അധ്യായം ഒമ്പത്

# രശ്മി പ്രകാശികവും പ്രകാശിക ഉപകരണങ്ങളും

# (Ray Optics and Optical Instruments)

T4K8U4

## 9.1 ആമുഖം

വൈദ്യുത കാന്തിക സ്പെക്ട്രത്തിലെ ഒരു ചെറിയ പരിധിയിലുള്ള വൈദ്യുത കാന്തികതരംഗങ്ങളെ തിരിച്ചറിയാനുള്ള സംവേദനക്ഷമത മനുഷ്യനേത്രങ്ങൾക്ക് പ്രകൃതി നൽകിയിട്ടുണ്ട്. വർണരാജിയിലെ ഈ പരിധിയിലുള്ള വൈദ്യുത കാന്തിക വികിരണങ്ങളെയാണ് (ഏകദേശം 400 നാനോമീറ്റർ മുതൽ 750 നാനോമീറ്റർ വരെയുള്ള തരംഗദൈർഘ്യം) പ്രകാശം എന്നു വിളിക്കുന്നത്. നമുക്കു ചുറ്റുമുള്ള ലോകത്തെ പ്രധാനമായും നാം അറിയുന്നതും വിശദീകരിക്കുന്നതും പ്രകാശത്തിലൂടെയും കാഴ്ചാനുഭവത്തിലൂടെയും ആണ്.

നിത്യജീവിതാനുഭവത്തിൽ നിന്ന് പ്രകാശത്തെക്കുറിച്ചുള്ള രണ്ടു നിഗമനങ്ങളിൽ എത്തിച്ചേരുവാൻ നമുക്ക് സാധിക്കും. ഒന്ന്, പ്രകാശം മറ്റൊന്നിനോടും താരതമ്യപ്പെടുത്താൻ കഴിയാത്തത്ര വേഗത്തിൽ സഞ്ചരിക്കുന്നു. രണ്ട്, പ്രകാശം നേർരേഖയിൽ സഞ്ചരിക്കുന്നു. പ്രകാശത്തിന്റെ വേഗത നിശ്ചിതമാണെന്നും അളക്കാൻ കഴിയുന്നതാണെന്നും തിരിച്ചറിയാൻ മനുഷ്യന് അനേകം നാളത്തെ പഠന ഗവേഷണങ്ങൾ നടത്തേണ്ടി വന്നു. സ്വീകാര്യമായ നിലവിലെ ശൂന്യതയിലെ പ്രകാശത്തിന്റെ വേഗത, $c = 2.99792458 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$. ആണ്. സാധാരണ ഉപയോഗങ്ങൾക്ക് പ്രകാശത്തിന്റെ വേഗത $c = 3\times10^8 \text{ m s}^{-1}$. എന്നെടുത്താൽ മതിയാകും. പ്രകാശത്തിന്റെ ശൂന്യതയിലെ വേഗതയാണ് പ്രകൃതിയിൽ ഒരു വസ്തുവിന് കൈവരിക്കാൻ കഴിയുന്ന ഏറ്റവും കൂടിയ വേഗത.

വൈദ്യുത കാന്തിക സ്പെക്ട്രത്തിലെ ദൃശ്യമേഖലയിൽ തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള വൈദ്യുതകാന്തിക തരംഗമാണ് പ്രകാശമെന്ന് അധ്യായം 8 ൽ പഠിച്ചതും, പ്രകാശം നേർരേഖയിൽ സഞ്ചരിക്കുന്നു എന്ന സ്വയമറിവും പരസ്പരവിരുദ്ധമായി തോ

ന്നാം. ഈ രണ്ടു വസ്തുതകളെ എങ്ങനെ പൊരുത്തപ്പെടുത്താം? നമ്മൾ സാധാരണയായി കണ്ടുമുട്ടുന്ന വസ്തുക്കളുടെ വലുപ്പത്തെ അപേക്ഷിച്ച് പ്രകാശത്തിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യം വളരെ കുറവാണെന്നാണ് ഇതിന്റെ ഉത്തരം. ഈ സാഹചര്യത്തിൽ, നിങ്ങൾ അടുത്ത അധ്യായത്തിൽ പഠിക്കാനിരിക്കുന്നതു പോലെ, ഒരു ബിന്ദുവിൽ നിന്നും വേറൊരു ബിന്ദുവിലേക്ക് പ്രകാശതരംഗം നേർരേഖയിൽ സഞ്ചരിക്കുന്നെന്ന് കരുതാം. പ്രകാശത്തിന്റെ സഞ്ചാരപാതയെ പ്രകാശ രശ്മിയെന്നും (ray of light) പ്രകാശരശ്മികളുടെ കൂട്ടത്തെ പ്രകാശ കിരണമെന്നും (beam of light) വിളിക്കുന്നു.

പ്രകാശം നേർരേഖയിൽ സഞ്ചരിക്കുന്നു എന്ന ആശയത്തെ അടിസ്ഥാനമാക്കിയാണ് ഈ അധ്യായത്തിൽ പ്രകാശത്തിന്റെ പ്രതിപതനം (Reflection), അപവർത്തനം, (Refraction) പ്രകീർണ്ണനം (Dispersion) തുടങ്ങിയ പ്രതിഭാസങ്ങൾ പഠിക്കുന്നത്. പ്രതിപതനം, അപവർത്തനം എന്നിവയിലെ അടിസ്ഥാനതത്വങ്ങൾ ഉപയോഗിച്ച് ഗോളീയ പ്രതലം (Spherical Surface), സമതലപ്രതലം (Plane Surface) എന്നിവയിലെ പ്രതിപതനം, അപവർത്തനം എന്നിവ കാരണമുണ്ടാകുന്ന പ്രതിബിംബങ്ങളെക്കുറിച്ച് നമുക്ക് പഠിക്കാം. തുടർന്ന്, ചില പ്രകാശിക ഉപകരണങ്ങളുടെ നിർമാണം, അവയുടെ പ്രവർത്തനം മനുഷ്യനേത്രത്തിന്റെ പ്രവർത്തനം തുടങ്ങിവയെക്കുറിച്ചും നമുക്കു പഠിക്കാം.

### പ്രകാശത്തിന്റെ കണികാമാതൃക PARTICLE MODEL OF LIGHT

ന്യൂട്ടന്റെ മൗലികമായ സംഭാവനകൾ ഗണിതശാസ്ത്രം, മെക്കാനിക്സ്, ഗുരുത്വാകർഷണം എന്നീ മേഖലകളിൽ ആണ്. പരീക്ഷണങ്ങളിലൂടെയും സിദ്ധാന്തങ്ങളിലൂടെയും വളരെയധികം സംഭാവനകൾ അദ്ദേഹം പ്രകാശികത്തിൽ നൽകിയിട്ടുണ്ട്. ദെകാർത്തെ (Descartes) നിർദ്ദേശിച്ച പ്രകാശത്തിന്റെ കണികാ മാതൃക (corpuscular model of light) വികസിപ്പിച്ചത് ന്യൂട്ടൻ ആണ്. ഈ മാതൃക അനുസരിച്ച് പ്രകാശോർജം കോർപസ് (corpuscles) എന്നു വിളിക്കുന്ന ചെറിയ കണികകളിൽ കേന്ദ്രീകരിച്ചിരിക്കുന്നു. പ്രകാശത്തിന്റെ ഈ കണികകൾ മാസില്ലാത്തതും, ഇലാസ്തികമായതും ആണ്. മെക്കാനിക്സിലെ തന്റെ അറിവുപയോഗിച്ച് പ്രകാശത്തിന്റെ പ്രതിപതനം, അപവർത്തനം എന്നിവയെ സംബന്ധിക്കുന്ന ഒരു മാതൃക ന്യൂട്ടൻ ആവിഷ്കരിച്ചു. മിനുസമുള്ള  പ്രതലത്തിൽ തട്ടിത്തെറിക്കുന്ന ഒരു പന്ത് പ്രതിപതനനിയമങ്ങൾ അനുസരിക്കുന്നുണ്ട്. പ്രതലവുമായുള്ള പന്തിന്റെ കൂട്ടിമുട്ടൽ (collision) ഇലാസ്തികമാണെങ്കിൽ, പ്രവേഗത്തിന്റെ അളവ് സ്ഥിരമായിരിക്കും. പ്രതലം മിനുസമുള്ളതായതുകൊണ്ട് പ്രതലത്തിന് സമാന്തരമായി പന്ത് ബലം പ്രയോഗിക്കുന്നില്ല. അതുകൊണ്ട് തന്നെ പ്രതലത്തിന് സമാന്തരമായ ആക്കത്തിന്റെ ഘടകം (component) സ്ഥിരമായിരിക്കും. എന്നാൽ പ്രതലത്തിന് ലംബമായ ആക്കത്തിന്റെ ഘടകത്തിന്റെ ദിശ, പ്രതിപതനത്തിനുശേഷം എതിർദിശയിലാകുന്നു. ഇതുപോലെ തന്നെയാണ് മിനുസമുള്ള പ്രതലം പ്രകാശകണങ്ങളെ പ്രതിപതിപ്പിക്കുന്നതെന്ന് ന്യൂട്ടൻ വാദിച്ചു.

പ്രകാശത്തിന്റെ അപവർത്തനം വിശദീകരിക്കുവാൻ ജലം, ഗ്ലാസ്സ് തുടങ്ങിയവയിൽ പ്രകാശകണങ്ങളുടെ വേഗം വായുവിലുള്ളതിനേക്കാൾ കൂടുതലാണെന്ന് ന്യൂട്ടൻ ഊഹിച്ചു. എന്നാൽ പിന്നീട്  ഇത് തെറ്റാണെന്ന് കണ്ടുപിടിച്ചു.

പ്രകാശികത്തിൽ സൈദ്ധാന്തികൻ എന്നതിലുപരി പരീക്ഷണം നടത്തിയ ആൾ എന്ന നിലയിലാണ് ന്യൂട്ടൻ അറിയപ്പെടുന്നത്. പ്രകാശത്തിന്റെ കണികാ സ്വഭാവം (particle nature) ഉപയോഗിച്ച് വിശദീകരിക്കുവാൻ കഴിയാത്ത പല പ്രതിഭാസങ്ങളും ന്യൂട്ടൻ പരീക്ഷണത്തിലൂടെ കണ്ടെത്തിയിരുന്നു. ജലോപരിതലത്തിലെ എണ്ണപ്പാടയിൽ കാണുന്ന വർണ്ണങ്ങൾ, പ്രകാശത്തിന്റെ ഭാഗിക പ്രതിപതനം (partial reflection) എന്നിവ പ്രകാശത്തിന്റെ കണികാ സ്വഭാവം ഉപയോഗിച്ച്  വിശദീകരിക്കുവാൻ കഴിയാത്തവയ്ക്ക് ഉദാഹരണങ്ങളാണ്. തെളിഞ്ഞ ജലമുള്ള ഒരു തടാകത്തിലേക്ക് നോക്കുകയാണെങ്കിൽ നമ്മുടെ മുഖത്തിന്റെ പ്രതിബിംബവും, തടാകത്തിന്റെ അടിത്തട്ടും ഒരേ സമയം കാണാൻ കഴിയും. ജലോപരിതലത്തിൽ പതിക്കുന്ന പ്രകാശകണങ്ങളിൽ ഒരു ഭാഗം പ്രതിപതിക്കുകയും, ഒരു ഭാഗം ജലത്തിലൂടെ കടന്നു പോകുകയും ചെയ്യുന്നതാണ് ഇതിന് കാരണമെന്ന് ന്യൂട്ടൻ വാദിച്ചു. പ്രവചിക്കാൻ കഴിയാത്ത ഏതോ പ്രതിഭാസം മൂലമാണ് ചില പ്രകാശകണങ്ങൾ പ്രതിപതിക്കുന്നതും മറ്റു ചിലവ ജലത്തിലൂടെ കടന്നു പോകുന്നതെന്നും അദ്ദേഹം ഊഹിച്ചു. എന്നാൽ മറ്റു ചില പ്രതിഭാസങ്ങളിൽ എല്ലാ പ്രകാശകണങ്ങൾക്കും ഒരേ സ്വഭാവവിശേഷങ്ങളാണുള്ളതെന്ന് കരുതി. ഈ രീതിയിലുള്ള വൈരുദ്ധ്യങ്ങളൊന്നും പ്രകാശത്തിന്റെ തരംഗ സ്വഭാവത്തിൽ കാണുന്നില്ല.

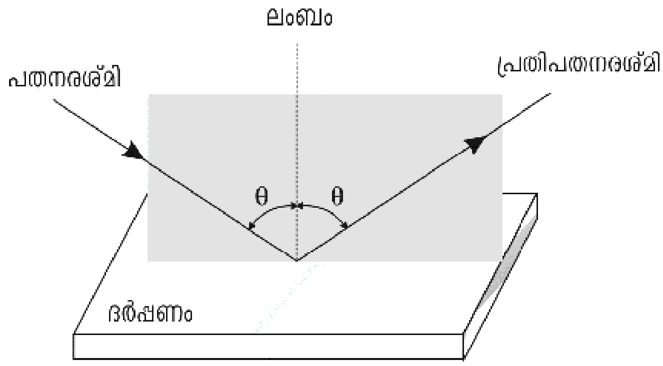
വായുവിൽ കൂടി സഞ്ചരിച്ച് ജലത്തിലേക്ക് പ്രവേശിക്കുന്ന പ്രകാശ തരംഗത്തിനെ, അതിർത്തിയിൽവെച്ച് ശക്തി കുറഞ്ഞ രണ്ട് തരംഗങ്ങളായി വിഘടിക്കാം

## 9.2 ഗോളീയ ദർപ്പണങ്ങളാൽ ഉണ്ടാകുന്ന പ്രകാശത്തിന്റെ പ്രതിപതനം (Reflection of light by spherical mirrors)

താഴെ കൊടുത്തിരിക്കുന്ന പ്രതിപതനനിയമങ്ങൾ നമുക്ക് പരിചിതമാണ്.

1. പതനരശ്മി, പ്രതിപതനരശ്മി, പതനബിന്ദുവിൽ നിന്നുള്ള ലംബം എന്നിവ ഒരേ തലത്തിലാണ്.
2. പ്രതിപതനത്തിലെ പ്രതിപതനകോൺ പതനകോണിനു സമമാണ്. (പതന കോൺ പതനരശ്മിക്കും ലംബത്തിനുമിടയിലെ കോണളവ്, പ്രതിപതനകോൺ ലംബത്തിനും പ്രതിപതന രശ്മിക്കുമിടയിലെ കോണളവ്).

ഈ നിയമങ്ങൾ ചിത്രം 9.1 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. പ്രതിപതനതലം, സമതലമാണെങ്കിലും വക്രതലമാണെങ്കിലും പ്രതിപതന നിയമങ്ങൾ ഒരേപോലെ ബാധകമാണ്. ഗോളീയതലത്തിലെ ഒരു ബിന്ദുവിന് ലംബം വരയ്ക്കുന്നത് ആ ബിന്ദുവിലൂടെയുള്ള തൊടുവരയ്ക്ക് ലംബമായാണ്. ഈ ലംബം ഗോളീയതലത്തിന്റെ ആരത്തിലൂടെ കടന്നു പോകുന്നു.



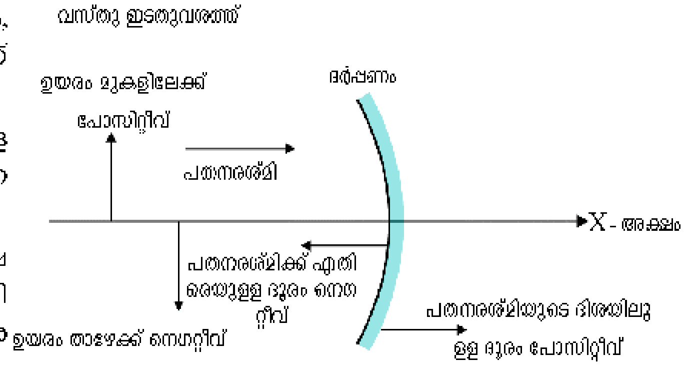

ചിത്രം 9.1 പതനരശ്മി, പ്രതിപതനരശ്മി, പ്രതിപതന പ്രതലത്തിൽ നിന്നുള്ള ലംബം എന്നിവ ഒരേ തലത്തിൽ സ്ഥിതി ചെയ്യുന്നു.

ഒരു ഗോളീയ ദർപ്പണത്തിന്റെ ജ്യാമിതീയകേന്ദ്രത്തെ (geometric centre) പോൾ (pole) എന്നും ഒരു ഗോളീയലെൻസിന്റെ ജ്യാമിതീയകേന്ദ്രത്തെ പ്രകാശികകേന്ദ്രമെന്നും (optic centre) വിളിക്കുന്നു. ഒരു ഗോളീയ ദർപ്പണത്തിന്റെ പോളിലൂടെയും വക്രതലകേന്ദ്രത്തിലൂടെയും കടന്നുപോകുന്ന നേർരേഖയെ മുഖ്യഅക്ഷം (principal axis) എന്നു വിളിക്കുന്നു. ഗോളീയലെൻസിൽ പ്രകാശികകേന്ദ്രത്തിലൂടെയും മുഖ്യഫോക്കസിലൂടെയും കടന്നുപോകുന്ന നേർരേഖയെയാണ് മുഖ്യ അക്ഷം എന്നു വിളിക്കുന്നത്.

### 9.2.1 ചിഹ്നരീതി (sign convention)

ഗോളീയദർപ്പണങ്ങളിലെ പ്രതിപതനം, ഗോളീയലെൻസുകളിലെ അപവർത്തനം എന്നിവയെ സംബന്ധിക്കുന്ന സൂത്രവാക്യങ്ങൾ രൂപീകരിക്കുന്നതിന് ആവശ്യമായ ദൂരങ്ങൾ അളക്കുന്നതിന് ഒരു ചിഹ്നരീതി അവലംബിക്കേണ്ടതുണ്ട്. ഈ പുസ്തകത്തിൽ സ്വീകരിച്ചിരിക്കുന്ന ചിഹ്നരീതി കാർട്ടീഷ്യൻ (Cartesian) ചിഹ്നരീതിയാണ്. ഈ ചിഹ്നരീതിയനുസരിച്ച്

1. എല്ലാ ദൂരങ്ങളും ദർപ്പണത്തിൽ പോളിൽ നിന്നും, ലെൻസിൽ പ്രകാശികകേന്ദ്രത്തിൽ നിന്നുമാണ് അളക്കുന്നത്.
2. പതനരശ്മിയുടെ ദിശയിൽ അളക്കുന്ന ദൂരങ്ങളെ പോസിറ്റീവായും, എതിർദിശയിൽ അളക്കുന്ന ദൂരങ്ങളെ നെഗറ്റീവായും കണക്കാക്കുന്നു.
3. ദർപ്പണങ്ങളിലും, ലെൻസുകളിലും മുഖ്യഅക്ഷത്തിനു ലംബമായി, അക്ഷത്തിൽ നിന്ന് മുകളിലേക്കളക്കുന്ന ദൂരങ്ങളെ പോസിറ്റീവായിട്ടും, അക്ഷത്തിൽ നിന്ന് താഴേക്കളക്കുന്ന ദൂരങ്ങളെ നെഗറ്റീവായിട്ടും കണക്കാക്കുന്നു. ചിത്രം 9.2ൽ കാർട്ടീഷ്യൻ ചിഹ്നരീതി കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. ഇങ്ങനെയുള്ള പൊതുവായ ചിഹ്നരീതി ഉപ

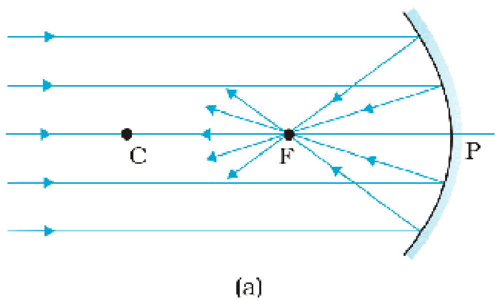



ചിത്രം 9.2 കാർട്ടീഷ്യൻ ചിഹ്നരീതി

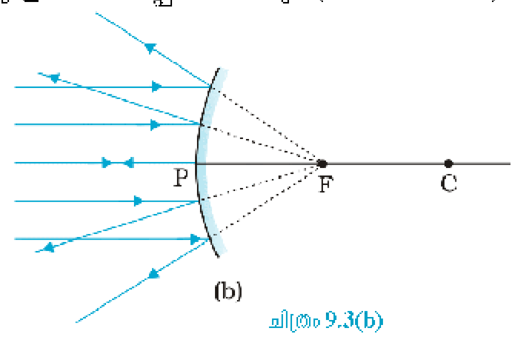
യോഗിച്ച് ഗോളീയദർപ്പണത്തിലെയും ഗോളീയലെൻസിലെയും എല്ലാ വ്യത്യസ്ത ദൂരങ്ങളും ഒരൊറ്റ സൂത്രവാക്യമുപയോഗിച്ച് കണ്ടുപിടിക്കാൻ കഴിയും.

### 9.2.2 ഗോളീയ ദർപ്പണങ്ങളിലെ ഫോക്കസ് ദൂരം (focal length of spherical mirrors)

ചിത്രം 9.3 കാണിച്ചിരിക്കുന്നത് (a) ഒരു ഉത്തല ദർപ്പണത്തിലും (convex mirror)




ചിത്രം 9.3(a)
ഒരു കോൺകേവ് ദർപ്പണത്തിന്റെ ഫോക്കസ്

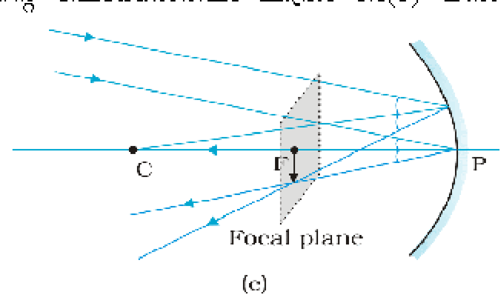



ചിത്രം 9.3(b)
ഒരു അവതല ദർപ്പണത്തിന്റെ ഫോക്കസ്

(b) ഒരു അവതല ദർപ്പണത്തിലും (concave mirror) മുഖ്യഅക്ഷത്തിനു സമാന്തരങ്ങളായ പ്രകാശ കിരണങ്ങൾ പതിച്ചാൽ എന്താണ് സംഭവിക്കുന്നത് എന്നാണ്. പ്രകാശരശ്മികൾ പതിക്കുന്നത് പോളിന് വളരെ അടുത്തുള്ള ബിന്ദുവിലും മുഖ്യ അക്ഷവുമായി വളരെ ചെറിയ കോണിലുമാണ് എന്ന് അനുമാനിച്ചിരിക്കുന്നു. ഇങ്ങനെയുള്ള രശ്മികളെ പരാക്സിയൽ രശ്മികൾ (paraxial rays) എന്നു വിളിക്കുന്നു. അവതലദർപ്പണത്തിൽ പ്രതിപതനരശ്മികൾ മുഖ്യഅക്ഷത്തിലെ F എന്ന ബിന്ദുവിൽ കേന്ദ്രീകരിച്ചിരിക്കുന്നു. എന്നാൽ ഉത്തലദർപ്പണത്തിൽ പ്രതിപതന രശ്മികൾ മുഖ്യഅക്ഷത്തിലെ F എന്ന ബിന്ദുവിൽ നിന്നും നിർഗമിക്കുന്നതായി കാണപ്പെടുന്നു. ഇവിടെ F എന്ന ബിന്ദുവിനെ ദർപ്പണത്തിന്റെ മുഖ്യഫോക്കസ് എന്നു വിളിക്കുന്നു. അതായത് ഒരു ഗോളീയ ദർപ്പണത്തിൽ, മുഖ്യ അക്ഷവുമായി ഒരു ചെറിയ കോണിൽ പതിക്കുന്ന പരാക്സിയൽ പ്രകാശരശ്മികൾ, പ്രതിപതനത്തിനുശേഷം, മുഖ്യഅക്ഷത്തിലെ ഒരു ബിന്ദുവിൽ കേന്ദ്രീകരിക്കുകയോ, മുഖ്യഅക്ഷത്തിലെ ഒരു ബിന്ദുവിൽ നിന്നും നിർഗമിക്കുന്നതായി കാണപ്പെടുകയോ ചെയ്യുന്നു. ഈ ബിന്ദുവിനെയാണ് ദർപ്പണത്തിന്റെ മുഖ്യഫോക്കസ് എന്നു വിളിക്കുന്നത്.

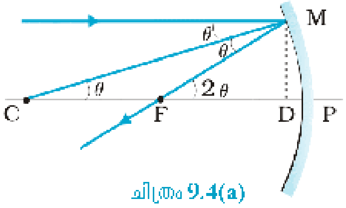
ഒരു ഗോളീയദർപ്പണത്തിലെ മുഖ്യഫോക്കസിന് ലംബമായുള്ളതും ഫോക്കസ്സിലൂടെ കടന്നുപോകുന്നതുമായ തലത്തെ ഫോക്കൽതലം (focal plane) എന്നു വിളിക്കുന്നു. ഒരു ഉത്തലദർപ്പണത്തിന്റെ ഫോക്കൽതലം ചിത്രം 9.3(c) യിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു.

ഒരു ദർപ്പണത്തിലെ ഫോക്കസും (F) പോളും (P) തമ്മിലുള്ള ദൂരത്തെയാണ് ഫോക്കൽദൂരം (f) എന്നു വിളിക്കുന്നത്. ഒരു അവതല ദർപ്പണത്തിന്റെ വക്രതാ ആരവും (Radius of curvature) ഫോക്കസ്സ് ദൂരവും തമ്മിലുള്ള ബന്ധം എങ്ങനെ രൂപപ്പെടുത്താമെന്ന് മനസ്സിലാക്കാം. ചിത്രം 9.4 (a) ശ്രദ്ധിക്കുക.




ചിത്രം 9.3(c)
ഒരു കോൺകേവ് ദർപ്പണത്തിന്റെ

ഇതിൽ C-വക്രതാ കേന്ദ്രവും, F-ഫോക്കസ്സും, ദർപ്പണത്തിലെ -M എന്ന ബിന്ദുവിന് ലംബം ആണ് CM. മുഖ്യഅക്ഷത്തിന് സമാന്തരമായി M-ബിന്ദുവിൽ ഒരു പ്രകാശരശ്മി പതിച്ച് ഫോക്കസിലൂടെ കടന്നുപോകുന്നു വെങ്കിൽ, ചിത്രത്തിൽ




ചിത്രം 9.4(a)
ഒരു കോൺകേവ് ഗോളീയ ദർപ്പണത്തിൽ പതനരശ്മിയുടെ പ്രതിപതനത്തിന്റെ ജ്യാമിതി

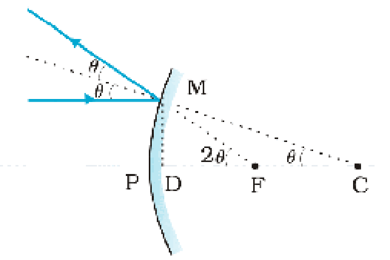
$$\tan\theta = \frac{MD}{CD} \text{ യും } \tan 2\theta = \frac{MD}{FD} \text{ യും} \qquad (9.1)$$

ചെറിയ കോണുകളിൽ $\tan\theta$ യെ $\theta$ ആയും $\tan 2\theta$ യെ $2\theta$ ആയും ആണ് കണക്കാക്കുകന്നത്.

അതായത് സമവാക്യം 9.1 ൽ നിന്നും

$$\frac{MD}{FD} = 2\frac{MD}{CD}$$

$$FD = \frac{CD}{2} \qquad (9.2)$$




ചിത്രം 9.4(b)
ഒരു കോൺവെക്സ് ഗോളീയ ദർപ്പണത്തിൽ പതനരശ്മിയുടെ പ്രതിപതനത്തിന്റെ ജ്യാമിതി

അതുപോലെ '$\theta$' വളരെ ചെറുതായതിനാൽ, D എന്ന ബിന്ദുവും P എന്ന ബിന്ദുവും തമ്മിലുള്ള അകലം വളരെ നിസ്സാരമാണ്. അതായത് FD = f, അതുപോലെ CD = R, എന്നും അനുമാനിക്കാം.

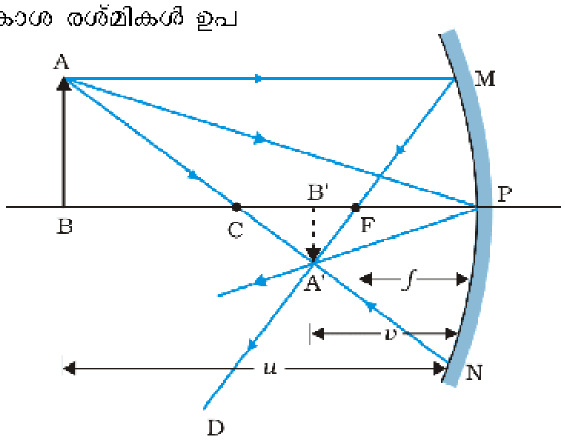
∴ (9.2) വിൽ നിന്ന്

$$f = R/2 \qquad (9.3)$$

ഒരു കോൺവെക്സ് ദർപ്പണത്തിൽ ഫോക്കൽ ദൂരവും വക്രതാ ആരവും തമ്മിലുള്ള ബന്ധം ചിത്രം 9.4 (b) ന്റെ സഹായത്തോടെ രൂപപ്പെടുത്തുവാൻ കഴിയും.

### 9.2.3 ദർപ്പണ സമവാക്യം (Mirror Equation)

ഒരു ബിന്ദുവിൽ നിന്നും പുറപ്പെടുന്ന പ്രകാശരശ്മികൾ പ്രതിപതനത്തിനോ, അപവർത്തനത്തിനോ ശേഷം മറ്റൊരു ബിന്ദുവിൽ കൂടിച്ചേരുന്നുണ്ടെങ്കിൽ, ആ ബിന്ദുവിനെ, പ്രസ്തുത ബിന്ദുവിന്റെ പ്രതിബിംബം എന്നു വിളിക്കുന്നു. പ്രകാശ രശ്മികൾ കൂടിച്ചേരുന്നുണ്ടെങ്കിൽ പ്രതിബിംബത്തെ യഥാർത്ഥമെന്നും (real) പ്രകാശരശ്മികൾ ഒരു ബിന്ദുവിൽ നിന്നും നിർഗമിക്കുന്നതായി കാണപ്പെടുന്നു വെങ്കിൽ ആ പ്രതിബിംബത്തെ മിഥ്യാപ്രതിബിംബമെന്നും (virtual) വിളിക്കുന്നു. ഒരു ബിന്ദുവിന്റെ ഗോളീയ ദർപ്പണത്താലുള്ള പ്രതിബിംബം കണ്ടുപിടിക്കുന്നതിന്, ആ ബിന്ദുവിൽനിന്നും പുറപ്പെടുന്ന ഏതെങ്കിലും രണ്ട് പ്രകാശ രശ്മികൾ ഉപയോഗിക്കാവുന്നതാണ്. താഴെ പറയുന്നവയിൽനിന്നും ഏതെങ്കിലും രണ്ടു രശ്മികൾ ഉപയോഗിക്കുന്നതാണ് സൗകര്യപ്രദം.




ചിത്രം 9.5 ഒരു കോൺകേവ് ദർപ്പണത്തിലെ പ്രതിബിംബ രൂപീകരണത്തിന്റെ രശ്മി ഡയഗ്രം

1. മുഖ്യ അക്ഷത്തിന് സമാന്തരമായി ബിന്ദുവിൽ നിന്നും പുറപ്പെട്ട് പ്രതിപതനത്തിനു ശേഷം ഫോക്കസ്സിലൂടെ കടന്നുപോകുന്ന രശ്മി.
2. ഒരു കോൺകേവ് ദർപ്പണത്തിന്റെ വക്രതാ കേന്ദ്രത്തിലൂടെ സഞ്ചരിച്ച്, പ്രതിപതനത്തിനുശേഷം അതേ പാതയിലൂടെ തിരിച്ചുപോകുന്ന പ്രകാശരശ്മി. അല്ലെങ്കിൽ ഒരു കോൺവെക്സ് ദർപ്പണത്തിന്റെ വക്രതാ കേന്ദ്രത്തിലേക്ക് കടന്നു വരുന്നതായി കാണപ്പെടുന്ന പ്രകാശരശ്മി, പ്രതിപതനത്തിനുശേഷം അതേ പാതയിലൂടെ തിരിച്ചു പോകുന്നു
3. ഒരു കോൺകേവ് ദർപ്പണത്തിൽ, ഫോക്കസ്സിലൂടെ സഞ്ചരിച്ച്, പ്രതിപതന

ത്തിനു ശേഷം മുഖ്യഅക്ഷത്തിനു സമാന്തരമായി കടന്നു പോകുന്ന രശ്മി അല്ലെങ്കിൽ ഒരു കോൺവെക്സ് ദർപ്പണത്തിൽ ഫോക്കസ്സിലേക്ക് കടന്നുവരുന്നതായി കാണപ്പെട്ട്, പ്രതിപതനത്തിനുശേഷം മുഖ്യ അക്ഷത്തിനു സമാന്തരമായി കടന്നു പോകുന്ന രശ്മി.

4. ഒരു ദർപ്പണത്തിന്റെ പോളിൽ പതിച്ച് പ്രതിപതന നിയമം അനുസരിച്ച് പ്രതിപതിക്കുന്ന പ്രകാശരശ്മി.

മേൽപറഞ്ഞവയിൽ നിന്ന് മൂന്ന് പ്രകാശ രശ്മികളെ പരിഗണിച്ച് വരച്ചിരിക്കുന്ന രേഖാചിത്രം (diagram) ആണ് ചിത്രം 9.5 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നത്.

ഇതിൽ AB എന്ന വസ്തുവിൽ നിന്നുള്ള പ്രകാശരശ്മികൾ ഒരു കോൺകേവ് ദർപ്പണത്തിൽ തട്ടി പ്രതിപതിച്ച് A′B′ എന്ന യഥാർഥ പ്രതിബിംബമായി രൂപപ്പെടുന്നു. ഇതിൽ നിന്നും മൂന്ന് രശ്മികൾ മാത്രമാണ് വസ്തുവിൽ നിന്നും പുറപ്പെടുന്നത് എന്ന് അർഥമാക്കരുത്. അസംഖ്യം പ്രകാശരശ്മികൾ എല്ലാ ദിശയിലേക്കും ഏതൊരു സ്രോതസ്സിൽ നിന്നും പുറപ്പെടുന്നുണ്ട്. ഇവിടെ A എന്ന ബിന്ദുവിന്റെ പ്രതിബിംബമാണ് A′ എന്ന ബിന്ദുവിൽ ലഭിക്കുന്നത്. അതായത് A യിൽ നിന്നും കോൺകേവ് ദർപ്പണത്തിന്റെ ദിശയിൽ പുറപ്പെടുന്ന എല്ലാ പ്രകാശ രശ്മികളും കോൺകേവ് ദർപ്പണത്തിൽ നിന്നും പ്രതിപതിച്ച് A′ ലൂടെ കടന്നു പോകുന്നു.

ഇപ്പോൾ നമുക്ക് ദർപ്പണ സമവാക്യം രൂപീകരിക്കാം അല്ലെങ്കിൽ പോളിൽ നിന്നും വസ്തുവിലേക്കുള്ള ദൂരം u (object distance), പോളിൽ നിന്നും പ്രതിബിംബത്തിലേക്കുള്ള ദൂരം v (image distance), f ഫോക്കൽ ദൂരം (focal length) എന്നിവ തമ്മിലുള്ള ബന്ധത്തെ സൂചിപ്പിക്കുന്ന സമവാക്യം രൂപീകരിക്കാം.

ചിത്രം 9.5 പരിശോധിക്കുക. A′B′F, MPF എന്നീ മട്ടത്രികോണങ്ങൾ സദൃശ (similar) ത്രികോണങ്ങൾ ആണ്. (പരാക്സിയൽ രശ്മികൾക്ക്, MP യെ, CP യ്ക്ക് ലംബമായ ഒരു നേർരേഖയായി സങ്കൽപ്പിക്കാം). അതുകൊണ്ട്

$$\frac{B'A'}{PM} = \frac{B'F}{FP} \qquad \text{അല്ലെങ്കിൽ}$$

$$\frac{B'A'}{BA} = \frac{B'F}{FP} \quad \text{ആണ്. കാരണം (PM = AB)} \tag{9.4}$$

$\angle APB = \angle A'PB'$, ആയതുകൊണ്ട് $\Delta A'B'P$, $\Delta ABP$ എന്നിവ സദൃശ ത്രികോണങ്ങൾ ആണ്. അതുകൊണ്ട്,

$$\frac{B'A'}{BA} = \frac{B'P}{BP} \quad \text{ആണ്} \tag{9.5}$$

സമവാക്യങ്ങൾ 9.4, 9.5 എന്നിവ താരതമ്യപ്പെടുത്തുമ്പോൾ

$$\frac{B'F}{FP} = \frac{B'P - FP}{FP} = \frac{B'P}{BP} \quad \text{എന്നു ലഭിക്കുന്നു.} \tag{9.6}$$

സമവാക്യം (9.6) ൽ നിന്നു ലഭിക്കുന്നത് ദൂരങ്ങളുടെ അളവുകൾ തമ്മിലുള്ള ബന്ധമാണ്. അതുകൊണ്ട് ഈ സമവാക്യത്തിൽ ചിഹ്നരീതി ഉപയോഗിക്കണം. പ്രകാശരശ്മി വസ്തുവിൽ നിന്നും MPN എന്ന ദർപ്പണത്തിലേക്ക് സഞ്ചരിക്കുന്ന ദിശയെ പോസിറ്റീവ് ദിശയായി കണക്കാക്കുന്നു. വസ്തുവിലേക്കുള്ള ദൂരം, പ്രതിബിംബത്തിലേക്കുള്ള ദൂരം, ഫോക്കസ് ദൂരം എന്നിവ നെഗറ്റീവ് ദിശയിൽ ആണ്. അതുകൊണ്ട് ഈ ദൂരങ്ങളെ നെഗറ്റീവായി പരിഗണിക്കുന്നു.

അതായത് $B'P = -v$, $FP = -f$, $BP = -u$ ഈ വിലകൾ 9.6 സമവാക്യത്തിൽ ഉപയോഗിക്കുമ്പോൾ

$$\frac{-v+f}{-f} = \frac{-v}{-u}$$

അല്ലെങ്കിൽ $\frac{v-f}{f} = \frac{v}{u}$, $uv - uf = vf$ 9.6 (a)

ഈ സമവാക്യത്തിനെ '$uvf$' കൊണ്ട് ഹരിച്ചാൽ $\frac{1}{f} - \frac{1}{v} = \frac{1}{u}$

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$ (9.7) എന്ന് കിട്ടുന്നു.

ഈ ബന്ധത്തെയാണ് ദർപ്പണസമവാക്യം എന്ന് പറയുന്നത്. നമ്മൾ പരിഗണിക്കേണ്ട വേറൊരു പ്രധാനപ്പെട്ട അളവാണ് ആവർധനം (m-magnification). പ്രതിബിംബത്തിന്റെ ഉയരത്തിന്റെ അളവും ($h'$) വസ്തുവിന്റെ ഉയരത്തിന്റെ അളവും ($h$) തമ്മിലുള്ള അനുപാതത്തെയാണ് രേഖീയ ആവർധനം (linear magnification) എന്ന് നിർവചിച്ചിരിക്കുന്നത്. അതായത്

$$m = \frac{h'}{h} \quad (9.8)$$

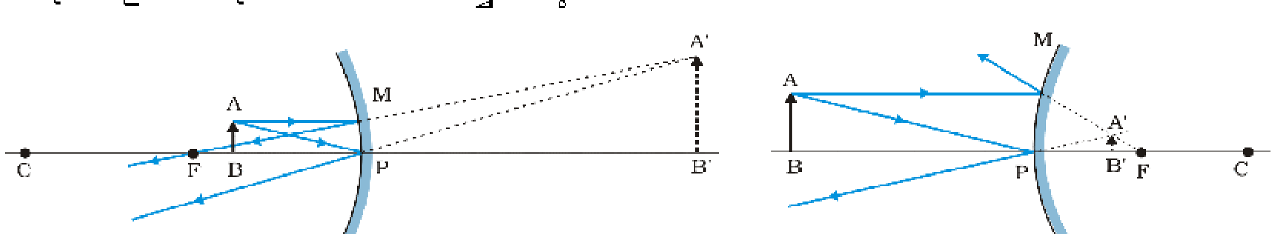
സ്വീകാര്യമായ ചിഹ്നരീതിയനുസരിച്ച് $h$, $h'$ എന്നിവയുടെ വില പോസിറ്റീവോ നെഗറ്റീവോ ആയെടുക്കാം. ത്രികോണങ്ങൾ A'B'P യും ABP യും പരിഗണിക്കുമ്പോൾ,

$\frac{B'A'}{BA} = \frac{B'P}{BP}$ എന്ന് ലഭിക്കുന്നു.

ചിഹ്നരീതിയുപയോഗിക്കുമ്പോൾ $\frac{-h'}{h} = \frac{-v}{u}$ എന്നെഴുതാം.

അതുകൊണ്ട് $m = \frac{h'}{h} = -\frac{v}{u}$ (9.9) ആണ്.

സമവാക്യം 9.7, 9.9 എന്നിവ ഒരു കോൺകേവ് ദർപ്പണത്തിൽ രൂപപ്പെടുന്ന യഥാർത്ഥവും, തലകീഴായതും ആയ പ്രതിബിംബത്തിന്റെ സമവാക്യങ്ങളാണ്. ശരിയായ ചിഹ്നസംവിധാനം ഉപയോഗിക്കുകയാണെങ്കിൽ ഈ സമവാക്യങ്ങളെ ഗോളീയ ദർപ്പണത്തിലെ പ്രതിപതനവുമായി ബന്ധപ്പെട്ട ഏത് സാഹചര്യത്തിലും ഉപയോഗിക്കാവുന്നതാണ്. ഒരു വസ്തുവിന്റെ മിഥ്യാ പ്രതിബിംബം, ഒരു കോൺവെക്സ് ദർപ്പണവും ഒരു കോൺകേവ് ദർപ്പണവും രൂപപ്പെടുത്തുന്നതിന്റെ രശ്മി രേഖാചിത്രങ്ങളാണ് ചിത്രം 9.6 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നത്.




ചിത്രം 9.6

(a) വസ്തു P ക്കും F നും ഇടയിലായിരിക്കുമ്പോൾ ഒരു കോൺകേവ് ദർപ്പണത്തിലെ പ്രതിബിംബ രൂപീകരണം

(b) വസ്തു ഒരു കോൺവെക്സ് ദർപ്പണത്തിന്റെ മുമ്പിൽ എവിടെ വെച്ചാലും പ്രതിബിംബം ദർപ്പണത്തിന്റെ പിറകിൽ Pനും Fനും ഇടയ്ക്ക് ഉണ്ടാകും.

ഉദാഹരണം 9.1

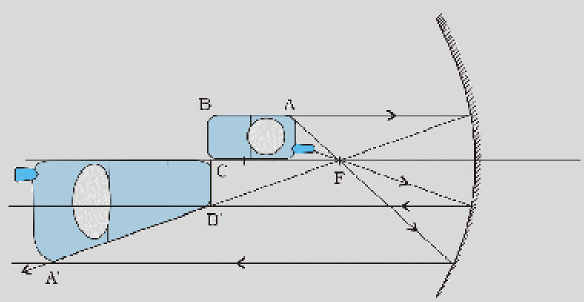
**ഉദാഹരണം 9.1 :** ഒരു കോൺകേവ് ദർപ്പണത്തിന്റെ താഴത്തെ പകുതിഭാഗം അതാര്യമായ ഒരു പദാർത്ഥം കൊണ്ട് മൂടിവെച്ചിരിക്കുന്നതായി കരുതുക. എങ്കിൽ ഈ കോൺകേവ് ദർപ്പണത്തിന്റെ മുൻപിൽ വെച്ചിരിക്കുന്ന ഒരു വസ്തുവിന്റെ പ്രതിബിംബത്തിൽ എന്തു സ്വാധീനമാണ് ഇത് മൂലം ഉണ്ടാകുന്നത്?

**ഉത്തരം :** പകുതി ഭാഗം വസ്തുവിന്റെ പ്രതിബിംബം മാത്രം കോൺകേവ് ദർപ്പണത്തിൽ രൂപപ്പെടുമെന്ന്, നിങ്ങൾ, ഒരു പക്ഷെ ചിന്തിച്ചേക്കാം. എന്നാൽ പ്രതിപതന നിയമങ്ങൾ ദർപ്പണത്തിന്റെ എല്ലാ ബിന്ദുവിലും ഒരു പോലെ ബാധകമായതുകൊണ്ട്, പൂർണ വസ്തുവിന്റെ പ്രതിബിംബം രൂപപ്പെടുന്നു. പക്ഷെ ദർപ്പണത്തിന്റെ ഉപരിതല പരപ്പളവ് കുറച്ചതുകൊണ്ട്, പ്രതിബിംബത്തിന്റെ തീവ്രത (intenstiy) പകുതിയായിരിക്കും.

ഉദാഹരണം 9.2

**ഉദാഹരണം 9.2 :** ചിത്രം 9.7ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ ഒരു മൊബൈൽ ഫോൺ, ഒരു കോൺകേവ് ദർപ്പണത്തിന്റെ മുഖ്യഅക്ഷത്തിൽ വെച്ചിരിക്കുന്നു.

ചിത്രം 9.7




(a) മൊബൈൽ ഫോണിന്റെ പ്രതിബിംബം എവിടെ രൂപപ്പെടുന്നെന്ന് പ്രകാശ രശ്മി രേഖാചിത്രത്തിലൂടെ കാണിക്കുക.
(b) പ്രതിബിംബത്തിന്റെ ആവർധനം എന്തുകൊണ്ടാണ് സമാനമല്ലാത്തത്.
(c) ദർപ്പണത്തെയപേക്ഷിച്ച് ഫോണിന്റെ സ്ഥാനം പ്രതിബിംബത്തിന്റെ വ്യതിയാനത്തെ ബാധിക്കുമോ?

**ഉത്തരം**

(a) ചിത്രം 9.7(a) ൽ മൊബൈൽ ഫോണിന്റെ പ്രതിബിംബത്തിന്റെ രേഖാചിത്രം കാണിച്ചിരിക്കുന്നു.

(b) വക്രതാകേന്ദ്രത്തിലുള്ള മൊബൈൽ ഫോണിന്റെ ഭാഗം, മുഖ്യഅക്ഷത്തിന് ലംബവും വക്രതാ കേന്ദ്രത്തിലൂടെ കടന്നുപോകുന്നതും ആയ പ്രതലത്തിൽ ആണ്. രണ്ടിനും ഒരേ വലുപ്പമായതിനാൽ $B'C = BC$. പ്രതിബിംബത്തിനുണ്ടായ വ്യതിയാനം നിങ്ങൾ സ്വയം തിരിച്ചറിയുക.

ഉദാഹരണം 9.3

**ഉദാഹരണം 9.3:** 15cm വക്രതാ ആരമുള്ള ഒരു കോൺകേവ് ദർപ്പണത്തിന്റെ മുമ്പിൽ (i) 10cm, (ii) 5cm എന്നീ ദൂരങ്ങളിൽ ഒരു വസ്തു സ്ഥിതി ചെയ്യുന്നു. ഓരോ ദൂരത്തിലും ഉള്ള വസ്തുവിന്റെ പ്രതിബിംബത്തിന്റെ സ്ഥാനം, സ്വഭാവം, രേഖീയ ആവർധനം എന്നിവ കണ്ടുപിടിക്കുക.

**ഉത്തരം**

വസ്തു 10cm അകലെയായിരിക്കുമ്പോൾ

ഫോക്കസ്ദൂരം $f = 15/2 \text{ cm} = 7.5 \text{ cm}$

(i) വസ്തുവിന്റെ ദൂരം, $u =\ \ 10$ cm. ദർപ്പണത്തിന്റെ സമവാക്യം ഉപയോഗിക്കുമ്പോൾ

$$\frac{1}{v}+\frac{1}{10}=\frac{1}{7.5} \text{ അല്ലെങ്കിൽ } v-\frac{10\ \ 7.5}{25}=-30\text{cm}$$

അതായത് വസ്തുവിരിക്കുന്ന അതേ വശത്ത് 30cm ദൂരത്താണ് പ്രതിബിംബം ഉണ്ടാകുന്നത്.

ആവർധനം, $m = \frac{v}{u}=\frac{(-30)}{(-10)}=\ \ 3$

അതായത് പ്രതിബിംബത്തിന്റെ രേഖീയ ആവർധനം വസ്തുവിന്റെ ഉയരത്തിന്റെ മൂന്ന് മടങ്ങാണ്.

പ്രതിബിംബം തലകീഴായതും യഥാർത്ഥവും വലുതുമാണ്.

(ii) വസ്തു 5cm അകലെയായിരിക്കുമ്പോൾ, $u = -5$ cm. സമവാക്യം 9.7 പ്രകാരം,

$$\frac{1}{v}+\frac{1}{-5}=\frac{1}{-7.5} \quad \text{അല്ലെങ്കിൽ} \quad v-\frac{5\times7.5}{(7.5\ \ 5)}=15\text{ cm}$$

അതായത് പ്രതിബിംബം ദർപ്പണത്തിന് പുറകിൽ 15 cm ദൂരത്താണ് രൂപപ്പെടുന്നത്.

ആവർധനം, $m = \frac{v}{u}=\frac{15}{(-5)}=3$

അതായത് പ്രതിബിംബത്തിന്റെ രേഖീയ ആവർധനം വസ്തുവിന്റെ ഉയരത്തിന്റെ മൂന്ന് മടങ്ങാണ്. പ്രതിബിംബം നിവർന്നതും മിഥ്യയും വലുതുമാണ്.

**ഉദാഹരണം 9.4**: നിർത്തിയിട്ടിരിക്കുന്ന കാറിലിരിക്കുന്ന നിങ്ങൾ, കാറിന്റെ വശത്തുള്ള കോൺവെക്സ് ദർപ്പണത്തിലൂടെ 5 m $s^{-1}$ സമവേഗതയിൽ ഒരാൾ ഓടി വരുന്നത് നിരീക്ഷിക്കുന്നുവെന്ന് കരുതുക. ദർപ്പണത്തിന്റെ വക്രതാആരം = 2m ആണ്. താഴെ പറയുന്ന ദൂരങ്ങളിൽ, ഓടുന്ന ആളിന്റെ വേഗം എത്രയായിരിക്കും?

(a) 39m ദർപ്പണത്തിൽനിന്നും ദൂരെ ആയിരിക്കുമ്പോൾ

(b) 29m ദർപ്പണത്തിൽനിന്നും ദൂരെ ആയിരിക്കുമ്പോൾ

(c) 19m ദർപ്പണത്തിൽനിന്നും ദൂരെ ആയിരിക്കുമ്പോൾ

(d) 9m ദർപ്പണത്തിൽനിന്നും ദൂരെ ആയിരിക്കുമ്പോൾ

**ഉത്തരം** : ദർപ്പണ സമവാക്യം അനുസരിച്ച്, സമവാക്യം (9.7)

$$\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f} \quad \text{അതായത്} \quad v=\frac{fu}{u-f}$$

$R = 2$ m, $f = 1$ m.

a) 39 m ദൂരത്തായിരിക്കുമ്പോൾ, പ്രതിബിംബത്തിന്റെ ദൂരം, $v = \frac{(-39)\times1}{-39-1}=\frac{39}{40}$ m

ഒരു സെക്കൻറിന് ശേഷം ഓട്ടക്കാരന്റെ പ്രതിബിംബത്തിന്റെ സ്ഥാനം = –39 + 5 = –34 ദൂരത്താണ്. ഒരു സെക്കൻറിന് ശേഷമുള്ള പ്രതിബിംബത്തിന്റെ സ്ഥാനം 34/35 m ആണ്.

ഒരു സെക്കൻറിലുണ്ടായ സ്ഥാനമാറ്റം = $\frac{39}{40}-\frac{34}{35}=\frac{1365-1360}{1400}=\frac{5}{1400}=\frac{1}{280}$ m

അതുകൊണ്ട് ഓട്ടക്കാരന്റെ പ്രതിബിംബത്തിന്റെ 39m നും 34m നും ഇടയിലുള്ള ശരാശരി വേഗം (1/280) m $s^{-1}$ ഇതുപോലെ; u = -29m, -19m, -9m എന്നീ ദൂരങ്ങളിലായിരിക്കുമ്പോൾ

ഉദാഹരണം 9.3

ഉദാഹരണം 9.4

ഉദാഹരണം 9.4

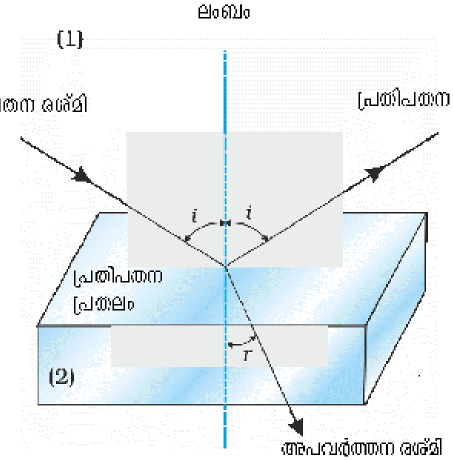
വേഗം യഥാക്രമം

b) $\frac{1}{150}$ $ms^{-1}$ ആണ് (c) $\frac{1}{60}$ $ms^{-1}$ ആണ് (d) $\frac{1}{10}$ $ms^{-1}$

ഓട്ടക്കാരൻ സമാനവേഗത്തിലാണ് ഓടുന്നതെങ്കിലും അയാളുടെ പ്രതിബിംബത്തിന്റെ വേഗം തുടർച്ചയായി കൂടിവരുന്നു. ഈ പ്രതിഭാസം ചലിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന കാറിലോ, ബസ്സിലോ ഇരിക്കുന്നവർക്കും കാണാവുന്നതാണ്.

## 9.3 അപവർത്തനം (REFRACTION)

ചിത്രം 9.8 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതു പോലെ ഒരു മാധ്യമത്തിൽ നിന്നും വേറൊരു മാധ്യമത്തിലേക്ക് പ്രകാശകിരണം സഞ്ചരിക്കുമ്പോൾ, ഒരു ഭാഗം ആദ്യത്തെ മാധ്യമത്തിലേക്ക് പ്രതിപതിക്കുകയും, ബാക്കി ഭാഗം രണ്ടാമത്തെ മാധ്യമത്തിലൂടെ കടന്നുപോകുകയും ചെയ്യുന്നു.




ചിത്രം 9.8
പ്രകാശത്തിന്റെ പ്രതിപതനവും അപവർത്തനവും

ചിത്രത്തിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതു പോലെ പതനരശ്മി ചരിഞ്ഞാണ് മാധ്യമത്തിലൂടെ കടന്നു പോകുന്നതെങ്കിൽ, മാധ്യമങ്ങളുടെ സമ്പർക്കമുഖത്തിൽ (interface) വച്ച് പ്രകാശരശ്മിയുടെ സഞ്ചാരപാതയ്ക്ക് വ്യതിയാനം സംഭവിക്കുന്നു. ഈ പ്രതിഭാസത്തെ അപവർത്തനം എന്നു പറയുന്നു. താഴെപറയുന്ന അപവർത്തന നിയമങ്ങൾ സ്നെൽ (Snell) പരീക്ഷണങ്ങളിലൂടെ കണ്ടുപിടിച്ചു.

(i) ഒരു പ്രകാശരശ്മിക്ക് അപവർത്തനം സംഭവിക്കുമ്പോൾ പതനരശ്മി, അപവർത്തന രശ്മി, സമ്പർക്കതലത്തിൽ പതന ബിന്ദുവിലൂടെയുള്ള ലംബം എന്നിവ ഒരു തലത്തിൽ ആയിരിക്കും.

(ii) പതനകോണിന്റെ സൈനും (sine) അപവർത്തന കോണിന്റെ സൈനും തമ്മിലുള്ള അനുപാതം ഒരു സ്ഥിര സംഖ്യ (constant) ആയിരിക്കും. ഇതിനെയാണ് സ്നെല്ലിന്റെ അപവർത്തന നിയമം എന്നു വിളിക്കുന്നത്. പതന രശ്മിയും ലംബവും തമ്മിലുള്ള കോണളവിനെയാണ് പതനകോണളവ് എന്നു വിളിക്കുന്നത്. അതുപോലെ അപവർത്തന രശ്മിയും, ലംബവും തമ്മിലുള്ള കോണിനെ അപവർത്തനകോണളവ് എന്നും വിളിക്കുന്നു. അതായത്;

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n_{21} \qquad (9.10)$$ ആണ്.

$n_{21}$ എന്ന സ്ഥിര സംഖ്യയെ ആപേക്ഷിക അപവർത്തനാങ്കം (relative refractive index) എന്നു വിളിക്കുന്നു. ആദ്യത്തെ മാധ്യമത്തെ അപേക്ഷിച്ച് രണ്ടാമത്തെ മാധ്യമത്തിന്റെ അപവർത്തനാങ്കം (refractive index) $n_{21}$ ആണ്. ഒരു ജോഡി മാധ്യമത്തിലെ ആപേക്ഷിക അപവർത്തനാങ്കം, മാധ്യമങ്ങളുടെ സ്വഭാവ വിശേ

ഷത്തേയും (characteristics), പ്രകാശത്തിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യത്തേയും ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. എന്നാൽ പതനകോണിനെ ആശ്രയിക്കുന്നില്ല.

സമവാക്യം 9.10 ൽ $n_{21}>1$ ആണെങ്കിൽ അപവർത്തനകോൺ ($r$) പതന കോണിനേക്കാൾ ($i$) ചെറുതായിരിക്കും. അതായത് അപവർത്തന രശ്മി ലംബത്തിന്റെ അടുത്തേക്കു നീങ്ങുന്നു. ഇതുപോലെ $n_{21}<1$ ആണെങ്കിൽ അപവർത്തനരശ്മി ലംബത്തിൽ നിന്നും അകലേക്കു നീങ്ങുന്നു.

$n_{21}$ എന്നത് ഒന്നാമത്തെ മാധ്യമത്തെ അപേക്ഷിച്ച് രണ്ടാമത്തെ മാധ്യമത്തിന്റെ ആപേക്ഷിക അപവർത്തനാങ്കവും, $n_{12}$ എന്നത് രണ്ടാമത്തെ മാധ്യമത്തെ അപേക്ഷിച്ച് ഒന്നാമത്തെ മാധ്യമത്തിന്റെ ആപേക്ഷിക അപവർത്തനാങ്കവും ആണെങ്കിൽ

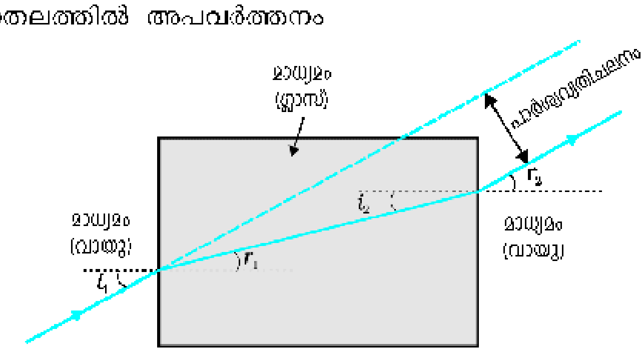
$$n_{12} = \frac{1}{n_{21}} \qquad (9.11)$$ എന്നെഴുതാം

ഇതുപോലെ $n_{32}$ എന്നത് രണ്ടാമത്തെ മാധ്യമത്തെ അപേക്ഷിച്ച് മൂന്നാമത്തെ മാധ്യമത്തിന്റെ ആപേക്ഷിക അപവർത്തനാങ്കം ആണെങ്കിൽ $n_{32}$ വിനെ $n_{32}=n_{31}\times n_{21}$ എന്നെഴുതാം. ഇതിൽ, $n_{31}$, $n_{21}$ എന്നത് ഒന്നാമത്തെ മാധ്യമത്തെ അപേക്ഷിച്ച് യഥാക്രമം മൂന്നാമത്തേതിന്റെയും, രണ്ടാമത്തേതിന്റെയും ആപേക്ഷിക അപവർത്തനാങ്കമാണ്.

***കുറിപ്പ്*** *: പ്രകാശിക സാന്ദ്രതയും മാസ് സാന്ദ്രതയും തമ്മിൽ ആശയക്കുഴപ്പം ഉണ്ടാകരുത്. ഒരു വസ്തുവിന്റെ യൂണിറ്റ് ഉള്ളളവിൽ (volume) ഉള്ള മാസിനെയാണ് മാസ് സാന്ദ്രത എന്നു പറയുന്നത്. എന്നാൽ പ്രകാശ സാന്ദ്രത, രണ്ടു മാധ്യമങ്ങളിലൂടെയുമുള്ള പ്രകാശ പ്രവേഗത്തിന്റെ അനുപാതമാണ്. പ്രകാശസാന്ദ്രത കൂടിയ മാധ്യമത്തിന്റെ മാസ്സ് സാന്ദ്രത കുറയാനും, പ്രകാശസാന്ദ്രത കുറഞ്ഞ മാധ്യമത്തിന്റെ മാസ് സാന്ദ്രത കൂടാനും സാധ്യതയുണ്ട്. ടർപെൻൈന്റനും (turpentine) ജലവും പരിഗണിക്കുകയാണെങ്കിൽ, ടർപെൻൈന്റനിന്റെ മാസ് സാന്ദ്രത ജലത്തിനേക്കാൾ കുറവാണ്. പക്ഷെ, ഇതിന്റെ പ്രകാശ സാന്ദ്രത ജലത്തേക്കാൾ കൂടുതലാണ്.*

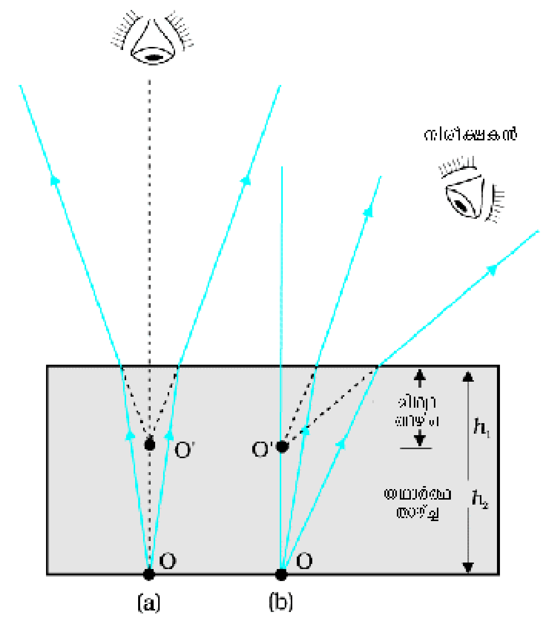
ദീർഘചതുരാകൃതിയിലുള്ള (rectangular) ഒരു സ്ഫടികക്കട്ട (slab) യിലൂടെ കടന്നു പോകുന്ന പ്രകാശരശ്മിക്ക് രണ്ട് സമ്പർക്കതലത്തിൽ അപവർത്തനം സംഭവിക്കുന്നു. അതായത് ചിത്രം 9.9 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ വായുവിൽ നിന്നും ഗ്ലാസ്സിലേക്കുള്ള സമ്പർക്കതലത്തിലും, ഗ്ലാസ്സിൽ നിന്നും വായുവിലേക്കുള്ള സമ്പർക്കതലത്തിലും.

ചിത്രത്തിൽ $r_2 = i_1$, ആണ് അതായത് ബഹിർഗമന രശ്മി (emergent), പതനരശ്മിക്ക് സമാന്തരമാണ്. എങ്കിലും ബഹിർഗമന രശ്മിക്ക് പതനരശ്മിയെ അപേക്ഷിച്ച് പാർശ്വവ്യതിചലനം (lateral shift) സംഭവിച്ചിരിക്കുന്നു.

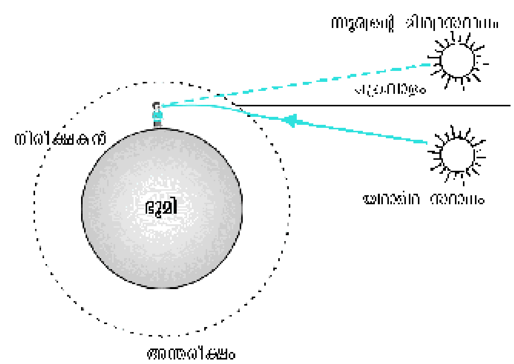



ചിത്രം 9.9 ദീർഘചതുരാകൃതിയിലുള്ള ഒരു ഗ്ലാസ് കട്ടയിലൂടെ കടന്നു പോകുന്ന പ്രകാശരശ്മിയുടെ പാർശ്വവ്യതിചലനം

ജലം നിറച്ചുവെച്ചിരിക്കുന്ന ഒരു ടാങ്കിന്റെ വക്കിലൂടെ അടിത്തട്ടിലേക്ക് നോക്കുകയാണെങ്കിൽ (ചിത്രം 9.10), അടിത്തട്ട് ഉയർന്നിരിക്കുന്നതായി കാണാം. എന്നാൽ ജലത്തിന്റെ ഉപരിതലത്തിന് ലംബമായി നോക്കുകയാണെങ്കിൽ, ($h_2$) യഥാർത്ഥ (real) താഴ്ചയും, ($h_1$) മിഥ്യ (apparent) താഴ്ചയും, ഒന്നാണെന്ന് കാണാം. ജലോപരിതലത്തിന്റെ ലംബത്തിൽ നിന്നും




ചിത്രം 9.10 ഒരു ടാങ്കിലെ ജലത്തിന്റെ ഉപരിതലത്തിന് (a) ലംബമായും (b) ലംബത്തിൽ നിന്നും ചെറിയ ഒരു കോണിലും നോക്കുമ്പോഴുള്ള മിഥ്യാ കാഴ്ച




ചിത്രം 9.11 അന്തരീക്ഷ അപവർത്തനം കാരണം വൈകിയുള്ള സൂര്യാസ്തമയവും നേരത്തെയുള്ള സൂര്യോദയവും

ചെറിയ ഒരു കോണിൽ കൂടി നോക്കുകയാണെങ്കിൽ, ജലത്തിന്റെ അപവർത്തനാങ്കം $\frac{h_2}{h_1}$ ആണെന്ന് തെളിയിക്കാൻ കഴിയും.

അന്തരീക്ഷത്തിൽ പ്രകാശത്തിനുണ്ടാകുന്ന അപവർത്തനം, കൗതുകകരമായ പല പ്രതിഭാസങ്ങൾക്കും കാരണമാണ്. ഉദാഹരണത്തിന് സൂര്യോദയത്തിന് അൽപസമയം മുമ്പും, സൂര്യാസ്തമയത്തിന് അൽപസമയം ശേഷവും, സൂര്യബിംബം കാണപ്പെടുന്നത് പ്രകാശത്തിന്റെ അന്തരീക്ഷ (atmospheric) അപവർത്തനം മൂലമാണ്. ചക്രവാളം (horizon) മുറിച്ച് സൂര്യബിംബം ഉയരുന്നതിനെ സൂര്യോദയമെന്നും, ചക്രവാളം മുറിച്ച് സൂര്യബിംബം താഴുന്നതിനെ സൂര്യാസ്തമയം എന്നും പറയുന്നു. ചക്രവാളത്തെ അപേക്ഷിച്ച് സൂര്യബിംബത്തിന്റെ യഥാർത്ഥത്തിൽ ഉള്ള സ്ഥാനവും, മിഥ്യാ സ്ഥാനവും ചിത്രം 9.11 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു.

പ്രകാശത്തിന്റെ അന്തരീക്ഷ അപവർത്തനത്തിന്റെ സ്വാധീനം കാണിക്കുവാൻ, ഈ ചിത്രം വളരെ വലുതാക്കിയാണ് വരച്ചിരിക്കുന്നത്. ശൂന്യതയെ അപേക്ഷിച്ച്, വായുവിന്റെ അപവർത്തനാങ്കം 1.00029 ആണ്. അതുകൊണ്ട് സൂര്യബിംബത്തിന്റെ പാർശ്വവ്യതിചലനം ഏകദേശം അരഡിഗ്രി കോൺ മാത്രമാണ്. അതുകൊണ്ട് സൂര്യാസ്തമയത്തിന് ശേഷം രണ്ടു മിനിറ്റ് വരെയും, സൂര്യോദയത്തിന് രണ്ടു മിനിറ്റ് മുൻപു തുടങ്ങിയും സൂര്യബിംബത്തെ മിഥ്യയായി കാണുന്നു. ഈ സമയങ്ങളിൽ സൂര്യബിംബത്തെ ദീർഘവൃത്താകൃതിയിൽ (oval shape) കാണുന്നതും, പ്രകാശത്തിന്റെ അന്തരീക്ഷ അപവർത്തനം മൂലമാണ്.

ഉദാഹരണം 9.5

**ഉദാഹരണം 9.5**

ഭൂമിയുടെ ഭ്രമണകാലം 24 മണിക്കൂർ ആണെങ്കിൽ, ഭൂമിയിൽ നിന്നും നോക്കുമ്പോൾ സൂര്യൻ $1^\circ$ വ്യതിചലിക്കുവാൻ എത്ര സമയം എടുക്കും?

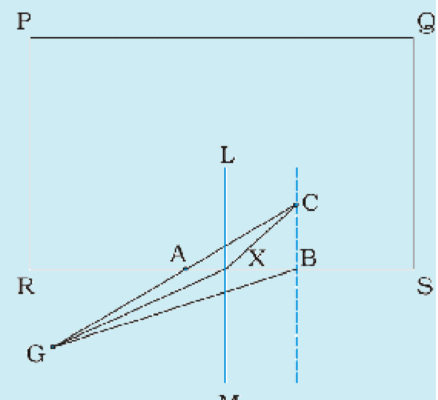
**ഉത്തരം**

$360^\circ$ വ്യതിചലിക്കുവാൻ ഉപയോഗിക്കുന്ന സമയം = 24 മണിക്കൂർ

$1^\circ$ വ്യതിചലിക്കുവാൻ ഉപയോഗിക്കുന്ന സമയം = 24/360 = 4 മിനിറ്റ്

## മുങ്ങിത്താഴുന്ന കുട്ടിയും, ലൈഫ് ഗാഡും, സ്നെൽ നിയമവും
## THE DROWNING CHILD, LIFEGUARD AND SNELL'S LAW

ചിത്രം 9.11(a)യിൽ PQRS ഒരു ദീർഘ ചതുരാകൃതിയിലുള്ള നീന്തൽകുളമാണെന്ന് കരുതുക. C എന്ന ബിന്ദുവിൽ നിന്നും മുങ്ങി താഴ്ന്നുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന ഒരു കുട്ടിയുടെ അടുത്തേക്ക്, കുളത്തിന് പുറത്ത് G എന്ന ബിന്ദുവിലുള്ള ലൈഫ് ഗാഡിന് ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ സമയത്തിൽ എത്തിച്ചേരണം. GAC, GBC, GXC എന്നീ പാതകളിൽ ഏതാണ് ലൈഫ് ഗാഡ് തെരഞ്ഞെടുക്കേണ്ടത്? ലൈഫ് ഗാഡിന് വായുവിലുള്ള പ്രവേഗം ($v_1$) ജലത്തിലെ നീന്തലിന്റെ പ്രവേഗത്തേക്കാൾ ($v_2$) കൂടുതലാണെന്ന് അറിയാം.



ചിത്രം 9.11(a)

ലൈഫ് ഗാഡ് X എന്ന ബിന്ദുവിൽ നീന്തൽ കുളത്തിൽ പ്രവേശിക്കുന്നെന്നും, $GX = l_1$, $XC = l_2$ എന്നും കരുതുക. എങ്കിൽ G യിൽ നിന്നും C യിൽ എത്തിച്ചേരാൻ ഉപയോഗിക്കേണ്ട സമയം $t = \frac{l_1}{v_1} + \frac{l_2}{v_2}$ ആണ്.

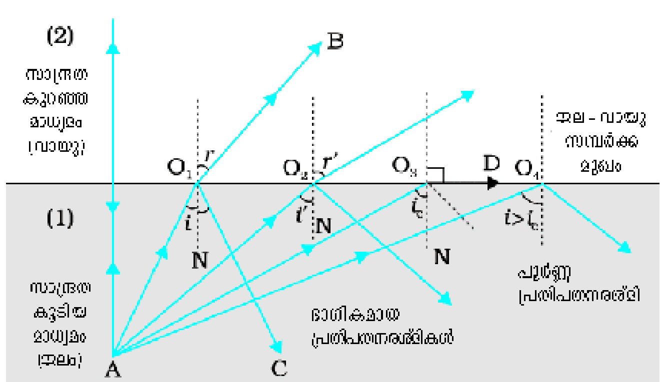
t യുടെ ഏറ്റവും ചെറിയ വില കണ്ടുപിടിക്കുവാൻ ഈ സമവാക്യത്തെ x നെ അപേക്ഷിച്ച് അവകലനം (differentiate) ചെയ്യുക. അതിൽ നിന്ന് t യുടെ വില ഏറ്റവും ചെറുതായിരിക്കുമ്പോൾ ഉള്ള X-ന്റെ സ്ഥാനം കണ്ടുപിടിക്കുക. ഈ സ്ഥാനം, സ്നെൽ നിയമം അനുസരിക്കുന്ന ബിന്ദു ആയിരിക്കും. ഇത് മനസ്സിലാക്കുന്നതിന് SR ന് ലംബമായി Xലൂടെ LM വരയ്ക്കുക. $\angle GXM = i$, $\angle CXL = r$ എന്നും കരുതുക. എങ്കിൽ, സമയം ഏറ്റവും കുറവ് $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2}$ ആകുമ്പോഴാണ്.

ചുരുക്കത്തിൽ രണ്ട് മാധ്യമങ്ങളും രണ്ടു പ്രവേഗങ്ങളും ഉൾപ്പെടുന്ന സാഹചര്യങ്ങളിൽ, തരംഗമായാലും കണിക ആയാലും, സ്നെൽ നിയമം അനുസരിച്ചാൽ മാത്രമെ, ഒരു മാധ്യമത്തിലെ ഏതെങ്കിലുമൊരു ബിന്ദുവിൽ നിന്നും അടുത്ത മാധ്യമത്തിലെ ഏതെങ്കിലുമൊരു ബിന്ദുവിലേക്ക് ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ സമയം കൊണ്ട് എത്തിച്ചേരുകയുള്ളു.

## 9.4 പൂർണ്ണാന്തര പ്രതിപതനം (TOTAL INTERNAL REFLECTION)

പ്രകാശ സാന്ദ്രത കൂടിയ മാധ്യമത്തിൽ നിന്നും പ്രകാശ സാന്ദ്രത കുറഞ്ഞ മാധ്യമത്തിലേക്ക് പ്രകാശം സഞ്ചരിക്കുമ്പോൾ മാധ്യമത്തിന്റെ സമ്പർക്കതലത്തിൽ വെച്ച് പ്രകാശം ഭാഗികമായി പ്രതിപതനത്തിന് വിധേയമാകുകയും, ഭാഗികമായി അപവർത്തനത്തിന് വിധേയമാകുകയും ചെയ്യുന്നു. ഇങ്ങനെയുള്ള പ്രതിപതനത്തെയാണ് ആന്തരിക പ്രതിപതനം എന്നുപറയുന്നത്.

പ്രകാശ രശ്മി പ്രകാശസാന്ദ്രത കൂടിയ മാധ്യമത്തിൽ നിന്നും പ്രകാശസാന്ദ്രത കുറഞ്ഞ മാധ്യമത്തിലേക്ക് ഒരു ബിന്ദുവിലൂടെ സഞ്ചരിക്കുമ്പോൾ അപവർത്തനത്തിനു ശേഷം ആ ബിന്ദുവിലൂടെയുള്ള ലംബത്തിൽ നിന്നും അകലേക്ക് നീങ്ങുന്നു. ഉദാഹരണത്തിന് ചിത്രം 9.12 ശ്രദ്ധിക്കുക.



ചിത്രം 9.12 പ്രകാശ സാന്ദ്രത കൂടിയ മാധ്യമത്തിൽ നിന്നും പ്രകാശ സാന്ദ്രത കുറഞ്ഞ മാധ്യമത്തിലേക്ക് A എന്ന ബിന്ദുവിൽ നിന്നും പ്രകാശരശ്മി സഞ്ചരിക്കുമ്പോഴുള്ള അപവർത്തനവും പൂർണ്ണാന്തര പ്രതിപതനവും

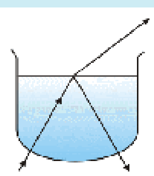
ബിന്ദു Aയിൽ നിന്നുള്ള പ്രകാശരശ്മി $O_1$ സമ്പർക്കബിന്ദുവിൽ പതിച്ച്, ഭാഗീകമായി പ്രതിപതനത്തിന് വിധേയമാവുകയും ($O_1C$) ഭാഗീകമായി അപവർത്തനത്തിനു വിധേയമാവുകയും ($O_1B$) ചെയ്യുന്നു. $O_2$ എന്ന ബിന്ദുവിലും ഇതുപോലെ തന്നെ സംഭവിക്കുന്നു. എന്നാൽ

ഈ ബിന്ദുവിൽ പതനകോണും, അപവർത്തന കോണും കൂടുന്നു. $O_3$ എന്ന ബിന്ദുവിൽ അപവർത്തനകോൺ $90^0$ ആണ്. അതായത് അപവർത്തന രശ്മി സമ്പർക്കതലത്തിലൂടെ കടന്നുപോകുന്നു. എന്നാൽ $O_4$ എന്ന ബിന്ദുവിൽ പ്രകാശരശ്മിക്ക് അപവർത്തനം സംഭവിക്കാതെ, പൂർണ്ണമായും പ്രതിപതിക്കുന്നു. ഇങ്ങനെയുള്ള പ്രതിപതനത്തെയാണ് പൂർണ്ണാന്തര പ്രതിപതനം എന്നു വിളിക്കുന്നത്. അപവർത്തനകോൺ $90^0$ ആയിരിക്കുമ്പോഴുള്ള പതനകോണിനെയാണ് തന്നിരിക്കുന്ന മാധ്യമങ്ങളുടെ ക്രാന്തികകോൺ (critical angle, $i_c$) എന്നു വിളിക്കുന്നത്. അപവർത്തന കോണിന്റെ ഏറ്റവും കൂടിയ സൈൻ അളവ് 1 ആണ് ($\sin 90^0$) ഈ അവസരത്തിൽ $\sin i_c = n_{21}$ ആണ്. പതനകോണിന്റെ അളവ് ക്രാന്തിക കോണിനേക്കാൾ കൂടിയാൽ അപവർത്തനം സംഭവിക്കുകയില്ല. ക്രാന്തികകോണും പ്രകാശസാന്ദ്രത കുറഞ്ഞ മാധ്യമത്തിനെ അപേക്ഷിച്ച് പ്രകാശ സാന്ദ്രത കൂടിയ മാധ്യമത്തിന്റെ ആപേക്ഷികഅപവർത്തനാങ്കവും തമ്മിലുള്ള ബന്ധത്തെ $n_{12} = 1/\sin i_c$. എന്നെഴുതാം.

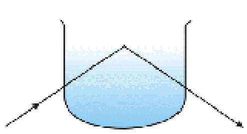
ചില മാധ്യമങ്ങളുടെ അപവർത്തനാങ്കവും ക്രാന്തികകോണും താഴെ 9.1 പട്ടികയിൽ കൊടുത്തിരിക്കുന്നു.

**പട്ടിക 9.1: മാധ്യമങ്ങളുടെ അപവർത്തനാങ്കവും ക്രാന്തിക കോണും**

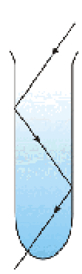
| മാധ്യമത്തിന്റെ പേര് | അപവർത്തനാങ്കം | ക്രാന്തികകോൺ ഡിഗ്രിയിൽ |
|---|---|---|
| ജലം | 1.33 | 48.75° |
| ക്രൗൺ ഗ്ലാസ്സ് | 1.52 | 41.14° |
| പ്രകാശ സാന്ദ്രത കൂടിയ ഫ്ളിൻറ് ഗ്ലാസ്സ് | 1.62 | 37.31° |
| വജ്രം | 2.42 | 24.41° |



ചിത്രം 9.13(a)



ചിത്രം 9.13(b)



ചിത്രം 9.13(c)

ജലത്തിലൂടെയുള്ള ലേസർ കിരണങ്ങളുടെ പൂർണ്ണാന്തര പ്രതിപതനത്തിന്റെ നിരീക്ഷണം

### പൂർണ്ണാന്തര പ്രതിപതനത്തിന്റെ നിരീക്ഷണം (A demonstration for total internal reflection)

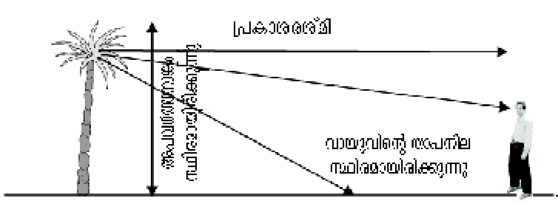
ഒരു ലേസർ ടോർച്ചിന്റെ സഹായത്തോടെ ഒട്ടുമിക്ക പ്രകാശിക പ്രതിഭാസങ്ങളും പ്രദർശിപ്പിക്കാൻ കഴിയും. ഒരു ബീക്കറിൽ തെളിഞ്ഞ ജലമെടുത്ത് അതിൽ സോപ്പിന്റെ ഒരു ചെറിയ കഷണമിടുക. നന്നായി ജലം ഇളക്കിയാൽ സോപ്പുലായനി ലഭിക്കും. ഈ ലായനിയിലൂടെ ഒരു ലേസർ പ്രകാശം കടത്തിവിടുകയാണെങ്കിൽ പ്രകാശത്തിന്റെ സഞ്ചാരപാത വളരെ വ്യക്തമായി കാണാൻ കഴിയും. ചിത്രം 9.13 ൽ കാണുന്നതു പോലെ ജലോപരിതലത്തിലൂടെ പ്രകാശം പുറത്തു വരുന്ന രീതിയിൽ ബക്കറ്റിന്റെ വശത്തുനിന്നും ലേസർ ടോർച്ചിന്റെ പ്രകാശം കടത്തി വിടുക. ജലോപരിതലത്തിൽ വെച്ച് പ്രകാശം അപവർത്തനത്തിനും പ്രതിപതനത്തിനും വിധേയമാകുന്നു. അപവർത്തനരശ്മി മുറിയുടെ മേൽത്തട്ടിലും പ്രതിപതനരശ്മി ബീക്കർ ഇരിക്കുന്ന പ്രതലത്തിലും കാണുന്നു.

ചിത്രം 9.13(b) ൽ കാണുന്നതുപോലെ മുൻപരീക്ഷണം ആവർത്തിക്കുക. അപവർത്തനരശ്മി മുറിയുടെ മേൽത്തട്ടിൽ നിന്ന് അപ്രത്യക്ഷമാകുന്നതുവരെ ലേസർ ടോർച്ചിന്റെ ദിശ ക്രമീകരിക്കുക. ഇപ്പോൾ കാണുന്നത് പൂർണ്ണാന്തര പ്രതിപതനമാണ്.

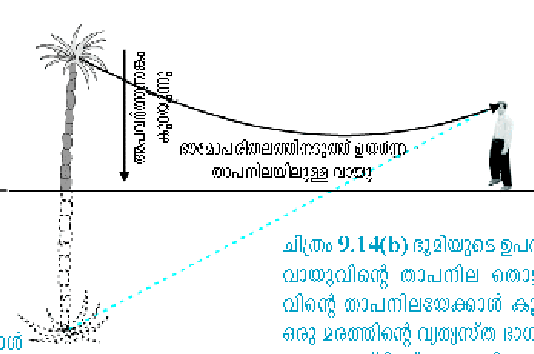
ഈ ലായനി ഒരു ടെസ്റ്റ്യൂബിൽ ഒഴിച്ച് പ്രദർശനം ആവർത്തിക്കുക. ചിത്രം 9.13(c) കാണിച്ചിരിക്കുന്നതു പോലെ ടെസ്റ്റ്യൂബിന്റെ വശങ്ങളിൽ തട്ടി പ്രകാശം പൂർണാന്തര പ്രതിപതനത്തിന് വിധേയമാകുന്ന രീതിയിൽ ടോർച്ച് ക്രമീകരിക്കുക. ഇതുപോലെയാണ് ഓപ്റ്റിക് ഫൈബറുകളിൽ (optic fibre) പ്രകാശം പൂർണാന്തര പ്രതിപതനത്തിന് വിധേയമാകുന്നത്.

### 9.4.1 പ്രകൃതിയിലെ പൂർണാന്തര പ്രതിപതനവും അതിന്റെ പ്രായോഗിക ഉപയോഗവും (Total internal reflection and its technological application)

(i) **മരീചിക *(mirage)*:** വേനൽക്കാലദിനങ്ങളിൽ ഭൂമിയുടെ ഉപരിതലത്തിനോട് അടുത്തുള്ള വായുവിന്റെ താപനില ഉയരെയുള്ള വായുവിന്റെ താപനിലയേക്കാൾ കൂടുതലായിരിക്കും. താപനില കൂടുതലുള്ള വായുപാളിയുടെ പ്രകാശ സാന്ദ്രത കുറവായിരിക്കും. അന്തരീക്ഷ വായു നിശ്ചലാവസ്ഥയിലാണെങ്കിൽ ഉയരം കൂടുന്തോറും വായു പാളികളുടെ പ്രകാശ സാന്ദ്രതയും കൂടും. അതായത് മുകളിൽ നിന്ന് താഴേയ്ക്ക് വരുമ്പോൾ വായു പാളികളുടെ അപവർത്തനാങ്കം കുറഞ്ഞു വരുന്നു. ഇക്കാരണത്താൽ ഉയരമുള്ള ഒരു വസ്തുവിന്റെ (ഉദാ: വൃക്ഷം) വ്യത്യസ്ത ഭാഗങ്ങളിൽ നിന്നും ഭൂമിയുടെ ഉപരിതലത്തിലേക്ക് വരുന്ന പ്രകാശ രശ്മികൾ അപവർത്തനാങ്കം ക്രമമായി കുറഞ്ഞു വരുന്ന മാധ്യമത്തിൽ കൂടി കടക്കുകയും ഈ രശ്മികൾക്ക് ക്രമമായി അപവർത്തനം സംഭവിക്കുകുയം അവസാനം പൂർണ്ണാന്തര പ്രതിപതനത്തിന് വിധേയമാകുകയും ചെയ്യുന്നു. വളരെ ദൂരെ നിന്ന് ഈ മരത്തെ വീക്ഷിക്കുന്ന ഒരാൾക്ക്, അതിൽ നിന്നും വരുന്ന പ്രകാശ രശ്മികൾ ഭൂമിയുടെ ഉപരിതലത്തിന് താഴെനിന്ന് വരുന്നതായി കാണപ്പെടുന്നു. സ്വാഭാവികമായും, ചിത്രം 9.14 (b) യിൽ കാണുന്നുതു പോലെ, ഭൂമിയുടെ ഉപരിതലത്തിലുള്ള ജലാശയത്തിൽ നിന്ന് പ്രകാശരശ്മികൾ പ്രതിപതിക്കുന്നതായി നിരീക്ഷകൻ കരുതുന്നു. നിരീക്ഷകനിൽ ഈ മിഥ്യാധാരണ ഉണ്ടാക്കുന്ന കാഴ്ചയെയാണ് മരീചിക എന്നു വിളിക്കുന്നത്.

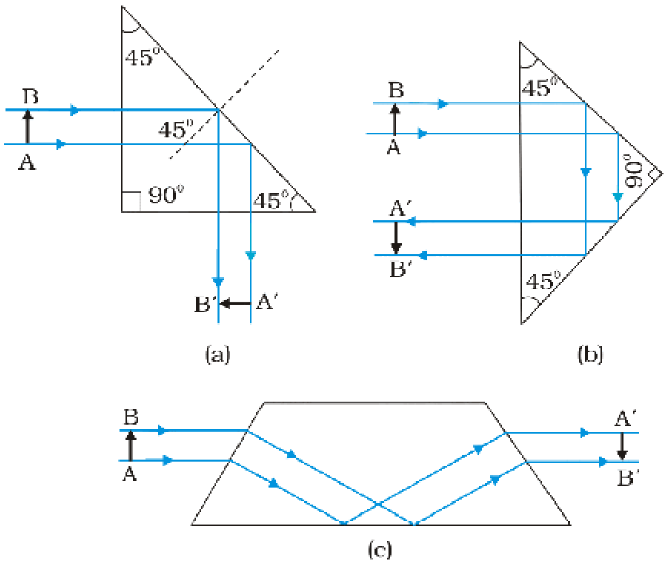



ചിത്രം 9.14(a) ഭൂമിയുടെ ഉപരിതലത്തിനോടടുത്തുള്ള അന്തരീക്ഷത്തിലെ വായുപാളികൾ ഒരേ താപനിലയിലിരിക്കുമ്പോൾ നിരീക്ഷകൻ ഒരു മരത്തെ വീക്ഷിക്കുന്നത്.



ചിത്രം 9.14(b) ഭൂമിയുടെ ഉപരിതലത്തിനോടടുത്തുള്ള വായുവിന്റെ താപനില തൊട്ടു മുകളിലുള്ള വായുവിന്റെ താപനിലയേക്കാൾ കൂടുതലായിരിക്കുമ്പോൾ ഒരു മരത്തിന്റെ വ്യത്യസ്ത ഭാഗങ്ങളിൽ നിന്നും വരുന്ന പ്രകാശരശ്മിക്ക് ക്രമമായി അപവർത്തനം സംഭവിക്കുകയും, അവസാനം പൂർണാന്തര പ്രതിപതനത്തിന് വിധേയമാവുകയും ചെയ്യുന്നു.

വേനൽക്കാലത്ത് ടാറിട്ട റോഡുകളിൽ, വളരെ ദൂരത്തുള്ള സ്ഥാനങ്ങളിൽ വെള്ളക്കെട്ടുള്ളതായി തോന്നുന്നു. എന്നാൽ ഈ സ്ഥാനങ്ങളിൽ എത്തിച്ചേരുമ്പോൾ, ഈ നനവ് ഒരു മിഥ്യാധാരണയായിരുന്നു എന്ന് ബോധ്യപ്പെടുന്നു. സാധാരണ ദിവസങ്ങളിൽ, അന്തരീക്ഷത്തിലെ വായുപാളികൾ സമാന താപനിലയിലിരിക്കുന്നതുകൊണ്ട്, പ്രകാശ രശ്മികൾക്ക് അപവർത്തനം സംഭവിക്കുന്നില്ല. ഈ സമയങ്ങളിൽ നിരീക്ഷകൻ ഒരു മരത്തെ കാണുന്നത് ചിത്രം 9.14 (a)യിൽ കാണുന്നതു പോലെയാണ്.



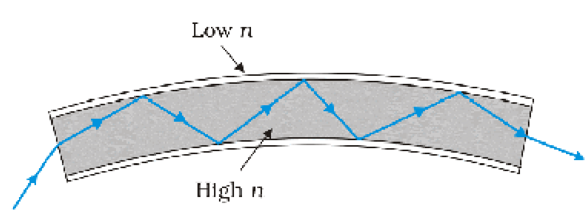

ചിത്രം 9.15(a) പൂർണാന്തര പ്രതിപതനത്തിലൂടെ പ്രകാശരശ്മികളെ 90° തിരിക്കുവാൻ സാധിക്കുന്ന പ്രിസം. ചിത്രം 9.15(b) പൂർണാന്തര പ്രതിപതനത്തിലൂടെ പ്രകാശരശ്മികളെ 180° തിരിക്കുവാൻ സാധിക്കുന്ന പ്രിസം ചിത്രം 9.15(c) പൂർണാന്തര പ്രതിപതനത്തിലൂടെ വസ്തുവിന്റെ അതേ ആകാരത്തിലും, വലുപ്പത്തിലും തലകീഴായ പ്രതിബിംബങ്ങൾ രൂപപ്പെടുത്തുവാൻ സാധിക്കുന്ന പ്രിസം

**(ii) വജ്രം *(diamond)*:** വജ്രത്തിന്റെ പ്രാധാന്യം അതിന്റെ തിളക്കത്തിൽ ആണ്. ഈ തിളക്കത്തിനുള്ള കാരണം പൂർണാന്തര പ്രതിപതനമാണ്. വജ്രത്തിന്റെ ക്രാന്തിക കോണളവ് (critical angle) (≅ 24.4°) വളരെ ചെറുതാണ്. അതുകൊണ്ടു തന്നെ വജ്രത്തിന്റെ ഉൾഭാഗത്ത് പ്രവേശിക്കുന്ന പ്രകാശത്തിന് പൂർണാന്തര പ്രതിപതനം (total internal reflection) സംഭവിക്കാനുള്ള സാധ്യത വളരെ കൂടുതലാണ്. പ്രകൃതിയിൽ കാണുന്ന വജ്രം തിളങ്ങാനുള്ള സാധ്യത വളരെ കുറവാണ്. വജ്രം രൂപകൽപന ചെയ്യുന്ന ആളുടെ (diamond cutter) സാങ്കേതിക കഴിവാണ്, ഇതിനെ വളരെ ശോഭയോടെ തിളങ്ങാൻ സഹായിക്കുന്നത്. വജ്രത്തെ അനുയോജ്യമായ രീതിയിൽ ചെത്തിമിനുക്കി അനേകം പൂർണാന്തര പ്രതിപതനത്തിന് വിധേയമാക്കാവുന്നതാണ്.

**(iii) പ്രിസം *(prism)*:** ചിത്രം 9.15(a), 9.15(b) എന്നിവയിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ പൂർണാന്തര പ്രതിപതനത്തിലൂടെ പ്രകാശരശ്മികളെ 90° അല്ലെങ്കിൽ 180° വളയ്ക്കുവാൻ സാധിക്കുന്ന പ്രിസങ്ങൾ രൂപകൽപന ചെയ്തിട്ടുണ്ട്. ഇങ്ങനെയുള്ള പ്രിസങ്ങൾ ചിത്രം 9.15 (c) ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതു പോലെ വസ്തുവിന്റെ അതേ ആകാരത്തിലും, വലുപ്പത്തിലും തലകീഴായ പ്രതിബിംബങ്ങൾ രൂപപ്പെടുത്തുവാൻ ഉപയോഗിക്കുന്നു. ഈ പ്രിസങ്ങൾ ഏതുതരം ഗ്ലാസ്സ് കൊണ്ട് രൂപപ്പെടുത്തിയതായാലും ക്രാന്തിക കോൺ അളവ് (critical angle) 45° ആയിരിക്കണം.

**(iv) പ്രാകാശിക തന്തുക്കൾ *(optic fibres)*:** ശബ്ദസിഗ്നലുകളെയും (audio signals) വീഡിയോ സിഗ്നലുകളെയും (video signals) സംപ്രേഷണം ചെയ്യുവാൻ പ്രാകാശികതന്തുക്കൾ (optical fibres) ആണ് ഇപ്പോൾ സാധാരണയായി ഉപയോഗിക്കുന്നത്. ഈ തന്തുക്കളിലും പൂർണ്ണാന്തര പ്രതിപതനം ആണ് ഉപയോഗപ്പെടുത്തുന്നത്. ഗുണമേന്മ കൂടിയ ക്വാർട്സ് കൊണ്ടോ സ്ഫടിക തന്തുക്കൾ കൊണ്ടോ ആണ് പ്രാകാശിക തന്തുക്കൾ നിർമ്മിച്ചിരിക്കുന്നത്. ഒരു കോറും അതിനെ പൊതിഞ്ഞ് ഒരു ആവരണവും (cladding) ഉൾപ്പെടുന്നതാണ് ഒരു പ്രകാശിക തന്തു.

ചിത്രം 9.16 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ പ്രകാശ സിഗ്നലുകൾ, ഒരു അഗ്രത്തിലൂടെ, അനുയോജ്യമായ കോണിൽ ഉൾക്കാമ്പിൽ പ്രവേശിക്കുമ്പോൾ അത് തുടർച്ചയായ പൂർണ്ണാന്തര പ്രതിപതനത്തിന് വിധേയമായി അടുത്ത അഗ്രത്തിലൂടെ പുറത്തു വരുന്നു.




ചിത്രം 9.16 പ്രാകാശികതന്തുക്കളിലൂടെ പ്രകാശം തുടർച്ചയായ പൂർണ്ണാന്തര പ്രതിപതനത്തിന് വിധേയമായി സഞ്ചരിക്കുന്നു.

എല്ലാ വശത്തുനിന്നും പ്രകാശത്തിന് പൂർണ്ണാന്തര പ്രതിപതനം സംഭവിക്കുന്നതു കൊണ്ട്, ഒട്ടും പ്രകാശ ത്രീവ്രത കുറയുന്നില്ല. പ്രകാശികതന്തുവിന്റെ കോറിൽ ഒരു വശത്തുനിന്നും പ്രതിപതിക്കുന്ന പ്രകാശ സിഗ്നൽ എതിർ വശത്ത് ക്രാന്തിക കോണിന്റെ

അളവിനേക്കാൾ ഉയർന്ന കോണളവിലാണ് പതിക്കുന്നത്. അതുകൊണ്ട് തന്തുക്കൾ എത്ര വളച്ചാലും പ്രകാശസിഗ്നലുകൾ വശങ്ങളിലൂടെ പുറത്തുവരുന്നില്ല. തന്മൂലം പ്രകാശികതന്തുക്കളെ പ്രകാശികപൈപ്പുകളായി (light pipe) ഉപയോഗിക്കാം. പ്രകാശസിഗ്നലുകളെ സംപ്രേഷണം ചെയ്യുവാനും സ്വീകരിക്കുവാനും പ്രകാശികതന്തുക്കൾ പ്രധാനമായും ഉപയോഗിക്കുന്നു. പ്രകാശികതന്തുക്കളിലൂടെ കടത്തി വിടേണ്ട സിഗ്നലുകളെ വൈദ്യുത സിഗ്നലുകളാക്കി മാറ്റുന്നത് ട്രാൻസ്ഡ്യൂസറുകൾ (transducers) ഉപയോഗിച്ചാണ്. ജീവികളുടെ ആന്തരിക അവയവങ്ങൾ പരിശോധിക്കുന്നതിന് പ്രാകാശികതന്തുക്കൾ ഉപയോഗിക്കാറുണ്ട്.

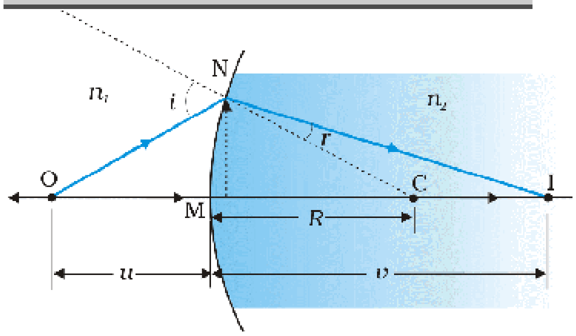
വീടുകളും മറ്റും അലങ്കരിക്കുവാൻ ഉപയോഗിക്കുന്ന ലാമ്പുകളിലും പ്രാകാശികതന്തുക്കൾ ഉപയോഗിക്കുന്നു. ഇങ്ങനെയുള്ള ലാമ്പുകളിലെ ബൾബുകളുടെ സമീപം അനേകം പ്ലാസ്റ്റിക് നിർമ്മിതതന്തുക്കളുടെ ഒരറ്റം ഉറപ്പിച്ചിരിക്കുന്നു. അടുത്ത അറ്റം പുറത്തേക്ക് വിടർന്നുനിൽക്കുന്നു. ബൾബ് പ്രകാശിപ്പിക്കുമ്പോൾ, പ്രകാശം, പ്ലാസ്റ്റിക് തന്തുക്കളുടെ ഒരു അറ്റത്തിലൂടെ കടന്ന്, അടുത്ത അറ്റങ്ങളിൽ ഒരു പ്രകാശബിന്ദുവായി കാണപ്പെടുന്നു. പ്രകാശികതന്തുക്കൾ നിർമ്മിക്കാൻ ഉപയോഗിക്കുന്ന വസ്തുക്കൾക്ക് അത്യാവശ്യം ഉണ്ടായിരിക്കേണ്ട ഗുണം, അത് പ്രകാശത്തെ ഒട്ടും ആഗീരണം ചെയ്യരുത് എന്നതാണ്. സ്ഫടികം പോലെയുള്ള വസ്തുക്കളെ ശുദ്ധീകരിച്ചാണ് ഇത് സാധ്യമാക്കുന്നത്. ഉദാഹരണത്തിന് സിലിക്കഗ്ലാസ് തന്തുക്കൾക്ക് 95% പ്രകാശത്തേയും 1 km ദൂരത്തേക്ക് പ്രക്ഷേപണം ചെയ്യുവാൻ കഴിയും.

## 9.5 ഗോളീയ പ്രതലങ്ങളിലും, ഗോളീയ ലെൻസുകളിലും ഉള്ള അപവർത്തനം (Refraction Through Spherical Surfaces and Lenses)

സമതല സമ്പർക്കമുഖത്തിലൂടെയുള്ള അപവർത്തനമാണ് നമ്മൾ പഠിച്ചുകഴിഞ്ഞത്. ഗോളിയ സമ്പർക്കതലങ്ങളിലൂടെയുള്ള അപവർത്തനമാണ് ഇനി നാം വിശകലനം ചെയ്യാൻ പോകുന്നത്. ഗോളീയ പ്രതലത്തിന്റെ വളരെ ചെറിയ (infinitesimal) ഒരു ഭാഗത്തെ പരന്ന പ്രതലമായി കണക്കാക്കാവുന്നതാണ്. ഈ അതിലഘുഭാഗത്തിലെ ഓരോ ബിന്ദുവും എല്ലാ പ്രതിപതനനിയമങ്ങളും അനുസരിക്കുന്നു. ഗോളീയ പ്രതലത്തിലെ ഓരോ ബിന്ദുവിൽ നിന്നും വരയ്ക്കുന്ന ലംബം, ആ ബിന്ദുവിന്റെ തൊടുവരയ്ക്ക് ലംബമായിരിക്കും. ഈ ലംബം ഗോളകേന്ദ്രത്തിലൂടെ കടന്നുപോകുന്നു. ഈ അധ്യായത്തിൽ ആദ്യം നാം പഠിക്കുവാൻ പോകുന്നത് ഗോളിയ പ്രതലത്തിലൂടെയുള്ള അപവർത്തനമാണ്, അതിനുശേഷം കനംകുറഞ്ഞ ലെൻസിലൂടെയുള്ള അപവർത്തനവും പഠിക്കുന്നു. രണ്ടു ഗോളിയ പ്രതലങ്ങളാൽ ചുറ്റപ്പെട്ട ഒരു സുതാര്യ പ്രകാശിക മാധ്യമത്തെയാണ് ലെൻസ് (lens) എന്നു വിളിക്കുന്നത്. ആദ്യമായി ഒരു ഗോളിയ പ്രതലത്തിലുണ്ടാകുന്ന പ്രതിബിംബവുമായി ബന്ധപ്പെട്ട സമവാക്യം രൂപീകരിക്കാൻ പഠിക്കുന്നു. അതിനുശേഷം ഒരു ലെൻസിന്റെ രണ്ട് ഗോളീയ പ്രതലങ്ങൾ മൂലം ഉണ്ടാകുന്ന പ്രതിബിംബവുമായി ബന്ധപ്പെട്ട സമവാക്യം രൂപികരിക്കുന്നു. ഈ പാഠം നമ്മളെ ലെൻസ് നിർമാണ (lens maker) സമവാക്യത്തിലേക്കെത്തിക്കുന്നു.

### 9.5.1 ഗോളീയ പ്രതലത്തിലുള്ള അപവർത്തനം (Refraction at a spherical surface)

C-വക്രതാകേന്ദ്രവും, R-വക്രതാആരവുമുള്ള ഒരു ഗോളീയ ദർപ്പണത്തിന്റെ മുഖ്യ അക്ഷത്തിൽ വെച്ചിരിക്കുന്ന O എന്ന വസ്തുവിന്റെ I എന്ന പ്രതിബിംബം രൂപ




ചിത്രം 9.17 രണ്ടു മാധ്യമങ്ങൾ വേർതിരിക്കുന്ന ഒരു ഗോളീയ പ്രതലത്തിലെ അപവർത്തനം

പ്പെട്ടിരിക്കുന്നതാണ് ചിത്രം 9.17 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നത്. $n_1$ അപവർത്തനാങ്കമുള്ള മാധ്യമത്തിൽ നിന്നും $n_2$ അപവർത്തനാങ്കമുള്ള മാധ്യമത്തിലേക്കാണ് പ്രകാശ രശ്മി സഞ്ചരിക്കുന്നത്. പ്രകാശം കടന്നുപോകുന്ന പ്രതലത്തിന്റെ വിസ്തൃതി (aperture) വളരെ കുറവായതുകൊണ്ട്, കോണളവുകളിൽ ചെറിയ ഏകദേശനങ്ങൾ (approximation) ഉപയോഗിക്കാൻ കഴിയും. പ്രധാനമായും MN ദൂരത്തെ മുഖ്യ അക്ഷത്തിൽ നിന്നും N-ലേക്കുള്ള ഉയരമായി കണക്കാക്കുന്നു. ചെറിയ കോണളവുകളുടെ കാര്യത്തിൽ

$$\tan \angle NOM = \frac{MN}{OM}, \tan \angle NCM = \frac{MN}{MC}, \tan \angle NIM = \frac{MN}{MI}$$ എന്നിങ്ങനെ കണക്കാക്കുന്നു.

## പ്രകാശസ്രോതസ്സും പ്രകാശമാപനവും (Light Sources and Photometry)

*കേവല പൂജ്യത്തിൽ കൂടുതൽ താപനിലയുള്ള ഒരു വസ്തു വൈദ്യുത കാന്തിക വികിരണങ്ങളെ ഉൽസർജിക്കുന്നു എന്ന് അറിവുള്ളതാണ്. വസ്തുവിന്റെ അബ്സൊല്യൂട്ട് താപനിലയെ ആശ്രയിച്ചാണ് തരംഗങ്ങളുടെ തരംഗദൈർഘ്യത്തിന്റെ മേഖല (region). ഉദാഹരണത്തിന് ഒരു ബൾബിലെ 2850K താപനിലയിലുള്ള ടങ്സ്റ്റൺ ഫിലിമെന്റ് ഉൽസർജിക്കുന്ന വികിരണങ്ങളിൽ ഭൂരിഭാഗവും അദൃശ്യവും ഇൻഫ്രാറെഡ് (infrared) മേഖലയിലുമാണ്. വസ്തുവിന്റെ താപനില കൂടുന്നതിനനുസരിച്ച്, വികിരണങ്ങൾ ദൃശ്യമേഖലയിൽ വരുന്നു. ഉപരിതലം 5500K താപനിലയിലുള്ള സൂര്യനിൽ നിന്നും ഉൽസർജിക്കുന്ന വികിരണങ്ങളുടെ ഊർജവും തരംഗദൈർഘ്യവും ഒരു ഗ്രാഫിൽ രേഖപ്പെടുത്തിയാൽ, ആ ഗ്രാഫിന്റെ ഉച്ച സ്ഥാനം പച്ച വർണ്ണത്തിന്റെ തരംഗ ദൈർഘ്യമായ 550നാനോ മീറ്ററിലാണ്. ഇത് ദൃശ്യമേഖലയുടെ മധ്യഭാഗമാണ്. ഏതൊരു വസ്തുവിൽ നിന്നുള്ള വികിരണത്തിന്റെ ഊർജവും, തരംഗദൈർഘ്യവും തമ്മിലുള്ള ഗ്രാഫ് അടയാളപ്പെടുത്തിയാലും, ഒരു പ്രത്യേക തരംഗദൈർഘ്യത്തിൽ ഗ്രാഫ് ഏറ്റവും ഉയർന്ന സ്ഥലത്താണെന്ന് കാണാം. ഗ്രാഫിലെ ഉയർച്ചയ്ക്ക് അനുരൂപമായ തരംഗദൈർഘ്യം വസ്തുവിന്റെ കേവല താപനിലയ്ക്ക് വിപരീത അനുപാതത്തിൽ ആണ്.*

*മനുഷ്യനേത്രങ്ങൾ ഗ്രഹിക്കുന്നതുപോലെ തന്നെ പ്രകാശത്തെ അളക്കുന്നതിനെയാണ് പ്രകാശമാപനം എന്നു പറയുന്നത്. പ്രകാശമാപനത്തിൽ അളവ് ശരീരശാസ്ത്രപരമായ ഒരു പ്രക്രിയ ആണ്. നേത്രത്തിനുള്ളിൽ പ്രവേശിക്കുന്ന പ്രകാശം ഉണ്ടാക്കുന്ന സിഗ്നലുകൾ പ്രകാശമാപനത്തിലെ പ്രധാന അളവുകൾ (i) സ്രോതസ്സിന്റെ ലൂമിനസ് തീവ്രത (luminous intensity of the source) (ii) ലൂമിനസ് ഫ്ളക്സ് അഥവാ സ്രോതസ്സിൽ നിന്നുള്ള പ്രകാശത്തിന്റെ പ്രവാഹം, പ്രതല ഇലൂമിനൻസ് (illuminance of the surface) എന്നിവയാണ്.*

*ലൂമിനസ് തീവ്രതയുടെ S.I യൂണിറ്റ് കാൻഡല (candela cd) ആണ്. ഒരു പ്രകാശസ്രോതസ്, $540 \times 10^{12}$ Hz ആവൃത്തിയും 1/683 വാട്ട് പ്രതിസ്റ്റെറിഡിയൻ (watt per steridian) വികിരണ തീവ്രതയും ഉള്ള ഏകവർണ്ണ വികിരണങ്ങൾ, നിശ്ചിത ദിശയിൽ ഉൽസർജിക്കുകയാണെങ്കിൽ ആ സ്രോതസിന്റെ ലൂമിനസ് തീവ്രത ഒരു കാൻഡല ആണ്. ഒരു സ്റ്റെറിഡിയൻ (steridian) ഘനകോണിൽ, ഒരു പ്രകാശസ്രോതസ്, ഒരു കാൻഡല ലൂമിനസ് തീവ്രത ഉൽസർജിക്കുന്നു എങ്കിൽ ആ ഘനകോണിൽ ഉൽസർജിച്ചിരിക്കുന്ന ലൂമിനസ് ഫ്ളക്സ് ഒരു ലൂമൻ (luman-lm ).*

*ഒരു സാധാരണ 100W ഇൻകാൻഡസെന്റ് (incandescent) ബൾബ് 1700 ലൂമൻ ലൂമിനസ് ഫ്ളക്സ് ഉൽസർജിക്കുന്നു. പ്രകാശമാപനത്തിൽ ഇലൂമിനൻസ് മാത്രമാണ് പ്രത്യക്ഷത്തിൽ അളക്കാവുന്നത്. ഒരു പ്രതലത്തിലെ യൂണിറ്റ് പരപ്പളവിൽ പതിക്കുന്ന ലൂമിനസ് ഫ്ളക്സിനെയാണ് ഇലൂമിനൻസ് ($lm/m^2$ or lux) എന്ന് നിർവചിച്ചിരിക്കുന്നത്. മിക്ക പ്രകാശമീറ്ററുകളും സാധാരണയായി ഇലൂമിനൻസ് ആണ് അളക്കുന്നത്. I-ലൂമനസ് തീവ്രതയുള്ള ഒരു സ്രോതസ് ഉൽസർജിക്കുന്ന ഇലൂമിനൻസ് $E = I/r^2$ ആണ്. ഇവിടെ r എന്നത് പ്രതലവും സ്രോതസ്സും തമ്മിലുള്ള ദൂരമാണ്. പരന്ന ഒരു പ്രതിപതന പ്രതലത്തിന്റെ പ്രകാശതീവ്രത (brightness) അളക്കുന്നതിന് ഉപയോഗിക്കുന്ന അളവാണ് ലൂമിനൻസ് (luminance-L). ഇതിന്റെ യൂണിറ്റ് $cd/m^2$ ആണ്. (വ്യാവസായികമായി 'nit' എന്ന യൂണിറ്റും ഉപയോഗിക്കാറുണ്ട്). ഒരു LCD കമ്പ്യൂട്ടർ മോണിറ്ററിന്റെ പ്രഭ ഏകദേശം 25 nits ആണ്.*

$\Delta$NOC, യിൽ $i$ ബാഹ്യകോൺ (exterior angle) ആണ്. അതുകൊണ്ട്

$$i = \angle NOM + \angle NCM$$

$$i = \frac{MN}{OM} + \frac{MN}{MC} \qquad (9.13)$$

അതുപോലെ, $r = \angle NCM - \angle NIM$

$$r = \frac{MN}{MC} - \frac{MN}{MI} \qquad (9.14)$$

സ്നെൽ നിയമം ഉപയോഗിക്കുമ്പോൾ

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r$$

വളരെ ചെറിയ കോണുകൾക്ക് $\sin i = i$, $\sin r = r$

$$n_1 i = n_2 r$$

സമവാക്യം 9.13, 9.14 എന്നിവയിൽ നിന്നും i-യുടെയും r-ന്റെയും വിലകൾ ഉപയോഗിക്കുമ്പോൾ

$$\frac{n_1}{OM} + \frac{n_2}{MI} = \frac{n_2 - n_1}{MC} \qquad (9.15)$$

ഇവിടെ OM,MI,MC എന്നിവ പ്രതിബിംബ രൂപീകരണവുമായി ബന്ധപ്പെട്ട ദൂരങ്ങളുടെ അളവുകൾ ആണ്. കാർട്ടിഷ്യൻ ചിഹ്ന രീതി ഉപയോഗിക്കുമ്പോൾ

$OM = -u$, $MI = +v$, $MC = +R$ എന്ന് കിട്ടുന്നു.

ഈ വിലകൾ സമവാക്യം 9.15 ൽ ഉപയോഗിക്കുമ്പോൾ

$$\frac{n_2}{v} - \frac{n_1}{u} = \frac{n_2 - n_1}{R} \qquad (9.16)$$ ലഭിക്കുന്നു.

9.16 ലെ സമവാക്യം പ്രതിബിംബത്തിന്റെ ദൂരം, വസ്തുവിന്റെ ദൂരം, മാദ്ധ്യമങ്ങളുടെ അപവർത്തനാങ്കങ്ങൾ, വക്രതാആരം എന്നിവ തമ്മിലുള്ള ബന്ധത്തെ കാണിക്കുന്നു. ഏതു തരത്തിലുള്ള വക്രതലത്തിലും ഈ സമവാക്യം ഉപയോഗിക്കാവുന്നതാണ്.

***ഉദാഹരണം 9.6:*** *വായുവിൽവെച്ചിരിക്കുന്ന, 1.5 അപവർത്തനാങ്കവും, 20 cm വക്രതാ ആരവുമുള്ള ഒരു ഗോളീയ ഗ്ലാസ് പ്രതലത്തിൽ, 100 cm ദൂരത്തിൽ വെച്ചിരിക്കുന്ന ഒരു പോയിന്റ് സ്രോതസിൽ നിന്നും പ്രകാശം പതിക്കുന്നു. വസ്തുവിന്റെ പ്രതിബിംബം എവിടെയായിരിക്കും രൂപപ്പെടുന്നത്?*

***ഉത്തരം:***

$u = \;\; 100$ cm, $v = ?$, $R = +20$ cm, $n_1 = 1$, and $n_2 = 1.5$.

$$\frac{1.5}{v} + \frac{1}{100} = \frac{0.5}{20}$$

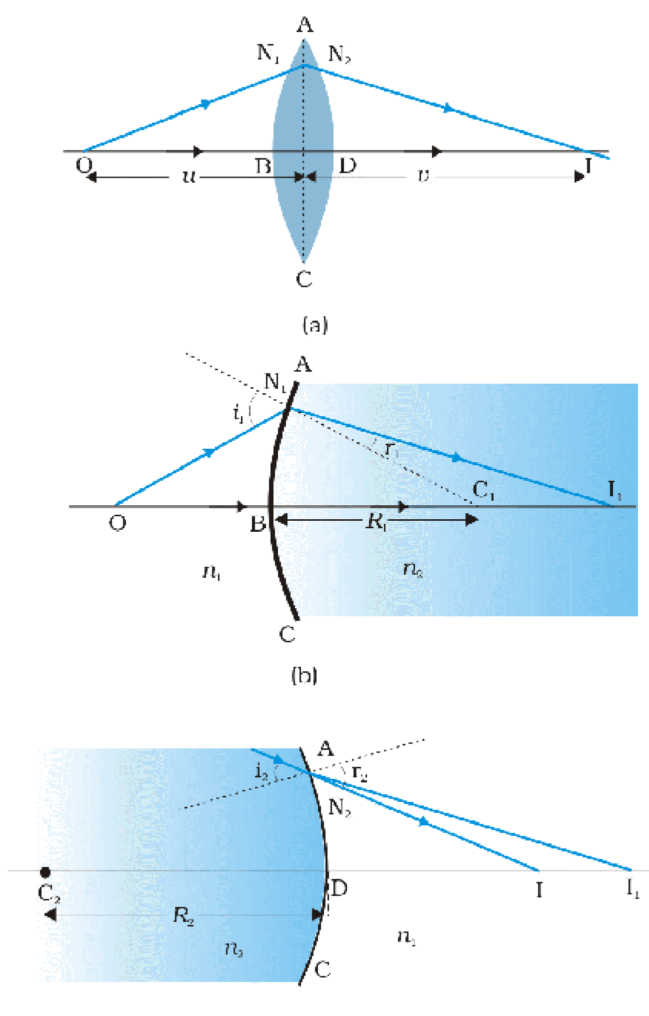
$v = +100$ cm

*ഗ്ലാസിന്റെ തലത്തിൽ നിന്നും, പതനരശ്മിയുടെ ദിശയിൽ 100 cm ദൂരത്താണ് പ്രതിബിംബം രൂപപ്പെടുന്നത്.*

ഉദാഹരണം 9.6

### 9.5.2 ലെൻസിലൂടെയുള്ള അപവർത്തനം (Refraction by a lens)

ഒരു ലെൻസ് എങ്ങനെയാണ് പ്രതിബിംബം രൂപീകരിക്കുന്നതെന്ന് ചിത്രം 9.18(a) യിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. പ്രതിബിംബത്തിന്റെ രൂപപ്പെടലിനെ രണ്ടു ഘട്ടങ്ങളായി കണക്കാക്കാം. ഒന്നാമത്തെ ഘട്ടത്തിൽ ചിത്രം 9.18(b)] യിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതു പോലെ O എന്ന വസ്തുവിന്റെ പ്രതിബിംബം ABC എന്ന അപവർത്തനപ്രതലത്താൽ $I_1$ -ൽ രൂപപ്പെടുന്നു. ഈ പ്രതിബിംബം, രണ്ടാമത്തെ ADC എന്ന അപവർത്തനപ്രതലത്തിന് മിഥ്യാ വസ്തുവായി പ്രവർത്തിച്ച് ചിത്രം 9.18(c) യിൽ കാണുന്നതുപോലെ I -ൽ അവസാന പ്രതിബിംബം രൂപപ്പെടുന്നു. സമവാക്യം 9.15 ABC എന്ന സമ്പർക്കതലത്തിൽ ഉപയോഗിക്കുമ്പോൾ




ചിത്രം 9.18 (a) ഒരു വസ്തുവിന്റെ സ്ഥാനവും, ഉത്തലലെൻസ് രൂപീകരിച്ച അതിന്റെ പ്രതിബിംബത്തിന്റെ സ്ഥാനവും, (b) O എന്ന വസ്തുവിൽ നിന്നുള്ള പ്രകാശത്തിന് ആദ്യത്തെ ഗോളീയ പ്രതലം മൂലമുള്ള അപവർത്തനം (c) O എന്ന വസ്തുവിൽ നിന്നുള്ള പ്രകാശത്തിന് രണ്ടാമത്തെ ഗോളീയ പ്രതലംമൂലമുള്ള അപവർത്തനം

$$\frac{n_1}{OB}+\frac{n_2}{BI_1}=\frac{n_2-n_1}{BC_1} \quad (9.17)$$ എന്നു ലഭിക്കുന്നു.

സമവാക്യം 9.15, ADC എന്ന സമ്പർക്കതലത്തിൽ ഉപയോഗിക്കുമ്പോൾ

$$-\frac{n_2}{DI_1}+\frac{n_1}{DI}=\frac{n_2-n_1}{DC_2} \quad (9.18)$$ എന്ന് ലഭിക്കുന്നു.

കനംകുറഞ്ഞ ലെൻസിനെ സംബന്ധിച്ചിടത്തോളം $BI_1=DI_1$. സമവാക്യം 9.17, (9.18), എന്നിവ കൂട്ടുമ്പോൾ

$$\frac{n_1}{OB}+\frac{n_1}{DI}=(n_2-n_1)\left(\frac{1}{BC_1}+\frac{1}{DC_2}\right) \qquad (9.19)$$

എന്നു കിട്ടുന്നു.

വസ്തു അനന്തതയിലും (infinity) $DI = f$, ഉം ആണെങ്കിൽ സമവാക്യം 9.19

$$\frac{n_1}{f}=(n_2-n_1)\left(\frac{1}{BC_1}+\frac{1}{DC_2}\right) \quad (9.20)$$ എന്നാകുന്നു. അനന്തതയിൽ വച്ചിരിക്കുന്ന വസ്തുവിന്റെ പ്രതിബിംബം രൂപപ്പെടുന്ന മുഖ്യഅക്ഷത്തിലെ ബിന്ദുവിനെ ലെൻസിന്റെ ഫോക്കസ് *(focus)* (F) എന്നു വിളിക്കുന്നു. പ്രകാശിക കേന്ദ്രത്തിൽ നിന്നും ഫോക്കസിലേക്കുള്ള ദൂരമാണ് ഫോക്കസ് ദൂരം *(focal length)* (f). ഒരു ലെൻസിന്, ചിത്രം 9.19 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതു പോലെ ലെൻസിനിരുവശത്തുമായി F, F′ എന്നിങ്ങനെ രണ്ടു ഫോക്കസുകൾ ഉണ്ട്. കാർട്ടീഷ്യൻ ചിഹ്നരീതി അനുസരിച്ച് $BC_1 = +R_1$, $DC_2 = -R_2$

* ADC യുടെ വലതു വശത്തുള്ള മാധ്യമത്തിന്റെ അപവർത്തന സ്ഥിരാങ്കം $n_1$ എന്നതും ഇടത്തേ വശത്ത് $n_2$ വുമാണ്. പതന പ്രകാശത്തിന്റെ ദിശയ്ക്ക് എതിരെയായി ദൂരം എടുക്കുന്നത് കൊണ്ട് $DI_1$ നെഗറ്റീവായി എടുക്കുന്നു.

എന്നിങ്ങനെയാണ്. അതുകൊണ്ട് സമവാക്യം 9.20 നെ

$\frac{1}{f}=(n_{21}-1)\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right)$ (9.21) എന്ന് മാറ്റി എഴുതാം. $\left(\because n_{21}=\frac{n_2}{n_1}\right)$

സമവാക്യം 9.21 ലെൻസ് രൂപീകരണ സമവാക്യം *(lens maker's formula)* എന്ന് അറിയപ്പെടുന്നു. കാരണം ഈ സമവാക്യം ഉപയോഗിച്ച്, അനുയോജ്യ മായ വക്രതാ ആരമുള്ള പ്രതലത്തിൽ നിന്നും, ആവശ്യമായ ഫോക്കസ് ദൂര മുള്ള ലെൻസുകൾ രൂപകൽപന ചെയ്യുവാൻ സാധിക്കും. കോൺകേവ് ലെൻസുക ളിലും ഈ സമവാക്യം ഉപയോഗപ്പെടുത്താവുന്നതാണ്. കോൺകേവ് ലെൻസിൽ $R_1$ നെഗറ്റീവും $R_2$ പോസിറ്റീവും ആയതുകൊണ്ട് $f$ നെഗറ്റീവായിരിക്കും.
സമവാക്യം 9.19, 9.20 എന്നിവയിൽ നിന്നും

$$\frac{n_1}{OB}+\frac{n_1}{DI}=\frac{n_1}{f}$$ (9.22) എന്ന് ലഭിക്കുന്നു.

കനംകുറഞ്ഞ ലെൻസിൽ B, D എന്നിവ ലെൻസിന്റെ പ്രകാശ കേന്ദ്രത്തോട് വളരെ അടുത്താണ്. ചിഹ്നരീതി ഉപയോഗിക്കുമ്പോൾ BO = $-u$, DI = $+v$ എന്ന് ലഭിക്കു ന്നു. അതുകൊണ്ട്, സമവാക്യം 9.22

$$\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$$ (9.23) എന്നാകുന്നു.

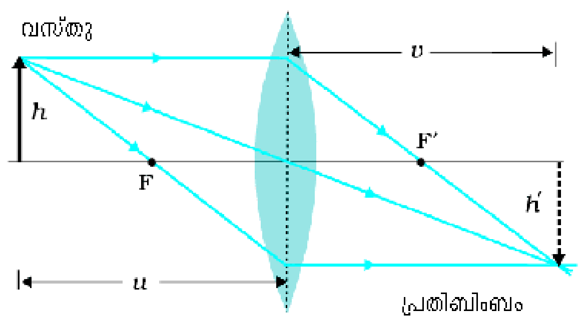
സമവാക്യം 9.23 നെയാണ് കട്ടികുറഞ്ഞ ലെൻസുകളുടെ സമവാക്യം *(thin lens formula)* എന്നു വിളിക്കുന്നത്. ഈ സമവാക്യം എല്ലാത്തരം ലെൻസുകൾക്കും, പ്രതിബിംബം യഥാർത്ഥമാണെങ്കിലും അല്ലെങ്കിലും ഉപയോഗിക്കാവുന്നതാണ്.

കോൺകേവ് ലെൻസിന്റെയും കോൺവെക്സ് ലെൻസിന്റെയും രണ്ടു ഫോക്കസു കളും, പ്രകാശിക കേന്ദ്രത്തിൽ നിന്നും തുല്യദൂരത്തിലാണ് സ്ഥിതി ചെയ്യുന്നത്. പ്രകാശ സ്രോതസ്സിന്റെ ഒരേ വശത്തുള്ള ഫോക്കസിനെ ആദ്യത്തെ ഫോക്കൽ ബിന്ദു *(first focal point)* എന്നും അടുത്തതിനെ രണ്ടാമത്തെ ഫോക്കൽ ബിന്ദു *(second focal point)* എന്നും വിളിക്കുന്നു.

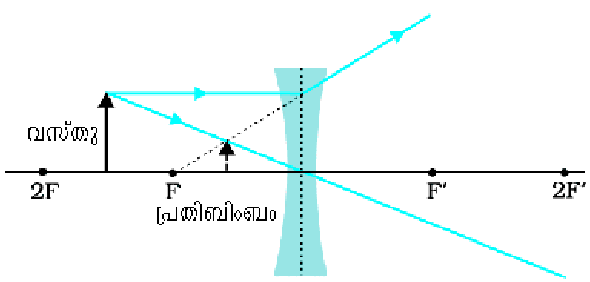
ലെൻസ് മൂലമുള്ള ഒരു വസ്തുവിന്റെ പ്രതിബിംബത്തിന്റെ സ്ഥാനം നിർണയിക്കു വാൻ, ആ വസ്തുവിൽ നിന്നും പുറപ്പെടുന്ന ഏതെങ്കിലും രണ്ട് പ്രകാശ രശ്മി കളെ പരിഗണിച്ചാൽ മതി. ഈ പ്രകാശ രശ്മികൾ, അപവർത്തന നിയമം അനു സരിച്ച് കൂടിച്ചേരുകയോ, കൂടിച്ചേരുന്നതായി തോന്നിക്കുകയോ ചെയ്യുന്ന സ്ഥാ നത്തായിരിക്കും പ്രതിബിംബം. താഴെപറയുന്ന രശ്മികളിൽ ഏതെങ്കിലും രണ്ടെണ്ണം തെരഞ്ഞെടുക്കുന്നത് സൗകര്യപ്രദമാണ്.

(i) മുഖ്യഅക്ഷത്തിന് സമാന്തരമായി വസ്തുവിൽ നിന്നും പുറപ്പെട്ട് കോൺവെ ക്സ് ലെൻസിൽ അപവർത്തനം സംഭവിച്ച്, രണ്ടാമത്തെ ഫോക്കസിലൂടെ കടന്നുപോകുന്ന പ്രകാശരശ്മി, അല്ലെങ്കിൽ മുഖ്യഅക്ഷത്തിന് സമാന്തരമായി വസ്തുവിൽ നിന്നും പുറപ്പെട്ട് കോൺകേവ് ലെൻസിൽ അപവർത്തനം സംഭ വിച്ച്, ആദ്യത്തെ ഫോക്കസ്സിൽ നിന്നും പുറപ്പെടുന്നതായി കാണപ്പെടുന്ന പ്രകാശരശ്മി.

(ii) വസ്തുവിൽ നിന്നും പുറപ്പെട്ട്, സഞ്ചാരപാതയ്ക്ക് വ്യതിയാനം ഇല്ലാതെ പ്രകാശികകേന്ദ്രത്തിലൂടെ കടന്നു പോകുന്ന രശ്മി.




(a)




(b)

ചിത്രം 9.19 (a) ഒരു കോൺവെക്സ് ലെൻസിലൂടെയുള്ള പ്രകാശരശ്മിയുടെ സഞ്ചാരപാത (b) ഒരു കോൺകേവ് ലെൻസിലൂടെയുള്ള പ്രകാശരശ്മിയുടെ സഞ്ചാരപാത

(iii) വസ്തുവിൽ നിന്നും പുറപ്പെട്ട്, ആദ്യത്തെ ഫോക്കസ്സിലൂടെ കടന്ന്, കോൺവെക്സ് ലെൻസിൽ പതിച്ച് മുഖ്യഅക്ഷത്തിന് സമാന്തരമായി കടന്നുപോകുന്ന പ്രകാശ രശ്മി, അല്ലെങ്കിൽ വസ്തുവിൽ നിന്നും പുറപ്പെടുകയും, എന്നാൽ ആദ്യത്തെ ഫോക്കസ്സിൽ നിന്നും പുറപ്പെടുന്നതായി കാണപ്പെടുകയും ചെയ്ത് കോൺകേവ് ലെൻസിൽ പതിച്ച് മുഖ്യഅക്ഷത്തിന് സമാന്തരമായി കടന്നുപോകുന്ന രശ്മി. ഒരു കോൺകേവ് ലെൻസിന്റെ കാര്യത്തിലും, ഒരു കോൺവെക്സ് ലെൻസിന്റെ കാര്യത്തിലും ഇത്തരം രശ്മികൾ ഉപയോഗിച്ചുള്ള പ്രതിബിംബ രൂപീകരണത്തിന്റെ ചിത്രങ്ങൾ 9.19(a), 9.19(b) എന്നിവയിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു.

ലെൻസിൽനിന്നും വ്യത്യസ്തദൂരങ്ങളിലുള്ള വസ്തുവിൽ നിന്ന് പുറപ്പെടുന്ന രശ്മിയുടെ രേഖാചിത്രം വരച്ച്, ലെൻസ് സമവാക്യത്തിന്റെ ആധികാരികത പരിശോധിക്കാവുന്നതാണ്. ഒരു വസ്തുവിന്റെ ഒരു ബിന്ദുവിൽനിന്നും അനേകം പ്രകാശരശ്മികൾ പുറപ്പെടുന്നുണ്ട്. ഇവയെല്ലാം അപവർത്തനത്തിനുശേഷം പ്രതിബിംബത്തിന്റെ സമാനമായ ബിന്ദുവിലൂടെ കടന്നുപോകുന്നു. ദർപ്പണത്തിലേതുപോലെ, ലെൻസിലും രേഖീയ ആവർധനം ($m$) എന്നത് പ്രതിബിംബത്തിന്റെ ഉയരവും, വസ്തുവിന്റെ ഉയരവും തമ്മിലുള്ള അംശബന്ധമാണ്.

$$m = \frac{h'}{h} = \frac{v}{u} \qquad (9.24)$$

ചിഹ്നരീതി ഈ സമവാക്യത്തിൽ ഉപയോഗിക്കുകയാണെങ്കിൽ, കോൺകേവ് ലെൻസിലോ, കോൺവെക്സ് ലെൻസിലോ, നിവർന്ന, മിഥ്യാ പ്രതിബിംബങ്ങളിൽ $m$ പോസിറ്റീവാണ്. എന്നാൽ കോൺവെക്സ് ലെൻസിൽ യഥാർത്ഥവും, തലകീഴായതുമായ പ്രതിബിംബങ്ങളിൽ $m$ നെഗറ്റീവാണ്.

ഉദാഹരണം 9.7

***ഉദാഹരണം 9.7:*** *ഒരു മാജിക്കിനിടയിൽ, മജീഷ്യൻ, $n = 1.47$ ഉള്ള ഒരു ഗ്ലാസ് ലെൻസ്, ബീക്കറിലെ ദ്രാവകത്തിൽ താഴ്ത്തി അപ്രത്യക്ഷമാക്കുന്നു?*

a) *ദ്രാവകത്തിന്റെ അപവർത്തനാങ്കം എത്ര?*

b) *ഈ ദ്രാവകം, ജലമാണോ?*

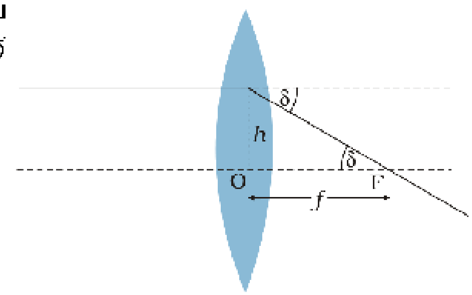
***ഉത്തരം:*** a) *ദ്രാവകത്തിന്റെ അപവർത്തനാങ്കം 1.47. അതായത് $n_1 = n_2$. അല്ലെങ്കിൽ $1/f = 0$ or $f \to \infty$. ദ്രാവകം ജലമല്ല, ഗ്ലിസറിനാണ്.*

## 9.5.3 ഒരു ലെൻസിന്റെ പവർ (Power of a lens)

ഒരു ലെൻസിന് പ്രകാശത്തെ സംവ്രജിപ്പിക്കാനോ വിവ്രജിപ്പിക്കാനോ ഉള്ള ശേഷിയാണ് പവർ. ചെറിയ ഫോക്കസ് ദൂരമുള്ള ലെൻസിൽ പ്രകാശരശ്മികൾ കൂടുതൽ വളയുന്നു. അതായത് കോൺവെക്സ് ലെൻസിൽ കൂടുതൽ സംവ്രജിക്കുകയും കോൺകേവ് ലെൻസിൽ കൂടുതൽ വിവ്രജിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. ചിത്രം 9.20 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ, മുഖ്യഅക്ഷത്തിന് സമാന്തരമായി സഞ്ചരിക്കുന്ന പ്രകാശരശ്മി, ലെൻസിന്റെ പ്രകാശിക കേന്ദ്രത്തിൽ നിന്നും യൂണിറ്റ്

അകലത്തിലുള്ള ഒരു ബിന്ദുവിൽ പതിച്ച് വ്യതിചലിക്കുമ്പോൾ രൂപപ്പെടുന്ന കോണളവിന്റെ ടാൻജന്റ് ($\tan\delta$) ആണ് പവർ (P) എന്ന് നിർവചിച്ചിരിക്കുന്നത്. ചിത്രം 9.20 ൽ

$$\tan\delta = \frac{h}{f};\ h = 1 \text{ ആണെങ്കിൽ } \tan\delta = \frac{1}{f}$$



ചിത്രം 9.20 ഒരു ലെൻസിന്റെ പവർ

തീരെ ചെറിയ കോണുകൾക്ക് $\tan\delta = \delta$ ആണ്. അതായത്

$$P = \frac{1}{f} \qquad (9.25)$$

പവറിന്റെ SI യൂണിറ്റ് ഡയോപ്റ്റർ (dioptre D) ആണ്1D = $1m^{-1}$ ആണ്. ഒരു മീറ്റർ ഫോക്കസ് ദൂരമുള്ള ലെൻസിന്റെ പവർ 1D ആണ്. കോൺവെക്സ് ലെൻസിന്റെ പവർ പോസിറ്റീവും, കോൺകേവ് ലെൻസിന്റെ പവർ നെഗറ്റീവും ആണ്.

ഒരു നേത്രവിദഗ്ധൻ (optician) നിർദ്ദേശിക്കുന്ന ലെൻസിന്റെ പവർ + 2.5 D, ആണെങ്കിൽ ആ ലെൻസ് + 40 cm ഫോക്കസ് ദൂരമുള്ള കോൺവെക്സ് ലെൻസായിരിക്കും. അതുപോലെ ഒരു ലെൻസിന്റെ പവർ – 4.0 ആണെങ്കിൽ, ആ ലെൻസ് – 25 cm ഫോക്കസ് ദൂരമുള്ള ഒരു കോൺകേവ് ലെൻസായിരിക്കും.

ഉദാഹരണം 9.8

***ഉദാഹരണം 9.8:*** *(i) 0.5 m ഫോക്കസ് ദൂരമുള്ള ഒരു ലെൻസിന്റെ പവർ എത്ര? (ii) ഒരു കോൺവെക്സ് ലെൻസിന്റെ വക്രതാ കേന്ദ്രത്തിന്റെ അളവുകൾ 10cm, 15cm എന്നിങ്ങനെയും ഫോക്കസ് ദൂരം 12cm ഉം ആണെങ്കിൽ അതിന്റെ ഗ്ലാസിന്റെ അപവർത്തനാങ്കം എത്ര? (iii) വായുവിൽ 20cm ഫോക്കസ് ദൂരമുള്ള ഒരു ലെൻസിന്റെ ഫോക്കസ് ദൂരം ജലത്തിൽ എത്രയായിരിക്കും? (ജലത്തിന്റെ അപവർത്തനാങ്കം 1.33, ഗ്ലാസ്സിന്റെ അപവർത്തനാങ്കം 1.5. എന്നിങ്ങനെയാണ്.)*

***ഉത്തരം***

(i) *പവർ = +2 ഡയോപ്റ്റർ*

(ii) *ഫോക്കസ് ദൂരം,* $f = +12$ cm, *വക്രത ആരം,* $R_1 = +10$ cm, $R_2 = -15$ cm.
*വായുവിന്റെ കേവല അപവർത്തനാങ്കം ഒന്നാണെന്ന് കരുതുക.*
*സമവാക്യം 9.22 പ്രകാരം ലെൻസ് സമവാക്യം ഉപയോഗിക്കുമ്പോൾ,* $f$, $R_1$, $R_2$ *ഇവയ്ക്ക് ചിഹ്നരീതി ഉപയോഗിച്ചാൽ*

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right]$$

$$\frac{1}{12} = (n-1)\left(\frac{1}{10} - \frac{1}{-15}\right)$$

$n = 1.5.$

(iii) *ലെൻസ് വായുവിലായിരിക്കുമ്പോൾ,* $n_2 = 1.5$, $n_1 = 1$, $f = +20$ cm.

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right]$$

$$\therefore\ \frac{1}{20} = 0.5\left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right]$$

ഉദാഹരണം 9.8

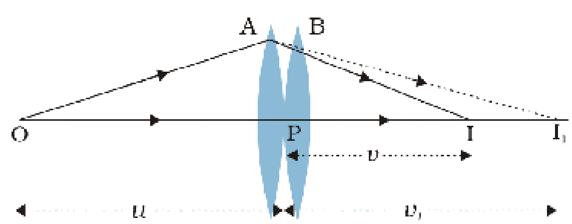
*മുകളിൽ പറഞ്ഞ അതേ ലെൻസ് ജലത്തിലായിരിക്കുമ്പോൾ ഫോക്കസ് ദൂരം*

$$\frac{1.33}{f} = (1.5 - 1.33)\left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right] \quad (9.26)$$

*വായുവിലേയും ജലത്തിലേയും ലെൻസിന്റെ ഫോക്കസ് ദൂരങ്ങളുടെ സമവാക്യങ്ങളിൽ നിന്നും* $f = +78.2$ cm *എന്ന് ലഭിക്കുന്നു.*

## 9.5.4 കനം കുറഞ്ഞ ലെൻസുകളുടെ സമ്പർക്ക സംയോജനം (Combination of Thin Lenses in Contact)

$f_1$, $f_2$ എന്നീ ഫോക്കസ് ദൂരങ്ങളുള്ള A, B എന്നീ ലെൻസുകൾ സ്പർശിക്കുന്ന വിധം കൂട്ടിച്ചേർത്ത് വെച്ചിരിക്കുന്നുവെന്ന് കരുതുക. ചിത്രം 9.21 കാണിച്ചിരിക്കുന്നതു പോലെ ആദ്യത്തെ ലെൻസ് A യുടെ ഫോക്കസിനും അപ്പുറമുള്ള ബിന്ദു O യിൽ ഒരു വസ്തു വച്ചിരിക്കുന്നുവെന്നു കരുതുക. ആദ്യത്തെ ലെൻസ്, ഈ വസ്തുവിന്റെ യഥാർത്ഥ പ്രതിബിംബം $I_1$ ൽ രൂപപ്പെടുത്തുന്നു. ഈ പ്രതിബിംബം രണ്ടാമത്തെ ലെൻസിന് മിഥ്യാ വസ്തുവായി പ്രവർത്തിക്കുകയും, അവസാനത്തെ പ്രതിബിംബം I -ൽ രൂപപ്പെടുകയും ചെയ്യുന്നു. ആദ്യത്തെ ലെൻസ് $I_1$ -ൽ പ്രതിബിംബം രൂപപ്പെടുത്തിയിരിക്കുന്നുവെന്നു ഊഹിച്ചിരിക്കുന്നത് അവസാനത്തെ പ്രതിബിംബത്തിന്റെ സ്ഥാനം കണ്ടുപിടിക്കുന്നതിന് മാത്രമാണ് എന്ന് നാം മനസ്സിലാക്കണം. യഥാർഥത്തിൽ രണ്ടാമത്തെ ലെൻസിൽ, പ്രകാശരശ്മികൾ പതിക്കുന്ന കോണളവിനനനുസരിച്ചാണ് ആദ്യത്തെ ലെൻസിൽ നിന്നും പുറപ്പെടുന്ന പ്രകാശരശ്മികളുടെ ദിശയ്ക്ക് മാറ്റം വരുന്നത്. ലെൻസുകളുടെ കനം വളരെ കുറവായതുകൊണ്ട് അവയുടെ പ്രകാശിക കേന്ദ്രങ്ങൾ ഒരു ബിന്ദുവിലാണെന്ന് കരുതുക. ഈ ബിന്ദുവിനെ P എന്നു വിളിക്കാം.




ചിത്രം 9.21 കനം കുറഞ്ഞ രണ്ട് ലെൻസുകളുടെ സ്പർശന കൂട്ടുകെട്ടിലൂടെയുള്ള പ്രതിബിംബ രൂപീകരണം

ആദ്യ ലെൻസ് A ഉണ്ടാക്കുന്ന പ്രതിബിംബ പ്രകാരം

$$\frac{1}{v_1} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f_1} \quad (9.27)$$

രണ്ടാമത്തെ ലെൻസ് B ഉണ്ടാക്കുന്ന പ്രതിബിംബ പ്രകാരം

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{v_1} = \frac{1}{f_2} \quad (9.28)$$

സമവാക്യങ്ങൾ (9.27), (9.28) എന്നിവ കൂട്ടുമ്പോൾ

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \quad (9.29)$$

രണ്ടു ലെൻസുകളുടെ വ്യൂഹത്തെ $f$ ഫോക്കസ് ദൂരമുള്ള ഒറ്റ ലെൻസായി കണക്കാക്കുമ്പോൾ

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

അതായത് $$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \quad (9.30)$$

സംയോജന ലെൻസിൽ എത്ര എണ്ണം ലെൻസുകൾ ഉണ്ടെങ്കിലും, ഈ സമ h ml ywD] t b nKn\ ml pf] X mW v $f_1, f_2, f_3, \ldots$ എന്നിങ്ങനെ ഫോക്കസ് ദൂരങ്ങ ളുള്ള കനം കുറഞ്ഞ ലെൻസുകൾ സ്പർശിച്ചു കൂട്ടി ചേർത്താൽ ലഭിക്കുന്ന സംയോജനലെൻസിന്റെ സഫല ഫോക്കസ്ദൂരം കണ്ടുപിടിക്കുന്നതിന്.

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}+\frac{1}{f_3}+\ldots$$ (9.31) ഉപയോഗിക്കാം

9.31 എന്ന സമവാക്യത്തെ പവറിൽ എഴുതുമ്പോൾ

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + \ldots$$ (9.32) എന്ന് ലഭിക്കുന്നു.

അതായത് സമ്പർക്ക സംയോജനത്തിലിരിക്കുന്ന ലെൻസുകളുടെ പവർ, ഓരോ ലെൻസിന്റെയും പവറിന്റെ ബീജഗണിത തുകയാണ്. കോൺവെക്സ് ലെൻസിന്റെ പവർ പോസിറ്റീവായും കോൺകേവ് ലെൻസിന്റെ പവർ നെഗറ്റീവായും കണക്കാ ക്കുന്നു. ലെൻസുകളുടെ സമ്പർക്ക സംയോജനം ഉപയോഗിച്ച് ആവശ്യാനുസരണം പ്രതിബിംബത്തിന് ആവർധനവും തീവ്രതയും നൽകുവാൻ കഴിയും. ഇങ്ങനെ യുള്ള ലെൻസുകളുടെ ആകെ ആവർധനം *(m)* ഓരോ ലെൻസിന്റെയും ആവർധ നത്തിന്റെ $(m_1, m_2, m_3, \ldots)$ ഗുണനഫലമാണ്.

അതായത് $m = m_1\, m_2\, m_3\ \ldots$ (9.33)

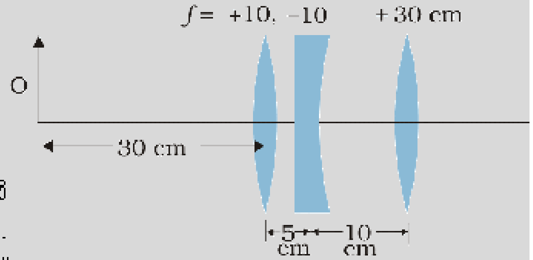
ഇങ്ങനെയുള്ള ലെൻസുകളുടെ വ്യൂഹം ഉപയോഗിച്ച് ക്യാമറ (camera) മൈക്രോ സ്കോപ്പ് (microscope) ടെലിസ്കോപ്പ് (telescope) മുതലായ പ്രകാശിക ഉപക രണങ്ങളുടെ ലെൻസുകൾ രൂപകൽപ്പന ചെയ്യുവാൻ കഴിയും.

**ഉദാഹരണം 9.9:** ചിത്രം 9.22 -ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്ന സംയോജിത ലെൻസ് വസ്തുവിന്റെ പ്രതിബിംബം രൂപപ്പെടുത്തുന്ന സ്ഥാനം നിർണ്ണയിക്കുക.

**ഉത്തരം:** ആദ്യത്തെ ലെൻസ് പ്രതിബിംബം രൂപപ്പെടുത്തുന്ന സ്ഥാനം

$$\frac{1}{v_1}-\frac{1}{u_1}=\frac{1}{f_1},\quad \frac{1}{v_1}-\frac{1}{-30}=\frac{1}{10}$$

അല്ലെങ്കിൽ $v_1 = 15$ cm



ചിത്രം 9.22

ഈ പ്രതിബിംബത്തെ രണ്ടാമത്തെ ലെൻസിന്റെ വസ്തുവായി കണക്കാക്കാം. അതായത്, രണ്ടാമത്തെ ലെൻസിൽ നിന്ന് വസ്തു (15 – 5cm=10cm) ദൂരത്താണ്. രണ്ടാമത്തെ ലെൻസ് രൂപപ്പെടുത്തുന്ന പ്രതിബിംബം.

$$\frac{1}{v_2}-\frac{1}{10}=\frac{1}{-10}$$ അല്ലെങ്കിൽ $v_2 = \infty$

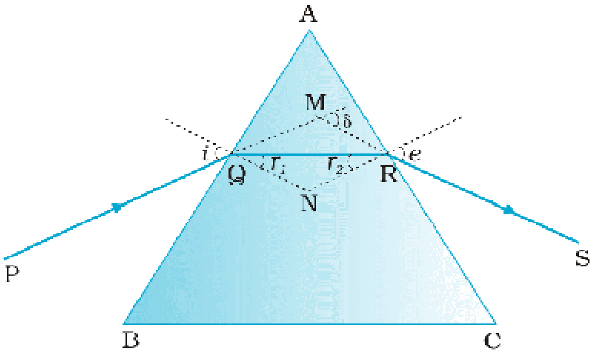
അതായത് അയഥാർഥ പ്രതിബിംബം, രണ്ടാമത്തെ ലെൻസ് രൂപപ്പെടുത്തുന്നത് അതിന്റെ ഇടത്തുവശത്ത് അനന്തതയിലാണ്. ഈ പ്രതിബിംബം മൂന്നാമത്തെ ലെൻസിന്റെ വസ്തു വായി കണക്കാക്കാം.

അതായത്, $\frac{1}{v_3}-\frac{1}{u_3}=\frac{1}{f_3},\quad \frac{1}{v_3}=\frac{1}{\infty}+\frac{1}{30}$ അല്ലെങ്കിൽ $v_3 = 30$ cm

അതായത് അവസാന പ്രതിബിംബം മൂന്നാമത്തെ ലെൻസിന്റെ വലതുവശത്ത് 30 cm ദൂരത്ത് അകലെ രൂപപ്പെടുന്നു.

ഉദാഹരണം 9.9

## 9.6 ഒരു പ്രിസത്തിലൂടെയുള്ള അപവർത്തനം (REFRACTION THROUGH A PRISM)




ചിത്രം 9.23 ത്രികോണ പ്രിസത്തിലൂടെയുള്ള ഒരു പ്രകാശരശ്മിയുടെ സഞ്ചാരപാത

ABC ത്രികോണ പ്രിസത്തിലൂടെ പ്രകാശരശ്മിയുടെ സഞ്ചാരപാതയാണ് ചിത്രം 9.23 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നത്. പ്രിസത്തിന്റെ AB എന്ന ആദ്യത്തെ വായു-ഗ്ലാസ് സമ്പർക്കതലത്തിൽ $i$ പതനകോണും $r_1$ അപവർത്തന കോണും ആണ്. AC എന്ന രണ്ടാമത്തെ ഗ്ലാസ് - വായു സമ്പർക്കതലത്തിലെ പതനകോണും, അപവർത്തനകോണും $r_2$, $e$ എന്നിങ്ങനെയാണ്. PQ പതന രശ്മിയും, RS ബഹിർഗമന രശ്മിയും തമ്മിലുള്ള കോണിനെ വ്യതിചലന കോൺ (angle of deviation) ($\delta$) എന്നു വിളിക്കുന്നു.

AQNR, ചതുർഭുജത്തിൽ (Q, R എന്നീ മൂലകളിലെ) രണ്ട് കോണുകൾ മട്ടകോണുകളാണ്. അതുകൊണ്ട് ചതുർഭുജത്തിലെ മറ്റു കോണുകളുടെ തുക 180º ആണ്.

അതുകൊണ്ട് $\angle A + \angle QNR = 180°$

$\Delta QNR$ ൽ നിന്നും

$r_1 + r_2 + \angle QNR = 180°$ ആണ്.

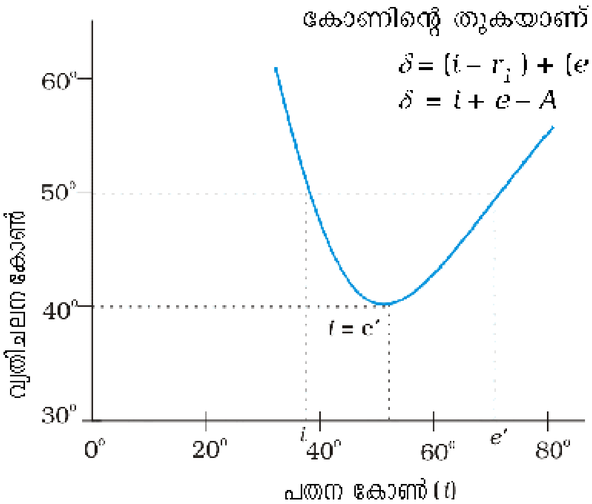
ഈ രണ്ടു സമവാക്യങ്ങളും താരതമ്യം ചെയ്യുമ്പോൾ

$$r_1 + r_2 = A \qquad (9.34)$$

പ്രകാശ രശ്മിക്ക് രണ്ടു സമ്പർക്കതലത്തിലും കൂടി ഉണ്ടാകുന്ന വ്യതിചലന കോണിന്റെ തുകയാണ് ആകെയുള്ള വ്യതിചലന കോൺ. അതായത്

$\delta = (i - r_1) + (e - r_2)$ അല്ലെങ്കിൽ

$$\delta = i + e - A \qquad (9.35)$$




ചിത്രം 9.24 ഒരു ത്രികോണ ഗ്ലാസ് പ്രിസത്തിലെ പതനകോണും വ്യതിചലന കോണും തമ്മിലുള്ള ഗ്രാഫ്

അതായത് വ്യതിചലന കോൺ, പതനകോണിനെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. വ്യതിചലന കോണും പതനകോണും തമ്മിലുള്ള ഗ്രാഫാണ് ചിത്രം 9.24 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നത്. ഏതൊരു വ്യതിചലന കോണിനും അനുരൂപമായി രണ്ടു പതനകോണും, അതുകൊണ്ട് തന്നെ രണ്ട് ബഹിർഗമന കോണും ഉണ്ടെന്ന് പൊതുവായി പറയാം. എന്നാൽ, പതനകോണും ബഹിർഗമനകോണും തുല്യമായിരിക്കുമ്പോൾ, വ്യതിചലനകോണിന് അനുസൃതമായി ഒരു പതനകോൺ മാത്രമെ ഉണ്ടായിരിക്കുകയുള്ളു. ഇത് ($i = e$) സമവാക്യം (9.35) ന്റെ സമമിതിയിൽ നിന്നു മനസ്സിലാക്കാവുന്നതാണ്. ഈ സമവാക്യത്തിൽ പതനകോണിന്റെയും ബഹിർഗമനകോണിന്റെയും സ്ഥാനം മാറ്റിയാലും, വ്യതിചലനകോണിന്റെ വിലയിൽ മാറ്റം വരുന്നില്ല. അതായത് ചിത്രം 9.23-ൽ പതനകോൺ e ആണെങ്കിൽ ബഹിർഗമനകോൺ i ആയിരിക്കും. രശ്മി സഞ്ചരിക്കുന്നത് ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ വ്യതിചലനത്തിനു (minimum deviation) ($D_m$) വിധേയമായി ആണെങ്കിൽ അതിന്റെ, പ്രിസത്തിനുള്ളിലൂടെയുള്ള സഞ്ചാരപാത പ്രതലവുമായി സ്പർശിച്ചിരിക്കുന്ന മുഖത്തിന് സമാന്തരമായിരിക്കും.

അതായത് $\delta = D_m$, ആണെങ്കിൽ $i = e$, $r_1 = r_2$ എന്നിങ്ങനെ ആയിരിക്കും സമവാക്യം (9.34) ൽ നിന്നും

$2r = A$ അല്ലെങ്കിൽ $r = \frac{A}{2}$ (9.36) എന്ന് ലഭിക്കുന്നു.

ഇതുപോലെ

$D_m = 2i - A$, അല്ലെങ്കിൽ $i = (A + D_m)/2$ (9.37) എന്ന് ലഭിക്കുന്നു.

പ്രിസത്തിന്റെ, അത് ഇരിക്കുന്ന മാധ്യമത്തെ അപേക്ഷിച്ചുള്ള അപവർത്തനാങ്കം $(n_{21})$

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin[(A + D_m)/2]}{\sin[A/2]} \qquad (9.38)$$

പരീക്ഷണത്തിലൂടെ $A$, $D_m$ എന്നിവ അളക്കാവുന്നതാണ്. സമവാക്യം (9.38) ഉപയോഗിച്ച്, ഒരു പ്രിസം നിർമ്മിച്ചിരിക്കുന്ന വസ്തുവിന്റെ അപവർത്തനാങ്കം കണ്ടുപിടിക്കാം. പ്രിസത്തിന്റെ കോണളവ് വളരെ ചെറുതാണെങ്കിൽ $D_m$ വളരെ ചെറുതായിരിക്കും. എങ്കിൽ സമവാക്യം 9.38 നെ

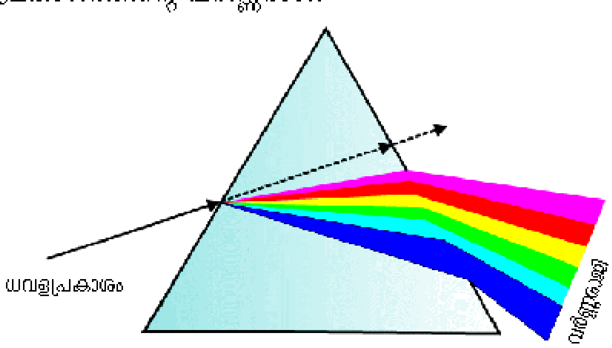
$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{(A + D_m)/2}{A/2}$$

$D_m = (n_{21} - 1)A$ ആണ്

അതായത് ചെറിയ കോണുകൾ ഉള്ള പ്രിസം പ്രകാശത്തെ വളരെയധികം വ്യതിചലിപ്പിക്കുന്നില്ല.

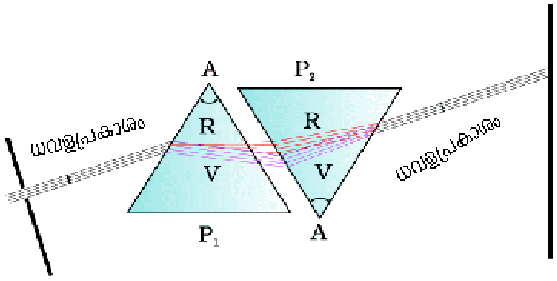
## 9.7 പ്രിസത്തിന്റെ പ്രകീർണ്ണനം (Dispersion of a Prism)

പ്രകാശരശ്മി, ഒരു പ്രിസത്തിലൂടെ കടന്നുപോകുമ്പോൾ വ്യത്യസ്ത വർണ്ണങ്ങളായി ബഹിർഗമിക്കുമെന്ന് വളരെക്കാലം മുമ്പുതന്നെ മനുഷ്യന് അറിവുണ്ടായിരുന്നു. ബഹിർഗമന രശ്മിയിൽ വർണ്ണങ്ങൾ ക്രമമായി വ്യത്യാസപ്പെടുന്നു. ഈ വർണ്ണങ്ങളുടെ ക്രമം; ചിത്രം 9.25 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതു പോലെ വയലറ്റ്, ഇൻഡിഗോ, നീല, പച്ച, മഞ്ഞ, ഓറഞ്ച്, ചുവപ്പ് (VIBGYOR) എന്നിങ്ങനെയാണ്. ഇതിൽ ചുവപ്പിന് ഏറ്റവും കുറവും, വയലറ്റിന് ഏറ്റവും കൂടുതലും, വ്യതിചലന *(deviation)* മുണ്ടാകുന്നു. പ്രിസത്തിലൂടെ കടന്നുപോകുന്ന പ്രകാശരശ്മി അതിന്റെ ഘടക വർണ്ണങ്ങളായി വിഘടിക്കുന്ന പ്രതിഭാസത്തെയാണ് പ്രകീർണ്ണനം എന്ന് വിളിക്കുന്നത്. പ്രകാശത്തിലെ വർണ്ണങ്ങളുടെ ക്രമത്തെയാണ് പ്രകാശത്തിന്റെ വർണ്ണരാജി (spectrum) എന്ന് പറയുന്നത്. ഇപ്പോൾ വർണ്ണരാജി എന്ന വാക്ക് കൂടുതൽ പൊതുവായ അർത്ഥത്തിലാണ് ഉപയോഗിക്കുന്നത്. വൈദ്യുതകാന്തിക തരംഗങ്ങളുടെ വളരെ വലിയ പരിധിയിലുള്ള വർണ്ണരാജിയെക്കുറിച്ച് നമ്മൾ അധ്യായം എട്ടിൽ പഠിച്ചു. ഈ വർണ്ണരാജിയുടെ പരിധി ഗാമാവികിരണം *(γ-radiation)* മുതൽ റേഡിയോ വികിരണം *(radio waves)* വരെയാണ്. അതിൽ ദൃശ്യപ്രകാശത്തിന്റെ വർണ്ണരാജിയുടെ പരിധി വളരെ ചെറുതാണ്. ഊർജതന്ത്രത്തിന്റെ ചരിത്രത്തിൽ, ഒരു വലിയ ചർച്ചാവിഷയമായിരുന്നു വർണ്ണരാജിയുടെ ഉത്ഭവം. പ്രിസം പ്രകാശവർണ്ണങ്ങളെ സ്വയം നിർമിക്കുകയാണോ, അല്ലെങ്കിൽ




ചിത്രം 9.25 സൂര്യപ്രകാശം അല്ലെങ്കിൽ ധവളപ്രകാശം ഒരു ഗ്ലാസ് പ്രിസത്തിലൂടെ കടന്നുപോകുമ്പോഴുള്ള പ്രകീർണ്ണനം

പ്രിസം പ്രകാശത്തെ ഘടകവർണ്ണങ്ങളായി വിഘടിപ്പിക്കുകയാണോ, തുടങ്ങിയവ ആയിരുന്നു ചർച്ചകൾ. ഇപ്പോൾ പ്രകാശത്തിന്റെ പ്രകീർണ്ണനം *(Dispersion)* ഒരു പൊതു അറിവ് ആണ്.




ചിത്രം 9.26 പ്രകാശത്തിന്റെ പ്രകീർണ്ണനവുമായി ബന്ധപ്പെട്ട ന്യൂട്ടന്റെ പരീക്ഷണത്തിന്റെ രേഖാചിത്രം

ന്യൂട്ടന്റെ വളരെ പ്രബലവും, എന്നാൽ വളരെ ലളിതവുമായ ഒരു പരീക്ഷണമാണ്. ഈ ചർച്ചകൾക്ക് അന്ത്യം കുറിച്ചത്. ചിത്രം 9.26-ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ വേറൊരു പ്രിസം ആദ്യത്തെ പ്രിസത്തിന് സമാന്തരമായി തലകീഴായി ക്രമീകരിച്ചപ്പോൾ ആദ്യത്തെ പ്രിസത്തിൽ പതിച്ച പ്രകാശം തന്നെ ബഹിർഗമിക്കുന്നു. ആദ്യത്തെ പ്രിസം പ്രകാശത്തെ വിഘടിപ്പിക്കുകയും, രണ്ടാമത്തെ പ്രിസം പ്രകാശത്തെ ഏകോപിപ്പിക്കുകയും ചെയ്യുന്നതുകൊണ്ടാണ് ആദ്യത്തെ പ്രിസത്തിൽ പതിച്ച അതേ പ്രകാശം രണ്ടാമത്തേതിലൂടെ ബഹിർഗമിക്കുന്നതെന്ന് ന്യൂട്ടൻ വിശദീകരിച്ചു. വ്യത്യസ്ത വർണ്ണങ്ങളുടെ കൂട്ടമാണ് ധവളപ്രകാശം. അത് പ്രിസത്തിലൂടെ കടന്നു പോകുമ്പോൾ അതിന്റെ ഘടകവർണ്ണങ്ങളായി വിഘടിക്കുന്നു.

ഗണിതശാസ്ത്രപരമായി നിർവചിച്ചിരിക്കുന്ന പ്രകാശരശ്മി യഥാർത്ഥത്തിൽ നിലനില്ക്കുന്നില്ല. യഥാർത്ഥത്തിൽ ഒരു പ്രകാശരശ്മി അനേകം പ്രകാശരശ്മികൾ ഉൾക്കൊള്ളുന്നതാണ്. അതുകൊണ്ടാണ് ഒരു പ്രകാശരശ്മി പ്രിസത്തിലൂടെ കടന്നുപോകുമ്പോൾ ഘടകപ്രകാശ വർണ്ണങ്ങളായി വിഘടിക്കുന്നത്.

ഓരോ പ്രകാശവർണ്ണത്തിനും, ഓരോ തരംഗദൈർഘ്യമാണുള്ളതെന്ന് ഇപ്പോൾ നമുക്കറിയാം. ദൃശ്യപ്രകാശവർണരാജിയിൽ ഏറ്റവും കൂടുതൽ തരംഗദൈർഘ്യം (~700 nm) ചുവപ്പിനും ഏറ്റവും കുറവ് തരംഗദൈർഘ്യം (~ 400 nm) വയലറ്റിനുമാണ്. മാധ്യമത്തിന്റെ അപവർത്തനാങ്കം, വ്യത്യസ്ത തരംഗദൈർഘ്യത്തിന് വ്യത്യസ്തമായതുകൊണ്ടാണ് പ്രകീർണ്ണനം സംഭവിക്കുന്നത്. ഉദാഹരണത്തിന് ചുവപ്പ് വർണ്ണത്തിന്റെ വ്യതിചലനം വളരെ കുറവും വയലറ്റ് വർണ്ണത്തിന്റെ വ്യതിചലനം വളരെ കൂടുതലും ആണ്. അതുപോലെ ചുവപ്പു പ്രകാശം താരതമ്യേന വേഗം കൂടിയും, വയലറ്റ് പ്രകാശം താരതമ്യേന വേഗം കുറഞ്ഞുമാണ് ഒരു പ്രിസത്തിലൂടെ സഞ്ചരിക്കുന്നത്. ക്രൗൺ ഗ്ലാസ്സിലും ഫ്ളിൻറ് ഗ്ലാസ്സിലും വ്യത്യസ്ത തരംഗദൈർഘ്യങ്ങൾക്കുള്ള അപവർത്തനാങ്കം ആണ് പട്ടിക 9.2 ൽ കൊടുത്തിരിക്കുന്നത്.

**പട്ടിക 9.2 വിവിധ തരംഗദൈർഘ്യങ്ങൾക്കുള്ള അപവർത്തനാങ്കങ്ങൾ**

| വർണ്ണം | തരംഗദൈർഘ്യം | ക്രൗൺ ഗ്ലാസ്സ് | ഫ്ളിൻറ് ഗ്ലാസ്സ് |
|---|---|---|---|
| വയലറ്റ് | 369.9 | 1.533 | 1.663 |
| നീല | 486.1 | 1.523 | 1.639 |
| മഞ്ഞ | 589.3 | 1.517 | 1.627 |
| ചുവപ്പ് | 656.3 | 1.515 | 1.622 |

കട്ടികൂടിയ ലെൻസുകൾ, വളരെ ചെറിയ പ്രിസങ്ങൾ കൊണ്ട് നിർമിച്ചിരിക്കുന്നു എന്ന് സങ്കല്പിക്കാം. അതുകൊണ്ടാണ് കട്ടികൂടിയ ലെൻസുകൾ പ്രകീർണ്ണനം

മൂലം വർണ്ണവിപഥനം (chromatic aberration) പ്രദർശിപ്പിക്കുന്നത്. തരംഗദൈർഘ്യത്തിനനുസരിച്ച് അപവർത്തനാങ്കത്തിൽ ഉണ്ടാകുന്ന വ്യതിയാനം, ചില മാധ്യമങ്ങളിൽ മറ്റു ചില മാധ്യമങ്ങളെ അപേക്ഷിച്ച് വളരെ പ്രകടമാണ്. ശൂന്യതയിലെ (വായുവിലെ) പ്രകാശത്തിന്റെ പ്രവേഗം തരംഗദൈർഘ്യത്തെ ആശ്രയിക്കുന്നില്ല. അതായത് എല്ലാ തരംഗദൈർഘ്യങ്ങളും ഒരേ വേഗത്തിൽ സഞ്ചരിക്കുന്നു. ഇങ്ങനെയുള്ള മാധ്യമങ്ങളെ പ്രകീർണ്ണനം ഇല്ലാത്ത മാധ്യമങ്ങൾ എന്നു വിളിക്കുന്നു. ഇതുകൊണ്ടാണ് സൂര്യപ്രകാശം വെളുത്ത പ്രകാശമായി ഭൂമിയിൽ എത്തുന്നത്. അതേ സമയം ഗ്ലാസ്സ് ഒരു പ്രകീർണ്ണനം ഉള്ള മാധ്യമം ആണ്.

## 9.8 സൂര്യപ്രകാശം ഉണ്ടാക്കുന്ന ചില പ്രകൃതി പ്രതിഭാസങ്ങൾ (Some Natural Phenomena Due to Sunlight)

നമുക്ക് ചുറ്റുമുള്ള വസ്തുക്കളും, സൂര്യപ്രകാശവും തമ്മിലുള്ള പരസ്പര പ്രവർത്തനം പല സുന്ദരങ്ങളായ പ്രതിഭാസങ്ങൾക്കും കാരണമാകുന്നു. നമുക്ക് ചുറ്റുമുള്ള എല്ലാ വർണ്ണകാഴ്ചകളും സാധ്യമാകുന്നത് സൂര്യപ്രകാശം കാരണമാണ്. ആകാശത്തിന്റെ നീലവർണ്ണം, മേഘങ്ങളുടെ ധവള വർണ്ണം, ഉദയാസ്തമയവേളകളിലെ സൂര്യബിംബത്തിന്റെ ചുവപ്പ് വർണ്ണം, മഴവില്ല്, മുത്തുചിപ്പിയിലെ ശോഭയാർന്ന വർണ്ണങ്ങൾ എന്നിവയെല്ലാം നമുക്ക് ചുറ്റുമുള്ള പ്രതിഭാസമാണ്. ഇവയിൽ ചിലതിനെക്കുറിച്ച് ഊർജതന്ത്രത്തിന്റെ വീക്ഷണകോണിലൂടെ മനസ്സിലാക്കാം.

### 9.8.1 മഴവില്ല് (The Rainbow)

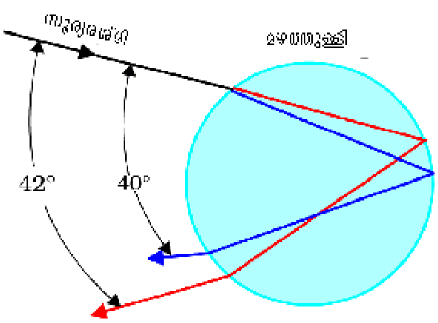
അന്തരീക്ഷത്തിലെ ജലതുള്ളികളിലൂടെയുള്ള സൂര്യപ്രകാശത്തിന്റെ പ്രകീർണ്ണനത്തിന് ഉദാഹരണമാണ് മഴവില്ല്. പ്രകാശരശ്മികളുടെ ജലതുള്ളികളിലൂടെയുള്ള പ്രതിപതനം, അപവർത്തനം, പ്രകീർണ്ണനം എന്നീ മൂന്ന് പ്രതിഭാസങ്ങളാണ് മഴവില്ലിന് കാരണം. സൂര്യൻ ആകാശത്തിൽ ഒരു വശത്ത് ജ്വലിക്കുകയും, എതിർ വശത്ത് മഴ പെയ്തു കൊണ്ടിരിക്കുകയും ചെയ്യുന്ന സമയത്താണ് മഴവില്ല് പ്രത്യക്ഷമാകുന്നത്. അതായത് സൂര്യരശ്മികളുടെ സഞ്ചാര ദിശയുടെ അതേ ദിശയിലേക്ക് നോക്കുമ്പോഴാണ് ഒരു നിരീക്ഷകൻ മഴവില്ല് കാണുന്നത്.

PHYSICS

Formation of rainbows
http://www.eo.ucar.edu/rainbows
http://www.atoptics.co.uk/bows.htm

മഴവില്ലിന്റെ രൂപപ്പെടൽ മനസ്സിലാക്കുന്നതിന് ചിത്രം 9.27 (a) ശ്രദ്ധിക്കുക.

സൂര്യപ്രകാശം ജലതുള്ളിയിൽ പതിക്കുമ്പോൾ, വായുജല സമ്പർക്കതലത്തിൽ അപവർത്തനത്തിന് വിധേയമാകുകയും, ജലതുള്ളിയിലൂടെ സഞ്ചരിക്കുമ്പോൾ പ്രകീർണ്ണത്തിന് വിധേയമാകുകയും ചെയ്ത് ഘടക വർണ്ണങ്ങളായി വിഘടിക്കുന്നു.

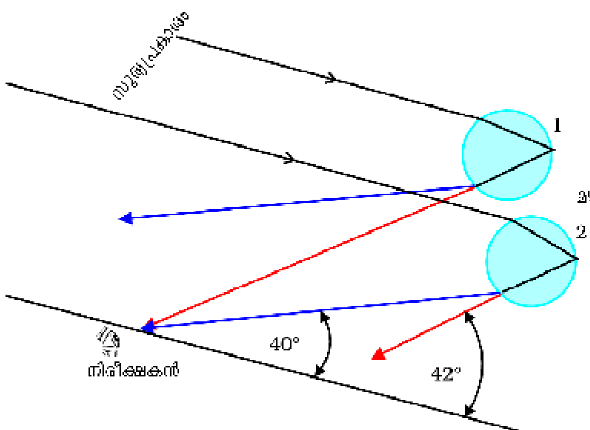


ചിത്രം 9.27 (a) ജലതുള്ളിയിൽ പതിക്കുന്ന പ്രകാശം രണ്ടു തവണ അപവർത്തനം സംഭവിച്ച് പ്രതിപതിക്കുന്നു

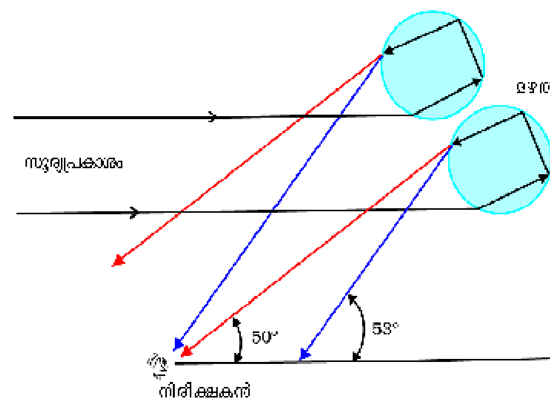
തരംഗ ദൈർഘ്യം കൂടിയ പ്രകാശരശ്മികൾ (ചുവപ്പ്) കുറച്ചുമാത്രം സഞ്ചാരപാതയിൽ നിന്നും വ്യതിചലിക്കുകയും, തരംഗ ദൈർഘ്യം കുറഞ്ഞ പ്രകാശ രശ്മികൾ കൂടുതൽ വ്യതിചലിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. ഈ പ്രകാശ രശ്മികൾ, ജലതുള്ളിയുടെ ഉള്ളിൽ ജലവായു സമ്പർക്കതലത്തിൽ ആന്തര പ്രതിപതനത്തിന് വിധേയമാകുന്നു. ഇങ്ങനെ പ്രതിപതിച്ചുവരുന്ന രശ്മികൾ ജലത്തിനുള്ളിലെ ജലവായു സമ്പർക്ക തലത്തിൽ അപവർത്തനത്തിന് വിധേയമായി ചിത്രത്തിൽ കാണുന്നതുപോലെ നിരീക്ഷകന്റെ കണ്ണിൽ പതിക്കുന്നു. ജലത്തുള്ളികളിൽ പതിക്കുന്ന പ്രകാശരശ്മിയുടെ ദിശയും ജലത്തുള്ളിയിൽ നിന്നും ബഹിർഗമിക്കുന്ന പ്രകാശ രശ്മിയുടെ ദിശയും തമ്മി

ലുള്ള കോണളവ് വയലറ്റിന് 40° യും ചുവപ്പിന് 42° യും ആണ്. ബാക്കിയുള്ള വർണ്ണങ്ങളുടെ കോൺ, ഈ രണ്ട് കോണളവുകൾക്കിടയിലാണ്.

പ്രാഥമിക (primary) മഴവില്ലിന്റെ രൂപപ്പെടൽ ചിത്രം 9.27 (b) യിൽ വിശദീകരിച്ചിരിക്കുന്നു. ചിത്രത്തിൽ ഒന്നാമത്തെ ജലത്തുള്ളിയിൽ നിന്നും ചുവപ്പു രശ്മിയും രണ്ടാമത്തെ ജലത്തുള്ളിയിൽ നിന്ന് വയലറ്റ് രശ്മിയും ആണ് നിരീക്ഷകന്റെ കണ്ണിൽ പതിക്കുന്നത്. അതുകൊണ്ട് പ്രാഥമിക മഴവില്ലിന്റെ പുറത്തെ അരുകിൽ ചുവപ്പും ഉള്ളിലെ അരുകിൽ വയലറ്റും ആണ് കാണുന്നത്.




**ചിത്രം 9.27 (b)** പ്രാഥമിക മഴവില്ല് രൂപപ്പെടുത്തുന്ന പ്രകാശരശ്മിയുടെ അപവർത്തനത്തിന്റേയും ആന്തരിക പ്രതിപതനത്തിന്റേയും വിപുലീകരിച്ച കാഴ്ച




**ചിത്രം 9.27 (c)** ജലത്തുള്ളിയുടെ ഉള്ളിൽ പ്രകാശരശ്മി രണ്ട് പൂർണ്ണാന്തര പ്രതിപതനത്തിന് വിധേയമായി ദ്വിതീയ മഴവില്ല് രൂപപ്പെടുന്നു.

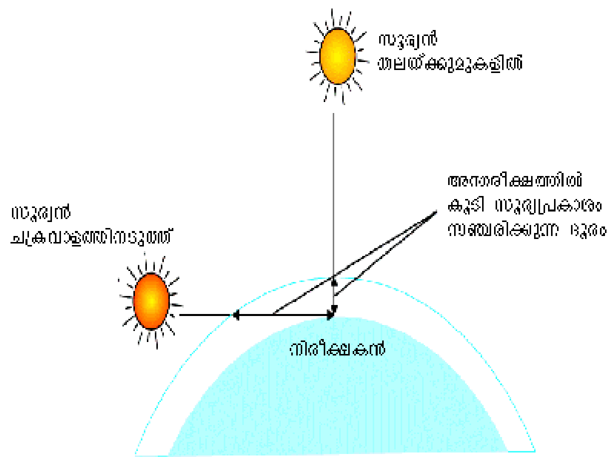
ജലതുള്ളിയുടെ ഉള്ളിൽ പ്രകാശരശ്മി ഒന്നിനു പകരം രണ്ട് ആന്തര പ്രതിപതനത്തിന് വിധേയമാകുകയാണെങ്കിൽ ദ്വിതീയ (secondary) മഴവില്ല് രൂപപ്പെടുന്നു. ചിത്രം 9.27(c)യിലേതുപോലെ ഇത് ഒരു നാല് ഘട്ട പ്രക്രിയയാണ്. ദ്വിതീയ മഴവില്ലിൽ പ്രകാശത്തിന്റെ തീവ്രത കുറവായതുകൊണ്ട് ഇത് പ്രാഥമിക മഴവില്ലിനെ അപേക്ഷിച്ച് നിറം മങ്ങിയതായി കാണപ്പെടുന്നു. മാത്രവുമല്ല, ഇതിൽ വർണ്ണങ്ങളുടെ ക്രമം, പ്രാഥമിക മഴവില്ലിന്റെ നേർവിപരീതത്തിലുമാണ്.

## 9.8.2 പ്രകാശത്തിന്റെ വിസരണം (Scattering of Light)

ഭൗമാന്തരീക്ഷത്തിലൂടെ സഞ്ചരിക്കുന്ന സൂര്യപ്രകാശത്തിന് അന്തരീക്ഷ കണികകളിൽ തട്ടി വിസരണം സംഭവിക്കുന്നു. തരംഗദൈർഘ്യം കുറഞ്ഞ പ്രകാശരശ്മികൾക്കുണ്ടാകുന്ന വിസരണം തരംഗദൈർഘ്യം കൂടിയ പ്രകാശരശ്മികൾക്കുണ്ടാകുന്നതിനേക്കാൾ കൂടുതലായിരിക്കും. റാലെ (Rayleigh) വിസരണ നിയമത്തിനനുസരിച്ച് വിസരണത്തിന്റെ അളവ്, തരംഗദൈർഘ്യത്തിന്റെ നാലാം വർഗത്തിന് വിപരീത അനുപാതത്തിലാണ്. ഈ നിയമം അനുസരിച്ച് ചുവപ്പ് വർണ്ണത്തെ അപേക്ഷിച്ച് നീലവർണ്ണത്തിന് കൂടുതൽ വിസരണം സംഭവിക്കുന്നു. ഇതുകൊണ്ടാണ് ആകാശം നീലവർണ്ണത്തിൽ കാണപ്പെടുന്നത്. യഥാർത്ഥത്തിൽ വയലറ്റ് വർണ്ണത്തിനാണ് നീല വർണ്ണത്തേക്കാൾ കൂടുതൽ വിസരണം സംഭവിക്കുന്നത്. പക്ഷെ നമ്മുടെ നേത്രങ്ങൾക്ക് സംവേദക്ഷമത (sensitivtiy) വയലറ്റു വർണ്ണത്തേക്കാൾ കൂടുതൽ നീല വർണ്ണത്തോടായതുകൊണ്ടാണ് ആകാശം നീല വർണ്ണത്തിൽ കാണപ്പെടുന്നത്.

അന്തരീക്ഷത്തിലെ പൊടിപടലങ്ങളുടെയും ജലത്തിന്റെയും വലിയ കണികകൾ റാലെയുടെ വിസരണ നിയമം അനുസരിക്കുന്നില്ല. ഈ കണികകളിൽ എല്ലാ

തരംഗദൈർഘ്യങ്ങൾക്കും തുല്യമായാണ് വിസരണം സംഭവിക്കുന്നത്. അതുകൊണ്ടാണ് വലിയ ജലകണികകൾകൊണ്ട് രൂപപ്പെട്ടിരിക്കുന്ന മേഘങ്ങൾ വെള്ളവർണ്ണമായി കാണപ്പെടുന്നത്. റാലെയുടെ വിസരണ നിയമം പാലിക്കണമെങ്കിൽ കണികകളുടെ വലിപ്പം (a) തരംഗദൈർഘ്യത്തെ ($\lambda$) അപേക്ഷിച്ച് വളരെ കുറവായിരിക്കണം. അതായത് $a << \lambda$. സൂര്യോദയത്തിലും, സൂര്യാസ്തമയത്തിലും, പ്രകാശരശ്മികൾ നിരീക്ഷകന്റെ നേത്രത്തിൽ എത്തുന്നത് വളരെ ദൂരം അന്തരീക്ഷത്തിലൂടെ സഞ്ചരിച്ചാണ്. അതുകൊണ്ട് കുറഞ്ഞ തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള വയലറ്റ് വർണ്ണം, നീലവർണ്ണം മുതലായവ വിസരണത്തിലൂടെ കൂടുതൽ നീക്കം ചെയ്യപ്പെടുകയും കൂടുതൽ തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള ചുവപ്പ് വർണ്ണം, ഓറഞ്ച് വർണ്ണം മുതലായവ നിരീക്ഷകന്റെ നേത്രത്തിൽ കൂടുതൽ പതിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. അതുകൊണ്ടാണ് ചിത്രം 9.28 ലെ പോലെ ചക്രവാളത്തിൽ സൂര്യബിംബം ഇളം ചുവപ്പുനിറത്തിൽ കാണപ്പെടുന്നത്.




ചിത്രം 9.28 സൂര്യോദയത്തിലും, സൂര്യാസ്തമയത്തിലും, പ്രകാശരശ്മികൾ അന്തരീക്ഷത്തിലൂടെ വളരെ ദൂരം സഞ്ചരിക്കുന്നു

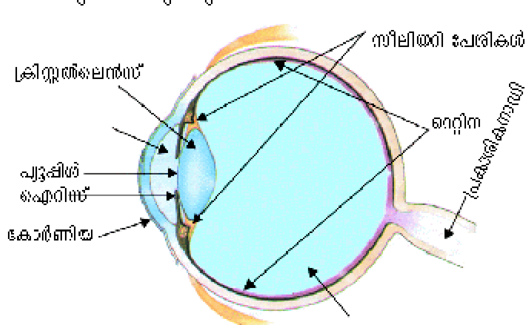
## 9.9 പ്രകാശിക ഉപകരണങ്ങൾ (OPTICAL INSTRUMENTS)

ദർപ്പണങ്ങളുടെ പ്രതിപതന സ്വഭാവവിശേഷം, ലെൻസുകളുടെയും, പ്രിസങ്ങളുടേയും അപവർത്തന സ്വഭാവവിശേഷം എന്നിവ ഉപയോഗിച്ച് ഒട്ടനവധി പ്രകാശിക ഉപകരണങ്ങളും യന്ത്രങ്ങളും രൂപകൽപ്പന ചെയ്തിട്ടുണ്ട്. പെരിസ്കോപ്പ് (periscope), കാലിഡൊസ്കോപ്പ് (kalidoscope), ബൈനോകുലർ (binocular), ദൂരദർശിനി, സൂക്ഷ്മദർശിനി എന്നിവ സാധാരണ ഉപയോഗിക്കുന്ന പ്രകാശിക ഉപകരണങ്ങൾക്ക് ഉദാഹരണങ്ങളാണ്. പ്രകൃതി നമുക്ക് അനുഗ്രഹിച്ച് നൽകിയിരിക്കുന്ന ഏറ്റവും പ്രധാനപ്പെട്ട പ്രകാശിക ഉപകരണമാണ് നേത്രം. നേത്രത്തിന്റെ പ്രവർത്തനത്തിൽ ആരംഭിച്ച് ദൂരദർശിനിയുടെയും സൂക്ഷ്മദർശിനിയുടെയും പ്രവർത്തനങ്ങൾ നമുക്ക് പഠിക്കാം.

### 9.9.1 നേത്രം (The eye)

ചിത്രം 9.29(a) യിൽ നേത്രത്തിന്റെ ചിത്രം കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. നേത്രത്തിന്റെ മുൻപിലുള്ള കോർണിയ (cornea) എന്ന വക്രതലത്തിലൂടെയാണ് പ്രകാശം നേത്രത്തിനുള്ളിൽ പ്രവേശിക്കുന്നത്. നേത്രത്തിനുള്ളിൽ പ്രവേശിച്ച പ്രകാശം ഐറിസിന്റെ (Iris) മധ്യഭാഗത്തുള്ള പ്യൂപ്പിൾ (pupil) എന്ന സുഷിരത്തിലൂടെ കടന്നുപോകുന്നു. പേശികളുടെ സഹായത്താൽ പ്യൂപ്പിളിന്റെ വലിപ്പം ക്രമീകരിക്കുവാൻ കഴിയും. പ്യൂപ്പിളിലൂടെ കടന്നുവരുന്ന പ്രകാശത്തെ നേത്രലെൻസ് റെറ്റിന (retina)യിൽ കേന്ദ്രീകരിക്കുന്നു. നേത്രത്തിന്റെ പുറകുവശത്ത് നാഡീതന്തുക്കൾകൊണ്ട് ആവരണം ചെയ്തിരിക്കുന്ന പാടയാണ് (film) റെറ്റിന.

റെറ്റിനയിലെ റോഡുകളും (rods), കോണുകളും യഥാക്രമം, പ്രകാശത്തിന്റെ തീവ്രതയും, പ്രകാശത്തിലെ വർണ്ണങ്ങളെയും തിരിച്ചറിയുകയും അവയെ വൈദ്യുത സിഗ്നൽ ആക്കി പ്രകാശികനാഡി (optic nerve)കളിലൂടെ മസ്തിഷ്കത്തിൽ (brain) എത്തിക്കുകയും ചെയ്യും. മസ്തിഷ്കം വൈദ്യുത സിഗ്നലിനെ

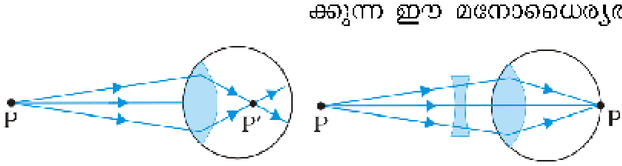



ചിത്രം 9.29 (a) നേത്രത്തിന്റെ ഘടന

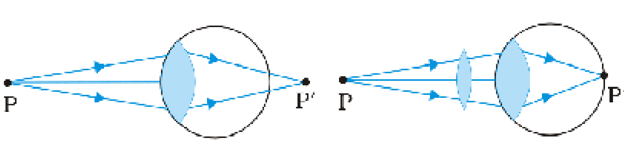
വിവരങ്ങൾ (information) ആക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. നേത്രലെൻസിന്റെ വക്രതയും അതുവഴി ഫോക്കസ്ദൂരവും സിലിയറി (ciliary) പേശികൾ ഉപയോഗിച്ച് ക്രമീകരിക്കാവുന്നതാണ്.

ഉദാഹരണത്തിന് സിലിയറിപേശികൾ വിശ്രമാവസ്ഥയിൽ ആയിരിക്കുമ്പോൾ നേത്രലെൻസിന്റെ ഫോക്കസ്ദൂരം ഏകദേശം 2.5cm ആയിരിക്കുകയും. അനന്തതയിലുള്ള വസ്തുവിന്റെ പ്രതിബിംബം കൃത്യമായി റെറ്റിനയിൽ പതിയുകയും ചെയ്യുന്നു. വസ്തുവിന്റെ സ്ഥാനം നേത്രത്തിന് അടുത്തായിരിക്കുമ്പോൾ സിലിയറി പേശികളുടെ പ്രവർത്തനത്താൽ നേത്രലെൻസിന്റെ ഫോക്കസ്ദൂരം കുറയുന്നു. നേത്രലെൻസിന്റെ ഈ പ്രത്യേകതയേയാണ് കണ്ണിന്റെ പൊരുത്തപ്പെടൽ (accommodation) എന്ന് അറിയപ്പെടുന്നത്. പക്ഷെ വസ്തു കണ്ണിന് വളരെ അടുത്താണെങ്കിൽ, റെറ്റിനയിൽ പ്രതിബിംബം ശരിയായി പതിയുന്നവിധം നേത്രലെൻസിന്റെ വക്രത ക്രമീകരിക്കപ്പെടാതിരിക്കുകയും വസ്തു അസ്പഷ്ടമായി (blurred) കാണപ്പെടുകയും ചെയ്യുന്നു. ശരിയായ പ്രതിബിംബം റെറ്റിനയിൽ രൂപീകരിക്കുന്നതിന് നേത്രലെൻസിൽ നിന്നും വസ്തുവിലേക്കുള്ള ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ദൂരത്തെ വ്യക്തമായ കാഴ്ചയ്ക്കുള്ള ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ദൂരം (least distance of distinct vision) അല്ലെങ്കിൽ സമീപ ദൂരം (near point) എന്നു വിളിക്കുന്നു. ഒരു സാധാരണ മനുഷ്യന്റെ വ്യക്തമായ കാഴ്ചയ്ക്കുള്ള ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ദൂരം 25cm ആയിട്ടാണ് എടുക്കുന്നത്. സിലിയറി പേശികളുടെ കഴിവ് കുറയുന്നതുകൊണ്ടും, നേത്രലെൻസിന്റെ വഴക്കം (flexibiltiy) കുറയുന്നതുകൊണ്ടും, വ്യക്തമായ കാഴ്ചയ്ക്കുള്ള ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ദൂരം പ്രായത്തിനനുസരിച്ച് കൂടുന്നു. വ്യക്തമായ കാഴ്ചയ്ക്കുള്ള ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ദൂരം 10 വയസ്സിൽ താഴെയുള്ള കുട്ടികൾക്ക് 7cm മുതൽ 8cm വരെയും 60 വയസ്സിൽ ഇത് 200 cm വരെയും ആണ്. അതുകൊണ്ട് പ്രായമായ ഒരാൾ 25cm ദൂരത്തിലുള്ള ഒരു വസ്തുവിന്റെ പ്രതിബിംബം അസ്പഷ്ടമായി കാണുന്നു. നേത്രത്തിന്റെ ഈ ന്യൂനതയെ വെള്ളെഴുത്ത് (presbyopia) എന്നു വിളിക്കുന്നു. ഈ ന്യൂനത പരിഹരിക്കുവാൻ കോൺവെക്സ് ലെൻസുകൾ ഉപയോഗിക്കുന്നു.

വളരെ സങ്കീർണ്ണമായ പ്രക്രിയകളിലൂടെ, വൈദ്യുത കാന്തിക തരംഗങ്ങളെ പ്രതിബിംബങ്ങളായി രൂപപ്പെടുത്തുവാൻ കഴിയുന്ന വിസ്മയകരമായ ഒരു അവയവമാണ് നേത്രം. വിലമതിക്കാനാവാത്ത സമ്പാദ്യമായതിനാൽ നമ്മൾ ഇതിനെ വളരെ കരുതലോടെ സംരക്ഷിക്കണം. ഈ അവയവം പ്രവർത്തനക്ഷമം അല്ലാതിരുന്നിട്ടും സാധാരണ ജീവിതം നയിക്കുന്ന ഒട്ടേറെപേർ നമുക്കിടയിലുണ്ട്. അവർ കാണിക്കുന്ന ഈ മനോധൈര്യത്തിന് അവർ നമ്മുടെ പ്രശംസ അർഹിക്കുന്നു.



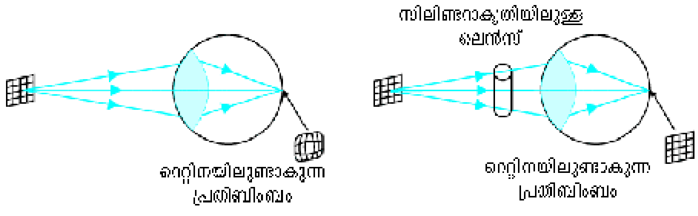

ചിത്രം 9.29 (b) നേത്രത്തിലെ ഹ്രസ്വദൃഷ്ടിയും അതിന്റെ പരിഹാരവും




ചിത്രം 9.29 (c) നേത്രത്തിലെ ദീർഘദൃഷ്ടിയും അതിന്റെ പരിഹാരവും

എന്തെല്ലാം മുൻകരുതൽ എടുത്താലും, വ്യത്യസ്ത കാരണങ്ങളാൽ, ചില ന്യൂനതകൾ നേത്രത്തിൽ രൂപപ്പെടാറുണ്ട്. നേത്രത്തിന്റെ ചില പ്രകാശിക ന്യൂനതകൾ നമുക്ക് പഠിക്കാം. നേത്രത്തിൽ നിന്നും വളരെ ദൂരെയുള്ള വസ്തുവിന്റെ പ്രതിബിംബം റെറ്റിനയുടെ മുൻപിൽ രൂപപ്പെടുന്ന ന്യൂനതയെ ഹ്രസ്വദൃഷ്ടി (near sightedness, myopia) എന്നു വിളിക്കുന്നു. ഈ ന്യൂനത പരിഹരിക്കുവാൻ ചിത്രം 9.29b യിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതു പോലെ കോൺകേവ്ലെൻസുകൾ ഉപയോഗിക്കുന്നു. നേത്രത്തിൽ പ്രവേശിക്കുന്ന പ്രകാശരശ്മിയെ, നേത്രലെൻസ്, റെറ്റിനയുടെ പുറകിൽ കേന്ദ്രീകരിക്കുന്ന ന്യൂന

തയാണ് ദീർഘദൃഷ്ടി (hyper metropia). ഈ ന്യൂനത പരിഹരിക്കുവാൻ 9.29c യിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതു പോലെ കോൺവെക്സ് ലെൻസുകൾ ഉപയോഗിക്കുന്നു. റെറ്റിന ഗോളീയം അല്ലാത്തതുകൊണ്ട് കാഴ്ചയിലുണ്ടാകുന്ന ന്യൂനതയെ അസ്റ്റിഗ്മാറ്റിസം (astigmatism) എന്നു പറയുന്നു. റെറ്റിന ഗോളീയം അല്ലെങ്കിൽ ലംബതലത്തിലുള്ള വക്രതയും സമാന്തരതലത്തിലുള്ള വക്രതയും വ്യത്യസ്തമായിരിക്കും. ഈ ന്യൂനത ഉള്ള ഒരാൾ ഒരു കമ്പിയോ അല്ലെങ്കിൽ ഒരു കമ്പിവലയോ കാണുമ്പോൾ ഏതെങ്കിലും ഒരു തലത്തിലുള്ള പ്രതിബിംബം മാത്രം, വ്യക്തമായിരിക്കും.



ചിത്രം 9.29 (d)
(d)

ഈ ന്യൂനത പരിഹരിക്കുന്നതിന് ചിത്രം 9.29 (d)-യിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ സിലിണ്ടറാകൃതിയിലുള്ള ലെൻസുകൾ ഉപയോഗിക്കുന്നു. അസ്റ്റിഗ്മാറ്റിസം എന്ന ന്യൂനത ഹ്രസ്വദൃഷ്ടിയോടും ദീർഘദൃഷ്ടിയോടും കൂടി ചേർന്നുണ്ടാകാം.

**ഉദാഹരണം 9.10:** ഒരു വ്യക്തിയുടെ വ്യക്തമായ കാഴ്ചയ്ക്കുള്ള ഏറ്റവും കുറഞ്ഞദൂരം 50 cm ആണെങ്കിൽ അയാൾ വായിക്കാനുപയോഗിക്കുന്ന കണ്ണടയുടെ ഫോക്കസ്ദൂരം എത്ര ആയിരിക്കണം.?

**ഉത്തരം:** സാധാരണ കാഴ്ചയ്ക്കുള്ള ദൂരം 25 cm ആണ്. അതുകൊണ്ട് $u = -25$ cm. ആണെങ്കിൽ $v = -50$ cm. ആയിരിക്കണം. അതുകൊണ്ട് ആവശ്യമായ ഫോക്കസ്ദൂരം

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{v} - \frac{1}{u}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{50} - \frac{1}{25}$$

അതായത് + 50 cm ഫോക്കസ്ദൂരം ഉള്ള കോൺവെക്സ് ഉപയോഗിക്കണം.

ഉദാഹരണം 9.10

**ഉദാഹരണം 9.11:**

(a) ഹ്രസ്വദൃഷ്ടിയുള്ള ഒരു വ്യക്തിക്ക് വ്യക്തമായി കാണാവുന്ന വസ്തുവിന്റെ ദൂരം അയാളുടെ നേത്രത്തിൽ നിന്നും 80 cm ദൂരത്താണ്. വളരെ ദൂരെയുള്ള വസ്തുക്കളെ കാണുവാൻ അദ്ദേഹം ധരിക്കേണ്ട ലെൻസിന്റെ പവർ എത്ര?

(b) ന്യൂനത പരിഹരിക്കുവാൻ ഉപയോഗിക്കുന്ന ലെൻസ് ഏതു വിധത്തിൽ ആണ് അദ്ദേഹത്തെ സഹായിക്കുന്നത്. ഈ ലെൻസ് ദൂരയുള്ള വസ്തുക്കളെ അപവർത്തനത്തിന് വിധേയമാക്കുമോ? വിശദമാക്കുക.

(c) ഈ ലെൻസ് ധരിക്കാതെ പുസ്തകങ്ങൾ വായിക്കാനാണ് ഇദ്ദേഹം ഇഷ്ടപ്പെടുന്നത്. എന്തുകൊണ്ടാണ് വിശദമാക്കുക.

**ഉത്തരം:**

(a) ഇവിടെ $u = -80$ cm, $V = \infty$

അതുകൊണ്ട് $\frac{1}{f} = \frac{1}{v} - \frac{1}{u}$

അല്ലെങ്കിൽ $f = -u$ അതായത് ഇദ്ദേഹം 80cm ഫോക്കൽദൂരമുള്ള ഒരു കോൺകേവ് ലെൻസ് ഉപയോഗിക്കുന്നു. ലെൻസിന്റെ പവർ – 1.25 D ആണ്.

ഉദാഹരണം 9.11

(b) ആവർധനം ഉണ്ടാക്കുന്നില്ല. യഥാർത്ഥത്തിൽ കോൺകേവ്ലെൻസുകൾ പ്രതിബിംബത്തിന്റെ വലുപ്പം വസ്തുവിന്റേതിനേക്കാൾ കുറയ്ക്കുകയാണ് ചെയ്യുന്നത്. ദൂരെയുള്ള ഒരു വസ്തുവും, പ്രതിബിംബവും, കണ്ണിൽ രൂപപ്പെടുത്തുന്ന കോണളവ് തുല്യമാണ്. ന്യൂനത പരിഹരിക്കുവാൻ ഉപയോഗിച്ചിരിക്കുന്ന ലെൻസ് വസ്തുവിന്റെ പ്രതിബിംബം ആവർധനം കൊണ്ടല്ല, മറിച്ച് നേത്രലെൻസിന് റെറ്റിനയിൽ കേന്ദ്രീകരിക്കാവുന്ന രീതിയിൽ, വസ്തുവിനെ നേത്രത്തിന്റെ അടുത്ത് കൊണ്ടുവരുന്നതുകൊണ്ടാണ് ദൂരെയുള്ള വസ്തുക്കളെ നേത്രത്തിന് വളരെ വ്യക്തമായി കാണാൻ സാധിക്കുന്നത്.

(c) ഹ്രസ്വദൃഷ്ടിയുള്ള ഒരാളുടെ വ്യക്തമായ കാഴ്ചയ്ക്കുള്ള ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ദൂരം 25cm ഓ, അല്ലെങ്കിൽ അതിൽ കുറവോ ആയിരിക്കും. കണ്ണട ഉപയോഗിച്ച് ബുക്ക് വായിക്കുമ്പോൾ ബുക്ക് 25cm ൽ കൂടുതൽ അകലത്തിൽ പിടിച്ചാൽ മാത്രമേ കോൺകേവ്ലെൻസ് ബുക്കിന്റെ പ്രതിബിംബം 25cm-നുള്ളിൽ രൂപപ്പെടുത്തുകയുള്ളൂ. വസ്തുവിന്റെ (ബുക്കിന്റെ) കോണീയ വലുപ്പം 25cm-ൽ കൂടുതൽ ദൂരത്തായിരിക്കുമ്പോൾ, 25cm- നുള്ളിൽ ഉള്ള കോണീയ വലുപ്പത്തേക്കാൾ കുറവായിരിക്കും. അതുകൊണ്ടാണ് ഹ്രസ്വദൃഷ്ടിയുള്ള ആൾ കണ്ണട ധരിച്ച് വായിക്കുവാൻ ഇഷ്ടപ്പെടാത്തത്.

ഉദാഹരണം 9.11

**ഉദാഹരണം 9.12 :**

(a) ദീർഘദൃഷ്ടിയുള്ള ഒരാളുടെ വ്യക്തമായ കാഴ്ചയ്ക്കുള്ള കുറഞ്ഞ ദൂരം 75cm ആണ്. 25cm ദൂരത്തിലുള്ള ഒരു ബുക്ക് വായിക്കുവാൻ ഉപയോഗിക്കേണ്ട ലെൻസിന്റെ പവർ എത്ര?

(b) ന്യൂനത പരിഹരിക്കുവാൻ ഉപയോഗിച്ചിരിക്കുന്ന ലെൻസ് ഏത് വിധത്തിലാണ് ഇദ്ദേഹത്തെ സഹായിക്കുന്നത്. ഈ ലെൻസ് നേത്രത്തിന് അടുത്തുള്ള വസ്തുവിന്റെ പ്രതിബിംബത്തെ ആവർധനവിധേയമാക്കുന്നുണ്ടോ?

(c) കണ്ണട ധരിക്കാതെ ആകാശം വീക്ഷിക്കുവാൻ ഇയാൾ ഇഷ്ടപ്പെടുന്നത് എന്തുകൊണ്ടാണ് വിശദമാക്കുക.

**ഉത്തരം :**

(a) $u = -25$ cm, $v = -75$ cm

$1/f = 1/25 \quad 1/75$. അതായത് $f = 37.5$ cm. പവർ $P = +2.67$ D. ന്യൂനത പരിഹരിക്കുവാൻ +2.67 D. പവർ ഉള്ള ലെൻസ് വേണം

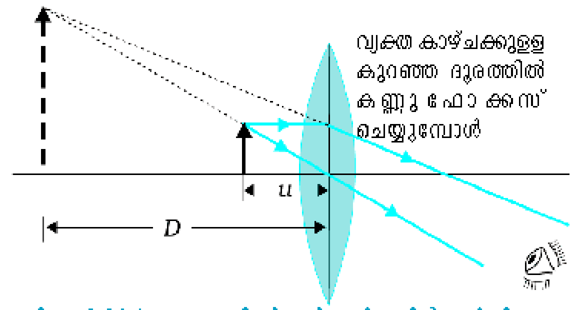
(b) ന്യൂനത പരിഹരിക്കാൻ ഉപയോഗിക്കുന്ന ലെൻസ് 25 cm ദൂരെയുള്ള വസ്തുവിന്റെ മിഥ്യാ പ്രതിബിംബം 75 cm ദൂരത്തിൽ രൂപപ്പെടുത്തുന്നു. വസ്തുവിന്റെയും പ്രതിബിംബത്തിന്റെയും കോണീയ വലുപ്പം തുല്യമാണ്. അതായത് ലെൻസ്, വസ്തുവിന്റെ പ്രതിബിംബത്തിന് ആവർധനം ഉണ്ടാക്കാതെ, വസ്തുവിനെ ദീർഘദൃഷ്ടിയുള്ള ആളുടെ വ്യക്തമായ കാഴ്ചാ ദൂരത്തേക്ക് കൊണ്ടുവരുകയും, അത് റെറ്റിനയിൽ പതിപ്പിക്കുകയും മാത്രമെ ചെയ്യുന്നുള്ളൂ. എന്നിരുന്നാലും, കോണീയ വലുപ്പം, 75 cm ദൂരത്തിൽ വെച്ചിരിക്കുന്ന വസ്തുവിനെ കണ്ണടയില്ലാതെ വീക്ഷിക്കുന്നതിലും കൂടുതലാണ്.

(c) ദീർഘദൃഷ്ടിയുള്ള ഒരാളുടെ കണ്ണിന് വളരെ ദൂരത്ത് നിന്നും വരുന്ന പ്രകാശരശ്മികളെ റെറ്റിനയിൽ പതിപ്പിക്കാനുള്ള കഴിവുണ്ട്. ന്യൂനതപരിഹരിക്കാനുള്ള കണ്ണട ധരിക്കുമ്പോൾ പ്രകാശരശ്മികൾക്ക് കൂടുതൽ കേന്ദ്രീകരണം സംഭവിക്കുകയും കാഴ്ചയ്ക്ക് ബുദ്ധിമുട്ടുണ്ടാകുകയും ചെയ്യും. അതുകൊണ്ടാണ് ദീർഘദൃഷ്ടിയുള്ള ഒരാൾ കണ്ണട ധരിക്കാതെ ആകാശം വീക്ഷിക്കുവാൻ ഇഷ്ടപ്പെടുന്നത്.

ഉദാഹരണം 9.12

### 9.9.2 ലഘു സൂക്ഷ്മദർശിനി (Simple Microscope)

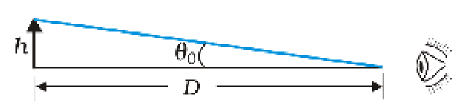
ചിത്രം 9.30 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ, ചെറിയ ഫോക്കസ്ദൂരമുള്ള ഒരു കോൺവെക്സ് ലെൻസിനെയാണ് ലഘുസുക്ഷ്മദർശിനി (microscope) എന്ന് വിളിക്കുന്നത്. ലഘുസുക്ഷ്മദർശിനി ആയി ഒരു കോൺവെക്സ്ലെൻസ് ഉപയോഗിക്കുമ്പോൾ, ലെൻസിൽനിന്നും ഒരു ഫോക്കസ് ദൂരം അകലെയോ അല്ലെങ്കിൽ അതിനുള്ളിലോ, വസ്തുവും, മറുവശത്ത് ലെൻസിന് അടുത്തായി നേത്രവും ക്രമീകരിക്കുന്നു.



ചിത്രം 9.30 (a) നേത്രത്തിന്റെ സമീപ ബിന്ദുവിൽ പ്രതിബിംബം ലഭിക്കുന്നവിധം ലഘുസക്ഷ്മ ദർശിനി ക്രമീകരിച്ചിരിക്കുന്നു.

ഇങ്ങനെ ക്രമീകരിക്കുമ്പോൾ വസ്തുവിന്റെ നിവർന്നതും ആവർധനം സംഭവിച്ചതും അയഥാർത്ഥവും ആയ പ്രതിബിംബം, വ്യക്തമായ കാഴ്ചയ്ക്കുള്ള ദൂരത്തിൽ ലഭിക്കുന്നു. ഫോക്കസ്സിലുള്ള വസ്തുവിന്റെ പ്രതിബിംബം അനന്തതയിലാണ് ലഭിക്കുന്നത്. ഫോക്കസ് ദൂരത്തിനേക്കാൾ കുറഞ്ഞ ദൂരത്തിലാണ് വസ്തു എങ്കിൽ, അതിന്റെ മിഥ്യാ പ്രതിബിംബം അനന്തതയേക്കാൾ കുറഞ്ഞ ദൂരത്തിൽ ലഭിക്കുന്നു.

സൗകര്യപ്രദമായി പ്രതിബിംബം കാണാനുള്ള ദൂരം, വ്യക്തകാഴ്ചയ്ക്കുള്ള ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ദൂരമാണെങ്കിലും, ഈ ദൂരം നേത്രത്തിന് ആയാസം ഉളവാക്കുന്നു. നേത്രത്തിന് ഏറ്റവും അനുയോജ്യമായത് പ്രതിബിംബം അനന്തതയിൽ രൂപപ്പെടുന്നതാണ്. പ്രതിബിംബം വ്യക്തമായ കാഴ്ചക്കുള്ള ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ദൂരത്തിൽ രൂപപ്പെടുന്ന ചിത്രം (9.30 a) യിലും പ്രതിബിംബം അനന്തതയിലുണ്ടാകുന്ന ചിത്രം (9.30bയിലും cയിലും) ആയി കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. ഒരു സുക്ഷ്മദർശിനിയിൽ പ്രതിബിംബം വ്യക്തമായ കാഴ്ചയ്ക്കുള്ള ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ദൂരത്തായിരിക്കുമ്പോൾ ഉണ്ടാകുന്ന രേഖീയ ആവർധനം (linear magnification) (m) ലഭിക്കുന്നതിനുള്ള സമവാക്യം



ചിത്രം 9.30 (b) വസ്തു നേത്രത്തിൽ രൂപപ്പെടുത്തുന്ന കോണും സമീപ ബിന്ദുവും

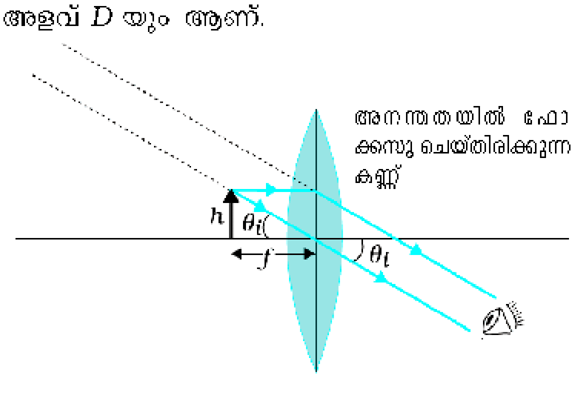
$$m = \frac{v}{u} = v\left(\frac{1}{v} - \frac{1}{f}\right) = \left(1 - \frac{v}{f}\right)$$ ആണ്.

ചിഹ്നരീതി പരിഗണിക്കുമ്പോൾ $v$ നെഗറ്റീവും അതിന്റെ അളവ് $D$ യും ആണ്. അതായത് ആവർധനം

$$m = \left(1 + \frac{D}{f}\right) \tag{9.39}$$

$D \sim 25$ cm, ആണെങ്കിൽ 6 മടങ്ങ് ആവർധനം ലഭിക്കുവാൻ 5cm ഫോക്കസ് ദൂരം ഉള്ള കോൺവെക്സ് ലെൻസ് ഉപയോഗിക്കണം.

ആവർധനം $m = h'/h$ എന്ന സമവാക്യത്തിൽ $h'$ പ്രതിബിംബത്തിന്റെ ഉയരവും $h$ വസ്തുവിന്റെ ഉയരവും ആണ്. വ്യക്തകാഴ്ചയ്ക്കുള്ള ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ദൂരത്തിൽ വസ്തു നേത്രത്തിൽ രൂപപ്പെടുത്തുന്ന കോണും പ്രതിബിംബം നേത്രത്തിൽ രൂപപ്പെടുത്തുന്ന കോണും (യഥാർഥത്തിൽ കോൺ $h/u$ ആണ്) തമ്മിലുള്ള അംശബന്ധത്തേയും ആവർധനം എന്നു വിളിക്കുന്നു. യഥാർഥത്തിൽ ഒറ്റ ലെൻസുകൊണ്ട് നിർമ്മിച്ചിരിക്കുന്ന ഒരു സൂക്ഷ്മദർശിനി നേത്രത്തിന്റെ വ്യക്തമായകാഴ്ചയ്ക്കുള്ള ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ദൂരത്തിനുള്ളിലേക്ക് വസ്തുവിനെ കൊണ്ടുവരുവാൻ സഹായിക്കുകയാണ് ചെയ്യുന്നത്.



ചിത്രം 9.30 (c) വസ്തു ഫോക്കൽദൂരത്തിനടുത്തും, പ്രതിബിംബം അനന്തതയേക്കാൾ അടുത്തും

അനന്തതയിലുള്ള വസ്തുവിന്റെ ആവർധനം കണ്ടുപിടിക്കുന്നത് എങ്ങനെയെന്നു നോക്കാം. ഈ സാഹചര്യത്തിൽ കോണീയ ആവർധനം *(angular* magnification) ആണ് കണ്ടുപിടിക്കേണ്ടത്. ഒരു വസ്തുവിന്റെ ഉയരം h ആണെന്ന് കരുതുക. ഈ വസ്തു വ്യക്തകാഴ്ചയ്ക്കുള്ള ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ദൂരത്തിൽ (D) ആയിരിക്കുമ്പോളാണ് ഏറ്റവും തെളിഞ്ഞ് കാണുന്നതും, ഏറ്റവും വലിയ കോൺ നേത്രത്തിൽ രൂപപ്പെടുത്തുന്നതും. ഈ അവസ്ഥയിൽ, വസ്തു നേത്രത്തിൽ രൂപപ്പെടുത്തുന്ന കോണളവ്

$$\tan\theta_o = \left(\frac{h}{D}\right) \approx \theta_o \qquad (9.40)$$

വസ്തു $u$ ദൂരത്തായിരിക്കുമ്പോൾ, പ്രതിബിംബം നേത്രത്തിൽ രുപപ്പെടുത്തുന്ന കോണളവ് കണ്ടുപിടിക്കാം.

$$m = \frac{h'}{h} = \frac{v}{u}$$

എന്ന സമവാക്യത്തിൽ നിന്നും, പ്രതിബിംബം നേത്രത്തിൽ രുപപ്പെടുത്തുന്ന കോണളവ്

$$\tan\theta_i = \frac{h'}{-v} = \frac{h}{-v}\cdot\frac{v}{u} = \frac{h}{-u} \approx \theta_i \text{. ആണ്.}$$

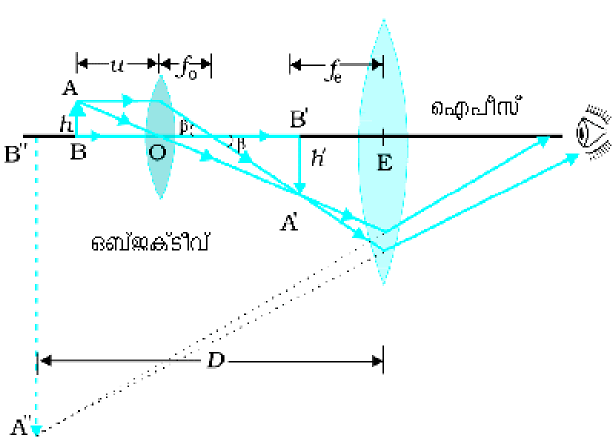
$u = -f$ ആയിരിക്കുമ്പോൾ വസ്തു നേത്രത്തിൽ രൂപപ്പെടുത്തുന്ന കോണളവ്

$$\theta_i = \left(\frac{h}{f}\right) \qquad (9.41) \text{ ആണ്.}$$

അതുകൊണ്ട് കോണീയ ആവർധനം

$$m = \left(\frac{\theta_i}{\theta_o}\right) = \frac{D}{f} \qquad (9.42) \text{ ആണ്.}$$

ഇത് സമവാക്യം 9.39 അനുസരിച്ചുള്ളതിനേക്കാളും ആവർധനം ഒന്ന് കുറവാണെങ്കിലും, കാഴ്ച കൂടുതൽ സുഖകരമാണ്. പ്രകാശിക ഉപകരണങ്ങളുമായി (സൂക്ഷ്മദർശിനിയും ദൂരദർശിനിയും) ബന്ധപ്പെട്ട് തുടർന്നുവരുന്ന ചർച്ചയിൽ, പ്രതിബിംബം അനന്തതയിൽ രൂപപ്പെടുന്നുവെന്നു കരുതുന്നു.




ചിത്രം 9.31 സങ്കരസൂക്ഷ്മദർശിനി രൂപപ്പെടുത്തുന്ന പ്രതിബിംബത്തിന്റെ രശ്മിഡയഗ്രം

സാധാരണ ഫോക്കസ്ദൂരമുള്ള ഒരു ലഘു സൂക്ഷ്മദർശിനിയുടെ ഏറ്റവും കൂടിയ ആവർധനത്തിന് ഒരു പരിധിയുണ്ട്. ($\leq 9$). ഇതിലും കൂടുതൽ ആവർധനം ആവശ്യമുള്ളപ്പോൾ രണ്ടു ലെൻസുകളുടെ ഒരു സംയോജിത ലെൻസ് ഉപയോഗിക്കുന്നു. ഇത്തരം സംവിധാനത്തെയാണ് സങ്കരസൂക്ഷ്മദർശിനി (compound microscope) എന്ന് വിളിക്കുന്നത്. സങ്കരസൂക്ഷ്മദർശിനിയുടെ ഒരു രേഖാചിത്രം 9.31 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. വസ്തുവിന്റെ സമീപത്തുള്ള ലെൻസിനെ ഒബ്ജെക്റ്റീവ് (objective) എന്നു വിളിക്കുന്നു. ഇത് വസ്തുവിന്റെ യഥാർഥത്തിലുള്ളതും തലകീഴായതും ആവർധനം സംഭവിച്ചതുമായ പ്രതിബിംബം രൂപപ്പെടുത്തുന്നു. ഈ പ്രതിബിംബം ഐപീസ് (eyepiece)

എന്നു വിളിക്കുന്ന രണ്ടാമത്തെ ലെൻസിന് വസ്തുവായിത്തീരുന്നു. ഐപീസ് ഒരു ലഘു സൂക്ഷ്മദർശിനിയായി പ്രവർത്തിച്ച് വസ്തുവിന്റെ വലുതും മിഥ്യയുമായ പ്രതിബിംബം അനന്തതയിൽ രൂപീകരിക്കുന്നു. അതായത് ഒബ്ജക്ടീവ് രൂപീകരിക്കുന്ന തലകീഴായ പ്രതിബിംബം ഐപീസിന്റെ ഫോക്കസ്ദൂരത്തിലോ അല്ലെങ്കിൽ അതിനുള്ളിലൊ ആണ്. അതുകൊണ്ട് അവസാന പ്രതിബിംബം എപ്പോഴും വസ്തുവിനെ അപേക്ഷിച്ച് തലകീഴായതായിരിക്കും.

സങ്കര സൂക്ഷ്മദർശിനിയുടെ ആവർധനം എങ്ങനെയാണ് ലഭിക്കുന്നതെന്ന് മനസ്സിലാക്കാം. ചിത്രം 9.31 ൽ വസ്തുവിന്റെ ഒബ്ജക്റ്റീവ് മൂലമുള്ള രേഖീയ ആവർധനം കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. ഒബ്ജക്ടീവ് മൂലമുള്ള രേഖീയ ആവർധനം

$$m_O = \frac{h'}{h} = \frac{L}{f_o} \qquad (9.43)$$

ചിത്രം 9.31 ൽ നിന്നും

$$\tan\beta = \left(\frac{h}{f_o}\right) = \left(\frac{h'}{L}\right)$$ ആണ്.

ഇവിടെ ആദ്യത്തെ പ്രതിബിംബത്തിന്റെ ഉയരം h′, വസ്തുവിന്റെ ഉയരം h ഒബ്ജക്ടീവിന്റെ ഫോക്കസ്ദൂരം $f_o$ എന്നിങ്ങനെയാണ്. ആദ്യത്തെ പ്രതിബിംബം രൂപപ്പെടുന്നത് ഐപീസിന്റെ ഫോക്കൽ ബിന്ദുവിന്റെ സമീപത്താണ്. ഒബ്ജക്ടീവിന്റെ രണ്ടാമത്തെ ഫോക്കൽ ബിന്ദുവിനും ഐപീസിന്റെ ആദ്യത്തെ ഫോക്കൽ ബിന്ദുവിനും ഇടയിലുള്ള ദൂരത്തെയാണ് സങ്കര സൂക്ഷ്മദർശിനിയുടെ കുഴൽനീളം (tube length) എന്ന് വിളിക്കുന്നത്. ഒബ്ജക്ടീവ് രൂപപ്പെടുത്തുന്ന തലകീഴായ പ്രതിബിംബം ഐപീസിന്റെ ഫോക്കൽ ബിന്ദുവിന് സമീപത്തായതുകൊണ്ട്, വ്യക്തകാഴ്ചയ്ക്കുള്ള ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ദൂരത്ത് ഐപീസ് രൂപപ്പെടുത്തുന്ന അവസാന പ്രതിബിംബത്തിന്റെ കോണീയ ആവർധനം ($m_e$) കണ്ടുപിടിക്കുന്നതിന് ലഘുസൂക്ഷ്മദർശിനിയുടെ ആവർധനം കണ്ടുപിടിക്കുന്ന സമവാക്യം (9.39) ഉപയോഗിക്കാവുന്നതാണ്. അതായത്

$$m_e - \left(1 - \frac{D}{f_e}\right) \qquad [9.44(a)]$$

അവസാനത്തെ പ്രതിബിംബം അനന്തതയിലാണ് രൂപീകരിക്കപ്പെടുന്നതെങ്കിൽ ഐപീസ് മൂലമുള്ള കോണീയ ആവർധനം (സമവാക്യം9.42) അനുസരിച്ച്

$$m_e = (D/f_e) \qquad [9.44(b)]$$

സമവാക്യം 9.33 അനുസരിച്ച് പ്രതിബിംബം അനന്തതയിൽ രൂപപ്പെടുമ്പോൾ ഉള്ള ആകെ കോണീയ ആവർധനം

$$m - m_o m_e - \left(\frac{L}{f_o}\right)\ \left(\frac{D}{f_e}\right) \qquad (9.45)$$ ആണ്.

ചെറിയ വസ്തുക്കൾക്ക് വലിയ ആവർധനം ലഭിക്കണമെങ്കിൽ ഐപീസിന്റെയും ഒബ്ജക്ടീവിന്റെയും ഫോക്കസ്ദൂരം ചെറുതായിരിക്കണമെന്ന് വ്യക്തമായി. പക്ഷെ യഥാർഥത്തിൽ 1cm ൽ കുറവ് ഫോക്കസ് ദൂരമുള്ള ലെൻസ് നിർമിക്കാൻ ബുദ്ധിമുട്ടാണ്. അതുപോലെ, L വലുതാക്കണമെങ്കിൽ, വലിയ ലെൻസുകൾ ആവശ്യ

PHYSICS

The world's largest optical telescopes
http://astro.nineplanets.org/bigeyes.html

മാണ്. ഉദാഹരണത്തിന് ഒബ്ജക്ടീവിന്റെ ഫോക്കസ് ദൂരം $f_o$ = 1cm, ഐപീസിന്റെ ഫോക്കസ്ദൂരം $f_e$=2.0cm, കുഴൽനീളം 20cm എന്നിങ്ങനെയാണെങ്കിൽ ആവർധനം

$$m = m_o m_e = \left(\frac{L}{f_o}\right)\left(\frac{D}{f_e}\right) = \frac{20}{1} \cdot \frac{25}{2} = 250 \text{ ആണ്.}$$

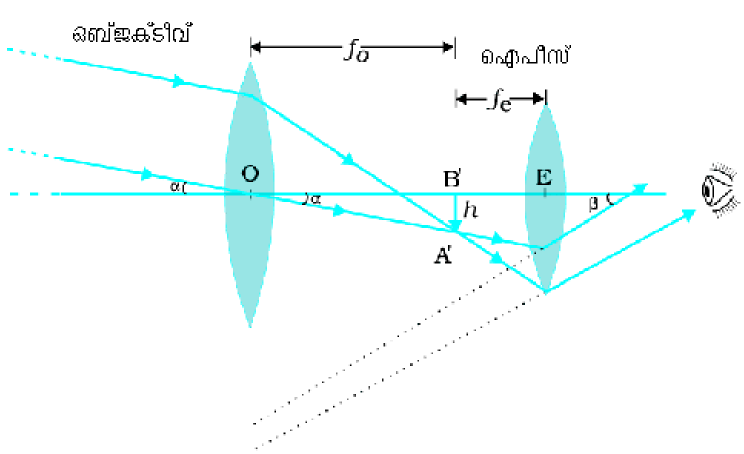
വസ്തുവിന്റെ ഇലുമിനേഷൻ തുടങ്ങിയ പല ഘടകങ്ങളേയും ആശ്രയിച്ചാണ് പ്രതിബിംബത്തിന്റെ വ്യക്തതയും ഗുണമേന്മയും നിലനിൽക്കുന്നത്. പ്രതിബിംബത്തിന്റെ ഗുണമേന്മ വർദ്ധിപ്പിക്കുവാനും വ്യത്യസ്ത പ്രകാശിക ന്യൂനതകൾ (optical aberration) പരിഹരിക്കുവാനും ധാരാളം ലെൻസുകളുടെ സംയോജിത ലെൻസുകളാണ് (ബഹുഘടക ലെൻസുകൾ) ആധുനിക സൂക്ഷ്മദർശിനികളിൽ ഉപയോഗിക്കുന്നത്.

### 9.9.3 ദൂരദർശിനി (Telescope)

ചിത്രം 9.32 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ, ദൂരെയുള്ള വസ്തുക്കളുടെ കോണീയ ആവർധനമാണ് ദൂരദർശിനി നൽകുന്നത്. ഐപീസ്, ഒബ്ജക്ടീവ്, എന്നിവ ദൂരദർശിനിക്കും ഉണ്ട്. പക്ഷെ ഒബ്ജക്ടീവിന്റെ വലുപ്പവും, ഫോക്കസ്ദൂരവും ഐപീസിനേക്കാൾ കൂടുതലാണ്. ദൂരെ സ്ഥിതി ചെയ്യുന്ന ഒരു വസ്തുവിൽ നിന്നും പുറപ്പെടുന്ന പ്രകാശം ഒബ്ജക്ടീവിലൂടെ കടന്ന് അതിന്റെ രണ്ടാമത്തെ ഫോക്കസ് ബിന്ദുവിൽ യഥാർഥ പ്രതിബിംബം രൂപപ്പെടുത്തുന്നു. ഐപീസ് ഈ പ്രതിബിംബത്തെ ആവർധനത്തിന് വിധേയമാക്കി, അവസാനം തലകീഴായ പ്രതിബിംബം രൂപപ്പെടുത്തുന്നു. ഇവിടെ അവസാന പ്രതിബിംബം കണ്ണിൽ രൂപപ്പെടുത്തുന്ന കോണളവും (β) ഒബ്ജക്ടീവിൽ വസ്തു രൂപപ്പെടുത്തുന്ന കോണളവും (α) തമ്മിലുള്ള അംശബന്ധത്തെയാണ് ദൂരദർശിനിയുടെ ആവർധനം എന്നു വിളിക്കുന്നത്. അതുകൊണ്ട്

$$m \approx \frac{\beta}{\alpha} \approx \frac{h}{f_e} \cdot \frac{f_o}{h} = \frac{f_o}{f_e} \qquad (9.46)$$

ഇവിടെ ദൂരദർശിനിയുടെ കുഴൽനീളം $f_o + f_e$ ആണ്. നിവർന്ന പ്രതിബിംബങ്ങൾ രൂപീകരിക്കുവാൻ ഭൗമദൂരദർശിനി (terrestrial) കളിൽ ഒരു ജോഡി ലെൻസുകൾ കൂടുതലായി ഉപയോഗിച്ചിട്ടുണ്ട്. അപവർത്തന ദൂരദർശിനികൾ, ഭൗമനിരീക്ഷണത്തിനും, വാനനിരീക്ഷണത്തിനും ഉപയോഗിക്കുന്നു. ഉദാഹരണത്തിന് 1cm ഫോക്കസ്ദൂരമുള്ള ഐപീസും, 100 cm ഫോക്കസ്ദൂരമുള്ള ഒബ്ജക്ടീവും കൊണ്ട് നിർമ്മിച്ചിരിക്കുന്ന ഒരു ദൂരദർശിനി പരിഗണിക്കുക. ഇതിന്റെ കോണീയ ആവർധനം m=100/1 =100 ആണ്.




ചിത്രം 9.32 അപവർത്തന ദൂരദർശിനി

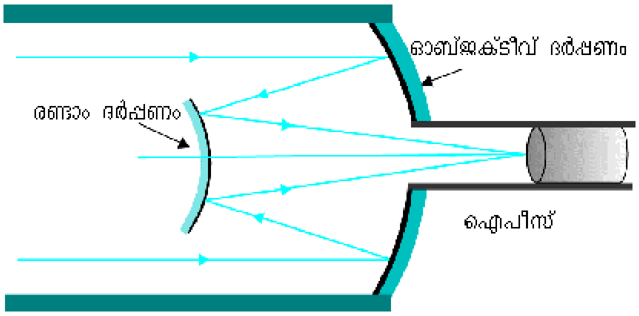
യഥാർത്ഥ കോണീയ അകലം ഒരു മിനിട്ട് (1') ഉള്ള രണ്ട് നക്ഷത്രങ്ങളെ പരിഗണിക്കുക. ദൂരദർശിനിയിലൂടെ വീക്ഷിക്കുമ്പോൾ ഇവ തമ്മിലുള്ള കോണീയ അകലം $100 \times 1' = 100' = 1.67^o$. ആയിരിക്കും. ഒരു ദൂരദർശിനിയിൽ, പ്രകാശശേഖരണ

ശേഷിയും (light gathering power) റിസോൾവിംഗ്പവറുമാണ് പ്രധാനമായും പരിഗണിക്കുന്നത്. പ്രകാശം ശേഖരിക്കുവാനുള്ള കഴിവ് ഒബ്ജക്ടീവിന്റെ പരപ്പളവിനെയാണ് ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നത്. ലെൻസിന്റെ ഗോളീയ വ്യാസം കൂടുന്നതനുസരിച്ച് കൂടുതൽ മങ്ങിയ വസ്തുക്കളുടെ വ്യക്തതയുള്ള പ്രതിബിംബം കാണാൻ കഴിയും. ഒരേ ദിശയിൽ വളരെ അടുത്തുള്ള രണ്ടു വസ്തുക്കളെ വ്യത്യസ്തങ്ങളായി കാണാനുള്ള കഴിവിനെയാണ് റിസോൾവിംഗ്പവർ (Resolving Power) എന്നു വിളിക്കുന്നത്. റിസോൾവിംഗ്പവർ ഒബ്ജക്ടീവിന്റെ വ്യാസത്തെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. അതുകൊണ്ട് ദൂരദർശിനികളിലെ ഒബ്ജക്ടീവിന്റെ ഗോളീയ വ്യാസം വളരെ കൂടിയതായിരിക്കും. USA-യിലെ വിസ്കോൺസിൻ (Wisconsin) എന്ന പ്രദേശത്തുള്ള യെർകെസ് (Yerkes) വാനനിരീക്ഷണ കേന്ദ്രത്തിലാണ് ഏറ്റവും കൂടിയ ഗോളീയ വ്യാസമുള്ള (40inch~1.02m) ഒബ്ജക്ടീവ് ലെൻസ് ഉപയോഗിക്കുന്നത്. ഇങ്ങനെയുള്ള ലെൻസുകളുടെ ഭാരം വളരെ കൂടുതൽ ആയതുകൊണ്ട് വക്കുകളിൽ അവയെ താങ്ങി നിർത്തുവാൻ വളരെ ബുദ്ധിമുട്ടാണ്. മാത്രവുമല്ല പ്രതിബിംബത്തിന് വൈരൂപ്യമോ, വർണ്ണ ന്യൂനതയോ ഇല്ലാത്തവിധം ഇങ്ങനെയുള്ള ലെൻസുകൾ നിർമിച്ചെടുക്കുക പണച്ചിലവേറിയതും ബുദ്ധിമുട്ടുള്ളതും ആണ്.

ഈ കാരണത്താൽ, ആധുനിക ദൂരദർശിനികളിൽ ലെൻസിനു പകരം കോൺകേവ് ദർപ്പണങ്ങൾ ആണ് ഒബ്ജക്ടീവായി ഉപയോഗിക്കുന്നത്. ദർപ്പണങ്ങൾ ഒബ്ജക്ടീവായി ഉപയോഗിക്കുന്ന ദൂരദർശിനികളെ പ്രതിപതന ദൂരദർശിനികൾ എന്നു വിളിക്കുന്നു. ഇവയ്ക്ക് അപവർത്തന ടെലസ്കോപ്പുകളെ അപേക്ഷിച്ച് പല തരത്തിലുള്ള മേന്മകളും ഉണ്ട്. ഒന്നാമതായി ദർപ്പണങ്ങൾക്ക് വർണ്ണ ന്യൂനത (chromatic aberation) ഇല്ല. രണ്ടാമതായി ഒബ്ജക്ടീവ് നിർമിച്ചിരിക്കുന്നത് പരാബോളിക് (parabola) ദർപ്പണങ്ങൾ ഉപയോഗിച്ചാണെങ്കിൽ ഗോളീയന്യൂനത (spherical aberration) യും നീക്കം ചെയ്യുന്നു. ദർപ്പണങ്ങൾക്ക് ലെൻസുകളെ അപേക്ഷിച്ച് ഭാരം കുറവായതുകൊണ്ട് ലെൻസിന്റെ അതേ ഗുണമേന്മ ലഭിക്കുന്ന ദർപ്പണങ്ങളെ താങ്ങി നിർത്തുവാൻ ബുദ്ധിമുട്ട് കുറവാണ്. മാത്രവുമല്ല, അരികുകളെ മാത്രം ആശ്രയിക്കാതെ ഇവയുടെ ഉപരിതലം മുഴുവനും താങ്ങി നിർത്തുവാൻ വേണ്ട സജ്ജീകരണങ്ങൾ ചെയ്യുവാൻ കഴിയും. പ്രതിപതന ദൂരദർശിനികളെ സംബന്ധിച്ചിടത്തോളം ഒരു പ്രധാന പ്രശ്നം ഒബ്ജക്ടീവ് ദർപ്പണം പ്രകാശരശ്മികളെ ദൂരദർശിനികുഴലിൽ കേന്ദ്രീകരിക്കുന്നു എന്നതാണ്. ഐപീസിന്റെയും കണ്ണിന്റെയും സ്ഥാനം കുഴലിനുള്ളിലെ ഈ ബിന്ദുവിൽ ആയതുകൊണ്ട് പ്രകാശരശ്മികൾക്ക് ഫോക്കസ്സിൽ കേന്ദ്രീകരിക്കുന്നതിന് (നിരീക്ഷക കൂടിന്റെ വലുപ്പമനുസരിച്ച്) തടസ്സമാകുന്നു.

കാലിഫോർണിയയിലെ മൗണ്ട് പാലൊമർ (Mt.Palomar) ദൂരദർശിനിയിൽ, നിരീക്ഷകൻ ഇരിക്കുന്നത് ഫോക്കൽ ബിന്ദുവിന്റെ സമീപത്ത് സ്ഥിതി ചെയ്യുന്ന നിരീക്ഷക കൂടിലാണ്. ഈ ദൂരദർശിനിയുടെ ഒബ്ജക്ടീവിന് ഏകദേശം 200 ഇഞ്ച് (~5.08 m) വ്യാസം ഉണ്ട്. ഈ പ്രശ്നത്തിനുള്ള ഒരു പരിഹാരം ദൂരദർശിനി കുഴലിൽ കേന്ദ്രീകരിക്കുന്ന പ്രകാശരശ്മികളെ ഒരു ദർപ്പണം ഉപയോഗിച്ച് പ്രതിപതിപ്പിക്കുക എന്നതാണ്. അത്തരത്തിലുള്ള ഒരു ക്രമീകരണമാണ് ചിത്രം (9.33) കാണിച്ചിരിക്കുന്നത്.

ഈ ക്രമീകരണത്തിൽ ദൂരദർശിനി കുഴലിൽ പതിക്കുന്ന പ്രകാശരശ്മികൾ ഒരു കോൺവെക്സ് ദർപ്പണത്തിന്റെ സഹായത്തോടെ ഒബ്ജക്ടീവിലുള്ള സുഷിരത്തിലൂടെ സഞ്ചരിച്ച് ഒരു ബിന്ദുവിൽ കേന്ദ്രീകരിക്കുന്നു. ഇത്തരത്തിൽ ക്രമീകരണമുള്ള ദൂരദർശിനിയെ രൂപകൽപ്പന ചെയ്ത ആളുടെ സ്മരണാർത്ഥം കസ്സേഗ്രെയിൻ (Cassegrain) ദൂരദർശിനി എന്നു വിളിക്കുന്നു. ചെറിയ ദൂരദർശിനിയിൽ, വളരെ വലിയ ഫോക്കസ് ദൂരത്തിന്റെ നേട്ടങ്ങൾ ലഭിക്കും എന്നുള്ളതാണ്




ചിത്രം 9.33 കസ്സേഗ്രെയിൻ പ്രതിപതന ദൂരദർശിനിയുടെ രേഖാചിത്രം

ഇതിന്റെ മേന്മ.

ഇന്ത്യയിലെ ഏറ്റവും വലിയ ദൂർദർശിനി സ്ഥിതി ചെയ്യുന്നത് തമിഴ്നാട്ടിലെ, കവലൂരിലാണ് (Kavalur) ഇത് 2.34m വ്യാസമുള്ള കസ്സേഗ്രെയിൻ മാതൃകയിലുള്ള പ്രതിപതന ദൂരദർശിനിയാണ്. ബാംഗ്ലൂരിലെ ഇന്ത്യൻ ഇൻസ്റ്റിറ്റ്യൂട്ട് ഓഫ് അസ്ട്രോഫിസിക്സ് (Indian Institute of Astrophysics)ആണ് ഈ ദൂരദർശിനി ഉപയോഗിക്കുന്നത്. ലോകത്തിലെ ഏറ്റവും വലിയ ദൂരദർശിനി, അമേരിക്കയിലെ ഹാവായി (Hawaii) ലുള്ള ഒരു ജോഡി കെക്ക് (Keck) ദൂരദർശിനിയാണ്. ഇതിന്റെ ദർപ്പണത്തിന് 10m വ്യാസമുണ്ട്.

## സംഗ്രഹം

1. $\angle i = \angle r'$ എന്ന സമവാക്യം പ്രതിപതനത്തെയും, $\sin i/\sin r = n$ എന്ന സ്നെൽ നിയമം അപവർത്തനത്തേയും പ്രതിപാദിക്കുന്നു. കൂടാതെ പതനരശ്മി, പ്രതിപതന രശ്മി, അപവർത്തന രശ്മി, പതന ബിന്ദുവിലൂടെ പതനതലത്തിനു വരയ്ക്കുന്ന ലംബം എന്നിവ പ്രതിപതനത്തിലും, അപവർത്തനത്തിലും ഒരേ തലത്തിലാണ്. $i$, $r'$, $r$ എന്നിവ യഥാക്രമം പതനകോൺ, പ്രതിപതനകോൺ അപവർത്തനകോൺ എന്നിവയാണ്.

2. പ്രകാശസാന്ദ്രത കൂടിയ മാധ്യമത്തിൽനിന്നും പ്രകാശസാന്ദ്രത കുറഞ്ഞ മാധ്യമത്തിലേക്ക് പ്രകാശരശ്മി സഞ്ചരിക്കുമ്പോൾ, പ്രതിപതനകോൺ $90°$ ആയിരിക്കുമ്പോളുള്ള പതനകോണിനെയാണ് ക്രാന്തികകോൺ ($i_c$) എന്നു വിളിക്കുന്നത്. $i > i_c$, ആയിരിക്കുമ്പോൾ പൂർണാന്തര പ്രതിപതനം സംഭവിക്കുന്നു. വജ്രത്തിലെ ബഹുപൂർണാന്തര പ്രതിപതനം, പൂർണാന്തരപ്രതിപതന പ്രിസങ്ങൾ, മരീചിക എന്നിവ പൂർണാന്തര പ്രതിപതനങ്ങൾക്ക് ഉദാഹരണങ്ങൾ ആണ്. പ്രകാശിക തന്തുക്കളിലെ ഗ്ലാസ് തന്തുക്കൾക്ക് ചുറ്റും അവയേക്കാൾ അപവർത്തനാങ്കം കുറഞ്ഞ വസ്തു കൊണ്ടുള്ള ഒരു ആവരണമുണ്ട്. ഒരു അഗ്രത്തിൽ പ്രത്യേക കോണിൽ പതിക്കുന്ന പ്രകാശരശ്മികൾ തുടർച്ചയായ പൂർണ്ണാന്തര പ്രതിപതനത്തിന് വിധേയമായി അടുത്ത അഗ്രത്തിലൂടെ പുറത്തു വരുന്നു. തന്തുക്കൾ എത്ര വളച്ചാലും ഈ പ്രവർത്തനത്തെ ബാധിക്കില്ല.

3. കാർട്ടീഷ്യൻ ചിഹ്നരീതി: പതനരശ്മിയുടെ അതേ ദിശയിൽ ഉള്ള ദൂരങ്ങളെ പോസിറ്റീവായും വിപരീതദിശയിലുള്ള ദൂരത്തെ നെഗറ്റീവായും പരിഗണിക്കുന്നു. ദർപ്പണങ്ങളുടെ മുഖ്യ അക്ഷത്തിലെ പോളിൽ നിന്നോ, അല്ലെങ്കിൽ ലെൻസുകളുടെ മുഖ്യഅക്ഷത്തിലെ പ്രകാശികകേന്ദ്രത്തിൽനിന്നോ ആണ് അളവുകൾ ആരംഭിക്കുന്നത്. X അക്ഷത്തിൽ നിന്നും ലംബമായി മുകളിലേക്കുള്ള ദൂരങ്ങൾ പോസിറ്റീവ് ആയും. താഴേക്കുള്ള ദൂരങ്ങൾ നെഗറ്റീവായും പരിഗണിക്കുന്നു.

4. ദർപ്പണ സമവാക്യം

$$\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$$

$v$ - പ്രതിബിംബത്തിലേക്കുള്ള ദൂരവും, $u$ - വസ്തുവിലേക്കുള്ള ദൂരവും, $f$ ഫോക്കസ് ദൂരവും ആണ്. ഫോക്കസ്ദൂരം, വക്രതാ ആരത്തിന്റെ പകുതിയാണ്. കോൺകേവ് ദർപ്പണത്തിൽ $f$ നെഗറ്റീവും, കോൺവെക്സ് ദർപ്പണത്തിൽ $f$ പോസിറ്റീവും ആണ്.

5. $n_1$ അപവർത്തനാങ്കമുള്ള മാധ്യമത്തിൽ വച്ചിരിക്കുന്നതും $n_2$ അപവർത്തനാങ്കമുള്ളതും $A$ കോണുള്ളതുമായ ഒരു പ്രിസത്തിൽ

$$n_{21}=\frac{n_2}{n_1}=\frac{\sin\left[\left(A+D_m\right)/2\right]}{\sin\left(A/2\right)}$$ ആണ്. ഇവിടെ

$D_m$ മിനിമം വ്യതിചലനകോൺ ആണ്.

6. ഗോളീയ സമ്പർക്കതലത്തിലൂടെയുള്ള അപവർത്തനത്തിൽ ($n_1$ അപവർത്തനാങ്കമുള്ള മാധ്യമത്തിൽ നിന്നും $n_2$ അപവർത്തനാങ്കമുള്ള മാധ്യമത്തിലേക്ക്)

$$\frac{n_2}{v} - \frac{n_1}{u} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$ ആണ്.

കനംകുറഞ്ഞ ലെൻസുകളുടെ സമവാക്യമാണ്.

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$ ആണ്.

ലെൻസ് രൂപീകരണ സമവാക്യമാണ്.

$$\frac{1}{f} = \frac{(n_2 - n_1)}{n_1}\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$ ആണ്.

$R_1$, $R_2$ എന്നിവ ലെൻസിന്റെ പ്രതലത്തിന്റെ വക്രതാആരം ആണ്. അവതല ലെൻസിൽ, $f$ നെഗറ്റീവും, ഉത്തല ലെൻസിൽ, പോസിറ്റീവും ആണ്.
ലെൻസിന്റെ പവർ $P = 1/f$ ആണ്.
ലെൻസിന്റെ പവറിന്റെ SIയൂണിറ്റ് ഡയോപ്റ്റർ ആണ് $1 \text{ D} = 1 \text{ m}^{-1}$.
$f_1, f_2, f_3 \ldots$ ഫോക്കൽ ദൂരങ്ങൾ ഉള്ള ലെൻസുകൾ സമ്പർക്ക സംയോജനത്തിൽ ആണെങ്കിൽ, അവയുടെ ആകെ ഫോക്കസ് ദൂരം

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} + \frac{1}{f_3} + \ldots$$ ആണ്.

ഈ കൂട്ടായ്മയുടെ പവർ $P = P_1 + P_2 + P_3 + \ldots$ ആണ്.

7. പ്രകാശം അതിന്റെ ഘടകവർണങ്ങളായി വിഘടിക്കുന്നതിനെ പ്രകീർണനം എന്ന് പറയുന്നു.

8. നേത്രം : 2.5 cm ഫോക്കൽ ദൂരമുള്ള ഒരു ഉത്തല ലെൻസ് നേത്രത്തിൽ ഉണ്ട്. ഈ ലെൻസിന്റെ ഫോക്കസിന്റെ ദൂരം ക്രമീകരിച്ച്, വ്യത്യസ്ത ദൂരങ്ങളിലുള്ള വസ്തുവിന്റെ പ്രതിബിംബത്തെ റെറ്റിനയിൽ പതിപ്പിക്കുവാൻ കണ്ണിന് കഴിയുന്നു. നേത്രത്തിന്റെ ഈ കഴിവിനെയാണ് കണ്ണിന്റെ പൊരുത്തപ്പെടൽ എന്ന് വിളിക്കുന്നത്. നേത്രത്തിന്റെ ന്യൂനത കാരണം, പ്രതിബിംബം റെറ്റിനയുടെ മുൻപിൽ കേന്ദ്രീകരിക്കുന്നതാണ് ഹ്രസ്വദൃഷ്ടി അഥവാ *myopia*; പരിഹരിക്കുവാൻ കോൺകേവ് ലെൻസും, റെറ്റിനയുടെ പിറകിൽ കേന്ദ്രീകരിക്കുന്നത് ദീർഘദൃഷ്ടി അഥവാ *hypermetropia*; പരിഹരിക്കുവാൻ കോൺവെക്സ് ലെൻസും ഉപയോഗിക്കുന്നു. സിലിണ്ടർ ആകൃതിയിലുള്ള ലെൻസുകൾ ഉപയോഗിച്ച് അബിന്ദുകത (അസ്റ്റിഗ്മാറ്റിസം) പരിഹരിക്കാവുന്നതാണ്.

9. ഒരു ലഘു സൂക്ഷ്മദർശിനിയുടെ ആവർധന ശേഷി, $m = 1 + (D/f)$ ആണ്. ഇവിടെ, $D = 25 cm$ വ്യക്ത കാഴ്ചക്കുള്ള ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ദൂരവും, $f$ കോൺവെക്സ് ലെൻസിന്റെ ഫോക്കസ് ദൂരവുമാണ്. പ്രതിബിംബം അനന്തതയിൽ ആണെങ്കിൽ സമവാക്യം $m = D/f$ ആണ്. ഒരു സങ്കരസൂക്ഷ്മദർശിനിയിൽ ആവർധന ശേഷി, $m = m_e \times m_o$ ആണ്. ഇവിടെ $m_e = 1 + (D/f_e)$, ഐപീസ് മുഖാന്തിരമുള്ള ആവർധനവും, $m_o$ ഒബ്ജക്ടീവ് മുഖാന്തിരമുള്ള ആവർധനവും ആണ്.

ഏകദേശം $m = \frac{L}{f_o} \times \frac{D}{f_e}$ ആണ്.

$f_o$ - ഒബ്ജക്ടീവിന്റെ ഫോക്കസ് ദൂരവും, $f_e$ - ഐപീസിന്റെ ഫോക്കസ് ദൂരവും, $L$ ഇവയുടെ ഫോക്കസ് ദൂരങ്ങളുടെ തുകയാണ്.

10. ദൂരദർശിനിയുടെ ആവർധനശേഷി: $\beta$, പ്രതിബിംബം നേത്രത്തിൽ രൂപീകരിക്കുന്ന കോണും, $\alpha$ വസ്തു നേത്രത്തിൽ രൂപീകരിക്കുന്ന കോണും, ആണെങ്കിൽ $m = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{f_o}{f_e}$

$f_0$ ഒബ്ജക്ടീവിന്റെ ഫോക്കൽ ദൂരവും $f_e$ ഐപീസിന്റെ ഫോക്കൽ ദൂരവും ആണ്.

## വിചിന്തന വിഷയങ്ങൾ

1. എല്ലാ ജോഡി മാധ്യമങ്ങളും, എല്ലാ പ്രതലങ്ങളും, അപവർത്തന നിയമങ്ങളും പ്രതിപതന നിയമങ്ങളും എല്ലാ പതന ബിന്ദുക്കളിലും അനുസരിക്കുന്നു.
2. ഒരു കോൺവെക്സ് ലെൻസിന്റെ $f$ നും $2f$ നും ഇടയിൽ വെച്ചിരിക്കുന്ന ഒരു വസ്തുവിന്റെ പ്രതിബിംബം, അത് രൂപപ്പെടുന്ന സ്ഥാനത്ത് വച്ചിരിക്കുന്ന ഒരു സ്ക്രീനിൽ കാണാവുന്നതാണ്. ആ സ്ഥാനത്ത് നിന്ന് സ്ക്രീൻ മാറ്റിയാൽ പ്രതിബിംബം അവിടെ രൂപപ്പെടുമോ എന്ന ചോദ്യം പലരേയും ബുദ്ധിമുട്ടിച്ചിട്ടുണ്ട്. കാരണം പ്രതിബിംബം വായുവിൽ തൂങ്ങി നിൽക്കുന്നു എന്ന് കരുതാൻ ബുദ്ധിമുട്ടാണ്.

   എന്നാൽ യഥാർഥത്തിൽ പ്രതിബിംബം വായുവിൽ രൂപപ്പെടുന്നുണ്ട്. ഒരു വസ്തുവിന്റെ, ഒരു ബിന്ദുവിൽ നിന്നുള്ള പ്രകാശരശ്മികൾ, അന്തരീക്ഷത്തിൽ ഒരു ബിന്ദുവിൽ കേന്ദ്രീകരിച്ചതിനുശേഷം വികേന്ദ്രീകരിക്കുന്നു. ഒരു സ്ക്രീൻ ഈ പ്രകാശരശ്മികളെ ഒന്നിച്ചു ചേർക്കുകയും അവയിൽ ചിലത് നമ്മുടെ നേത്രത്തിൽ പതിക്കുന്നതു കൊണ്ട് പ്രതിബിംബം കാണുകയും ചെയ്യും. ഒരു ലേസർ പ്രദർശനത്തിൽ, വസ്തുവിന്റെ പ്രതിബിംബം അന്തരീക്ഷത്തിൽ രൂപപ്പെടുന്നതിൽനിന്നും ഇക്കാര്യം വ്യക്തമാകും.
3. ക്രമമായ പ്രതിപതനത്തിലൊ, അപവർത്തനത്തിലൊ മാത്രമേ പ്രതിബിംബം രൂപ പ്പെടുകയുള്ളു. അതായത് വസ്തുവിന്റെ ഒരു നിശ്ചിത ബിന്ദുവിൽ നിന്നുള്ള പ്രകാശ രശ്മി, പ്രതിബിംബത്തിന്റെ അനുരൂപമായ ബിന്ദുവിൽ തന്നെ എത്തിച്ചേരണം. ഈ കാരണം കൊണ്ടു തന്നെയാണ് ക്രമരഹിതമായി പ്രതിഫലിപ്പിക്കുന്ന ഒരു വസ്തുവിന് (ഉദാഹരണം ഒരു ബുക്ക്) നമ്മുടെ പ്രതിബിംബം രൂപപ്പെടുത്താൻ കഴിയാത്തത്.
4. കട്ടികൂടിയ ലെൻസുകൾ വർണങ്ങളുള്ള പ്രതിബിംബങ്ങൾ രൂപപ്പെടുത്തുന്നത് പ്രകീർണനം കാരണമാണ്. നമുക്ക് ചുറ്റും വ്യത്യസ്ത വർണങ്ങളുള്ള വസ്തുക്കളെ കാണുന്നത്, അതേ വർണത്തിലുള്ള പ്രകാശം വസ്തുവിൽ പതിക്കുന്നതുകൊണ്ടാണ്. ഒരു വസ്തുവിന്റെ വർണത്തെക്കുറിച്ച്, അതിൽ ധവളപ്രകാശം പതിക്കുമ്പോഴും, അതുപോലെ, ഏകവർണ പ്രകാശം പതിക്കുമ്പോഴും, നമുക്കു കിട്ടുന്ന ചിത്രം തികച്ചും വ്യത്യസ്തമായിരിക്കും.
5. ഒരു ലഘുസൂക്ഷ്മദർശിനിയിൽ വസ്തുവിന്റെ കോണീയ വലുപ്പവും, പ്രതിബിംബത്തിന്റെ കോണീയ വലുപ്പവും തുല്യമാണ്. വസ്തുവിനെ 25 cm ലും കുറവ് ദൂരത്തിൽ കൊണ്ടുവരാൻ കഴിയുന്നതുകൊണ്ടാണ് നമുക്ക് ആവർധനം സംഭവിച്ച പ്രതിബിംബം കാണാൻ കഴിയുന്നത്. ഇങ്ങനെ ലെൻസിന്റെ അടുത്ത് വസ്തു സ്ഥിതി ചെയ്യുമ്പോൾ, വസ്തു, ലെൻസിൽ രൂപപ്പെടുത്തുന്ന കോൺ വലുതാണ്. സൂക്ഷ്മദർശിനി ഇല്ലാതെ നമുക്ക് വസ്തുവിനെ കാണാൻ സാധിക്കുന്ന ഏറ്റവും കുറവ് ദൂരം 25 cm ആണ്. ഈ ദൂരത്തിൽ ചെറിയ വസ്തുക്കൾ സ്ഥിതി ചെയ്യുമ്പോൾ, അത് കണ്ണിൽ രൂപപ്പെടുത്തുന്ന കോൺ വളരെ ചെറുതായിരിക്കും.

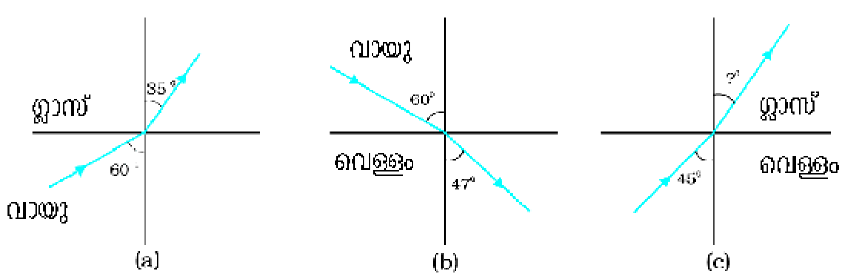
## പരിശീലന പ്രശ്നങ്ങൾ

**9.1** 36 cm വക്രതാ ആരമുള്ള ഒരു അവതല ദർപ്പണത്തിന്റെ മുമ്പിൽ 27 cm ദൂരത്ത്, 2.5 cm ഉയരമുള്ള ഒരു ചെറിയ മെഴുകുതിരി ഉറപ്പിച്ചിരിക്കുന്നു. വ്യക്തമായ പ്രതിബിംബം ലഭിക്കുവാൻ, സ്ക്രീനിന്റെ സ്ഥാനം, ദർപ്പണത്തിൽ നിന്നും എത്ര ദൂരത്തിൽ ആയിരിക്കണം? പ്രതിബിംബത്തിന്റെ സ്വഭാവവും, വലുപ്പവും എങ്ങനെയാണ്? മെഴുകുതിരിയുടെ സ്ഥാനം ദർപ്പണത്തോട് അടുപ്പിച്ചാൽ പ്രതിബിംബം ലഭിക്കുവാൻ സ്ക്രീൻ എങ്ങനെയാണ് നീക്കേണ്ടത്?

**9.2** 15 cm ഫോക്കസ് ദൂരമുള്ള ഒരു കോൺവെക്സ് ദർപ്പണത്തിന്റെ മുമ്പിൽ 12 cm ദൂരത്ത്, 4.5 cm ഉയരമുള്ള ഒരു സൂചി സ്ഥിതി ചെയ്യുന്നു. പ്രതിബിംബത്തിന്റെ സ്ഥാനവും ആവർധനവും കണ്ടുപിടിക്കുക. ദർപ്പണത്തിൽ നിന്നും സൂചിയുടെ ദൂരം വർധിപ്പിച്ചാൽ പ്രതിബിംബത്തിന് എന്തു സംഭവിക്കുമെന്ന് വിശദമാക്കുക.

**9.3** ഒരു ടാങ്കിൽ 12.5 cm ഉയരത്തിൽ ജലം സംഭരിച്ചിരിക്കുന്നു. ടാങ്കിന്റെ അടിത്തട്ടിൽ സ്ഥിതി ചെയ്യുന്ന ഒരു സൂചിയുടെ അവാസ്തവ താഴ്ച, ഒരു സൂക്ഷ്മദർശിനി ഉപയോഗിച്ച് അളന്നപ്പോൾ 9.4 cm ആണ്. ജലത്തിന് പകരം, അതേ ഉയരത്തിൽ 1.63 അപവർത്തനാങ്കം ഉള്ള വേറൊരു ദ്രാവകം നിറച്ചാൽ, സൂക്ഷ്മദർശിനി എത്ര ദൂരം ചലിപ്പിച്ചാലാണ് പ്രതിബിംബം വീണ്ടും വ്യക്തമായി ദൃശ്യമാവുക.

**9.4** ഗ്ലാസ്സ് വായു സമ്പർക്കമുഖത്തിലും വായു ജലം സമ്പർക്കമുഖത്തിലും, 60° പതന കോണിൽ പതിക്കുന്ന പ്രകാശരശ്മിയുടെ അപവർത്തനം ചിത്രം 9.34 a,b എന്നിവയിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു.




ചിത്രം 9.34

ജലം ഗ്ലാസ്സ് സമ്പർക്കമുഖത്തിൽ 45° പതനകോണിൽ പതിക്കുന്ന പ്രകാശരശ്മിയുടെ ഗ്ലാസിലെ അപവർത്തനകോൺ (ചിത്രം 9.34) കണ്ടുപിടിക്കുക.

**9.5** 80 cm ഉയരത്തിൽ ജലം നിറച്ചിരിക്കുന്ന ഒരു ടാങ്കിന്റെ അടിത്തട്ടിൽ, പ്രകാശിച്ചു കൊണ്ടിരിക്കുന്ന ഒരു ബൾബ് സ്ഥാപിച്ചിരിക്കുന്നു. ജലോപരിതലത്തിലൂടെ പ്രകാശം ബഹിർഗമിക്കുന്ന ഉപരിതല പരപ്പളവ് എത്രയാണ്. ജലത്തിന്റെ അപവർത്തനാങ്കം 1.33 ആണ്. (ബൾബിനെ ഒരു ബിന്ദു സ്രോതസ്സ് ആയി പരിഗണിക്കുക)

**9.6** അപവർത്തനാങ്കം ലഭ്യമല്ലാത്ത വസ്തുകൊണ്ട് ഒരു പ്രിസം നിർമിച്ചിരിക്കുന്നു. സമാന്തര പ്രകാശ കിരണങ്ങൾ/പ്രകാശ രശ്മികൾ, പ്രിസത്തിന്റെ ഒരു മുഖത്തിൽ പതിക്കുന്നു. പ്രിസത്തിന്റെ ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ വ്യതിചലന കോൺ 40° ആണെങ്കിൽ, അതിന്റെ അപവർത്തനാങ്കം എത്രയാണ് (പ്രിസത്തിന്റെ കോൺ 60° ആണ്). 1.33 അപവർത്തനാങ്കമുള്ള ജലത്തിലാണ് പ്രിസം വെച്ചിരിക്കുന്നതെങ്കിൽ, സമാന്തരരശ്മികൾ പതിക്കുമ്പോൾ അതിന്റെ ഏറ്റവും കുറവ് വ്യതിചലനകോൺ കണ്ടുപിടിക്കുക.

**9.7** 1.55 അപവർത്തനാങ്കമുള്ള ഒരു വസ്തുവിൽ നിന്നും, രണ്ടു മുഖത്തിലും ഒരേ വക്രതാ ആരമുള്ള ഒരു കോൺവെക്സ് ലെൻസ് നിർമിച്ചിരിക്കുന്നു. 20 cm ഫോക്കസ്ദൂരം ലഭിക്കുന്നതിന്, വക്രതാ ആരം എത്ര ആയിരിക്കണം?

**9.8** P എന്ന ബിന്ദുവിൽ കേന്ദ്രികരിക്കുന്ന പ്രകാശരശ്മികളുടെ സഞ്ചാരപാതയിൽ, P യിൽ നിന്ന് 12cm ദൂരത്ത് ഒരു ലെൻസ് സ്ഥാപിച്ചിരിക്കുന്നു. (a) 20 cm ഫോക്കസ് ദൂരമുള്ള ഒരു കോൺവെക്സ് ലെൻസാണ് പ്രകാശ രശ്മികളുടെ സഞ്ചാരപാതയിൽ വെച്ചിരിക്കുന്നത് എങ്കിൽ, ഏത് സ്ഥാനത്തായിരിക്കും പ്രകാശ രശ്മികൾ കേന്ദ്രീകരിച്ചിക്കുന്നത്. (b) 16cm ഫോക്കസ് ദൂരമുള്ള ഒരു കോൺകേവ് ലെൻസാണ് പ്രകാശത്തിന്റെ പാതയിൽവെച്ചിരിക്കുന്നത് എങ്കിൽ, പ്രകാശരശ്മികൾ കേന്ദ്രീകരിച്ചിക്കുന്നത് ഏത് സ്ഥാനത്തായിരിക്കും?

**9.9** 21 cm ഫോക്കസ് ദൂരമുള്ള ഒരു കോൺകേവ് ലെൻസിന്റെ മുൻപിൽ 14cm ദൂരത്തിൽ 3.0cm ഉയരം ഉള്ള ഒരു വസ്തു സ്ഥിതിചെയ്യുന്നുവെങ്കിൽ പ്രതിബിംബത്തിന്റെ സ്ഥാനം, സ്വഭാവം എന്നിവ വിശദീകരിക്കുക. വസ്തുവിനെ കൂടുതൽ ദൂരത്തേക്ക് ചലിപ്പിച്ചാൽ പ്രതിബിംബത്തിന് എന്ത് സംഭവിക്കും?

**9.10** 30cm ഫോക്കൽദൂരമുള്ള ഒരു കോൺവെക്സ്ലെൻസും, 20cm ഫോക്കസ്ദൂരമുള്ള ഒരു കോൺകേവ്ലെൻസും സ്പർശന കൂട്ടുകെട്ടിൽ ആണെങ്കിൽ ആകെ ഫോക്കസ്ദൂരം എത്രയായിരിക്കും ഈ കൂട്ടുകെട്ട് കോൺകേവ് ലെൻസായിട്ടാണോ, അതോ കോൺവെക്സ് ലെൻസായിട്ടാണോ പെരുമാറുന്നത്. (ലെൻസുകളുടെ കനത്തെ അവഗണിക്കുക)

**9.11** ഒരു സങ്കര സൂക്ഷ്മദർശിനിയിൽ, ഒബ്ജക്റ്റീവിന്റെ ഫോക്കസ് ദൂരം 2.0cm, ഐപീസിന്റെ ഫോക്കസ് ദൂരം 6.25cm ഇവ തമ്മിലുള്ള അകലം 15cm എന്നിങ്ങനെയാണ്. താഴെ കാണിച്ചിരിക്കുന്ന സാഹചര്യത്തിൽ പ്രതിബിംബം ലഭിക്കാൻ, വസ്തു ഒബ്ജക്റ്റീവിന്റെ മുൻപിൽ എത്ര ദൂരത്ത് സ്ഥിതി ചെയ്യണം? (a) വ്യക്ത കാഴ്ചക്കുള്ള ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ദൂരത്തിൽ (25cm) (b) അനന്തതയിൽ മേൽ കാണിച്ച ഓരോ സാഹചര്യത്തിലും. പ്രതിബിംബ ത്തിന്റെ ആവർധനം എത്രയായിരിക്കും?

**9.12** വ്യക്തകാഴ്ചക്കുള്ള ഏറ്റവും കുറഞ്ഞദൂരം 25cm ഉള്ള ഒരു വ്യക്തി, ഒരു സങ്കര സൂഷ്മദർശിനി ഉപയോഗിക്കുന്നു. 8.0 mm ഫോക്കസ്ദൂരമുള്ള ഒബ്ജക്റ്റിവും 2.5cm ഫോക്കസ്ദൂരമുള്ള ഐപീസും കൊണ്ട് നിർമിച്ചിരിക്കുന്ന ഈ സൂഷ്മദർശിനിയുടെ ഒബ്ജക്റ്റിവിൽ നിന്നും 9.0mm ദൂരത്ത് വസ്തു സ്ഥിതി ചെയ്യുമ്പോൾ, വ്യക്തമായ പ്രതിബിംബം ലഭിക്കുന്നു. എങ്കിൽ രണ്ട് ലെൻസുകളും തമ്മിലുള്ള ദൂരമെത്രയാണ്. ഈ സൂഷ്മദർശിനിയുടെ ആവർധനം കണ്ടുപിടിക്കുക.

**9.13** ഒരു സൂഷ്മദർശിനിയുടെ ഒബ്ജക്റ്റിവ് ലെൻസിന്റെ ഫോക്കസ്ദൂരം 144cm, ഐപീസിന്റെ ഫോക്കസ്ദൂരം 6.0cm എന്നിങ്ങനെയാണ്. ഈ ദൂരദർശിനിയുടെ ആവർധന പവർ എത്രയാണ്. ഒബ്ജക്റ്റിവും ഐപീസും തമ്മിലുള്ള ദൂരം എത്രയാണ്?

**9.14** (a) ഒരു വാനനിരീക്ഷണ കേന്ദ്രത്തിലെ ദൂരദർശിനിയുടെ ഒബ്ജക്റ്റിവിന്റെ ഫോക്കൽ ദൂരം 15m ഐപീസിന്റെ ഫോക്കൽ ദൂരം 1.0cm എന്നിങ്ങനെയാണ്. എങ്കിൽ ദൂരദർശിനിയുടെ കോണീയ ആവർധനം എത്രയാണ്?

(b) ഈ ദൂരദർശിനി ഉപയോഗിച്ച് ചന്ദ്രനെ വീക്ഷിക്കുമ്പോൾ ഒബ്ജക്റ്റിവ് ലെൻസ് രൂപപ്പെടുത്തുന്ന ചന്ദ്രന്റെ പ്രതിബിംബത്തിന്റെ ആരം എത്രയായിരിക്കും? ചന്ദ്രന്റെ വ്യാസം $3.48\times10^6$ m ചന്ദ്രന്റെ ഓർബിറ്റൽ ആരം $3.8\times10^8$ m എന്നിങ്ങനെയാണ്.

**9.15** ദർപ്പണ സമവാക്യം ഉപയോഗിച്ച് താഴെപറയുന്ന നിഗമനങ്ങളിൽ എത്തിചേരുക. ഒരു അവതലദർപ്പണത്തിൽ.

(a) $f$ നും $2f$ നും ഇടയിൽ സ്ഥിതി ചെയ്യുന്ന വസ്തുവിന്റെ പ്രതിബിംബം രൂപപ്പെടുന്നത് $2f$ ന് പുറകിലാണ്.

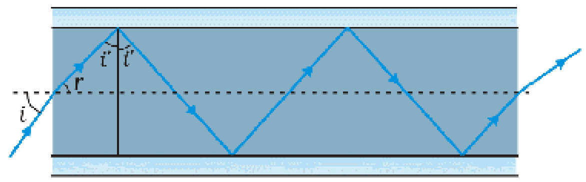
(b) വസ്തുവിന്റെ സ്ഥാനത്തെ ആശ്രയിക്കാതെ ഒരു കോൺവെക്സ്ദർപ്പണം എപ്പോഴും മിഥ്യാ പ്രതിബിംബം രൂപപ്പെടുന്നു.

(c) ഒരു കോൺവെക്സ് ദർപ്പണം രൂപപ്പെടുന്ന മിഥ്യാ പ്രതിബിംബം എപ്പോഴും വസ്തുവിനെക്കാൾ ചെറുതും അതിന്റെ സ്ഥാനം ഫോക്കസ്സിനും, പോളിനും ഇടയിലുമാണ്.

(d) ഒരു കോൺകേവ് ദർപ്പണത്തിന്റെ പോളിനും ഫോക്കസ്സിനും ഇടയിൽ സ്ഥിതി ചെയ്യുന്ന വസ്തുവിന്റെ പ്രതിബിംബം അവാസ്തവവും, വസ്തുവിനേക്കാൾ വലുതുമാണ്. (രശ്മി രേഖ ചിത്രത്തിൽ നിന്നും ലഭിക്കുന്ന പ്രതിബിംബത്തിന്റെ സ്ഥാനം, വലിപ്പം എന്നിവ ബീജഗണിതത്തിലൂടെ തെളിയിക്കുവാൻ മുകളിൽ തന്ന ചോദ്യങ്ങൾ നിങ്ങളെ സഹായിക്കുന്നു)

**9.16** മേശയുടെ ഉപരിതലത്തിൽ കുത്തിനിറുത്തിയിരിക്കുന്ന ഒരു മൊട്ടുസൂചിയെ 50 cm ഉയരത്തിൽ നിന്നും വീക്ഷിക്കുന്നു. 15 cm കനമുള്ളതും മേശക്ക് സമാന്തരമായി സ്ഥിതി ചെയ്യുന്നതുമായ ഒരു ഗ്ലാസ്സ് കട്ടയിലൂടെ വസ്തുവിനെ, ആദ്യം വീക്ഷിച്ച അതേ ബിന്ദുവിൽ നിന്നും നിരീക്ഷിച്ചാൽ, മൊട്ടുസൂചി എത്രദൂരം ഉയർന്നു കാണപ്പെടും. ഗ്ലാസ്സിന്റെ അപവർത്തനാങ്കം = 1.5 ആണ്. ഉത്തരം ഗ്ലാസ്സ് കട്ടയുടെ സ്ഥാനത്തെ ആശ്രയിക്കുന്നുണ്ടോ?

**9.17** (a) 1.68 അപവർത്തനാങ്കം ഉള്ള ഗ്ലാസ്സ് തന്തുക്കൾ കൊണ്ട് ഉണ്ടാക്കിയിരിക്കുന്ന ഒരു പ്രകാശ പൈപ്പാണ് ചിത്രം 9.35 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നത്. ഇതിന്റെ ആവരണം നിർമിച്ചിരിക്കുന്ന വസ്തുവിന്റെ അപവർത്തനാങ്കം 1.44 ആണ്. പൈപ്പിന്റെ അക്ഷത്തെ അപേക്ഷിച്ച്, ഏത് പരിധിയിലുള്ള പതനകോണിൽ പതിക്കുന്ന പ്രകാശരശ്മികളാണ് പൈപ്പിനുള്ളിൽ പൂർണ്ണാന്തര പ്രതിപതനത്തിന് വിധേയമാകുന്നത്.



ചിത്രം 9.35

(b) പൈപ്പിന് ആവരണം ഇല്ലെങ്കിൽ ഉത്തരം എന്തായിരിക്കും?

**9.18** താഴെ തന്നിരിക്കുന്ന ചോദ്യങ്ങൾക്ക് ഉത്തരമെഴുതുക.

(a) സമതലദർപ്പണവും കോൺവെക്സ് ദർപ്പണവും അവാസ്തവ പ്രതിബിംബങ്ങളെ രൂപപ്പെടുത്തുമെന്ന് നമ്മൾ പഠിച്ചുകഴിഞ്ഞു. ഏതെങ്കിലും സാഹചര്യത്തിൽ ഈ ദർപ്പണങ്ങൾ യഥാർത്ഥ പ്രതിബിംബങ്ങൾ രൂപപ്പെടുത്തുമോ? വിശദമാക്കുക.

(b) അവാസ്തവ പ്രതിബിംബങ്ങൾ സ്ക്രീനിൽ ലഭിക്കുന്നില്ല. പക്ഷെ അവയെ നമുക്ക് കാണാൻ സാധിക്കുന്നു. അങ്ങനെ കാണുമ്പോൾ പ്രതിബിംബം റെറ്റിനയിൽ ആണ് രൂപപ്പെടുന്നത്. ഇവിടെ എന്തെങ്കിലും വൈരുധ്യം അനുഭവപ്പെടുന്നുണ്ടോ?

(c) തടാകത്തിന്റെ കരയിൽ നിൽക്കുന്ന ഒരാളിനെ ജലത്തിനടിയിൽ സ്ഥിതി ചെയ്യുന്ന ഒരു മുങ്ങൽ വിദഗ്ദ്ധൻ ചെരിഞ്ഞ ദിശയിൽ നിരീക്ഷിക്കുന്നു. മുങ്ങൽ വിദഗ്ദ്ധന് കരയിൽ നിൽക്കുന്നയാളിന്റെ ഉയരം കൂടിയതായിട്ടാണോ, കുറഞ്ഞതായിട്ടാണോ അനുഭവപ്പെടുക?

(d) ഒരു ടാങ്കിലുള്ള ജലത്തിന്റെ അവാസ്തവതാഴ്ച ചെരിഞ്ഞ് നോക്കുന്നതിന്റെ അളവ് അനുസരിച്ച് വ്യത്യാസപ്പെടുമോ? അങ്ങനെയാണെങ്കിൽ അവാസ്തവ താഴ്ച കൂടുകയാണോ അതോ കുറയുകയാണോ ചെയ്യുന്നത്.

(e) വജ്രത്തിന്റെ അപവർത്തനാങ്കം സാധാരണ ഗ്ലാസ്സിനെ അപേക്ഷിച്ച് വളരെ കൂടുതലാണ്. വജ്രശില്പിയെ ഈ വസ്തുത എങ്ങനെയെങ്കിലും സഹായിക്കുന്നുണ്ടോ?

**9.19** മുറിയുടെ ഭിത്തിയിൽ ഉറപ്പിച്ചിരിക്കുന്ന ഒരു ബൾബിന്റെ പ്രതിബിംബം ഒരു വലിയ കോൺവെക്സ് ലെൻസിന്റെ സഹായത്തോടെ 3 m ദൂരത്തുള്ള എതിർഭിത്തിയിൽ പതിപ്പിക്കേണ്ടതുണ്ട്. ഈ ആവശ്യത്തിനായി ഉപയോഗിക്കുന്ന കോൺവെക്സ് ലെൻസിന്റെ പരമാവധി ഫോക്കസ് ദൂരം എത്ര ആകാം?

**9.20** ഒരു വസ്തുവിൽ നിന്നും 90 cm ദൂരത്തിൽ ഒരു സ്ക്രീൻ സ്ഥാപിച്ചിരിക്കുന്നു. 20 cm അകലത്തിലുള്ള രണ്ടു സ്ഥലങ്ങളിൽ ലെൻസ് സ്ഥിതി ചെയ്യുമ്പോൾ പ്രതിബിംബം സ്ക്രീനിൽ രൂപപ്പെടുന്നു. എങ്കിൽ ലെൻസിന്റെ ഫോക്കസ്ദൂരം എത്രയാണ്?

**9.21** (a) അഭ്യാസം 9.10 ൽ തന്നിരിക്കുന്ന രണ്ട് ലെൻസുകൾ മുഖ്യഅക്ഷത്തിൽ 8.0 cm ദൂരത്തിൽ സ്ഥിതി ചെയ്താൽ അവയുടെ ആകെ ഫോക്കസ്ദൂരം എത്ര ആയിരിക്കും? ഉത്തരം, ഈ ലെൻസ് കൂട്ടത്തിന്റെ ഏത് വശത്താണ് പ്രകാശം പതിക്കുന്നത് എന്നതിനെ ആശ്രയിക്കുന്നുണ്ടോ? ഈ ധാരണ ലെൻസുകളുടെ കൂട്ടത്തിന്റെ ആകെ ഫോക്കസ്ദൂരം കണ്ടുപിടിക്കുവാൻ പര്യാപ്തമാണോ?

(b) മുകളിൽ സൂചിപ്പിച്ച ലെൻസ് കൂട്ടത്തിന്റെ ഒരു വശത്ത് കോൺവെക്സ്ലെൻസിൽ നിന്നും 40 cm ദൂരത്തിൽ 1.5 cm ഉയരമുള്ള ഒരു വസ്തു സ്ഥാപിച്ചിരിക്കുന്നു. പ്രതിബിംബത്തിന്റെ ഉയരവും ആവർധനവും കണ്ടുപിടിക്കുക.

**9.22** 60° കോണളവുള്ള ഒരു പ്രിസത്തിൽ, പ്രകാശം പൂർണ്ണാന്തര പ്രതിപതനത്തിന് വിധേയമാവണമെങ്കിൽ, പ്രിസത്തിന്റെ ഒരു വശത്ത് ഏത് പതനകോണിലായിരിക്കണം പ്രകാശം പതിക്കേണ്ടത്? പ്രിസം നിർമിച്ചിരിക്കുന്ന വസ്തുവിന്റെ അപവർത്തനാങ്കം 1.524 ആണ്.

**9.23** വ്യത്യസ്ത കോണുകൾ ഉള്ളതും ഫ്ളിൻറ് ഗ്ലാസ്, ക്രൗൺഗ്ലാസ് എന്നിവ കൊണ്ട് നിർമിച്ചതുമായ അനവധി പ്രിസങ്ങൾ നിങ്ങൾക്ക് നൽകിയിരിക്കുന്നു എന്നു കരുതുക. താഴെ പറയുന്നവ നൽകുവാൻ പര്യാപ്തമായ പ്രിസങ്ങളുടെ ക്രമീകരണം നിർദ്ദേശിക്കുക.

(a) ധവളപ്രകാശം പ്രകീർണ്ണനത്തിന് അധികം വിധേയമാകാതെ, വ്യതിചലനത്തിന് വിധേയമാവുന്നു.

(b) ധവളപ്രകാശം വ്യതിചലനത്തിന് വിധേയമാകാതെ പ്രകീർണ്ണത്തിന് വിധേയമാകുന്നു.

**9.24** ഒരു സാധാരണനേത്രത്തിന് വ്യക്തകാഴ്ചക്കുള്ള ഏറ്റവും കുറഞ്ഞദൂരം 25 cm. ഏറ്റവും കൂടിയദൂരം അനന്തത എന്നിങ്ങനെയാണ്. നേത്രത്തിലെ പ്രകാശം കേന്ദ്രീകരിക്കുവാനുള്ള കോർണിയയുടെ പവർ 40 ഡയോപ്റ്ററും കണ്ണിലെ ലെൻസിന്റെ (eye lens) ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ പവർ 20 ഡയോപ്റ്ററും ആണ്. ആ അളവിൽ നിന്നും സാധാരണ നേത്രത്തിന്റെ അക്കോമഡേഷന്റെ പരിധി കണക്കാക്കുക.

**9.25** ഹ്രസ്വദൃഷ്ടി, ദീർഘദൃഷ്ടി എന്നീ ന്യൂനതകൾ, നേത്രത്തിന്റെ അക്കോമഡേഷനുള്ള കഴിവ് ഭാഗികമായി നഷ്ടപ്പെട്ടുവെന്നാണോ അർഥമാക്കുന്നത്. അല്ലെങ്കിൽ ഈ ന്യൂനതകളുടെ കാരണം എന്താണ്?

**9.26** ഹ്രസ്വദൃഷ്ടിയുള്ള ഒരു വ്യക്തി 1.0 ഡയോപ്റ്റർ പവറുള്ള കണ്ണട ധരിച്ചു കൊണ്ടിരിക്കുന്നു. ഈ വ്യക്തി പ്രായം കൂടുമ്പോൾ വായനക്കായി + 2.0 ഡയോപ്റ്റർ ഉള്ള വേറൊരു കണ്ണട ഉപയോഗിക്കുന്നു. എന്തുകൊണ്ടാണ് ഇങ്ങനെ സംഭവിക്കുന്നതെന്ന് വിശദമാക്കുക.

**9.27** ക്രമമായി, ലംബമായും തിരശ്ചീനമായും വരകളുള്ള ഷർട്ട് ധരിച്ച വ്യക്തിയെ നോക്കുന്ന ഒരാൾക്ക് ലംബമായ വരകൾ തിരശ്ചീനമായ വരകളേക്കാൾ കൂടുതൽ വ്യക്തമായി കാണാൻ സാധിക്കുന്നു. നേത്രത്തിന്റെ ഏതു ന്യൂനത കൊണ്ടാണ് ഇങ്ങനെ സംഭവിക്കുന്നത്. ഈ ന്യൂനത എങ്ങനെ പരിഹരിക്കാം?

**9.28** വ്യക്തകാഴ്ചക്കുള്ള ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ദൂരം (25 cm) ഉള്ള ഒരു വ്യക്തി, 5 cm ഫോക്കൽ ദൂരമുള്ള ഒരു ആവർധനഗ്ലാസ് ഉപയോഗിച്ച് ചെറിയ അക്ഷരങ്ങളിൽ അച്ചടിച്ചിരിക്കുന്ന ഒരു ബുക്ക് വായിക്കുന്നു.

(a) ആ വ്യക്തിക്ക് ആവർധനഗ്ലാസ് ഉപയോഗിച്ച് വായിക്കുവാൻ കഴിയുന്നത് ലെൻസ് എത്ര വരെ ദൂരം കുറച്ച് പിടിക്കുമ്പോഴും അതുപോലെ എത്ര വരെ ദൂരം കൂട്ടി പിടിക്കുമ്പോഴും ആണ്?

(b) മുകളിൽ സൂചിപ്പിച്ച ലഘുസൂക്ഷ്മദർശിനി ഉപയോഗിച്ച് ലഭ്യമാക്കാവുന്ന ഏറ്റവും കൂടിയ ആവർധനവും ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ആവർധനവും എത്ര?

**9.29** 9 cm ഫോക്കസ്ദൂരമുള്ള ഒരു കോൺവെക്സ് ലെൻസ്, നേത്രത്തിന് വളരെ അടുത്ത് പിടിച്ച്, 9 cm ദൂരത്തിൽ സ്ഥാപിച്ചിരിക്കുന്നതും, 1 $mm^2$ പരപ്പളവുള്ള ചതുര കള്ളികളായി വിഭജിച്ചിരിക്കുന്നതും ആയ ഒരു കാർഡിനെ വീക്ഷിക്കുന്നു.

(a) ലെൻസ് സൃഷ്ടിക്കുന്ന രേഖീയ ആവർധനം എത്ര? അവാസ്തവ പ്രതിബിംബത്തിലെ ഓരോ ചതുരത്തിന്റെയും പരപ്പളവ് എത്രയാണ്?

(b) ലെൻസിന്റെ കോണീയ ആവർധനം (ആവർധന പവർ) എത്രയാണ്?

(c) രേഖീയ ആവർധനവും, കോണീയ ആവർധനവും സമമാണോ? വിശദമാക്കുക.

**9.30** അഭ്യാസം 9.29 ൽ ലെൻസ്, നേത്രത്തിൽ നിന്നും എത്ര ദൂരത്തിൽ സ്ഥാപിച്ചാലാണ് ചതുര കള്ളികളെ വ്യക്തമായും, സാധ്യമായ ഏറ്റവുംകൂടുതൽ കോണീയ ആവർധനത്തിലും വീക്ഷിക്കാൻ കഴിയുന്നത്.

(a) ഈ സാഹചര്യത്തിലുള്ള രേഖീയ ആവർധനം എത്രയാണ്?

(b) ഇവിടെ രേഖീയ ആവർധനവും കോണീയ ആവർധനവും സമമാണോ? വിശദമാക്കുക.

**9.31** അഭ്യാസം 9.30 ലെ അവാസ്തവ പ്രതിബിംബത്തിൽ, ഓരോ ചതുരക്കള്ളിയുടെയും പരപ്പളവ് 6.25 $mm^2$ ലഭിക്കുവാൻ വസ്തുവും, ലെൻസും തമ്മിലുള്ള ദൂരം എത്ര ആയിരിക്കണം. ഈ സാഹചര്യത്തിൽ നേത്രങ്ങൾ ലെൻസിന് വളരെ അടുത്ത് പിടിച്ച് വ്യക്തമായ പ്രതിബിംബം കാണാൻ സാധിക്കുമോ?

[കുറിപ്പ് : 9.29 മുതൽ 9.31 വരെയുള്ള അഭ്യാസങ്ങൾ ഒരു പ്രകാശിക ഉപകരണത്തിന്റെ രേഖീയ ആവർധനവും കോണീയ ആവർധനവും (ആവർധന പവർ) തമ്മിലുള്ള വ്യത്യാസം, വ്യക്തമായി മനസ്സിലാക്കുവാൻ നിങ്ങളെ സഹായിക്കും.

**9.32** താഴെ തന്നിരിക്കുന്ന ചോദ്യങ്ങൾക്ക് ഉത്തരം എഴുതുക.

(a) വസ്തു നേത്രത്തിൽ രൂപപ്പെടുത്തുന്ന കോണും ലഘുസൂക്ഷ്മദർശനി സൃഷ്ടിക്കുന്ന അവാസ്തവ പ്രതിബിംബം നേത്രത്തിൽ രൂപപ്പെടുത്തുന്ന കോണും സമമാണ്. എങ്കിൽ എങ്ങനെയാണ് സൂക്ഷ്മദർശിനിയിൽ കോണീയ ആവർധനം സാധ്യമാകുന്നത്?

(b) ലഘു സൂക്ഷ്മദർശിനിയിലൂടെ നോക്കുന്ന ഒരു വ്യക്തി സാധാരണയായി ലെൻസ് നേത്രത്തിന്റെ വളരെ അടുത്താണ് പിടിക്കുന്നത്. ലെൻസ് നേത്രത്തിൽ നിന്നും ദൂരത്തേക്ക് ചലിപ്പിച്ചാൽ കോണീയ ആവർധനത്തിന് മാറ്റം സംഭവിക്കുമോ?

(c) ഒരു ലഘു സൂക്ഷ്മദർശിനിയുടെ കോണീയ ആവർധനം ലെൻസിന്റെ ഫോക്കസ് ദൂരത്തിന് വിപരീതാനുപാതത്തിൽ ആണ്. എങ്കിലെന്തുകൊണ്ട് ലെൻസിന്റെ ഫോക്കസ് ദൂരം ക്രമമായി കുറച്ച് കോണീയ ആവർധനം വർദ്ധിപ്പിക്കാൻ ശ്രമിക്കാത്തത്.

(d) സങ്കരസൂക്ഷ്മദർശിനിയുടെ ഒബ്ജക്റ്റീവിന്റെയും ഐപീസിന്റെയും ഫോക്കസ്ദൂരം വളരെ കുറവായിരിക്കേണ്ടതിന്റെ ആവശ്യകത എന്ത്?

(e) ഒരു സങ്കര സൂക്ഷ്മദർശിനിയിലൂടെ വീക്ഷിക്കുമ്പോൾ നേത്രത്തിന്റെ സ്ഥാനം ഐപീസിനെ തൊട്ടുരുമ്മിയല്ല, പകരം കുറച്ച് ദൂരത്തിലായിരിക്കണം. എന്തുകൊണ്ട്? ഐപീസും നേത്രവും തമ്മിലുള്ള ദൂരം എത്ര ആയിരിക്കണം?

**9.33** 1.25cm ഫോക്കസ്ദൂരമുള്ള ഒബ്ജക്റ്റീവും 5cm ഫോക്കസ്ദൂരമുള്ള ഐപീസും ഉപയോഗിച്ചിരിക്കുന്ന ഒരു സങ്കരസൂക്ഷ്മദർശിനി എങ്ങനെ ക്രമീകരിച്ചാലാണ് കോണീയ ആവർധനം 30X ലഭിക്കുന്നത്.

**9.34** 140cm ഫോക്കസ്ദൂരമുള്ള ഒബ്ജക്റ്റീവ് ലെൻസും 5cm ഫോക്കസ്ദൂരമുള്ള ഐപീസും കൊണ്ട് നിർമിച്ചിരിക്കുന്ന ഒരു ദൂരദർശിനി സൃഷ്ടിക്കുന്ന കോണീയ ആവർധനം താഴെ പറയുന്ന സാഹചര്യങ്ങളിൽ എത്ര ആയിരിക്കും?

(a) ദൂരദർശിനി സാധാരണ ക്രമീകരണത്തിലാണ് (അതായത്, അവസാന പ്രതിബിംബം അനന്തതയിൽ രൂപപ്പെടുന്നു)

(b) അവസാന പ്രതിബിംബം വ്യക്തകാഴ്ചക്കുള്ള ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ദൂരത്തിൽ (25cm) ആണ്.?

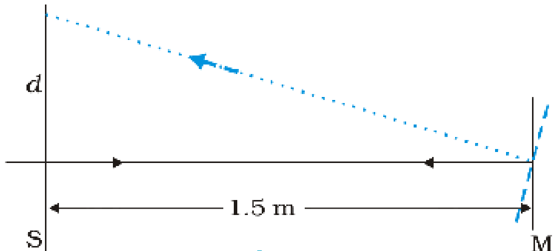
**9.35** (a) അഭ്യാസം 9.34 (a) ൽ സൂചിപ്പിച്ചിരിക്കുന്ന ദൂരദർശിനിയിൽ ഒബ്ജക്ടീവ് ലെൻസും ഐപീസും തമ്മിലുള്ള അകലം എത്ര ആയിരിക്കും?

(b) ഈ ദൂരദർശിനിയെ 3km ദൂരത്തിലുള്ള, 100m ഉയരമുള്ള ഒരു ഗോപുരത്തെ വീക്ഷിക്കാൻ ഉപയോഗിച്ചാൽ ഒബ്ജക്ടീവ് ലെൻസ് രൂപപ്പെടുത്തുന്ന പ്രതിബിംബത്തിന്റെ ഉയരം എത്ര ആയിരിക്കും?

(c) 25cmൽ ആണ് പ്രതിബിംബം രൂപപ്പെടുന്നതെങ്കിൽ പ്രതിബിംബത്തിന്റെ ഉയരം എത്ര ആയിരിക്കും?

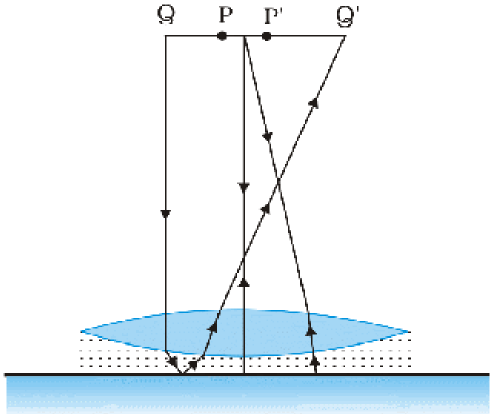
**9.36** ചിത്രം 9.33ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ ഒരു കാസ്സേഗ്രെയിൻ ദൂരദർശിനിയിൽ രണ്ട് ദർപ്പണങ്ങൾ ഉപയോഗിച്ചിരിക്കുന്നു. ഈ ദർപ്പണങ്ങൾ തമ്മിലുള്ള അകലം 20cm ആണ്. വലിയ ദർപ്പണത്തിന്റെ വക്രതാ ആരം 220cm. ചെറിയ ദർപ്പണത്തിന്റെ വക്രതാ ആരം 140mm എന്നിങ്ങനെയാണെങ്കിൽ അനന്തതയിലുള്ള വസ്തുവിന്റെ അന്തിമ (final) പ്രതിബിംബത്തിന്റെ സ്ഥാനം എവിടെ ആയിരിക്കും?

**9.37** ചിത്രം 9.36 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ ഒരു ഗാൽവനൊമീറ്ററിന്റെ കമ്പിചുരുളുമായി ചേർത്തുവെച്ചിരിക്കുന്ന ഒരു സമതലദർപ്പണത്തിൽ പതിക്കുന്ന പ്രകാശം അതേ വഴിയിൽ പ്രതിപതിക്കുന്നു. കമ്പിച്ചുരുളിലൂടെ പ്രവഹിക്കുന്ന വൈദ്യുതി ദർപ്പണത്തെ 3.5° കോണളവിൽ വ്യതിചലിപ്പിക്കുന്നു. ദർപ്പണത്തിൽനിന്നും 1.5 m ദൂരത്തിൽ സ്ഥാപിച്ചിരിക്കുന്ന സ്ക്രീനിൽ പ്രതിപതന പ്രകാശബിന്ദുവിനുണ്ടാകുന്ന സ്ഥാനാന്തരം എത്രയായിരിക്കും?



ചിത്രം 9.36

**9.38** ഒരു സമതലദർപ്പണത്തിന്റെ പ്രതിപതന ഉപരിതലത്തിലുള്ള ദ്രാവക പാളിയുമായി സ്പർശനത്തിലിരിക്കുന്ന ഒരു കോൺവെക്സ് ലെൻസിനെ (അപവർത്തനാങ്കം 1.5) ചിത്രം 9.37ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. മുന, മുഖ്യഅക്ഷത്തിൽ വരത്തക്കവിധം, ഒരു സൂചി മുഖ്യഅക്ഷത്തിന് സമാന്തരമായി ചലിപ്പിച്ച് സൂചിയുടെ അവാസ്തവ പ്രതിബിംബം, സൂചിയുടെ സ്ഥാനത്ത് തന്നെ രൂപപ്പെടുത്തുന്നു. ഈ സാഹചര്യത്തിൽ ലെൻസിൽ നിന്നും സൂചിയിലേയ്ക്കുള്ള ദൂരം 45.0cm ആണ്. ദ്രാവകം ഇല്ലാതെ പരീക്ഷണം ആവർത്തിക്കുമ്പോൾ സൂചിയും ലെൻസും തമ്മിലുള്ള ദൂരം 30.0 cm എന്ന് ലഭിക്കുന്നുവെങ്കിൽ ദ്രാവകത്തിന്റെ അപവർത്തനാങ്കം എത്രയായിരിക്കും?



ചിത്രം 9.37