായ പ്രതിപ്രവർത്തനവും പ്രവർത്തന – പ്രതിപ്രവർത്തന ജോടികളല്ല. ഈ രണ്ടു ബലങ്ങളും പ്രശ്നം (a) യിൽ വസ്തു നിശ്ചലമായതിനാൽ തുല്യവും വിപരീതവുമാണ്. എന്നാൽ പ്രശ്നം (b) യിൽ ഇവ അപ്രകാരമല്ല. വ്യൂഹത്തിന്റെ ഭാരം 270 N ഉം അതിൻമേൽ പ്രവർത്തിക്കുന്ന ലംബമായ ബലം *R'* എന്നത് 267.3 N ഉം ആണ്.
ബലതന്ത്രത്തിലെ പ്രശ്നങ്ങൾ പരിഹരിക്കുന്നതിന് സ്വതന്ത്രബലചിത്രം വരക്കുന്നത് വളരെ സഹായകരമാണ്. ഇത് വ്യൂഹത്തെ വ്യക്തമായി നിർവചിക്കാനും വ്യൂഹത്തിന്റെ ഭാഗമല്ലാത്ത മറ്റു വസ്തുക്കൾ വ്യൂഹത്തിൽ പ്രയോഗിക്കുന്ന എല്ലാ ബലങ്ങളും കണക്കിലെടുക്കാനും സഹായിക്കുന്നു. ഈ അധ്യായത്തിലെ പരിശീലനപ്രശ്നങ്ങൾ നിങ്ങളെ ഇതിനു സഹായിക്കും.

സംഗ്രഹം

1. ഒരു വസ്തുവിന് സമചലനം തുടരുന്നതിന് ബലം ആവശ്യമാണെന്ന അരിസ്റ്റോട്ടിലിന്റെ വാദഗതി തെറ്റാണ്. യഥാർഥത്തിൽ ചലനത്തെ എതിർക്കുന്ന ഘർഷണബലത്തെ തടയാനാണ് ബലം ആവശ്യമായി വരുന്നത്.
2. ചരിവുതലങ്ങളിലൂടെയുള്ള വസ്തുക്കളുടെ ചലനത്തെ കുറിച്ചുള്ള ലളിതമായ നിരീക്ഷണങ്ങൾ ഉപയോഗിച്ച് ഗലീലിയോ ‘ജഡത്വനിയമ’ത്തിൽ എത്തിച്ചേർന്നു. ഇതുതന്നെയാണ് ന്യൂട്ടന്റെ ഒന്നാം ചലനനിയമത്തിന്റെ രൂപത്തിൽ കൂടുതൽ വ്യക്തമായി അവതരിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നത്. “അസന്തുലിതമായ ഒരു ബാഹ്യബലം പ്രയോഗിക്കുന്നതുവരെ ഓരോ വസ്തുവും അതിന്റെ സ്ഥിരാവസ്ഥയിലോ നേർരേഖാ സമചലനത്തിലോ തുടരുന്നതാണ്.” ലളിതമായി പറഞ്ഞാൽ വസ്തുവിൽ പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന ബാഹ്യബലം പൂജ്യം ആയാൽ വസ്തുവിന്റെ ത്വരണവും പൂജ്യമായിരിക്കും എന്നും ഒന്നാം ചലനനിയമത്തെ അവതരിപ്പിക്കാം.
3. ഒരു വസ്തുവിന്റെ ആക്കം (p) എന്നത് വസ്തുവിന്റെ മാസിന്റെ (m) യും പ്രവേഗത്തിന്റെയും (v) ഗുണനഫലമാണ്.

   $\mathbf{p} = m\,\mathbf{v}$
4. ന്യൂട്ടന്റെ രണ്ടാം ചലനനിയമം (Newton’s second law of motion)

   ഒരു വസ്തുവിനുണ്ടാകുന്ന ആക്കവ്യത്യാസ നിരക്ക് ആ വസ്തുവിൽ പ്രയോഗിക്കുന്ന അസന്തുലിത ബാഹ്യബലത്തിന് നേർ അനുപാതത്തിലും അതിന്റെ ദിശ പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന ബാഹ്യബലത്തിന്റെ ദിശയിലുമാണ്. അപ്രകാരം $\mathbf{F} = k\,\frac{d\mathbf{p}}{dt} = k\,m\,\mathbf{a}$

   F വസ്തുവിൽ പ്രയോഗിക്കുന്ന സഫല ബാഹ്യബലവും **a** വസ്തുവിനു ലഭിക്കുന്ന ത്വരണവുമാണ്. SI യൂണിറ്റിൽ ആനുപാതിക സ്ഥിരാങ്ക (k) ത്തിന്റെ വില k =1 എന്ന് എടുക്കുമ്പോൾ

   $$\mathbf{F} = \frac{d\mathbf{p}}{dt} = m\,\mathbf{a}$$

   ബലത്തിന്റെ SI യൂണിറ്റ് ന്യൂട്ടൺ ആണ്

   $1\ N = 1\ kg\ m\ s^{-2}$.

   (a) രണ്ടാം ചലനനിയമം ഒന്നാം ചലനനിയമവുമായി സമവായമുള്ളതാണ് (F= 0 ആയാൽ a=0).

   (b) ഇത് ഒരു സദിശ സമവാക്യമാണ്.

   (c) ഇത് ഒരു കണികക്കും ഒരു വസ്തുവിനും കൂടാതെ കണികകളുടെ ഒരു വ്യൂഹത്തിനും ഒരുപോലെ പ്രായോഗികമാണ്. ഇവിടെ **F** എന്നത് വ്യൂഹത്തിൽ പ്രയോഗിക്കുന്ന ആകെ ബാഹ്യബലവും **a** എന്നത് ഒന്നായി സങ്കൽപ്പിച്ചിരിക്കുന്ന വ്യൂഹത്തിന്റെ ത്വരണവുമാണ്.

   (d) ഒരു പ്രത്യേക സ്ഥാനത്ത് ഒരു പ്രത്യേക സമയത്ത് പ്രയോഗിക്കുന്ന **F** ആ സ്ഥാനത്ത് ആ സമയത്തുണ്ടാകുന്ന ത്വരണത്തെ നിർണയിക്കുന്നു. ഇതാണ് രണ്ടാം ചലനനിയമത്തെ പ്രാദേശികനിയമം (local law) എന്നു പറയുന്നതിനുള്ള കാരണം. ഏതെങ്കിലും ഒരു പ്രത്യേക സമയത്തുണ്ടാകുന്ന ത്വരണം അതിന്റെ പൂർവസ്ഥിതിയെ ആശ്രയിച്ചുള്ളതല്ല.
5. ബലത്തിന്റെയും സമയത്തിന്റെയും ഗുണനഫലമാണ് ആവേഗം. ഇത് ആക്കവ്യത്യാസത്തിനു തുല്യമാണ്. ഒരു വലിയ ബലം ഒരു ചെറിയ ഇടവേളയിൽ പ്രവർത്തിക്കുമ്പോൾ അളക്കാവുന്നതരത്തിൽ ഉണ്ടാകുന്ന ആക്കവ്യത്യാസം കണക്കാക്കാൻ ആവേഗമെന്ന സങ്കൽപം വളരെ സഹായകമാണ്. ബലം പ്രയോഗിക്കുന്നത് വളരെ ചെറിയ ഇടവേളയിലായതിനാൽ ആവേഗബലം പ്രയോഗിക്കുമ്പോൾ വസ്തുവിന് സ്ഥാനചലനമുണ്ടാകുന്നില്ലെന്ന് സങ്കൽപിക്കാം.
6. ന്യൂട്ടന്റെ മൂന്നാം ചലനനിയമം (Newton’s third law of motion)

   “എല്ലാ പ്രവർത്തനങ്ങൾക്കും തുല്യവും വിപരീതവുമായ ഒരു പ്രതിപ്രവർത്തനമുണ്ട്.”

   ഈ നിയമത്തെ താഴെ പറയുന്ന തരത്തിൽ ലളിതമായി അവതരിപ്പിക്കാം.

   “പ്രകൃതിയിൽ ബലങ്ങൾ എല്ലായ്പ്പോഴും ജോടികളായുള്ള വസ്തുക്കൾക്കിടയിലാണ് പ്രവർത്തിക്കുന്നത്. A എന്ന വസ്തു

വിൽ B എന്ന വസ്തു മൂലമുണ്ടാകുന്ന ബലം എല്ലായ്പ്പോഴും B എന്ന വസ്തുവിൽ A മൂലമുണ്ടാകുന്ന ബലത്തിന് തുല്യവും വിപരീതവുമായിരിക്കും.

പ്രവർത്തനം - പ്രതിപ്രവർത്തനം എന്നിവ ഒരേസമയത്ത് പ്രവർത്തിക്കുന്ന ബലങ്ങളാണ് (simultaneous forces). ഇവ തമ്മിൽ ഒരു തരത്തിലുമുള്ള കാര്യ-കാരണ ബന്ധവും നിലനിൽക്കുന്നില്ല. പരസ്പരമുള്ള ബലങ്ങളിൽ ഏതൊന്നിനെയും പ്രവർത്തനമെന്നും മറ്റേതിനെ പ്രതിപ്രവർത്തനമെന്നും വിളിക്കാവുന്നതാണ്. പ്രവർത്തനവും പ്രതിപ്രവർത്തനവും വ്യത്യസ്ത വസ്തുക്കളിൽ പ്രവർത്തിക്കുന്നതിനാൽ അവ പരസ്പരം റദ്ദുചെയ്യപ്പെടുന്നില്ല. എന്നാൽ ഒരു വസ്തുവിന്റെ വിവിധ ഭാഗങ്ങളിൽ ആന്തരികമായി പ്രവർത്തിക്കുന്ന പ്രവർത്തന- പ്രതിപ്രവർത്തന ബലങ്ങളുടെ ആകത്തുക പൂജ്യമായിരിക്കും.

7. *ആക്കസംരക്ഷണനിയമം* (Law of conservation of momentum): കണികകൾചേർന്ന ഒരു ഒറ്റപ്പെട്ട വ്യൂഹത്തിന്റെ ആകെ ആക്കം സ്ഥിരമായിരിക്കും. ഈ നിയമം രണ്ടും മൂന്നും ചലനനിയമങ്ങളെ ശരിവക്കുന്ന തരത്തിലാണ്.

8. *ഘർഷണം* (Friction)
സമ്പർക്കത്തിലുള്ള രണ്ടു പ്രതലങ്ങൾക്കിടയിലുള്ള ആപേക്ഷികചലനത്തെ (ആസന്നചലനമോ യഥാർഥത്തിലുള്ള ചലനമോ) ഘർഷണം പ്രതിരോധിക്കുന്നു. സമ്പർക്കത്തിലുള്ള പ്രതലങ്ങളുടെ പൊതുവായ സ്പർശതലത്തിലൂടെ പ്രവർത്തിക്കുന്ന, സമ്പർക്കബലത്തിന്റെ ഒരു ഘടകമാണ്. ഘർഷണബലം.

ആസന്നമായ ആപേക്ഷികചലനത്തെ സ്ഥിതഘർഷണം f_s പ്രതിരോധിക്കുന്നു. പ്രതലങ്ങൾക്കിടയിലുള്ള യഥാർഥമായ ആപേക്ഷികചലനത്തെ ഗതികഘർഷണം f_k തടയുന്നു. ഇവ രണ്ടും സമ്പർക്കത്തിലിരിക്കുന്ന പരപ്പളവിനെ ആശ്രയിക്കുന്നില്ല. ഇവ താഴെ കൊടുത്ത സമവാക്യങ്ങളോട് ഏകദേശം സമപ്പെടുന്നു.

$$f_s \le (f_s)_{max} = \mu_s R$$

$$f_k = \mu_k R$$

μ_s (സ്ഥിതഘർഷണ ഗുണാങ്കം), μ_k (ഗതികഘർഷണ ഗുണാങ്കം) എന്നിവ നാം കണക്കിലെടുക്കുന്ന സമ്പർക്കത്തിലിരിക്കുന്ന ഒരു ജോടി പ്രതലങ്ങളുടെ സവിശേഷതയാണ്. μ_k എന്നത് μ_s നേക്കാൾ കുറവാണെന്ന് പരീക്ഷണങ്ങൾ മുഖേന തെളിയിച്ചിട്ടുണ്ട്.

അളവ്	പ്രതീകം	യൂണിറ്റ്	ഡൈമെൻഷൻ	കുറിപ്പ്
ആക്കം	P	kg ms^{-1} or Ns	MLT^{-1}	സദിശം
ബലം	F	N	MLT^{-2}	F = ma രണ്ടാം ചലന നിയമം
ആവേഗം		kgms^{-1} or Ns	MLT^{-1}	ആവേഗം = ബലം x സമയം = ആക്കവ്യത്യാസം
സ്ഥിതഘർഷണം	f_s	N	MLT^{-2}	$f_s \le \mu_s N$
ഗതികഘർഷണം	f_k	N	MLT^{-2}	$f_k = \mu_k N$

വിചിന്തന വിഷയങ്ങൾ

1. എല്ലായ്പ്പോഴും ബലം പ്രവർത്തിക്കുന്നത് ചലനദിശയിലാകണമെന്നില്ല. സന്ദർഭത്തിനനുസരിച്ച്, F പ്രവേഗ (v) ത്തിന്റെ ദിശയിലോ, v ക്ക് വിപരീതദിശയിലോ, v ക്കു ലംബമായോ v യുമായി ഏതെങ്കിലും കോണളവിലോ ആകാം. എന്നാൽ ഈ സന്ദർഭങ്ങളിലെല്ലാം ബലം ത്വരണത്തിന്റെ ദിശക്ക് സമാന്തരമായിരിക്കും.
2. ഒരു പ്രത്യേക നിമിഷത്തിൽ v = 0 ആയാൽ, അതായത് വസ്തു നൈമിഷികമായി നിശ്ചലാവസ്ഥയിലായാൽ, ആ സമയത്ത് ബലമോ ത്വരണമോ പൂജ്യം ആകണമെന്നില്ല. ഉദാഹരണത്തിന്, ഒരു കല്ലിനെ മുകളിലേക്കെറിഞ്ഞാൽ പരമാവധി ഉയരത്തിലെത്തുമ്പോൾ പ്രവേഗം v = 0 ആണ്. എന്നാൽ അതിന്മേൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന ബലം അതിന്റെ ഭാരം mg തന്നെയായി തുടരുകയും ത്വരണം പൂജ്യമാകാതെ, g ആയിരിക്കുകയും ചെയ്യും.
3. ഒരു പ്രത്യേക സമയത്ത് ഒരു വസ്തുവിൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന ബലം എന്നത് വസ്തുവിന്റെ ആ സ്ഥാനത്തിന്റെ അവസ്ഥയ്ക്കനുസരിച്ചായിരിക്കും. ഒരു വസ്തുവിന്റെ നേരത്തേയുള്ള ചലനത്തിന്റെ തുടർച്ചയായി വസ്തു ബലത്തെ വഹിക്കാറില്ല. ത്വരണത്തോടെ ചലിക്കുന്ന ഒരു ട്രെയിനിൽ നിന്ന് ഒരു കല്ലിനെ പുറത്തേക്കെറിയുമ്പോൾ ചുറ്റുപാടുകളുടെ സ്വാധീനം അവഗണിച്ചാൽ ആ നിമിഷം മുതൽ കല്ലിൽ തിരശ്ചീനദിശയിൽ ബലം (അഥവാ ത്വരണം) പ്രവർത്തിക്കുന്നില്ലെന്നു കാണാം. ലംബമായി പ്രവർത്തിക്കുന്ന ഗുരുത്വബലം മാത്രമേ കല്ലിൽ അനുഭവപ്പെടുകയുള്ളൂ.
4. രണ്ടാം ചലനനിയമമനുസരിച്ച് **F** എന്നത് വസ്തുവിൻമേൽ എല്ലാ ബാഹ്യശക്തികളും ചേർന്നു പ്രയോഗിക്കുന്ന ആകെ ബലമാണ്. ഈ ബലത്തിന്റെ ഫലമായാണ് **a** ഉണ്ടാകുന്നത്. **ma** എന്നതിനെ **F** അല്ലാതെ മറ്റൊരു ബലമായി കണക്കാക്കാൻ പാടില്ല.
5. അഭികേന്ദ്രബലത്തെ മറ്റൊരുതരം ബലമായി കണക്കാക്കാൻ കഴിയില്ല. വർത്തുളചലനത്തിൽ ഒരു വസ്തുവിന് വൃത്തകേന്ദ്രത്തിലേക്കുള്ള ആരമികമായ (radial) ത്വരണം നൽകുന്ന ബലത്തിന്റെ പേരാണ് അഭികേന്ദ്രബലം. വർത്തുളചലനത്തിൽ വലിവുബലം, ഗുരുത്വബലം, വൈദ്യുതബലം, ഘർഷണം മുതലായവയെല്ലാം അഭികേന്ദ്രബലങ്ങളായി പ്രവർത്തിക്കാറുണ്ട്.
6. $\mu_s N$ എന്ന പരിധി ($f_s \le \mu_s N$) എത്തുന്നവരെ സ്ഥിതഘർഷണം സ്വയം ക്രമീകരിക്കുന്ന ബലമാണ്. സ്ഥിതഘർഷണത്തിന്റെ പരമാവധി മൂല്യത്തിലെത്തി എന്നു വ്യക്തമാകാതെ $f_s = \mu_s N$ എന്ന് കണക്കിലെടുക്കാൻ പാടില്ല.
7. മേശപ്പുറത്തിരിക്കുന്ന ഒരു വസ്തു സന്തുലനാവസ്ഥയിലാണെങ്കിൽ മാത്രമേ mg = R എന്ന സമവാക്യം ശരിയാവുകയുള്ളൂ. mg, R എന്നിവ രണ്ടു വ്യത്യസ്ത ബലങ്ങളാകാം. (ഉദാഹരണത്തിന് ത്വരണത്തോടെ സഞ്ചരിക്കുന്ന ലിഫ്റ്റിൽ സ്ഥിതിചെയ്യുന്ന വസ്തു). mg, R ഇവ തമ്മിലുള്ള തുലനാവസ്ഥക്ക് മൂന്നാം ചലനനിയമവുമായി ബന്ധമില്ല.

8. മൂന്നാം ചലനനിയമത്തിലെ പ്രവർത്തന-പ്രതിപ്രവർത്തനങ്ങൾ ഒരു ജോടി വസ്തുക്കൾക്കിടയിൽ ഒരേ സമയത്ത് പരസ്പരം അനുഭവപ്പെടുന്ന ബലങ്ങളാണ്. ഇവയുടെ പേരു സൂചിപ്പിക്കുന്നതുപോലെ പ്രവർത്തനം എന്നത് ആദ്യം അനുഭവപ്പെടുകയോ പ്രതിപ്രവർത്തനമുണ്ടാകുന്നതിന് കാരണമായി മാറുകയോ ചെയ്യുന്നില്ല. പ്രവർത്തനവും പ്രതിപ്രവർത്തനവും വ്യത്യസ്തവസ്തുക്കളിലാണ് പ്രവർത്തിക്കുന്നത്.
9. ഘർഷണം, ലംബമായ പ്രതിപ്രവർത്തനം (Normal Reaction), വലിവ് (Tension), വായുവിന്റെ പ്രതിരോധം (Air resistance), വിസ്കോസിറ്റിമൂലമുള്ള വലിവ് (Visous drag), വ്യാപകമർദ്ദം (Thrust), പ്ലവക്ഷമബലം (Buoyancy), ഭാരം (Weight), അഭികേന്ദ്രബലം (Centripetal force) എന്നിവയെല്ലാം വിവിധ സന്ദർഭങ്ങളിൽ പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന ബലങ്ങളാണ്. അതായത് ബലതന്ത്രത്തിൽ പ്രയോഗത്തിൽ വരുന്ന എല്ലാ ബലങ്ങളും അതിനു തത്തുല്യമായ പദങ്ങളും 'A എന്ന വസ്തു B എന്ന രീതിയിൽ പറയുന്നതാണ്.
10. വസ്തുക്കൾ ജീവനുള്ളവയാണോ നിർജീവമാണോ എന്നതിന് രണ്ടാം ചലനനിയമത്തിൽ യാതൊരു പ്രസക്തിയുമില്ല. മനുഷ്യനെപോലെ, ജീവനുള്ള ഏതൊരു വസ്തുവിനും ത്വരണം ലഭിക്കണമെങ്കിൽ ബാഹ്യബലം ആവശ്യമാണ്. ഉദാഹരണത്തിന്, ഘർഷണമെന്ന ബാഹ്യബലത്തിന്റെ സാന്നിധ്യമില്ലെങ്കിൽ നമുക്ക് തറയിലൂടെ നടക്കാൻ കഴിയില്ല.
11. ഭൗതികശാസ്ത്രത്തിലെ ബലമെന്ന വസ്തുനിഷ്ഠമായ ആശയത്തെ 'ബലം അനുഭവപ്പെടുക' എന്ന വൈയക്തിക ആശയവുമായി കൂട്ടിക്കലർത്താൻ പാടില്ല. ഒരു മെറിഗോറൗണ്ടിൽ സഞ്ചരിക്കുമ്പോൾ നമ്മുടെ എല്ലാ ശരീരഭാഗങ്ങളിലും ഉള്ളിലേക്കുള്ള ഒരു ബലം പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്നുണ്ട്. എന്നാൽ ഉണ്ടാകാനിടയുള്ള ആസന്നചലനത്തിന്റെ ദിശയിൽ, പുറത്തേക്കു തള്ളപ്പെടുന്നുവെന്ന ഒരു അനുഭവമാണ് നമുക്ക് ഉണ്ടാകുന്നത്.

പരിശീലനപ്രശ്നങ്ങൾ

(കണക്കുകൂട്ടലുകൾ എളുപ്പത്തിലാക്കാൻ $g = 10ms^{-2}$ എന്നു കരുതുക).

5.1 താഴെ പറയുന്നവയിൽ പ്രവർത്തിക്കുന്ന ആകെ ബലത്തിന്റെ അളവും ദിശയും കണക്കാക്കുക.

(a) സ്ഥിരവേഗത്തോടെ താഴേക്കു പതിക്കുന്ന മഴത്തുള്ളി.

(b) വെള്ളത്തിൽ ഒഴുകിനടക്കുന്ന 10g മാസുള്ള ഒരു കോർക്ക്.

(c) വൈദഗ്ധ്യത്തോടെ ആകാശത്ത് നിശ്ചലമായി നിർത്തിയിരിക്കുന്ന പട്ടം.

(d) പരുക്കൻ റോഡിലൂടെ 30km/h സ്ഥിരവേഗത്തിൽ സഞ്ചരിക്കുന്ന ഒരു കാർ.

(e) മറ്റെല്ലാ വസ്തുക്കളിൽനിന്നും വളരെയകലെ, വൈദ്യുതകാന്തികമണ്ഡലങ്ങൾ അനുഭവപ്പെടാത്ത സ്ഥലത്ത് ശൂന്യാകാശത്ത് സ്ഥിതി ചെയ്യുന്ന ഉയർന്ന വേഗമുള്ള ഒരു ഇലക്ട്രോൺ.

5.2 0.05kg മാസുള്ള ഒരു ഗോലിയെ കുത്തനെ മുകളിലേക്ക് എറിയുന്നു. ഗോലിയിൽ പ്രവർത്തിക്കുന്ന ആകെ ബലത്തിന്റെ ദിശയും അളവും കണക്കാക്കുക.

(a) ഗോലി മുകളിലേക്കു സഞ്ചരിക്കുമ്പോൾ.

(b) ഗോലി താഴേക്കു സഞ്ചരിക്കുമ്പോൾ.

(c) ഗോലി ക്ഷണികമായി നിശ്ചലാവസ്ഥയിലിരുന്ന പരമാവധി ഉയരത്തിൽ.

ഈ ഗോലിയെ തിരശ്ചീനദിശയിൽ നിന്നും 45^0 കോണളവിലാണ് മുകളിലേക്ക് എറിയുന്നതെങ്കിൽ ഈ ഉത്തരങ്ങൾക്ക് എന്തെങ്കിലും മാറ്റമുണ്ടാകുമോ? (വായുവിന്റെ പ്രതിരോധം കണക്കിലെടുക്കേണ്ടതില്ല).

5.3 താഴെ തന്നിരിക്കുന്ന സന്ദർഭങ്ങളിൽ 0.1kg മാസുള്ള ഒരു കല്ലിൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന ആകെ ബലത്തിന്റെ അളവും ദിശയും കണക്കാക്കുക.

(a) നിശ്ചലാവസ്ഥയിലിരിക്കുന്ന ഒരു ട്രെയിനിന്റെ ജാലകത്തിലൂടെ പുറത്തേക്കിട്ടയുടനെ.

(b) 36km/h സ്ഥിരപ്രവേഗത്തോടെ ഓടിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്ന ഒരു ട്രെയിനിന്റെ ജാലകത്തിലൂടെ താഴേക്കിട്ടയുടനെ.

(c) $1ms^{-2}$ ത്വരണത്തോടെ സഞ്ചരിക്കുന്ന ട്രെയിനിന്റെ ജാലകത്തിലൂടെ പുറത്തേക്കിട്ടയുടനെ.

(d) $1ms^{-2}$ ത്വരണത്തോടെ സഞ്ചരിക്കുന്ന ട്രെയിനിന്റെ തറയിൽ സ്ഥിതിചെയ്യുന്ന കല്ല്. ട്രെയിനിനെ അപേക്ഷിച്ച് കല്ല് നിശ്ചലാവസ്ഥയിലാണ്.

(വായുവിന്റെ പ്രതിരോധം കണക്കിലെടുക്കേണ്ടതില്ല).

5.4 'ℓ' നീളമുള്ള ഒരു ചരടിന്റെ ഒരറ്റം 'm' മാസുള്ള ഒരു വസ്തുവുമായും മറ്റേ അറ്റം തിരശ്ചീനവും മിനുസവുമായ മേശയിലെ ഒരു ആണിയുമായും ഘടിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നു. വസ്തു 'v' വേഗത്തിൽ ഒരു വർത്തുള പാതയിലൂടെ സഞ്ചരിക്കുന്നുവെങ്കിൽ വസ്തുവിൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന പരിണതബലം (വൃത്തകേന്ദ്രത്തിലേക്കുള്ളത്) എന്നത്.

(i) T, (ii) $T - \frac{mv^2}{l}$, (iii) $T + \frac{mv^2}{l}$, (iv) 0

(T എന്നത് ചരടിൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന വലിവുബലമാണ്).

മുകളിൽ തന്നിരിക്കുന്നതിൽ നിന്നു ശരിയായ ഉത്തരം തിരഞ്ഞെടുക്കുക.

5.5 ആദ്യവേഗം $15ms^{-1}$ ആയ 20kg മാസുള്ള ഒരു വസ്തുവിൻമേൽ 50 N മന്ദീകരണബലം പ്രവർത്തിക്കുന്നു. ഈ വസ്തു നിശ്ചലാവസ്ഥയിലാകുന്നതിന് എത്ര സമയം വേണ്ടിവരും?

5.6 3.0kg മാസുള്ള ഒരു വസ്തുവിന്മേൽ പ്രവർത്തിക്കുന്ന ഒരു സ്ഥിരബലം വസ്തുവിന്റെ വേഗം 25 സെക്കന്റുകൾ കൊണ്ട് $2ms^{-1}$ ൽ നിന്ന് $3.5ms^{-1}$ ആക്കി മാറ്റുന്നു. വസ്തുവിന്റെ ചലനദിശക്ക് മാറ്റമൊന്നും സംഭവിക്കുന്നില്ല. എങ്കിൽ ബലത്തിന്റെ അളവും ദിശയും എന്താണെന്ന് കണക്കാക്കുക.

5.7 പരസ്പരം ലംബമായ 8N, 6N എന്നിങ്ങനെ രണ്ടു ബലങ്ങൾ 5kg മാസുള്ള ഒരു വസ്തുവിൽ പ്രയോഗിക്കുന്നു. വസ്തുവിനുണ്ടാകുന്ന ത്വരണത്തിന്റെ അളവും ദിശയും പ്രതിപാദിക്കുക.

5.8 36km/h വേഗത്തിൽ സഞ്ചരിക്കുന്ന ഓട്ടോറിക്ഷയുടെ ഡ്രൈവർ റോഡിന്റെ മധ്യഭാഗത്തായി ഒരു കുട്ടി നിൽക്കുന്നതു കാണുകയും കുട്ടിയെ കഷ്ടിച്ചു രക്ഷപ്പെടുത്താൻ സാധിക്കുന്ന തരത്തിൽ 4.0 സെക്കന്റ് കൊണ്ട് തന്റെ വാഹനം നിർത്തുകയും ചെയ്യുന്നു. വാഹനത്തിൽ പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന ശരാശരി മന്ദീകരണബലം എത്ര? മുച്ചക്രവാഹനത്തിന്റെ മാസ് 400kg ഉം ഡ്രൈവറുടെ മാസ് 65kg ഉം ആണ്.

5.9 20,000kg മാസുമായി ഒരു റോക്കറ്റിനെ $5ms^{-2}$ ആദ്യ ത്വരണത്തോടുകൂടി മുകളിലേക്ക് കത്തിച്ചു വിടുന്നു. റോക്കറ്റ് കത്തിച്ചു വിടുമ്പോൾ തുടക്കത്തിലുണ്ടാകുന്ന തള്ളൽ (ബലം) എത്രയെന്ന് കണക്കാക്കുക.

5.10 വടക്കുദിശയിലേക്ക് തുടക്കത്തിൽ $10ms^{-1}$ സ്ഥിരവേഗത്തോടെ സഞ്ചരിക്കുന്ന 0.40kg മാസുള്ള ഒരു വസ്തുവിൽ തെക്കുദിശയിൽ 30 സെക്കന്റ് സമയത്തേക്ക് 8N സ്ഥിരബലം പ്രയോഗിക്കുന്നു. ബലം പ്രയോഗിക്കുന്ന നിമിഷം $t = 0$ എന്നും വസ്തുവിന്റെ തത്സമയത്തുള്ള സ്ഥാനം $x = 0$ എന്നും കരുതിയാൽ $t = -5$ s, 25 s, 100s എന്നീ സമയങ്ങളിൽ വസ്തുവിന്റെ സ്ഥാനമെവിടെയായിരിക്കുമെന്ന് പ്രവചിക്കുക.

5.11 നിശ്ചലാവസ്ഥയിൽനിന്ന് ഒരു ട്രക്ക് $2ms^{-2}$ സമത്വരണത്തിനു വിധേയമായി സഞ്ചരിക്കാൻ തുടങ്ങുന്നു. $t = 10s$ ആകുമ്പോൾ ട്രക്കിനു മുകളിൽ നിൽക്കുന്ന ഒരാൾ (തറനിരപ്പിൽനിന്ന് 6m ഉയരത്തിൽ) ഒരു കല്ല് താഴേക്കിടുന്നു. $t = 11s$ ആകുമ്പോൾ കല്ലിന്റെ (a) പ്രവേഗം (b) ത്വരണം എന്നിവ എത്രയാണ്? (വായുവിന്റെ രോധം കണക്കിലെടുക്കേണ്ടതില്ല).

5.12 ഒരു മുറിയുടെ മച്ചിൽനിന്നും 2m നീളമുള്ള ചരടുപയോഗിച്ച് തൂക്കിയിട്ടിരിക്കുന്ന 0.1kg മാസുള്ള ഒരു ചെറിയ ഗോളത്തെ ദോലനം ചെയ്യിക്കുന്നു. സന്തുലിതസ്ഥാനത്തിൽ (Mean position) ഗോളത്തിന്റെ വേഗത $1ms^{-1}$ ആണ്. ചരടിനെ മുറിക്കുമ്പോൾ ഗോളത്തിന്റെ സഞ്ചാരപാത താഴെ പറയുന്ന സ്ഥാനങ്ങളിൽ എപ്രകാരമായിരിക്കും?

(a) പരമാവധി സ്ഥാനം (Extreme position), (b) സന്തുലിതസ്ഥാനം (Mean position)

5.13 സഞ്ചരിക്കുന്ന ഒരു ലിഫ്റ്റിനുള്ളിലെ ഭാരമളക്കുന്ന ഒരുപകരണത്തിനു മുകളിൽ 70kg മാസുള്ള ഒരാൾ നിൽക്കുന്നു. താഴെ പറഞ്ഞ സാഹചര്യങ്ങളിൽ ഉപകരണം സൂചിപ്പിക്കുന്ന അളവ് എന്തായിരിക്കും?

(a) $10ms^{-1}$ സമാന വേഗത്തിൽ മുകളിലേക്കു സഞ്ചരിച്ചാൽ

(b) $5ms^{-2}$ സമാന ത്വരണത്തോടു കൂടി താഴേക്കു സഞ്ചരിച്ചാൽ

(c) $5ms^{-2}$ സമാനത്വരണത്തോടു കൂടി മുകളിലേക്കു സഞ്ചരിച്ചാൽ

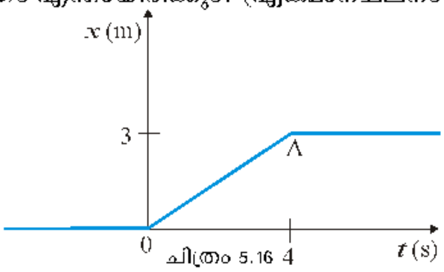
(d) യന്ത്രത്തകരാറുമൂലം ലിഫ്റ്റ് തകർന്ന് ഗുരുത്വാകർഷണം മൂലം സ്വതന്ത്രമായി താഴേക്കു വീഴുമ്പോൾ

5.14 4kg ഭാരമുള്ള ഒരു വസ്തുവിന്റെ സ്ഥാന - സമയ ഗ്രാഫ് ചിത്രം 5.16 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു.

(a) $t < 0$, $t > 4$ s, $0 < t < 4$ s എന്നീ ഇടവേളകളിൽ വസ്തുവിൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന ബലം എന്തായിരിക്കും?

(b) $t = 0$, $t = 4s$ എന്നീ സമയങ്ങളിൽ വസ്തുവിനുണ്ടാകുന്ന ആവേഗം എന്തായിരിക്കും? (ഏകമാനചലനം മാത്രം കണക്കിലെടുക്കുക.)

5.15 ഭാരമില്ലാത്ത ഒരു ചരടിന്റെ രണ്ടഗ്രങ്ങളിലായി കെട്ടിയിട്ടിരിക്കുന്ന യഥാക്രമം 10kg, 20kg എന്നിങ്ങനെ മാസുള്ള A, B എന്ന രണ്ടു വസ്തുക്കൾ തിരശ്ചീനവും മിനുസവുമായ ഒരു പ്രതലത്തിൽ സ്ഥിതിചെയ്യുന്നു. 600 N ബലം തിരശ്ചീനമായി (i) A യിലും (ii) B യിലും ചരടിന്റെ ദിശയിൽ പ്രവർത്തിക്കുന്നുവെങ്കിൽ രണ്ടു സാഹചര്യങ്ങളിലും ചരടിലുണ്ടാകുന്ന വലിവുബലം എന്തായിരിക്കും?



ചിത്രം 5.16

5.16 ഘർഷണമില്ലാത്ത ഒരു കപ്പിയിലൂടെ കടന്നുപോകുന്ന വലിച്ചുനീട്ടാൻ കഴിയാത്ത ഒരു ചരടിന്റെ രണ്ടഗ്രത്തുമായി 8kg, 12 kg എന്നിങ്ങനെയുള്ള രണ്ടു മാസുകൾ ഘടിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നു. മാസുകളെ താഴേക്ക് തൂക്കിയിടുമ്പോൾ അവക്കുണ്ടാകുന്ന ത്വരണവും ചരടിന്മേലുള്ള വലിവുബലവും കണക്കാക്കുക.

5.17 പരീക്ഷണശാലയിലെ അവലംബക ചട്ടക്കൂടിൽ ഒരു ന്യൂക്ലിയസ് നിശ്ചലമായിരിക്കുന്നു. ഈ ന്യൂക്ലിയസിന്റെ വിഭജനം നടന്ന് ചെറിയ ന്യൂക്ലിയസുകളായി മാറുമ്പോൾ, ലഭിക്കുന്ന ഉൽപ്പന്നങ്ങൾ വിപരീതദിശയിൽ സഞ്ചരിക്കുന്നുവെന്ന് തെളിയിക്കുക.

5.18 വിപരീതദിശയിൽ $6ms^{-1}$ വേഗത്തിൽ സഞ്ചരിക്കുന്ന 0.05kg മാസുള്ള രണ്ടു ബില്യാർഡ്സ് പന്തുകൾ പരസ്പരം കൂട്ടിയിടിച്ച ശേഷം അതേവേഗത്തിൽ തിരികെ പോകുന്നു. ഓരോ പന്തും പരസ്പരം പ്രദാനം ചെയ്യുന്ന ആവേഗം എത്ര?

5.19 100kg മാസുള്ള ഒരു തോക്കിൽ നിന്ന് 0.020kg മാസുള്ള ഒരു ഷെല്ല് വർഷിക്കുന്നു. ഷെല്ലിന്റെ മസിൽ വേഗം (Muzzle speed) $80ms^{-1}$ ആയാൽ തോക്കിന്റെ പിൻവാങ്ങൽ വേഗം (Recoil speed) എത്രയാണ്?

5.20 ഒരു ബാറ്റ്സ്മാൻ 54km/h പ്രാരംഭ വേഗത്തോടെ വരുന്ന ഒരു പന്തിനെ അതിന്റെ വേഗത്തിനു വ്യത്യാസം വരാതെ 45^0 കോണളവിൽ വ്യതിചലിപ്പിച്ചു വിടുന്നു. പന്തിനു പ്രദാനം ചെയ്ത ആവേഗം എത്ര? (പന്തിന്റെ മാസ് 0.15kg)

5.21 ഒരു ചരടിന്റെ അഗ്രത്തു കെട്ടിയിരിക്കുന്ന 0.25kg മാസുള്ള കല്ലിനെ 1.5m. ആരമുള്ള വർത്തുളപാതയിലൂടെ 40 rev/min വേഗത്തിൽ തിരശ്ചീനതലത്തിൽ കറക്കുന്നു. ചരടിൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന വലിവുബലം എത്ര? ചരടിനു താങ്ങാൻ കഴിയുന്ന പരമാവധി വലിവുബലം 200N ആയാൽ കല്ലിനെ പരമാവധി എത്ര വേഗത്തിൽ കറക്കാൻ സാധിക്കും?

5.22 പ്രശ്നം 5.21 ൽ കല്ലിന്റെ വേഗം അനുവദനീയമായ പരമാവധി വേഗത്തേക്കാൾ കൂടുതലാണെങ്കിൽ ചരട് പെട്ടെന്ന് പൊട്ടിപ്പോകുന്നു. താഴെ തന്നിരിക്കുന്നവയിൽ ചരടു പൊട്ടിയശേഷം കല്ലിന്റെ പാതയെ ശരിയായി വിശദീകരിക്കുന്നത് ഏത്?

(a) കല്ല് ആരമികമായി പുറത്തേക്ക് (Radially outward) സഞ്ചരിക്കുന്നു.

(b) കല്ല് ആരമികമായി അകത്തേക്ക് (Radially inward) സഞ്ചരിക്കുന്നു.

(c) കല്ല് തൊടുവരയിലൂടെ ഒരു കോണളവിൽ പുറത്തേക്കു തെറിച്ചുപോകുന്നു. കോണളവ് കല്ലിന്റെ വേഗത്തെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കും.

5.23 കാരണം വ്യക്തമാക്കുക.

(a) ശൂന്യാകാശത്തു ഒരു കുതിരക്ക് വണ്ടിവലിച്ചുകൊണ്ട് ഓടാൻ സാധിക്കില്ല.

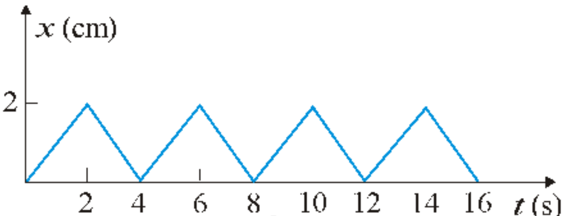
(b) വേഗത്തിൽ സഞ്ചരിക്കുന്ന ബസ് പെട്ടെന്ന് നിർത്തുമ്പോൾ യാത്രക്കാർ ഇരിപ്പിടത്തിൽ നിന്നു മുന്നോട്ടു വീഴാൻ തുടങ്ങുന്നു.

(c) ഒരു പുല്ലുവെട്ടിയന്ത്രത്തെ വലിച്ചുകൊണ്ടുപോകുന്നത് ഉന്തിക്കൊണ്ടു പോകുന്നതിനേക്കാൾ എളുപ്പമാണ്.

(d) പന്തു പിടിക്കുമ്പോൾ ക്രിക്കറ്റ് കളിക്കാരൻ കൈ പിന്നിലേക്കു ചലിപ്പിക്കുന്നു.

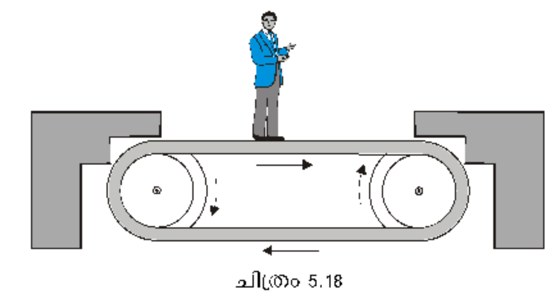
കൂടുതൽ പരിശീലനപ്രശ്നങ്ങൾ

5.24 0.04kg മാസുള്ള ഒരു വസ്തുവിന്റെ സ്ഥാന–സമയ ഗ്രാഫ് ചിത്രം 5.17ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. ഈ ചലനത്തിനനുയോജ്യമായ ഒരു ഭൗതികസന്ദർഭം നിർദേശിക്കുക. വസ്തുവിനു ലഭിക്കുന്ന തുടർച്ചയായ രണ്ട് ആവേഗങ്ങൾക്കിടയിലുള്ള സമയമെത്ര? ഓരോ ആവേഗത്തിന്റെയും പരിമാണം എത്ര?



ചിത്രം 5.17

5.25 $1ms^{-2}$ ത്വരണത്തോടെ സഞ്ചരിക്കുന്ന തിരശ്ചീനമായ ഒരു കൺവേയർ ബെൽറ്റിൽ നിശ്ചലനായി നിൽക്കുന്ന ഒരാളെ ചിത്രം 5.18 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. അയാളിൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന പരിണതബലം (Net force) എത്രയാണ്? അയാളുടെ ഷൂസും കൺവെയർ ബെൽറ്റും തമ്മിലുള്ള സ്ഥിത ഘർഷണഗുണാങ്കം 0.2 ആയാൽ ബെൽറ്റിന്റെ ത്വരണം എത്രയാകുന്നതുവരെ അയാൾക്ക് ബെൽറ്റിനെ അപേക്ഷിച്ച് നിശ്ചലനായി തുടരാൻ സാധിക്കും? (ആളിന്റെ മാസ് = 65kg)


ചിത്രം 5.18

5.26 ഒരു ചരടിൽ കെട്ടിയിരിക്കുന്ന m മാസുള്ള കല്ല് R ആരമുള്ളതും കുത്തനെയുള്ളതും വർത്തുളപാതയിലൂടെ പരിക്രമണം ചെയ്യുന്നു. വർത്തുളപാതയുടെ ഏറ്റവും ഉയർന്നസ്ഥാനത്തും ഏറ്റവും താഴ്ന്നസ്ഥാനത്തും ലംബ

മായി താഴേക്ക് അനുഭവപ്പെടുന്ന പരിണതബലങ്ങൾ താഴെ തന്നിരിക്കുന്നു. (ശരിയായ ഉത്തരം തിരഞ്ഞെടു ത്തെഴുതുക).

	ഏറ്റവും താഴ്ന്ന സ്ഥാനം (Lowest Point)	ഏറ്റവും ഉയർന്ന സ്ഥാനം (Highest Point)
(a)	$mg \quad T_1$	$mg \quad T_2$
(b)	$mg + T_1$	$mg \quad T_2$
(c)	$mg \quad T_1 \quad (m v_1^2) / R$	$mg \quad T_2 + (m v_1^2) / R$
(d)	$mg \quad T_1 \quad (m v_1^2) / R$	$mg \quad T_2 + (m v_1^2) / R$

T_1, v_1 ഇവ യഥാക്രമം ഏറ്റവും താഴ്ന്ന സ്ഥാനത്തെ വലിവുബലത്തെയും വേഗത്തെയും സൂചിപ്പിക്കുന്നു. T_2, v_2 ഇവ യഥാക്രമം ഏറ്റവും ഉയർന്ന സ്ഥാനത്തെ വലിവുബലത്തെയും വേഗതത്തെയും സൂചിപ്പിക്കുന്നു.

5.27 1000kg മാസുള്ള ഒരു ഹെലികോപ്റ്റർ കുത്തനെ 15ms^{-2} ത്വരണത്തോടുകൂടി ഉയർന്നു പൊങ്ങുന്നു. വിമാന ജോലിക്കാരുടെയും യാത്രക്കാരുടെയും ആകെ ഭാരം 300kg ആണ്. താഴെ പറയുന്നവയുടെ അളവും ദിശയും നൽകുക.

(a) ജോലിക്കാരും യാത്രക്കാരും ഹെലികോപ്റ്ററിന്റെ തറയിൽ പ്രയോഗിക്കുന്ന ബലം

(b) ചുറ്റുമുള്ള വായുവിൽ ഹെലികോപ്റ്ററിലെ റോട്ടറിന്റെ പ്രവർത്തനം

(c) ചുറ്റുമുള്ള വായു ഹെലികോപ്റ്ററിൽ പ്രയോഗിക്കുന്ന ബലം.

5.28 15ms^{-1} വേഗത്തിൽ തിരശ്ചീനമായി ഒഴുകുന്ന ഒരു ജലധാര 10^{-2}m^{2} ഛേദതലപരപ്പളവുള്ള ഒരു കുഴലിലൂടെ പുറത്തേക്കുപ്രവഹിച്ച് സമീപത്തു സ്ഥിതിചെയ്യുന്ന കുത്തനെയുള്ള ഒരു ചുമരിൽ പതിക്കുന്നു. ജലത്തിന്റെ ആഘാതം മൂലം ചുമരിൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന ബലം എത്ര? (ചുമരിലിടിക്കുന്ന ജലം പിന്നിലേക്കു തെറിക്കുന്നി ല്ലെന്ന് സങ്കൽപിക്കുക.)

5.29 ഒരു മേശപ്പുറത്ത് പത്ത് ഒരു രൂപാനാണയങ്ങൾ ഒന്നിനുമേൽ ഒന്നായി അടുക്കിവച്ചിരിക്കുന്നു. ഓരോ നാണ യത്തിന്റെയും മാസ് 'm' ആണ്. താഴെ തന്നിരിക്കുന്ന ബലങ്ങളുടെ അളവും ദിശയും കണ്ടെത്തുക.

(a) 7-ാമത്തെ നാണയത്തിൽ (ചുവട്ടിൽനിന്ന് എണ്ണുമ്പോൾ) അതിനു മുകളിലുള്ള എല്ലാ നാണയങ്ങളും ചേർന്നു പ്രയോഗിക്കുന്ന ബലം

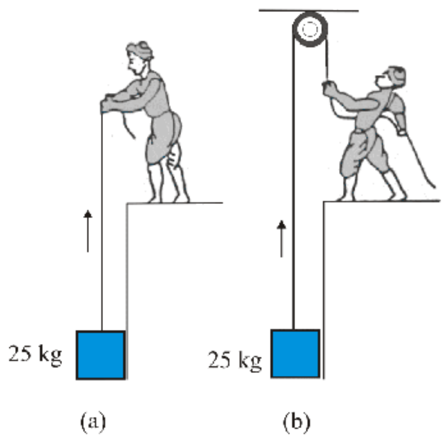
(b) 7-ാമത്തെ നാണയത്തിൽ 8-ാമത്തെ നാണയം പ്രയോഗിക്കുന്ന ബലം

(c) 6-ാമത്തെ നാണയം 7-ാമത്തെ നാണയത്തിൽ പ്രയോഗിക്കുന്ന പ്രതിപ്രവർത്തനം.

5.30 ഒരു വിമാനം അതിന്റെ ചിറകുകൾക്ക് 15^{0} ബാങ്കിങ്ങോടെ 720km/h വേഗതയിൽ തിരശ്ചീനമായി വട്ടമിട്ടു പറ ക്കുന്നു. ഈ വർത്തുളപാതയുടെ ആരം എന്ത്?

5.31 30m ആരമുള്ള ബാങ്കിങ് ചെയ്യാത്ത വൃത്താകാരമായ ട്രാക്കിലൂടെ ഒരു ട്രെയിൻ 54km/h വേഗത്തിൽ സഞ്ചരിക്കുന്നു. ട്രെയിനിന്റെ മാസ് 10^{6}kg ആണ്. ട്രെയിനിന്റെ സഞ്ചാരത്തിനാവശ്യമായ അഭി കേന്ദ്രബലം നൽകുന്നത് എന്താണ്? എൻജിനാണോ പാളങ്ങ ളാണോ? പാളങ്ങളുടെ തേയ്മാനം ഒഴിവാക്കുന്നതിന് ആവശ്യ മായ ബാങ്കിങ് കോൺ (Angle of Banking) എത്രയാണ്?

5.32 ചിത്രം 5.19 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതു പോലെ 25kg മാസുള്ള ഒരു കട്ടയെ 50 kg മാസുള്ള ഒരാൾ രണ്ടു വ്യത്യസ്ത രീതികളിൽ ഉയർത്താൻ ശ്രമിക്കുന്നു. രണ്ടു സന്ദർഭങ്ങളിലും തറയിൽ അയാൾ പ്രയോഗിക്കുന്ന ബലം എത്രയാണ്? 700 N ബലം ലംബമായി പ്രയോഗിക്കുമ്പോൾ തറ വളയുമെങ്കിൽ തറ വളഞ്ഞു പോകാതെ (yield) കട്ടയെ ഉയർത്താൻ അയാൾ ഏതു രീതിയാണ് അവലം ബിക്കേണ്ടത്?



ചിത്രം 5.19

5.33 600N വലിവുബലം താങ്ങാൻ കഴിവുള്ള ഒരു കയറിലൂടെ 40kg മാസുള്ള ഒരു കുരങ്ങൻ കയറിപ്പോകുന്നത് ചിത്രം 5.20 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. താഴെ പറയുന്നവയിൽ ഏതു സന്ദർഭത്തിലാണ് കയർ പൊട്ടിപ്പോകാനിടയുള്ളത്?

കുരങ്ങൻ (a) $6ms^{-2}$ ത്വരണത്തോടെ മുകളിലേക്കു കയറുമ്പോൾ

(b) $4ms^{-2}$ ത്വരണത്തോടെ താഴേക്കിറങ്ങുമ്പോൾ

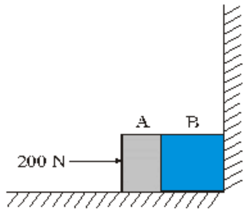
(c) $5ms^{-1}$ സമവേഗത്തോടെ മുകളിലേക്കു കയറുമ്പോൾ

(d) ഗുരുത്വാകർഷണത്തിനു വിധേയമായി കയറിലൂടെ സ്വതന്ത്രമായി താഴേക്കു വീഴുമ്പോൾ (കയറിന്റെ മാസ് കണക്കിലെടുക്കേണ്ടതില്ല).

ചിത്രം. 5.20

5.34 യഥാക്രമം 5kg ഉം 10kg ഉം മാസുള്ള പരസ്പരം സമ്പർക്കത്തിലിരിക്കുന്ന A, B എന്ന രണ്ടു വസ്തുക്കൾ വഴങ്ങാത്ത ഒരു ചുമരിനോടു ചേർന്ന് ഒരു മേശപ്പുറത്ത് നിശ്ചലാവസ്ഥയിൽ സ്ഥിതിചെയ്യുന്നു. (ചിത്രം 5.21). രണ്ടു വസ്തുക്കളും മേശയും തമ്മിലുള്ള ഘർഷണഗുണാങ്കം 0.15 ആണ്. A എന്ന വസ്തുവിൽ തിരശ്ചീനമായി 200N ബലം പ്രയോഗിക്കുന്നു. എങ്കിൽ (a) ഇടഭിത്തിയുടെ പ്രതിപ്രവർത്തനം എന്ത്? (b) A യും B യും തമ്മിലുള്ള പ്രവർത്തന-പ്രതിപ്രവർത്തനബലങ്ങൾ ഏവ? ചുമരിനെ നീക്കം ചെയ്താൽ എന്തു സംഭവിക്കും? രണ്ടു വസ്തുക്കളും ചലിക്കുകയാണെങ്കിൽ ചോദ്യം (b) യുടെ ഉത്തരത്തിന് എന്തെങ്കിലും വ്യത്യാസമുണ്ടാകുമോ?

(μ_s ഉം μ_k ഉം തമ്മിലുള്ള വ്യത്യാസം അവഗണിക്കുക.)



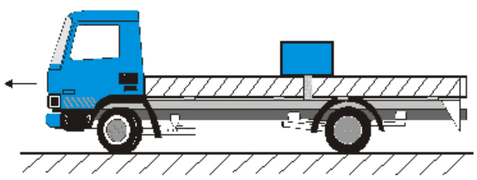
ചിത്രം. 5.21

5.35 നീളമുള്ള ഒരു ട്രോളിയിൽ 15kg മാസുള്ള ഒരു കട്ട വച്ചിരിക്കുന്നു. കട്ടയും ട്രോളിയും തമ്മിലുള്ള സ്ഥിത ഘർഷണഗുണാങ്കം 0.18 ആണ്. ട്രോളിക്ക് നിശ്ചലാവസ്ഥയിൽ നിന്ന് 20s സമയം കൊണ്ട് $0.5ms^{-2}$ ത്വരണം സംഭവിക്കുകയും പിന്നീട് സമപ്രവേഗത്തോടുകൂടി സഞ്ചരിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. താഴെ സൂചിപ്പിച്ചിരിക്കുന്ന രീതികളിൽ കട്ടയുടെ ചലനം നിരീക്ഷിക്കുന്നത് ചർച്ച ചെയ്യുക.

(a) തറയിൽ നിശ്ചലനായി നിൽക്കുന്ന ഒരു നിരീക്ഷകൻ

(b) ട്രോളിയോടൊപ്പം സഞ്ചരിക്കുന്ന ഒരു നിരീക്ഷകൻ

5.36 ഒരു ട്രക്കിന്റെ തുറന്നിരിക്കുന്ന പിൻഭാഗത്തുനിന്ന് 5m അകലെയായി സ്ഥിതി ചെയ്യുന്ന 40kg മാസുള്ള ഒരു പെട്ടി ചിത്രം 5.22 -ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. പെട്ടിയും അതിനുതാഴെയുള്ള പ്രതലവും തമ്മിലുള്ള ഘർഷണഗുണാങ്കം 0.15 ആണ്. നിശ്ചലാവസ്ഥയിൽ നിന്ന് ട്രക്ക് നിരപ്പായ റോഡിലൂടെ ചലിക്കാൻ തുടങ്ങുകയും ട്രക്കിന് $2ms^{-2}$ ത്വരണം ഉണ്ടാകുകയും ചെയ്യുന്നു. പ്രാരംഭസ്ഥാനത്തു നിന്ന് എത്ര അകലെയെത്തുമ്പോഴാണ് പെട്ടി ട്രക്കിൽ നിന്നും താഴെ വീഴാൻ ഇടയുള്ളത്? (പെട്ടിയുടെ വലുപ്പം കണക്കിലെടുക്കേണ്ടതില്ല).


ചിത്രം 5.22

5.37 15cm ആരമുള്ള ഒരു ഡിസ്ക് $33\frac{1}{3}$ rev/min വേഗതയിൽ സ്വയം കറങ്ങുന്നു. ഈ ഡിസ്കിന്റെ കേന്ദ്രത്തിൽ നിന്നു 4cm, 14cm എന്നീ അകലങ്ങളിലായി രണ്ട് നാണയങ്ങൾ വച്ചിട്ടുണ്ട്. ഡിസ്കും നാണയങ്ങളും തമ്മിലുള്ള ഘർഷണ-ഗുണാങ്കം 0.15 ആണെങ്കിൽ ഏതു നാണയമാണ് ഡിസ്കിനൊപ്പം കറങ്ങാൻ ഇടയുള്ളത്?

5.38 സർക്കസിലെ മരണക്കിണറിൽ ((Death well), കാണികൾക്കു പുറമേനിന്നു കാണാൻ സാധിക്കുന്ന വിധത്തിൽ നിർമിച്ച, സുഷിരങ്ങളോടു കൂടിയ ഗോളരൂപത്തിലുള്ള പൊള്ളയായ അറ) മോട്ടോർ സൈക്കിളുകാരൻ കുത്തനെയുള്ള വലയത്തിലൂടെ വണ്ടിയോടിക്കുന്നത് നിങ്ങൾ കണ്ടിരിക്കുമല്ലോ. താഴെനിന്ന് ഊന്നു കൊടുത്തിട്ടില്ലെങ്കിൽ പോലും, ഏറ്റവും ഉയർന്ന സ്ഥാനത്തെത്തിയ മോട്ടോർ സൈക്കിളുകാരൻ താഴെ വീഴാത്തതെന്തുകൊണ്ടാണെന്ന് വിശദീകരിക്കുക. അറയുടെ ആരം 25m ആണെങ്കിൽ കുത്തനെയുള്ള

വലയത്തിലൂടെ സഞ്ചരിക്കുന്നതിന് മോട്ടോർ സൈക്കിളഭ്യാസിക്ക് പരമാവധി ഉയരത്തിൽ ആവശ്യമായ ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ വേഗം എത്ര?

5.39 200rev/min വേഗത്തിൽ, കുത്തനെയുള്ള അക്ഷത്തിനാസ്പദമായി കറങ്ങുന്ന 3m ആരമുള്ള പൊള്ളയായ, സിലിണ്ടർ ആകൃതിയുള്ള ഒരു വീപ്പയുടെ ഉൾഭിത്തിയിൽ 70kg മാസുള്ള ഒരാൾ ചാരിനിൽക്കുന്നു. അയാളുടെ വസ്ത്രങ്ങളും ചുമരും തമ്മിലുള്ള ഘർഷണഗുണാങ്കം 0.15 ആണ്. വീപ്പയുടെ ചുവട് പെട്ടെന്ന് എടുത്തു മാറ്റുമ്പോൾ താഴെ വീഴാതെ അയാൾ ചുമരിൽ പറ്റിച്ചേർന്ന് നിൽക്കണമെങ്കിൽ വീപ്പയ്ക്ക് ഉണ്ടാകേണ്ട ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ഭ്രമണ വേഗം എത്ര?

5.40 വൃത്താകാരമായ, R ആരമുള്ള, കനംകുറഞ്ഞ ഒരു വളയം അതിന്റെ കുത്തനെയുള്ള വ്യാസത്തെ ആസ്പദമാക്കി ω കോണീയാവൃത്തിയോടു കൂടി കറങ്ങുന്നു. ഒരു ചെറിയ മുത്ത് ഈ കമ്പിവളയത്തിന്റെ ഏറ്റവും താഴ്ന്ന ബിന്ദുവിൽത്തന്നെ തുടരണമെങ്കിൽ $\omega \leq \sqrt{g / R}$ ആയിരിക്കണമെന്ന് തെളിയിക്കുക. $\omega = \sqrt{2g / R}$ ആകുമ്പോൾ വളയത്തിന്റെ കേന്ദ്രത്തെ മുത്തിന്റെ കേന്ദ്രവുമായി ബന്ധിപ്പിക്കുന്ന ആരസദിശം കുത്തനെ താഴേക്കുള്ള ദിശയുമായി ഉണ്ടാക്കുന്ന കോണളവ് എത്രയാണ്? (ഘർഷണത്തെ കണക്കിലെടുക്കേണ്ടതില്ല.)