വീക്ഷണം ശബ്ദതരംഗങ്ങളിൽക്കൂടി

SIE

ഗൈഡൻസ് വിഭാഗം

സ്റ്റേറ്റ് ഇൻസ്റ്റിറ്റ്യൂട്ട് ആഫ് എഡ്യൂക്കേഷൻ

വിദ്യാഭ്യാസവകുപ്പ്

കേരളം

1970

Book No 68

വീക്ഷണം
ശബ്ദതരംഗങ്ങളിൽക്കൂടി

SIE

ഗൈഡൻസ് വിഭാഗം,
സ്റ്റേറ്റ് ഇൻസ്റ്റിറ്റ്യൂട്ട് ഓഫ് എഡ്യൂക്കേഷൻ,
വിദ്യാഭ്യാസവകുപ്പ്
കേരളം
1969

ഉള്ളടക്കം

അദ്ധ്യായം ഒന്ന്

വസ്തുക്കളെ കാണുന്നവിധം

ശ്രവണം

പ്രതിധ്വനിയിൽക്കൂടി കാണുന്ന ചില ജീവികൾ

കടൽപ്പന്നി– ജലത്തിലെ റണ്ട്– വാവൽ

അദ്ധ്യായം രണ്ട്

സന്ദേശവാഹിയായ പ്രതിധ്വനി

ശ്രദ്ധിക്കപ്പെടാത്ത പ്രതിധ്വനികൾ

ശ്രാവ്യശബ്ദപ്രതിധ്വനി

പ്രതിധ്വനിയിലെ ഭാഷ

അദ്ധ്യായം മൂന്ന്

സോണാർ

സൈസ്മോഗ്രാഫ്

റഡാർ

അദ്ധ്യായം നാല്

പ്രതിധ്വനി അസരിൽ

അവലംബഗ്രന്ഥങ്ങൾ

1 The Book of Popular Science Vols I to 10

2 Echoes of Bats and Man — Donald R. Griffin

3 Waves and the Ear — Willem A. Van Bagejik
— John R. Pierce
— Edward E. David

4 Radar observes the weather — Louis J. Ballan

5 The origin of Radar — Robert Morris] Page

6 Fundamentals of Radio Communication
— A.Sheingold

7 Radar works like this: — Egon Larsen

വീക്ഷണം

ശബ്ദതരംഗങ്ങളിൽക്കൂടി

അദ്ധ്യായം ഒന്നു്

നാം ജീവിക്കുന്ന ലോകം നമുക്കു പലപ്പോഴും ആകർഷകമായി തോന്നാറുണ്ടു്. വസ്തുക്കളുടെ വൈചിത്ര്യവും വൈവിധ്യവുമാണു് പ്രകൃതിഭംഗിക്കു് മുഖ്യനിദാനം. വിടർന്നു നില്ക്കുന്ന പുഷ്പങ്ങളും മനോഹരമായ മഴവില്ലും പച്ചനിറമുള്ള ചെടികളും വൃക്ഷങ്ങളും പ്രകൃതിക്കു് വർണ്ണശോഭ നൽകുന്നു. ഇവയിൽ വർണ്ണഭംഗിയും സൗന്ദര്യവും എങ്ങനെയാണുണ്ടാകുന്നതു്? സൗന്ദര്യാരാധകനായ ഒരു കലാകാരൻ സൗന്ദര്യം സ്ഥിതിചെയ്യുന്നതു് വസ്തുവിലാണെന്നോ, അതല്ല നോക്കുന്ന വ്യക്തിയുടെ സൗന്ദര്യബോധത്തിലാണെന്നോ പറഞ്ഞേക്കാം. ഒരു ശാസ്ത്രജ്ഞൻ നൽകുന്ന ഉത്തരം ഭിന്നമായിരിക്കും. വസ്തുക്കളെ കാണുവാൻ നമ്മെ സഹായിക്കുന്ന സൂര്യകിരണങ്ങളാണു് അവയ്ക്കു സൗകുമാര്യവും വർണ്ണവൈചിത്ര്യവും നൽകുന്നതു്. സൂര്യകിരണങ്ങൾ വസ്തുക്കളിന്മേൽ പ്രതിപ്രവർത്തിച്ചു് നമ്മുടെ ദർശനേന്ദ്രിയത്തിലെത്തുമ്പോൾ വസ്തുക്കളെ നാം കാണുകയും, അവയിൽ സൗന്ദര്യം കണ്ടെത്തുകയും ചെയ്യുന്നു. കൂരിരുട്ടിൽ ഇവയെ കാണാനോ സൗന്ദര്യം ദർശിക്കുവാനോ കഴിയുകയില്ലല്ലോ?

ഈ പ്രതിഭാസം നമുക്കു് ശാസ്ത്രീയമായിത്തന്നെ വിശകലനം ചെയ്തുനോക്കാം. ഒരു കാര്യം തീർച്ചയാണു്. ഒരു വസ്തുവിനെ കാണുകയോ അതിലെ സൗന്ദര്യം ആസ്വദിക്കുകയോ ചെയ്യണമെങ്കിൽ, സൂര്യൻ, വസ്തു, ദർശനേന്ദ്രിയം എന്നീ മൂന്നു ഘടകങ്ങൾ ഉണ്ടാവണം. സൂര്യനുപകരം മറേറതെങ്കിലും 'ദീപ്തവസ്തു'വിൻെറ (Luminous body) സാന്നിദ്ധ്യത്തിലും വസ്തു

ക്കളെ കാണാൻ കഴിയുന്നതാണ്. സൂര്യൻ ചൂടും പ്രകാശവും പ്രേക്ഷണം ചെയ്തുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന ഒരു തേജോഗോളമാണ്. സെക്കൻറിൽ 186000 മൈൽ (3×10^5 കിലോമീററർ) വേഗത്തിൽ സഞ്ചരിക്കുന്ന തരംഗങ്ങളായിട്ടാണ് പ്രകാശോർജ്ജം സൂര്യനിൽനിന്ന് പ്രേഷണം ചെയ്യപ്പെട്ടുകൊണ്ടിരിക്കുന്നത്. വളരെ കുറഞ്ഞ തരംഗ ദൈർഘ്യമുള്ള വൈദ്യുതകാന്തതരംഗങ്ങളാണിവ. നമ്മുടെ സങ്കല്പ ശക്തിക്കതീതമായ വേഗത്തിലാണു ഈ തരംഗങ്ങൾ സഞ്ചരിക്കുന്നതു്. ഒരു സെക്കൻറു സമയം കൊണ്ടു് ഭൂമിയെ ഏകദേശം ഏഴു പ്രാവശ്യം ചുററി സഞ്ചരിക്കുവാൻ ഈ തരംഗങ്ങൾക്കു കഴിയും. (ചിത്രം 1)

പകൽ സമയം ഈ പ്രകാശതരംഗങ്ങൾ വസ്തുക്കളിന്മേൽ പതിക്കുന്നു. വസ്തുക്കൾ ഏറിയകുറും ഈ തരംഗങ്ങളെ പ്രതിപതിപ്പിക്കുന്നവയാണ്. പ്രതിപതിച്ചു വരുന്ന പ്രകാശതരംഗങ്ങൾ ദർശനേന്ദ്രിയത്തിൽ പ്രവേശിക്കുകയും നമുക്കു വസ്തുക്കളെ കാണുവാൻ കഴിയുകയും ചെയ്യുന്നു. പ്രകൃതിയിലുള്ള എല്ലാവസ്തുക്കളും നിമിഷനേരത്തേയ്ക്കു സുതാര്യമായി മാറുന്നു എന്നു സങ്കല്പിക്കുക. എന്തായിരിക്കും ഫലം? ലോകത്തുള്ള എല്ലാവസ്തുക്കളും അദൃശ്യമായി തീരും, നാം അവയിൽ ചെന്നു മുട്ടി നിലം പതിക്കുകയും ചെയ്യും.

വസ്തുക്കൾക്കു വർണ്ണഭംഗി ഉണ്ടാകുന്നതെങ്ങിനെയെന്നു ഇനി പരിശോധിച്ചുനോക്കാം. സൂര്യപ്രകാശത്തിലാണല്ലോ വസ്തുക്കളിൽ വർണ്ണഭംഗി പൂർണ്ണമായും പ്രകടമാകുന്നതു്. വർഷങ്ങൾക്കുമുമ്പു് സർ ഐസക്ന്യൂട്ടൻ പ്രസിദ്ധമായ ഒരു പരീക്ഷണത്തിലൂടെ സൂര്യപ്രകാശത്തിൽ ഏഴു ഘടകവർണ്ണങ്ങളുണ്ടെന്നു തെളിയിച്ചു. വയലററു്, ഇൻഡിഗോ, നീലം, പച്ച, ആറഞ്ചു്, മഞ്ഞ, ചുവപ്പു് എന്നീ സപ്തവർണ്ണങ്ങളാണു് ഘടക നിറങ്ങൾ. ഇവ പരസ്പരം പല അംശബന്ധങ്ങളിൽ കൂട്ടിയിണക്കിയാൽ സങ്കീർണ്ണങ്ങളായ പല വർണ്ണങ്ങളും ലഭിക്കുന്നതാണു്. സമർത്ഥനായ ഒരു ചിത്രകാരൻ ഇവ കൂട്ടിക്കലർത്തിയാണു് തന്റെ മനോധർമ്മമനുസരിച്ചുള്ള വർണ്ണവൈചിത്ര്യം സൃഷ്ടിക്കുന്നതു്.

സപ്തവർണ്ണങ്ങളുള്ള സൂര്യപ്രകാശം ഒരു വസ്തുവിൽ പതിക്കുമ്പോൾ അതുമായി പ്രതിപ്രവത്തനത്തിലേപ്പെടുന്നു. പ്രതിപ്രവത്തനഫലമായി സൂര്യകിരണത്തിലെ വർണ്ണങ്ങളിൽ പലതും ആഗിരണം ചെയ്യപ്പെടുകയോ പ്രതിപതിപ്പിക്കപ്പെടുകയോ ചെയ്യും. പ്രതിപതിപ്പിക്കപ്പെട്ട വർണ്ണമോ വർണ്ണങ്ങളോ ആയിരിക്കും വസ്തുവിന്റെ നിറംപിടിപ്പിക്കുന്നതു്. ഗ്ലാസ്പോലെയുള്ള ഒരു സുതാര്യ വസ്തുവിന്റെ നിറം ആഗിരണം ചെയ്യപ്പെടാതെ അതിൽക്കൂടി കടന്നുപോകുന്ന കിരണത്തിന്റെ നിറമായിരിക്കും. ചെമ്പരത്തിപ്പൂവിൽ സൂര്യരശ്മി പ്രതിപ്രവത്തിക്കുമ്പോൾ ചുവപ്പുനിറം ഒഴിച്ചുള്ള മററെല്ലാ നിറങ്ങളും ആഗിരണം ചെയ്യപ്പെടുന്നു, ചുവപ്പുനിറം മാത്രം പ്രതിപതിപ്പിക്കപ്പെടുകയും അതു നമ്മുടെ ദർശനേന്ദ്രിയത്തിൽ പ്രവേശിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. അപ്പോൾ ചെമ്പരത്തിപ്പൂവു് ചുവപ്പു നിറമായി കാണപ്പെടുന്നു. സൂര്യപ്രകാശത്തിലെ എല്ലാ നിറങ്ങളും ആഗിരണം ചെയ്യുന്ന വസ്തുവിന്റെ നിറം കറുപ്പായും, ഒന്നും ആഗിരണം ചെയ്യാത്ത വസ്തുവിന്റെ നിറം വെളുപ്പായും അനുഭവപ്പെടും.

രാത്രികാലങ്ങളിലെ അരണ്ട വെളിച്ചത്തിൽ വസ്തുക്കളുടെ അവ്യക്തമായ രൂപങ്ങളാണു് നമുക്കു കാണുവാൻ കഴിയുന്നതു്. രാത്രിയിൽ ഭൂമിയിൽ പ്രകാശം കിട്ടുന്നതു് വിദൂരസ്ഥങ്ങളായ നക്ഷത്രങ്ങളിൽ നിന്നോ ചന്ദ്രനിൽനിന്നോ ആയിരിക്കും. ചില നക്ഷത്രങ്ങളിൽനിന്നു് പുറപ്പെടുന്ന പ്രകാശം ഭൂമിയിലെത്തിച്ചേരുന്നതിനു് അനേകപ്രകാശവർഷങ്ങൾതന്നെ വേണ്ടിവരുന്നു. ഇത്രയും ദൂരം സഞ്ചരിക്കുന്നതിനിടയിൽ അവയിലെ ഊജ്ജം മിക്കവാറും നഷ്ടപ്പെട്ടുപോവുകയും ഭൂമിയിൽ എത്തിച്ചേരുന്നതിനു് മുമ്പു് പ്രകാശതീവ്രത വളരെ കുറഞ്ഞുപോകുകയും ചെയ്യുന്നു. രാത്രിയിൽ ദീപങ്ങളുടെ സഹായം കൊണ്ടാണു് വസ്തുക്കളെ നാം വ്യക്തമായി കാണുന്നതു്. എല്ലാ പ്രകാശകിരണങ്ങളിലും സൂര്യപ്രകാശത്തിൽ കാണുന്ന സപ്തവർണ്ണങ്ങൾ കാണുകയില്ല. സോഡിയം കത്തിക്കുമ്പോഴുണ്ടാകുന്ന പ്രകാശത്തിൽ മഞ്ഞനിറം മാത്രമേ ഉണ്ടായിരിക്കുകയുള്ളു. അതിനാൽ

വസ്തുക്കളിൽ വർണ്ണ വൈചിത്ര്യം സൃഷ്ടിക്കാൻ ഇതിലെ പ്രകാശത്തിന് കഴിയുകയില്ല. എല്ലാം മഞ്ഞനിറമായിട്ടേ കാണുകയുള്ളു.

'കാണുക' എന്നു പറഞ്ഞാൽ എന്താണ്? ദർശനേന്ദ്രിയം കൊണ്ട് വസ്തുക്കളുടെ സാന്നിദ്ധ്യവും, സ്വഭാവവും ഗ്രഹിക്കുകയാണ്. ഈ പ്രക്രിയയ്ക്കു മൂന്നു ഘടകങ്ങൾ ആവശ്യമാണെന്നു് പ്രസ്താവിച്ചുവല്ലോ? ഇതിലേതെങ്കിലും ഒന്നിന്റെ അഭാവം കാഴ്ച അസാദ്ധ്യമാക്കിത്തീർക്കുന്നു. പൂർണ്ണമായ ഇരുട്ടിൽ ഒന്നും കാണാൻ കഴിയുകയില്ല. ഹതഭാഗ്യനായ അന്ധനും ഒന്നുംതന്നെ ദൃശ്യമല്ല. പ്രകാശത്തിൻേറയും നേത്രത്തിൻേറയും സഹായം കൂടാതെ വസ്തുക്കളെ കാണാൻ കഴിയുമോ? അതായത്ു് വസ്തുക്കളുടെ സാന്നിദ്ധ്യവും സ്വഭാവവും ഗ്രഹിക്കാൻ സാധിക്കുമോ?

ബാഹ്യലോകത്തെക്കുറിച്ച് നമുക്ക് ബോധം നൽകുന്നത് പഞ്ചേന്ദ്രിയങ്ങളാണ്. കണ്ടും, കേട്ടും, സ്പർശിച്ചും, മണപ്പിച്ചും, രുചിച്ചുമാണ് പ്രപഞ്ചത്തിലെ വസ്തുക്കളെക്കുറിച്ചുള്ള വിജ്ഞാനം നാം സമ്പാദിക്കുന്നതു്. നമ്മുടെ വിജ്ഞാനേന്ദ്രിയങ്ങളിൽ ഒന്നു് പ്രവർത്തനരഹിതമാവുകയോ നശിച്ചുപോവുകയോ ചെയ്താൽ മററുള്ളവ കൂടുതൽ വികാസം പ്രാപിക്കും. ഇതു് ഒരു പ്രകൃതി നിയമമാണ്. കാഴ്ചശക്തി നിഷേധിക്കപ്പെട്ട അന്ധന്മാർ മാർഗ്ഗതടസ്സങ്ങൾ മുൻകൂട്ടി ഗ്രഹിച്ചറിഞ്ഞു് തിരക്കുള്ള സ്ഥലങ്ങളിൽക്കൂടി സഞ്ചരിച്ചു പോകുന്നതു് നാം കണ്ടിട്ടുള്ളതാണ്.

പ്രകാശത്തിൻെറ അഭാവത്തിൽ അകലെയുള്ള വസ്തുക്കളുടെ സാന്നിദ്ധ്യം മനസ്സിലാക്കുന്നതിനു സഹായിക്കുന്നതു് ശ്രവണേന്ദ്രിയമാണ്. അല്പനേരം കണ്ണടച്ചിരുന്നു് ശ്രദ്ധിച്ചാൽ ഏതെല്ലാം ശബ്ദമാണ് നമുക്കു കേൾക്കുവാൻ കഴിയുന്നതു്? സാധാരണ ലോകം തന്നെ ശബ്ദംകൊണ്ട് മുഖരിതമാണ്. മനുഷ്യരുടേയും, യന്ത്രങ്ങളുടേയും, വാഹനങ്ങളുടേയും, മൃഗങ്ങളുടേയും ശബ്ദം നാം കേട്ടുകൊണ്ടിരിക്കുന്നു. വൈവിധ്യമുള്ള ഈ ശബ്ദ

ങ്ങൾ പരിസരത്തെക്കുറിച്ചുള്ള ഒരു ബോധം നമ്മിൽ ജനിപ്പിക്കുവാൻ പര്യാപ്തങ്ങളാണ്. നേരിൽ കാണാതെ തന്നെ പരിചയമുള്ള ഒരാളിന്റെ ശബ്ദം കേട്ടാൽ ആളിനെ തിരിച്ചറിയാൻ നമുക്കു കഴിയുന്നുണ്ടല്ലോ?

താണതരം ചില ജീവികളിൽ ശ്രവണശക്തി കൂടുതൽ വികാസം പ്രാപിച്ചിരിക്കുന്നതായി നമുക്കു കാണുവാൻ കഴിയും. ആത്മരക്ഷക്കും, ആഹാരസമ്പാദനത്തിനും അവ കൂടുതൽ ആശ്രയിക്കുന്നതു് ശ്രവണശക്തിയെയാണ്. ആഹാരസമ്പാദനം അവക്കൊരു പ്രശ്നമാണ്. നാം ആഹാര പദാർത്ഥങ്ങളെ കാഴ്ചകൊണ്ടാണ് പ്രധാനമായും മനസ്സിലാക്കുന്നതു്. ചില ചെറു ജീവികൾ ചെവിയോർത്തുനിന്ന് ആഹാരം കണ്ടെത്തുന്നതു് നാം പലപ്പോഴും കണ്ടിട്ടുള്ളതാണ്. ഈ രീതിയിൽ റോബിൻ (Robin) പക്ഷി ഇര തേടിപ്പിടിക്കുന്നതു് കൗതുകകരമായ ഒരു കാഴ്ചയാണ്. ഇരയുടെ നിസ്സാര ചലനങ്ങളിൽ നിന്ന് അവയുടെ സാന്നിദ്ധ്യം മനസ്സിലാക്കി, അവയുടെ മേൽ ചാടിവീണു് പിടിച്ചു ഭക്ഷിക്കുകയാണു ചെയ്യുന്നതു്. കൂടാതെ അവയെ സമീപിക്കുന്ന ശത്രുവിന്റെ നേരിയ ചലനങ്ങൾ ശ്രദ്ധിച്ചറിഞ്ഞു് രക്ഷപ്രാപിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. പട്ടിയുടേയും മറ്റും ശ്രവണ ശക്തിയും, ഘ്രാണശക്തിയും മനുഷ്യരുടേതിനേക്കാൾ വളരെ കൂടുതലാണെന്നു് നമുക്കനുഭവമുള്ളതാണ്.

കാഴ്ചക്കു് ചില പരിമിതികളുണ്ടു്. പ്രകാശം ഋജുഗതിയിൽ സഞ്ചരിക്കുന്നതുകൊണ്ടു്, പ്രതിബന്ധങ്ങളിൽ തട്ടിയാൽ വശങ്ങളിൽക്കൂടി വളഞ്ഞുസഞ്ചരിക്കുകയില്ല. വളരെ അടുത്തുള്ള വസ്തുക്കൾ ഒരു അതാര്യവസ്തുവിനു് അപ്പുറമാണ് സ്ഥിതിചെയ്യുന്നതെങ്കിൽ പകൽ വെളിച്ചത്തിൽ പോലും കാണാൻ കഴിയാതെ വരുന്നു. എന്നാൽ ശബ്ദംകൊണ്ടു് പ്രതിബന്ധത്തിനു് അപ്പുറത്തുള്ള വസ്തുക്കളുടെ സാന്നിദ്ധ്യം ഗ്രഹിക്കുന്നതിനു് വിഷമം നേരിടുന്നില്ല. ശബ്ദതരംഗങ്ങൾ പ്രതിബന്ധങ്ങളുടെ വക്കുകളിൽക്കൂടി വളഞ്ഞു സഞ്ചരിക്കുന്നതിനു് കഴിവുള്ളവയാണ്.

ശബ്ദംകൊണ്ടു് നമുക്കു് വസ്തുക്കളെ തിരിച്ചറിയാൻ കഴിയുന്നു. എന്നാൽ ശബ്ദത്തെ തുടർന്നുണ്ടാകുന്ന പ്രതിധ്വനിയിൽക്കൂടി വസ്തുക്കളെ തിരിച്ചറിയാൻ കഴിവുള്ള ചില അത്ഭുത ജീവികൾ പ്രപഞ്ചത്തിലുണ്ടു്. നിശാകാലസഞ്ചാരിയായ വാവൽ ഈ മാതിരിയുള്ള ഒരു ജീവിയാണു്. പകൽ വെളിച്ചത്തിൽ വാവൽ സഞ്ചരിക്കുകയോ ഇര പിടിക്കുകയോ ചെയ്യാറില്ല. ഇരുളടഞ്ഞ ഗുഹകളിലും, കെട്ടിടങ്ങളിലും, പകൽ സമയം കഴിച്ചുകൂട്ടുന്നു. രാത്രിയിൽ കർമ്മനിരതരാവുന്ന ഈ ജീവികൾ ഇരുട്ടിൽ അതിവേഗം സഞ്ചരിക്കുകയും, പ്രതിബന്ധങ്ങളെ വിജയപൂർവ്വം തരണം ചെയ്യുകയും ഇരപിടിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. കൂടാതെ സൂര്യപ്രകാശം ലേശംപോലും കടന്നു ചെല്ലാത്ത സമുദ്രാന്തർഭാഗത്തു ചില ജീവികൾ സ്വൈരമായി ജീവിത വ്യാപാരങ്ങളിൽ ഏർപ്പെട്ടിരിക്കുന്നതായി കാണാവുന്നതാണു്. കാഴ്ച പൂർണ്ണമായും അസാദ്ധ്യമായ പരിതഃസ്ഥിതികളിൽ കഴിച്ചുകൂട്ടുന്ന ഈ ജീവികൾ വസ്തുക്കളെ 'കാണുന്ന'തെങ്ങിനെ? ഇവയ്ക്കു അഭിമുഖീകരിക്കേണ്ടിവരുന്ന വസ്തുക്കൾ മിക്കവയും സ്വയം ശബ്ദം പുറപ്പെടുവിക്കാൻ കഴിവില്ലാത്ത നിർജ്ജീവ വസ്തുക്കളായിരിക്കും. ഈ അത്ഭുത ജീവികളുടെ ജീവിതരഹസ്യം പരിശോധിക്കുന്നതു് രസാവഹമാണു്.

ജലത്തിലെ പ്രതിധ്വനി വിദഗ്ദ്ധൻ

സമുദ്രത്തിന്റെ അന്തർഭാഗത്തു് പൂർണ്ണമായ ഇരുട്ടാണു് അനുഭവപ്പെടുന്നതു്. നിർമ്മല ജലത്തിൽപോലും സൂര്യകിരണം ഏതാനും അടിവരെ മാത്രമേ കടന്നു ചെല്ലുകയുള്ളൂ. സമുദ്രജലത്തിൽ പതിക്കുന്ന പ്രകാശത്തിന്റെ ഏറിയ പങ്കും ജലോപരിതലത്തിൽ വച്ചു് പ്രതിപതിച്ചു പോവുകയാണു് ചെയ്യുന്നതു്. കൂടാതെ ജലത്തിലെ മാലിന്യങ്ങൾ കാഴ്ച ഏതാനും ഇഞ്ചുകൾക്കപ്പുറം അസാദ്ധ്യമാക്കിത്തീർക്കുകയും ചെയ്യും. സമുദ്രത്തിനുള്ളിലെ ഇരുളിൽക്കൂടി സ്വയം പ്രകാശം പരത്തി വസ്തുക്കളെ കാണുന്നതിനു് കഴിവുള്ള ചില ജീവികളുണ്ടു്. നാം

രാത്രിയിൽ 'ടാർച്ച്' മിന്നിച്ച് വസ്തുക്കളെ കാണുന്നതുപോലെയാണിത്. മററു ജലജീവികൾ കൂടുതലും ആശ്രയിക്കുന്നത് ശബ്ദത്തെയാണ്.

നാം കരുതുന്നതുപോലെ സമുദ്രത്തിന്റേയും ആഴമുള്ള നദികളുടേയും, തടാകങ്ങളുടേയും അന്തർഭാഗം ശബ്ദരഹിതമല്ല. നാനാവിധത്തിലുള്ള ശബ്ദങ്ങൾ അവിടെയുള്ള ജലജീവികൾ പുറപ്പെടുവിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്നു. കരയിൽ നിൽക്കുന്ന ഒരാളിനു് ഈ ശബ്ദങ്ങൾ കേൾക്കാൻ കഴിയുകയില്ല. ശബ്ദതരംഗങ്ങൾ വായുവിൽ നിന്നു് വെള്ളത്തിലേയ്ക്കും, വെള്ളത്തിൽ നിന്നു് വായുവിലേയ്ക്കും എളുപ്പത്തിൽ കടന്നുപോവുകയില്ല. മാദ്ധ്യമങ്ങളുടെ അതിർത്തിരേഖയിൽവച്ച് ശബ്ദതരംഗങ്ങളുടെ 99 ശതമാനവും പ്രതിഫലിച്ചു പോവുകയാണു് ചെയ്യുന്നത്. വെള്ളത്തിൽ മുങ്ങിയിരിക്കുന്ന ഒരാളിനുപോലും ജലജീവികൾ പുറപ്പെടുവിക്കുന്ന നേരിയ ശബ്ദങ്ങൾ കേൾക്കാൻ കഴിയുകയില്ല. നമ്മുടെ ശ്രവണേന്ദ്രിയത്തിന്റെ ഘടന വായുവിൽ കൂടി വരുന്ന ശബ്ദതരംഗങ്ങളെ ആഗിരണം ചെയ്യുന്നതിനു് പര്യാപ്തമായ വിധത്തിലാണു്. കൂടാതെ നമ്മുടെ ശരീരത്തിൽ ധാരാളം ജലാംശം ഉള്ളതുകൊണ്ട്, ജലത്തിൽകൂടി സഞ്ചരിച്ചു നമ്മുടെ ശരീരത്തിൽ തട്ടുന്ന ശബ്ദതരംഗങ്ങൾക്ക് ശരീരം ഒരു സുതാര്യ (Transparent) മാധ്യമമായി പ്രവർത്തിക്കുന്നു. അതിനാൽ വെള്ളത്തിലെ ദുർബലമായ ശബ്ദങ്ങൾ നമുക്കു് കേൾക്കാൻ സാധിച്ചെന്നു വരികയില്ല.

ജലജീവികളിൽ മിക്കവയും ശബ്ദം ഉപയോഗിച്ചാണ് ആഹാരം തേടുന്നതും, സഞ്ചരിക്കുന്നതും, സന്ദേശങ്ങൾ കൈമാറുന്നതും. മത്സ്യത്തിനു് ജലത്തിലെ ശബ്ദം കേൾക്കാൻ കഴിയുമെന്ന വസ്തുത ജന്തുശാസ്ത്ര വിദഗ്ദ്ധന്മാർ മനസ്സിലാക്കിയതു് അടുത്തകാലത്തു മാത്രമാണ്. ഇതിന്റെ ശ്രവണേന്ദ്രിയം ശരീരത്തിനുള്ളിലാണ് സ്ഥിതിചെയ്യുന്നതു്. നമുക്ക് കേൾക്കാൻ കഴിയാത്ത താണ ആവൃത്തി(Low frequency)യിലുള്ള ശബ്ദം.

മത്സ്യത്തിനു് ഗ്രഹിക്കുവാൻ കഴിയുന്നു. ഉയർന്ന ആവൃത്തിയിലുള്ള ശബ്ദതരംഗങ്ങൾ ഗ്രഹിക്കുവാനുള്ള ഇവയുടെ കഴിവു് നമ്മുടേതിനേക്കാൾ കുറവാണെങ്കിലും, കരയിലുള്ള ഇതരജീവികളേക്കാൾ മത്സ്യത്തിന്റെ ഗ്രഹണസാമർത്ഥ്യം അടിസ്ഥാനപരമായിപിന്നിലല്ല എന്നുകാണാവുന്നതാണു്. മത്സ്യങ്ങൾക്കു് പ്രതിധ്വനി ഗ്രഹിക്കുവാനും, വിശകലനം ചെയ്യാനും കഴിവുണ്ടോ എന്ന കാര്യം സംശയകരമാണു്. എന്നാൽ ജലജീവിയായ കടൽപ്പന്നി (porpoise) ഇതിനു കഴിവുള്ള ജീവിയാണു്. (ചിത്രം 4)

തിമിംഗല വർഗ്ഗത്തിൽപ്പെട്ട ഒരു ജീവിയാണു് കടൽപ്പന്നി. സമുദ്രത്തിലും, നദികളിലും കണ്ടുവരുന്ന ഇവയ്ക്കു് 4 അടി മുതൽ 6 അടിവരെ നീളമുണ്ടായിരിക്കും. ഒരു സസ്തന ജീവിയായ കടൽപ്പന്നി ബുദ്ധിപരമായി ഏററവും കൂടുതൽ വികാസം പ്രാപിച്ചിട്ടുള്ള ജലജീവിയാണു്. ഇവ നിരുപദ്രവികളും സമൂഹമായി ജീവിക്കുന്നവയുമാണു്. ചിലപ്പോൾ കപ്പലുകളെ പിന്തുടർന്നു് ബഹുദൂരം സഞ്ചരിക്കാറുണ്ടു്. വിനോദത്തിനു വേണ്ടി ചില ആളുകൾ ഇവയെ വളർത്തുന്നുണ്ടു്. അപകടം നിറഞ്ഞ കടലുകളിൽ ചിലപ്പോൾ കപ്പൽ സഞ്ചാരികൾക്കു് ഇവ വഴികാട്ടിയായി പ്രവർത്തിക്കാറുണ്ടത്രേ.

കടൽപ്പന്നി സഞ്ചരിക്കുന്നതു് ശബ്ദം പുറപ്പെടുവിച്ചുകൊണ്ടാണു്. മീൻ പിടിത്തക്കാരും, തിമിംഗല വേട്ടക്കാരും പലപ്പോഴും ഇതു കേൾക്കാറുണ്ടു്. ജലത്തിനകത്തുള്ള സൂക്ഷ്മമായ ശബ്ദങ്ങൾ കേൾക്കാൻ കഴിവുള്ള ഉപകരണങ്ങൾ കണ്ടുപിടിച്ചതോടുകൂടിയാണു് ഇവ പുറപ്പെടുവിക്കുന്ന ശബ്ദത്തിന്റെ വൈജാത്യം പൂർണ്ണമായി മനസ്സിലാക്കാൻ കഴിഞ്ഞതു്. ഇവ പുറപ്പെടുവിക്കുന്ന ചില സ്പന്ദങ്ങൾ മററു കടൽപ്പന്നികൾക്കുള്ള സന്ദേശങ്ങളായിരിക്കും. മററു ചിലതു് പ്രതിധ്വനിയിലൂടെ വസ്തുക്കളെ തിരിച്ചറിയാനുള്ള ഉപായമാണു്.

ടാങ്കുകളിൽവച്ച് പരീക്ഷണവിധേയമാക്കപ്പെട്ട കടൽപ്പന്നികൾ ഇരുട്ടുള്ള രാത്രിയിൽ വളരെ വേഗം സഞ്ചരിച്ചു പോകുമ്പോൾ വെള്ളത്തിനടിയിലുള്ള പ്രതിബന്ധങ്ങൾ ഒഴിഞ്ഞു പോകുന്നതിനു കഴിവുള്ളവയാണെന്ന് കണ്ടുപിടിക്കപ്പെട്ടിട്ടുണ്ട്. ആമസോൺ നദിയിലും ഗംഗയിലും ഉള്ള കടൽപ്പന്നികൾ വെള്ളത്തിനടിയിൽ താണുകിടക്കുന്ന മരങ്ങളുടെയും മററു പ്രതിബന്ധങ്ങളുടേയും ഇടയിൽക്കൂടി നിർവിഘ്നം സഞ്ചരിച്ചുപോകാറുണ്ട്. ഏതാനും സെൻറിമീററർ അകലെയുള്ള വസ്തുക്കൾപോലും കാണുവാൻ കഴിയാത്ത സമുദ്രാന്തർഭാഗത്തുകൂടി വളരെ ദൂരം ഇരയെ പിന്തുടർന്നു പിടിച്ചു ഭക്ഷിക്കുവാൻ സഹായിക്കുന്നതു് ഇവ പുറപ്പെടുവിക്കുന്ന ശബ്ദത്തിൻെറ പ്രതിധ്വനിയാണ്.

പരീക്ഷണ വിധേയമാക്കപ്പെട്ട കടൽപ്പന്നികൾ വിശന്നിരിക്കുമ്പോൾ ധാരാളം സ്പന്ദനങ്ങൾ പുറപ്പെടുവിക്കുന്നതായി കാണപ്പെടുന്നു. ശബ്ദം പുറപ്പെടുവിക്കുമ്പോൾ വെള്ളത്തിൽ താഴ്ത്തിയിട്ടു കൊടുക്കുന്ന ഇരയെപിടിച്ചു ഭക്ഷിക്കുവാൻ ഒട്ടും തന്നെ കാലതാമസമുണ്ടാവുകയില്ല. നിശബ്ദമായിട്ടാണ് സഞ്ചരിക്കുന്നതെങ്കിൽ ഇരയെ കണ്ടെത്തുന്നതിൽ അവ പരാജയപ്പെടുന്നതായിട്ടാണ് കാണപ്പെടുന്നതു്. ഗവേഷണങ്ങൾ കൊണ്ട് 15 സെ:മീ: നീളമുള്ള ഒരുമത്സ്യത്തെ പ്രതിധ്വനിയിൽക്കൂടി കണ്ടുപിടിക്കാൻ കഴിവുണ്ടെന്നുമാത്രമല്ല, മത്സ്യത്തിൽനിന്നു വരുന്ന പ്രതിധ്വനിയെ മററു പ്രതിധ്വനികളിൽ നിന്ന് വിവേചിച്ചറിയാൻ കഴിവുണ്ടെന്നും തെളിഞ്ഞു.

കടൽപ്പന്നിക്ക് ചെറിയ ഒരു മത്സ്യത്തെ പ്രതിധ്വനിയിൽക്കൂടി തിരിച്ചറിയാൻ കഴിയുന്നതെങ്ങനെയാണ്? വെള്ളത്തിൽ ജീവിക്കുന്ന കടൽപ്പന്നിക്കു് പല ഘടകങ്ങളും യഥാർത്ഥത്തിൽ പ്രതികൂലമാണ്. വെള്ളത്തിൽക്കൂടി ശബ്ദതരംഗങ്ങൾ വളരെ വേഗത്തിലാണ് സഞ്ചരിക്കുന്നതു്. വെള്ളത്തിൽ അതിൻെറ പ്രവേഗം വായുവിലുള്ളതിന്റെ നാലര മടങ്ങാണ്. അതിനാൽ

സ്പന്ദത്തിനും പ്രതിധ്വനിക്കും തമ്മിലുള്ള ഇടവേള തുലോം തുച്ഛമായിരിക്കും. കൂടാതെ മത്സ്യത്തിന്റെ ശരീരത്തിൽ ധാരാളം ജലാംശമുള്ളതുകൊണ്ട് ശബ്ദതരംഗങ്ങളിൽ മുഖ്യഭാഗവും അതിന്റെ ശരീരത്തിൽകൂടി കടന്നുപോവുകയാണ് ചെയ്യുന്നതു്. അതിൽ തട്ടുന്ന ശബ്ദത്തിന്റെ ചെറിയ ഒരംശം മാത്രമാണ് പ്രതിപതിക്കപ്പെടുന്നതു്. തന്നിമിത്തം അതിൽനിന്നു് ദുർബലമായ പ്രതിധ്വനിയാണ് ഉണ്ടാകുന്നതു്. കടൽപ്പന്നിയുടെ ശരീരവും ശ്രവണപുടവും, ഇതുപോലെതന്നെ ശബ്ദതരംഗങ്ങൾക്ക് ഏറെക്കുറെ സുതാര്യമാണ്.

പ്രതിധ്വനിയിൽകൂടി വസ്തുക്കളെ കാണുവാൻ കടൽപ്പന്നിയെ സഹായിക്കുന്ന ചില പ്രധാന ഘടകങ്ങൾ ഉണ്ടു്. ആവൃത്തിയിൽ (Frequency) സാരമായ വ്യത്യാസമുള്ള പലതരത്തിലുള്ള സ്പന്ദനങ്ങൾ പുറപ്പെടുവിക്കാൻ അവയ്ക്കു കഴിയും. അതുപോലെതന്നെ വളരെ താണ ആവൃത്തിയിലുള്ളതും വളരെ അധികം ഉയർന്ന ആവൃത്തിയിലുള്ളതുമായ ശബ്ദതരംഗങ്ങൾ ഗ്രഹിക്കുവാനും ഇവയ്ക്കു കഴിവുണ്ടു്. ആവൃത്തി 150 C P S മുതൽ 150000 C P.S വരെയുള്ള ശബ്ദങ്ങൾ ഇവയ്ക്കു് പുറപ്പെടുവിക്കാനും ഗ്രഹിക്കുവാനും സാധിക്കും. നമ്മുടെ ശ്രവണപരിധി 20 C.P.Sനും 20000 C.P.S നും ഇടയ്ക്കാണ്. 18000 C.P S ശബ്ദതരംഗങ്ങൾ നല്ല ശ്രവണ ശേഷിയുള്ള കുട്ടികൾക്ക പോലും കേൾക്കാൻ കഴിഞ്ഞെന്നു വരികയില്ല. കൂടാതെ അവയ്ക്കുള്ള മറെറാരു മേന്മ പ്രതിധ്വനി വിശകലനം ചെയ്യാനുള്ള മനസ്സിക ശക്തിയാണ്.

ജലത്തിലെ വണ്ടു് (Whirligig Beetle)

ജലത്തിന്റെ ഉപരിതലത്തിൽ തരംഗങ്ങൾ ഉണ്ടായി സഞ്ചരിക്കുന്നതു് നാം കാണാറുണ്ടു്. ഈ തരംഗങ്ങൾക്ക് ശബ്ദം സൃഷ്ടിക്കുന്ന തരംഗങ്ങളുമായി ചില സാദൃശ്യങ്ങളുണ്ട്. നിശ്ചല ജലത്തിൽ ഒരില വീണാൽ മതി തരംഗങ്ങൾ സൃഷ്ടിക്കപ്പെടും. വൃത്താകൃതിയിൽ സഞ്ചരിച്ചു പോകുന്ന ഈ തരംഗ

ങ്ങൾ ക്രമേണ അപ്രത്യക്ഷമായിത്തീരുന്നു, ശബ്ദതരംഗങ്ങളുമായി ഇവയ്ക്കു സാമ്യമുള്ള സ്ഥിതിക്ക് ഇവയ്ക്കും സന്ദേശങ്ങൾ വഹിച്ചുകൊണ്ടുപോകാൻ കഴിവുണ്ടോ? ഏതെങ്കിലും ജലജീവി ഇതിൽനിന്നും സന്ദേശങ്ങൾ സ്വീകരിക്കുന്നുണ്ടോ?

ജലജീവിയായ ഒരുതരം വണ്ടിനു് (Whirligig Beetle) ജലത്തിലുണ്ടാകുന്ന തരംഗങ്ങളുടെ 'പ്രതിധ്വനി'യിൽ നിന്നു് സന്ദേശം സ്വീകരിക്കാൻ കഴിവുണ്ടെന്നു മനസ്സിലാക്കാൻ കഴിഞ്ഞിട്ടുണ്ടു്. (ചിത്രം 3)

ജലത്തിലെവണ്ടു് (Whirligig beatle)

സാധാരണയായി നിശ്ചലജലത്തിൽ കാണപ്പെടുന്ന ഒരു ചെറുജീവിയാണിതു്. ചിലപ്പോഴെല്ലാം ജലത്തിൽ താഴുകയും, അതിനുള്ളിൽക്കൂടി നീന്തുകയും ചെയ്യുന്ന ഇവ ജലോപരിതലത്തിൽക്കൂടി പാടി സഞ്ചരിക്കുന്നതു് കാണാവുന്നതാണു്. താരതമ്യേന ഭാരം കുറഞ്ഞ ഈ ജീവിയ്ക്കു് ജലത്തിന്റെ ഉപരിതലബലം (surface tension) കൊണ്ടു് ജലത്തിൽ പൊങ്ങി നിൽക്കുന്നതിനു കഴിയും. എണ്ണമയമുള്ളതും എളുപ്പത്തിൽ നനയാത്തതുമായ ധാരാളം രോമങ്ങൾ അതിന്റെ ശരീരത്തിലുണ്ടായിരിക്കും. ഇവയ്ക്കു രണ്ടു ജോടി സംയുക്തനേത്രങ്ങളുണ്ടു്, ഒരു ജോടി വെള്ളത്തിനു മുകളിലായും മറ്റേജോടി വെള്ളത്തിനടിയിലായും കാണപ്പെടുന്നു. സാധാരണ ഗതിയിൽ നേത്രങ്ങൾ പ്രവർത്തനക്ഷമങ്ങളാണു്. എന്നാൽ ഇരുട്ടിലും മററു ചില സന്ദർഭങ്ങളിലും, സ്പർശനികളാണു് ഇവയ്ക്കു് കൂടുതൽ ഉപയോഗപ്രദമായി തീരുന്നതു്.

സ്പർശനികൾ എപ്പോഴും വെള്ളത്തിൽ പൊങ്ങിക്കിടക്കും. സ്പർശനികളിൽ അസംഖ്യം ചെറുരോമങ്ങൾ കാണുന്നു. ഈ രോമങ്ങൾ നാഡീതന്തുക്കൾ കൊണ്ടു നിബിഡമാണു്. സ്പർശനികളുടെ ചുവട്ടിൽനിന്നു് രണ്ടാമത്തെ സന്ധിക്കു സമീപമുള്ള രോമങ്ങൾക്കു് ഗ്രഹണ സാമർത്ഥ്യം വളരെ കൂടുതലാണു്.

പ്രയോഗശാലയിൽ വച്ചു് പരിശോധിച്ചു നോക്കിയപ്പോൾ ഇവ നല്ല ഇരുട്ടുള്ള രാത്രിയിൽ ടാങ്കുകളുടെ വശങ്ങളിൽ ചെന്നു മുട്ടുകയോ പരസ്പരം കൂട്ടിമുട്ടുകയോ ചെയ്യുകയില്ലെന്നു

കാണകയുണ്ടായി. എന്നാൽ സ്പർശനികളിലെ ഗ്രഹണ സാമർത്ഥ്യം കൂടുതലുള്ള രോമങ്ങരം മുറിച്ചു് കളയുകയോ, ഇതിലെ നാഡീതന്തുക്കറംക്കു് കേടുവരുത്തുകയോ ചെയ്താൽ കണ്ണാടി ജന്നലുകളിൽ പക്ഷികരം വന്നിടിച്ചു വീഴുന്നതുപോലെ. ടാങ്കിന്റെ വശങ്ങളിൽ ചെന്നുമുട്ടുന്നു.

കരയ്ക്കടുത്തുള്ള ജലത്തിൽകൂടി ഏതാനും നിമിഷം ഇവ നീന്തുകയും, പിന്നെ നിശ്ചലമാവുകയും ചെയ്യുന്നതു കാണാം. നീന്തുമ്പോഴുണ്ടാകുന്ന തരംഗങ്ങരം കരയിൽ വന്നു തട്ടി പ്രതിപതിച്ചുണ്ടാകുന്ന തരംഗങ്ങളിൽ നിന്നു് വസ്തുതകരം ശേഖരിക്കുന്നതിനാണു് ഏതാനും സമയം നിശ്ചലമാകുന്നതു്. ജലത്തിലുള്ള മററു തരംഗങ്ങളിൽനിന്നു് പ്രതിപതിച്ചു വരുന്ന തരംഗങ്ങളെ വേർതിരിച്ചറിയാനും ഈ ജീവിയ്ക്കു കഴിയും. കൃത്രിമയന്ത്രങ്ങളെക്കാറം ജീവനുള്ള നാഡീതന്തുക്കറംക്കുള്ള വിവേചനാശക്തി ആശ്ചര്യജനകംതന്നെ.

വായുവിലെ പ്രതിധ്വനി വിദഗ്ദ്ധൻ

രാത്രിയിൽ കാഴ്ചോത്സുകരാവുന്ന പറവകളുടെ ജീവിതരഹസ്യം ശ്രദ്ധാർഹമാണു്. ഇതിൽ ആദ്യമായി കൗതുകം തോന്നിയതു് പ്രതിഭാസമ്പന്നനായ ലെസ്സാറോ സ്പല്ലൻസാനി (Lazzaro) എന്ന ഇററാലിയൻ ശാസ്ത്രജ്ഞനാണു്, മൂങ്ങയും മററു ചില നിശാജീവികളും വിപുലമായ കണ്ണുകളുടെ സഹായംകൊണ്ടാണു് അരണ്ട വെളിച്ചമുള്ള രാത്രികാലങ്ങളിൽ സഞ്ചരിക്കുന്നതു്. പൂർണ്ണമായ ഇരുട്ടിൽ അവയുടെ കണ്ണുകറംക്കു് പ്രവർത്തനശേഷിയില്ല. എന്നാൽ നല്ല ഇരുട്ടുള്ള രാത്രിയിലും വാവൽ സൈ്വരമായി സഞ്ചരിച്ചു പോകുന്നതു കാണാവുന്നതാണു്. (ചിത്രം 4)

വാവൽ

വാവലിന്റെ ജീവിത രഹസ്യം വെളിപ്പെടുത്തുന്നതിനു് സ്പല്ലൻസാനി പല പരീക്ഷണങ്ങളും നടത്തി കണ്ണിന്റെ കാഴ്ചശക്തി നശിപ്പിച്ച വാവലുകളെ അദ്ദേഹം പറത്തിവിട്ടു ഒരു

കുഴപ്പവും കൂടാതെ ഇരുട്ടിൽ അവ സഞ്ചരിച്ചുപോകുന്നതായി കാണപ്പെട്ടു. 'പേവിയ' (Pavia) എന്ന സ്ഥലത്തുള്ള ഒരു ദേവാലയത്തിൽ നിന്നു പിടിച്ച് കാഴ്ച നശിപ്പിച്ച ഏതാനും ചില വാവലുകളെ അകലെയുള്ള ഒരു സ്ഥലത്തുവച്ച് അദ്ദേഹം സ്വതന്ത്രമാക്കിവിട്ടു. അത്ഭുതമെന്നു പറയട്ടെ അടുത്ത ദിവസം അവയുടെ പഴയ വാസസ്ഥലത്തുവച്ചുതന്നെ അവയെ അദ്ദേഹം കാണുകയുണ്ടായി. സഞ്ചരിക്കുന്നതിനു് വാവലിനു് കാഴ്ച ആവശ്യമില്ലെന്നു ഇതിൽനിന്നു് തെളിഞ്ഞു. കാഴ്ച ശക്തി നശിപ്പിക്കപ്പെട്ട വാവലുകൾക്കു് ഇര തേടി പിടിക്കാൻ കഴിവുണ്ടോ എന്നതായിരുന്നു അടുത്ത പ്രശ്നം. കാഴ്ച നശിപ്പിക്കപ്പെട്ട ചില വാവലുകളെ അനേക ദിവസങ്ങൾക്കു ശേഷം വീണ്ടും പിടിച്ച് അവയുടെ വയറുകീറി പരിശോധിച്ചുനോക്കി. വയറു് ചെറുപ്രാണികൾകൊണ്ടു് നിറഞ്ഞിരിക്കുന്നതായികണ്ടു.

കണ്ണിന്റെ കാഴ്ച വാവലിനു് ഒരു പ്രശ്നമല്ലെന്നും ശ്രവണശക്തികൊണ്ടാണു് അവ ജീവിതം നയിക്കുന്നതെന്നും ഉള്ള നിഗമനത്തിൽ അദ്ദേഹം എത്തിച്ചേർന്നു. കാതു് ഭദ്രമായി അടച്ചുകെട്ടിയ വാവലുകൾ പറത്തിവിട്ടപ്പോൾ, സഞ്ചാരമാർഗ്ഗത്തിലുള്ള പ്രതിബന്ധങ്ങളിൽ തട്ടി നിലം പതിക്കുന്നതാണു് അദ്ദേഹം കണ്ടതു്. ശ്രവണമാണു് ഇവയുടെ ജീവിത രഹസ്യമെന്നും, കാഴ്ച, സ്പർശനം, ഘ്രാണം, രുചി ഇവയ്ക്കു കേടു സംഭവിച്ചാലും, സാരമായ പരാധീനത ഇവയ്ക്കുണ്ടാവുകയില്ലെന്നും അദ്ദേഹം പ്രസ്താവിച്ചു.

നിർഭാഗ്യവശാൽ സ്പല്ലൻ സാനിയുടെ നിഗമനം അർത്ഥശൂന്യമായിട്ടാണു് മററുള്ളവർക്കു തോന്നിയതു്. നിശബ്ദമായി സഞ്ചരിക്കുന്ന വാവലുകൾ ഏതു ശബ്ദമാണു് കേൾക്കുന്നതെന്നായിരുന്നു സംശയം. ഇതിനു് തൃപ്തികരമായ ഒരു വിശദീകരണം നൽകാൻ ആർക്കുംതന്നെ അന്നു കഴിഞ്ഞതുമില്ല. അദ്ദേഹത്തിന്റെ നിഗമനങ്ങൾ തിരസ്കരിക്കപ്പെടുകയും. സ്പല്ലൻ സാനി ദീർഘകാലത്തേയ്ക്കു വിസ്മരിക്കപ്പെടുകയും.

ചെയ്യു. ആരും തന്നെ കാഴ്ച നശിപ്പിച്ച വാവലുകൾ എങ്ങിനെയാണു് ഇര തേടിപ്പിടിച്ചതു് എന്ന വസ്തുത ചിന്തിച്ചതേയില്ല.

സ്പല്ലൻ സാനി അവതരിപ്പിച്ച പ്രശ്നത്തിനു് വിശദീകരണം നൽകുവാൻ കഴിഞ്ഞതു് സമീപകാലത്തു മാത്രമാണു്. വാവലുകൾ സഞ്ചരിക്കുമ്പോൾ നമ്മുടെ ശ്രവണശക്തിക്കു് അതീതമായ ആവൃത്തിയിലുള്ള സ്പന്ദങ്ങൾ പുറപ്പെടുവിക്കുന്നുണ്ടു്. ഈ തരംഗങ്ങൾ കണ്ടുപിടിക്കാൻ കഴിവുള്ള വൈദ്യുത ഉപകരണങ്ങൾ നിർമ്മിച്ചതോടുകൂടിയാണു് ഈ രഹസ്യം വെളിവായതു്. ഉന്നത ആവൃത്തിയിലുള്ള ഈ തരംഗങ്ങളുടെ തരംഗദൈർഘ്യം തുലോം കുറവാണു്. നമുക്കു് കേൾക്കാൻ സാധിക്കാത്ത ആവൃത്തിയിലുള്ള സ്പന്ദങ്ങൾ പുറപ്പെടുവിക്കുന്നതുകൊണ്ടാണു് വാവലുകളുടെ പ്രയാണ രഹസ്യം ദീർഘകാലം ഗ്രഹിക്കാൻ കഴിയാതെ പോയതു്. സ്പന്ദം പുറപ്പെടുവിക്കാൻ കഴിയാത്തവിധം വാമൂടിക്കെട്ടിയ വാവലുകൾ പ്രതിബന്ധങ്ങളിൽ മുട്ടി നിലംപതിച്ചതോടുകൂടി ഇതിന്റെ രഹസ്യം പൂർണ്ണമായും വെളിവായി.

വാവലിന്റെ സ്പന്ദങ്ങൾ വസ്തുക്കളിൽ തട്ടിയുണ്ടാകുന്ന പ്രതിധ്വനി ശ്രദ്ധിച്ചറിഞ്ഞാണു് അവ സഞ്ചരിക്കുന്നതു്. പ്രയാണ മാർഗ്ഗത്തിൽ നിൽക്കുന്ന ഒരാളിനേയോ, ഉയർന്നുനിൽക്കുന്ന പ്രതിബന്ധത്തെയോ ഒഴിഞ്ഞു പോകേണ്ടി വന്നാൽ സ്പന്ദത്തിന്റെ എണ്ണം വർദ്ധിച്ചുതുടങ്ങുന്നു. വിശ്രമസങ്കേതത്തിലെത്തുമ്പോഴും ഇരയെ കണ്ടെത്തുമ്പോഴും, ഇവ തുരുതുരെ ശബ്ദം പുറപ്പെടുവിക്കുന്നുണ്ടു്.

യഥാർത്ഥത്തിൽ വാവലുകൾ പുറപ്പെടുവിക്കുന്ന ശബ്ദം മുഴുവനും നമ്മുടെ ശ്രവണപരിധിക്കപ്പുറമുള്ളവയല്ല. 99.9 ശതമാനം ശബ്ദവും നമുക്കു കേൾക്കാൻ കഴിയാത്ത ആവൃത്തിയിലുള്ളതാണെങ്കിലും ചെറിയ ഒരംശം വളരെ ശ്രദ്ധിച്ചാൽ കേൾക്കാവുന്നതാണു്. ഇതു് ചിറകടി ശബ്ദമെന്നു് ശങ്കിച്ചാണു് സ്പല്ലൻ സാനി വിഗണിച്ചുകളഞ്ഞതു്.

വെറും ജിജ്ഞാസ ഒന്നുമാത്രമാണ് നിശാസഞ്ചാരികളായ പറവകളെക്കുറിച്ച് നിരീക്ഷണം നടത്താൻ സ്പല്ലൻസാനിയെ പ്രേരിപ്പിച്ചത്. സംശയാതീതമായ ചില നിഗമനങ്ങളിൽ അദ്ദേഹം എത്തിച്ചേരുകയും ചെയ്തു വാവലുകൾ കണ്ണുകൾ കൊണ്ടല്ല, കാതുകൾ കൊണ്ടാണ് വസ്തുക്കളെ 'കാണുന്ന'തെന്നുള്ള കാര്യത്തിൽ അദ്ദേഹത്തിനു സംശയമില്ലായിരുന്നു. അതിനപ്പുറം കടന്നു ചെല്ലാൻ അദ്ദേഹത്തിനോ നിരൂപകർക്കോ കഴിഞ്ഞതുമില്ല. ഈ പ്രതിഭാസത്തിന് ശാസ്ത്രീയമായ ഒരു വിശദീകരണം നൽകുന്നതിൽ അദ്ദേഹം പരാജയപ്പെട്ടുപോയി. ശാസ്ത്രകുതുകികൾക്ക് പലപ്പോഴും ഉണ്ടാകുന്ന ഒരനുഭവമാണിത്. നിലവിലുള്ള തത്വങ്ങൾ നൂതന പ്രതിഭാസങ്ങളുമായി യോജിക്കാതെ വരുമ്പോൾ അവ തിരുത്തി എഴുതേണ്ടിവരും. ശാസ്ത്രം ചലനാത്മകമാണ്. പുതിയ പ്രകൃതി രഹസ്യങ്ങൾ ഇനിയും വെളിച്ചത്തുവരും. പഴയ പ്രമാണങ്ങളുടേയും വിശ്വാസങ്ങളുടേയും നേർക്ക് സൃഷ്ടിപരമായ ചോദ്യചിഹ്നങ്ങൾ ഉയർന്നെന്നുവരും. ഇന്നുള്ള ശാസ്ത്രതത്വങ്ങൾ ശാശ്വതസത്യങ്ങളായിക്കൊള്ളണമെന്നില്ല. വാവലുകൾ ചിറകുകൊണ്ടാണ് വസ്തുക്കളെ തിരിച്ചറിയുന്നതെന്ന് 19-ാം നൂറ്റാണ്ടിലെ വിശ്വാസത്തിനുണ്ടായ ഗതി പല ആധുനിക പ്രമാണങ്ങൾക്കും വന്നു ചേരുകയില്ല എന്നാർക്കറിയാം?

അദ്ധ്യായം രണ്ട്

സന്ദേശവാഹിയായ പ്രതിധ്വനി

മുൻ അദ്ധ്യായത്തിൽ പ്രസ്താവിച്ചതുപോലെ വാവലിനും, കടൽപ്പന്നിക്കും വിജ്ഞാനം നൽകുവാൻ കഴിവുള്ള പ്രതിധ്വനി പരിശോധിച്ചുനോക്കാം. ഏതെങ്കിലും തരംഗങ്ങൾക്ക് വല്ല വിവരവും നൽകാൻ കഴിയണമെങ്കിൽ അവ പ്രകൃതിയിലുള്ള ഏതെങ്കിലും വസ്തുവുമായി പ്രതിപ്രവർത്തനത്തിലേർപ്പെടണം. ഒരു വസ്തുവുമായി സമ്പർക്കത്തിലേർപ്പെടാതെ അനന്തമായി സഞ്ചരിച്ചുപോകുന്ന തരംഗങ്ങളുടെ സാന്നിദ്ധ്യം ഗ്രഹിക്കുന്നതിനു സാദ്ധ്യമല്ല. പ്രകാശ തരംഗങ്ങളും. ശബ്ദതരംഗങ്ങളും വസ്തുക്കളുമായി പ്രതിപ്രവർത്തനത്തിലേർപ്പെടുന്നതുകൊണ്ടാണ് നമ്മുടെ കണ്ണും, കാതും പ്രവർത്തന ക്ഷമമായിത്തീരുന്നതു്. ഉന്നത ഊർജ്ജമുള്ള കാസ്മിക് രശ്മികളും ന്യൂട്രിനോസ് (Neutrinos) എന്ന അറ്റാമിക് കണങ്ങളും സാധാരണ ഗതിയിൽ വസ്തുക്കളുമായി പ്രവർത്തിക്കാത്തതുകൊണ്ടാണ് അവയുടെ സാന്നിദ്ധ്യം ഗ്രഹിക്കുവാൻ കഴിയാതെ വരുന്നതു്. പ്രകൃതിയിലുള്ള ചില വസ്തുക്കളിൽനിന്നു താണ തീവ്രതയിലുള്ള റേഡിയോ തരംഗങ്ങൾ പുറപ്പെട്ട് നമ്മുടെ ശരീരത്തിൽക്കൂടി കടന്നുപോകുന്നുണ്ട്. നാമാരും അതിനെക്കുറിച്ച് ബോധവാന്മാരല്ല. ഇവ കണ്ടുപിടിക്കുന്നതിനു് കഴിവുള്ള ഉപകരണങ്ങളുടെ ആവിർഭാവത്തോടുകൂടിയാണ്, ഇവയുടെ സാന്നിദ്ധ്യം നാം മനസ്സിലാക്കിയതു്.

ശബ്ദതരംഗങ്ങൾ ഉണ്ടാകുന്നതു് എങ്ങിനെയാണ്? ഒരു ഭൗതികവസ്തു കമ്പനം ചെയ്യുമ്പോഴാണ് ശബ്ദമുണ്ടാകുന്നതു്. ശബ്ദം വായുപോലുള്ള ഒരു മാധ്യമത്തിൽക്കൂടി കടന്നുപോകുമ്പോൾ, മാധ്യമത്തിലെ കണങ്ങളുടെ ചലനംകൊണ്ട് ചില മേഖലകളിൽ മർദ്ദം കൂടുകയും തൊട്ടടുത്തുള്ള മേഖലകളിൽ മർദ്ദം കുറയുകയും ചെയ്തുകൊണ്ടിരിക്കും. അന്തരീക്ഷവായുവിന്റെ

പ്രമാണ മർദ്ദം 76 സെ:മീ രസമാണ്. മർദ്ദത്തിലുണ്ടാകുന്ന വ്യതിയാനങ്ങൾ ക്രമാനുഗതമായി സഞ്ചരിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. ഒരു നിമിഷത്തിൽ ഉയർന്ന മർദ്ദമുള്ള മേഖല അടുത്ത നിമിഷത്തിൽ അല്പം അകലെയുള്ള ഒരു മണ്ഡലത്തിലേയ്ക്കു കടക്കുന്നു ഈ മർദ്ദവ്യതിയാനങ്ങൾ വളരെ തുച്ഛമായിരിക്കും. ഉറക്കെയുള്ള ഒരു അട്ടഹാസം വായുവിൽ സൃഷ്ടിക്കുന്ന മർദ്ദവ്യത്യാസം 0.00001 നും 0.0001 നും ഇടയ്ക്കുള്ള അന്തരീക്ഷമർദ്ദമായിരിക്കും. ചിത്രം 5

ശബ്ദത്തിന്റെ ഭൗതികമായ നിലനില്പ് തന്നെ ചോദ്യം ചെയ്യപ്പെട്ടിരുന്ന ഒരു കാലഘട്ടമുണ്ടായിരുന്നു. ഏകാന്തതയിലുള്ള വെള്ളച്ചാട്ടത്തിൽ നിന്നു് ശബ്ദമെന്ന പ്രതിഭാസം ഉണ്ടാകുന്നുണ്ടോ എന്നതായിരുന്നു പ്രശ്നം. കേൾക്കാൻ ആളില്ലെങ്കിൽ ശബ്ദമുണ്ടോ? ശബ്ദതരംഗങ്ങളുടെ ഭൗതികസ്വഭാവവും, വായുവിൽ സൃഷ്ടിക്കപ്പെടുന്ന മർദ്ദവ്യതിയാനങ്ങളും, ശ്രവണേന്ദ്രിയത്തിൽ ഉളവാക്കുന്ന പ്രതികരണവും വ്യക്തമായതോടുകൂടി ആ വക ചോദ്യങ്ങൾ ഇന്നു് അപ്രസക്തങ്ങളാണു്.

ശബ്ദതരംഗങ്ങൾ വായുപോലുള്ള വാതകങ്ങളിൽക്കൂടി മാത്രമല്ല, അഗാധമായ സമുദ്രത്തിൽക്കൂടിയും, കാഠിന്യമുള്ള ഇരുമ്പിൽക്കൂടിയും കടന്നുപോകും. എന്നാൽ അതിനു് ഒരു പരാധീനതയുണ്ടു്. സഞ്ചരിച്ചുപോകുന്നതിനു് ഏതെങ്കിലും മാധ്യമം കൂടിയേതീരൂ. പൂർണ്ണമായും ശൂന്യമായ സ്ഥലത്തുകൂടി അവ കടന്നു പോവുകയില്ല. തന്മാത്രകളുടെ ആഘാതംകൊണ്ടാണു് മർദ്ദം ഉണ്ടാകുന്നതു്. മർദ്ദം നിലവിലുള്ള മാധ്യമത്തിൽക്കൂടി മാത്രമേ മർദ്ദവ്യത്യാസങ്ങൾ സൃഷ്ടിച്ചുകൊണ്ടു് ശബ്ദത്തിനു് സഞ്ചരിച്ചുപോകാൻ കഴിയുകയുള്ളു.

അടുത്തതായി ശബ്ദതരംഗങ്ങളുടെ പ്രവേഗത്തെക്കുറിച്ചു് പരിശോധിച്ചുനോക്കാം. തരംഗങ്ങൾ ആരംഭിച്ചു കഴിഞ്ഞാൽ ഒരു മാധ്യമത്തിൽക്കൂടി സ്ഥിരമായ പ്രവേഗത്തിൽ സഞ്ചരിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കും. സഞ്ചരിക്കുന്തോറും ക്രമേണ

ഊർജ്ജം കുറഞ്ഞു് ദുർബലമായിത്തീരുകയും ഒടുവിൽ അപ്രത്യക്ഷമാവുകയും ചെയ്യും. ശബ്ദതരംഗങ്ങളുടെ ആവൃത്തി മാറിയാലും പ്രവേഗത്തിനു് മാററം സംഭവിക്കുകയില്ല. പ്രവേഗം പ്രധാനമായും ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നതു് മാധ്യമത്തിന്റെ സാന്ദ്രതയാണു്. ഊഷ്മാവും മററു ചില പരിതസ്ഥിതികളും, പ്രവേഗത്തിൽ ചെറിയ വ്യത്യാസം വരുത്തുന്നുണ്ടു്. വായുവിൽ 20°c ൽ ശബ്ദത്തിന്റെ പ്രവേഗം സെക്കൻറിൽ 34.4 മീററാണു്. സമുദ്രജലത്തിൽ അതിന്റെ പ്രവേഗം ഏകദേശം 1500 മീറററായിരിക്കും. ഒരു മില്ലിസെക്കൻറിൽ (ഒരു സെക്കൻറിന്റെ $\frac{1}{1000}$ ഭാഗം) വായുവിലെ പ്രവേഗം 34.4 സെ: മീററർ അല്ലെങ്കിൽ ഏകദേശം ഒരടിയാണു്. സെക്കൻറിൽ 3×10^8 മീററർ (186000 മൈൽ) സഞ്ചരിക്കുന്ന പ്രകാശ തരംഗങ്ങളുടെ പ്രവേഗത്തേക്കാൾ തുലോം കുറവാണിതു്.

ശബ്ദതരംഗങ്ങൾ സഞ്ചരിച്ചുപോകുമ്പോൾ തൊട്ടടുത്തുണ്ടാകുന്ന ഉയർന്ന മർദ്ദമേഖലകളോ, താണ മർദ്ദമേഖലകളോ തമ്മിലുള്ള അകലത്തിനു് തരംഗദൈർഘ്യം എന്നു പറയുന്നു. ശബ്ദത്തിന്റെ പ്രവേഗത്തിനു് മാററമില്ലാത്തതുകൊണ്ടു് തരംഗദൈർഘ്യം കൂടിയാൽ തരംഗങ്ങളുടെ എണ്ണം കുറയും. ഒരു ബിന്ദുവിൽക്കൂടി ഒരു സെക്കൻറിൽ കടന്നുപോകുന്ന തരംഗങ്ങളുടെ എണ്ണമാണു് ആവൃത്തി (Frequency) എന്നു പറയപ്പെടുന്നതു്. ആവൃത്തി 844 ആണെങ്കിൽ തരംഗ ദൈർഘ്യം ഒരു മീറററായിരിക്കും. നേരെ മറിച്ചു് തരംഗദൈർഘ്യം 2സെ:മീ. ആണെങ്കിൽ ആവൃത്തി $344 \div 0.02$ അതായതു് 17200 C. P. S (Cycles per second) ആയിരിക്കും. ആവൃത്തി വളരെ കൂടുതലാവുമ്പോൾ കിലോസൈക്കിൾസിലാണു് (1 കിലോസൈക്കിൾ = 1000 സൈക്കിൾസ്) പറയപ്പെടുന്നതു്. ചുരുക്കി K C. എന്നു പറയുന്നു.

ശബ്ദതരംഗങ്ങൾക്കു് വസ്തുക്കളുമായുള്ള പ്രതിപ്രവർത്തനം പ്രകാശതരംഗങ്ങളുടേതുപോലെ അത്ര പ്രകടമല്ല. പ്രകാശതരംഗങ്ങൾ അതാര്യവസ്തുവിൽ പതിച്ചാൽ അതിനു പുറകിൽ

വ്യക്തമായ നിഴലുണ്ടാകും. ശബ്ദത്തിന്റെ പാതയിൽ ഉള്ള വസ്തുക്കളിൽ തട്ടി ശബ്ദം പ്രതിപതിപ്പിക്കപ്പെടുന്നുണ്ടെങ്കിലും മറുവശത്തു് ശബ്ദം കേൾക്കുന്നതിനു് തടസ്സമുണ്ടാകുന്നില്ല. ശബ്ദതരംഗങ്ങൾ വക്കുകളിൽകൂടി വളഞ്ഞുപോകുന്നതുകൊണ്ടു് വീടുകളും മുറികളും ശബ്ദരഹിതമാക്കാൻ പ്രയാസമായിരിക്കും. ശബ്ദം നമുക്കു കേൾക്കുവാൻ സാധിക്കുന്നതുകൊണ്ടു് വസ്തുക്കൾ എന്തുമാത്രം ശബ്ദതരംഗങ്ങളെ പ്രതിപതിപ്പിക്കുന്നു എന്നു് നാം സാധാരണ ചിന്തിക്കാറില്ല.

(ചിത്രം 6)

വസ്തുക്കളിൽ തട്ടിയതിനു് ശേഷം പ്രതിപതിച്ചുവരുന്ന ശബ്ദതരംഗങ്ങളാണു് പ്രതിധ്വനിയും അനുരണനവും (Reverberation), അടുത്തടുത്തുള്ള പ്രതലങ്ങളിൽ തട്ടി ആവർത്തന പ്രതിപതനം നടന്ന ശബ്ദതരംഗങ്ങൾ പരസ്പരം ഇടകലർന്നുണ്ടാവുന്ന ഒരു പ്രതിഭാസമാണു് അനുരണനം. ശബ്ദം നിലച്ചതിനുശേഷം വന്നെത്തുന്ന പ്രതിധ്വനി മാത്രമേ വ്യക്തമായി കേൾക്കാൻ കഴിയുകയുള്ളൂ. ഒരു സെക്കൻറു സമയം നീണ്ടുനിൽക്കുന്ന ഒരു ശബ്ദത്തിന്റെ പ്രതിധ്വനി കേൾക്കണമെങ്കിൽ ഒരു സെക്കൻറു സമയം കഴിഞ്ഞു് അതു വന്നു ചേരണം. വായുവിൽ ശബ്ദത്തിന്റെ പ്രവേഗം 344 മീററാണല്ലോ? ഒരു സെക്കൻറു സമയംകൊണ്ടു് ശബ്ദതരംഗങ്ങൾ 344 മീററർ ദൂരം സഞ്ചരിക്കും. 172 മീററർ അകലെയുള്ള വസ്തുവിൽനിന്നുണ്ടാകുന്ന പ്രതിധ്വനി പൂർവ്വശബ്ദം അവസാനിച്ചതിനുശേഷമേ വന്നുചേരുകയുള്ളൂ. അപ്പോൾ പ്രതിധ്വനി നമുക്കു് വേർതിരിച്ചു കേൾക്കാൻ കഴിയും. 0.2 സെക്കൻറു നീണ്ടുനിൽക്കുന്ന ഒരു സ്പന്ദത്തിന്റെ പ്രതിധ്വനി ഇതുപോലെ കേൾക്കാൻ കഴിയണമെങ്കിൽ പ്രതിപതനതലം 34 മീററർ അകലെയായിരിക്കണം. നിത്യജീവിതത്തിൽ പ്രതിധ്വനി വളരെ അപൂർവ്വമായി മാത്രമേ നാം കേൾക്കാറുള്ളൂ, കാരണം 0.2 സെ;മീ നീണ്ടുനിൽക്കുന്ന ശബ്ദവും 34 മീററർ അകലെയുള്ള പ്രതിപതന തലവും ഒന്നിച്ചുണ്ടാവുക അപൂർവ്വമാണു്. കൂടാതെ ശബ്ദത്തിനും പ്രതിധ്വനിക്കും തമ്മിൽ നിശബ്ദമായ ഒരു ഇടവേള ഉണ്ടായിരിക്കുകയും വേണം. ശ്രദ്ധിക്കപ്പെടാത്ത പ്രതിധ്വനികൾ:–

നാം സംസാരിക്കുന്ന ഓരോ വാക്കിന്റേയും സ്വഭാവത്തിൽ അതിന്റെ പ്രതിധ്വനി സാരമായ വ്യത്യാസം വരുത്തുന്നുണ്ട്. സാധാരണയായി നാം അതിനെക്കുറിച്ച് ബോധവാന്മാരല്ല. തുറസ്സായ സ്ഥലത്ത് സംസാരിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന ഒരു സുഹൃത്തുമായി വീട്ടിനുള്ളിലേക്ക് പ്രവേശിക്കുക. അയാൾ ഒച്ചകുറച്ചു സംസാരിക്കുന്നതായി നമുക്കു ബോദ്ധ്യപ്പെടും. മുറിക്കുള്ളിൽ വച്ച് അയാളുടെ ശബ്ദത്തിനു ഒച്ചക്കൂടുമെന്നു അയാൾക്കു അനുഭവമുള്ളതുകൊണ്ടാണ് ഇപ്രകാരം ചെയ്യുന്നത്. സംശയമുണ്ടെങ്കിൽ പ്രവർത്തിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന ഒരു റേഡിയോയും കൊണ്ട് മുറിക്കുള്ളിലേയ്ക്ക് ചെല്ലുക. അതിന്റെ ശബ്ദം കുറച്ചുകൂടി ഉച്ചത്തിലാവുന്നത് കേൾക്കാം. ഉച്ചത്തിലാവുക മാത്രമല്ല ശബ്ദത്തിന്റെ ഗുണത്തിനു മാററം ഉണ്ടാവുകയും ചെയ്യുന്നു. തീർച്ചയായും മുറിക്കുള്ളിൽവച്ച് നമ്മുടെ ശ്രവണേന്ദ്രിയത്തിനുണ്ടായ മാററംകൊണ്ടല്ല ഇതു സംഭവിക്കുന്നത്. ഭിത്തികളിലെ പ്രതിപതനം കൊണ്ട് ശബ്ദതരംഗങ്ങളിൽ ഊർജ്ജം കൂടുന്നതുകൊണ്ടാണ് ശബ്ദം ഉച്ചത്തിൽ കേൾക്കുന്നത്. ശബ്ദത്തിന്റെ ആവൃത്തി വ്യത്യാസമനുസരിച്ച് ഭിത്തിയിൽ വ്യത്യസ്തങ്ങളായ പ്രതികരണങ്ങളുണ്ടാകുന്നത് കൊണ്ടാണ് ശബ്ദത്തിന്റെ ഗുണത്തിനു വ്യത്യാസം ഉണ്ടാകുന്നത്,

ഒരു ടേപ്പ്റിക്കാർഡർ ഉപയോഗിച്ച് ഒരു മുറിക്കുള്ളിൽ ഉന്നതവും ഒരേ ആവൃത്തിയിലുള്ളതുമായ ശബ്ദം പുറപ്പെടുവിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുക. മുറിയിൽ അങ്ങോട്ടുമിങ്ങോട്ടും നടന്നുകൊണ്ട് ശബ്ദം ശ്രദ്ധിക്കുക. ഒച്ച ചില സ്ഥലങ്ങളിൽ കൂടുകയും ചില സ്ഥലങ്ങളിൽ കുറയുകയും ചെയ്യുന്നതായി അനുഭവപ്പെടും. ഒച്ച കൂടുതൽ കേൾക്കുന്ന അടുത്തുള്ള രണ്ടു ബിന്ദുക്കൾ തമ്മിലുള്ള അകലം നമുക്ക് നിർണ്ണയിക്കുവാൻ കഴിയും. ഒരേ ആവൃത്തിയിലുള്ള ശബ്ദമാണ് പുറപ്പെടുവിക്കുന്നതെങ്കിൽ ഈ ബിന്ദുക്കൾ തമ്മിലുള്ള അകലം തരംഗദൈർഘ്യത്തിന്റെ പകുതിയാണെന്നു കാണാം. തുറന്ന സ്ഥലത്ത്‌വച്ച് ഈ പരീക്ഷണം ആവർത്തിച്ചാൽ ശബ്ദം ദുർബ്ബലമായി തീരുന്നതായും ഒച്ചയിലുണ്ടായിരുന്ന വ്യതിയാനങ്ങൾ അസ്തമിക്കുന്നതായും നമുക്കു ബോദ്ധ്യമാകും.

മുറിക്കുള്ളിൽവച്ച് ശബ്ദത്തിന്റെ ഒച്ചയ്ക്ക് വ്യത്യാസം ഉണ്ടാകുന്നത് ഭിത്തിയിൽ നിന്ന് പ്രതിപതിച്ചുവരുന്ന തരംഗങ്ങളും ടേപ്പിൽനിന്നും പുറപ്പെട്ടുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന തരംഗങ്ങളും തമ്മിൽ പ്രത പ്രവർത്തിക്കുന്നതുകൊണ്ടാണ്. ചില ബിന്ദുക്കളിൽ സൃഷ്ടിപരമായ പ്രതിപ്രവർത്തനം നടക്കുന്നതുകൊണ്ട് ഊർജ്ജം വർദ്ധിക്കുകയും ശബ്ദം ഉച്ചത്തിൽ ആവുകയും ചെയ്യുന്നു. മററു ചില ബിന്ദുക്കളിൽ വിനാശകരമായ പ്രതിപ്രവർത്തനം നടക്കുന്നതുകൊണ്ട് ഊർജ്ജം കുറയുകയും ശബ്ദം കുറയുകയും ചെയ്യുന്നു. ശബ്ദം ഉച്ചത്തിൽ കേൾക്കുന്ന ബിന്ദുക്കളെ 'മാക്സിമ' (Maxima) എന്നും, കുറഞ്ഞ കേൾക്കുന്ന ബിന്ദുക്കളെ 'മിനിമ' (Minima) എന്നും പറയുന്നു. ഇവയെ സ്റ്റാൻറിംഗ് തരംഗങ്ങൾ (Standing waves) എന്നാണ് പറയുന്നത്. ക്രമരൂപമില്ലാത്ത മുറികളിൽ സ്റ്റാൻഡിംഗ് തരംഗങ്ങൾ അപൂർവ്വമാണെങ്കിലും, സാധാരണ മുറികളിൽ മധ്യഭാഗമത്തെങ്കിലും ഇവ ഉണ്ടാകാറുണ്ട്. സ്റ്റാൻഡിംഗ് തരംഗങ്ങൾ വ്യക്തമായി ഉല്പാദിപ്പിക്കുന്നതിന് ഒരേ ആവൃത്തിയിൽ പുറപ്പെട്ടുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന ശബ്ദമാണ് ഉത്തമം. വ്യത്യസ്തമായ ആവൃത്തിയിലുള്ള വിവിധ ശബ്ദങ്ങൾ അവയുടെ തരംഗദൈർഘ്യത്തിന് അനുഗുണമായ 'മാക്സിമ'യും 'മിനിമയും' സൃഷ്ടിക്കുന്നതുകാരണം ശബ്ദത്തിന്റെ ഒച്ചയിലുണ്ടാകുന്ന ഏററക്കുറവുകൾ എവിടെയാണെന്ന് വ്യക്തമാകാതെ വരുന്നതാണ്.

നിങ്ങൾ ഒരു മുറിയിലെ സ്റ്റാൻഡിംഗ് തരംഗങ്ങൾ ശ്രദ്ധിച്ചുകൊണ്ട് നിൽക്കുമ്പോൾ ഒരാൾ മുറിക്കുള്ളിൽ കടന്നുവരുന്നതായി സങ്കല്പിക്കുക. മിക്കവാറും മാക്സിമയുടേയും മിനിമയുടേയും സ്ഥാനങ്ങളിൽ വ്യതിചലനം ഉണ്ടാകും. ഈ വ്യതിചലനത്തിൽക്കൂടി ഒരാൾ മുറിക്കുള്ളിൽ കടന്നുവന്നു എന്നു അനുമാനിക്കാൻ കഴിയുന്നതാണ്. അയാളുടെ സാന്നിദ്ധ്യം മനസ്സിലാക്കാൻ മററു മാർഗ്ഗങ്ങളുള്ളതുകൊണ്ട് നാമാരും ഇതു ശ്രദ്ധിക്കുകയേഇല്ല. ഒരു മുറിയിലെ വസ്തുക്കളുംക്കുണ്ടാകുന്ന മാററംകൊണ്ട് സ്റ്റാൻഡിംഗ് തരംഗങ്ങളിൽ സൃഷ്ടിക്കപ്പെടുന്ന വ്യതിയാന

ങ്ങൾ അടിസ്ഥാനമാക്കി, വസ്തുക്കളുടെ ചലനങ്ങൾ നിർണ്ണയി ക്കപ്പെടുന്നുണ്ട്. മോഷ്ടാക്കളുടെ സാന്നിദ്ധ്യം സൂചിപ്പിക്കുന്ന തിനുള്ള ചില തരം 'ബർഗ്ലർ അലാറം' പ്രവർത്തിക്കുന്നത് ഈ തത്വം ആസ്പദമാക്കിയാണ്.

കണ്ണുകെട്ടിക്കൊണ്ട് സ്റ്റാൻഡിംഗ് തരംഗങ്ങൾ ഉള്ള ഒരു മുറിയിൽക്കൂടി നിങ്ങൾ നടക്കുകയാണെങ്കിൽ നിങ്ങൾ മുറിയ്ക്കു കത്താണെന്നും ശബ്ദതരംഗങ്ങൾ പ്രതിപതിപ്പിക്കാൻ വസ്തു ക്കളൊന്നും ഇല്ലാത്ത തുറസ്സായ സ്ഥലത്തല്ലെന്നും അനുമാനി ക്കാവുന്നതാണ്. അന്ധനായ ഒരാൾ തൻെറ ശബ്ദലോക ത്തിലുണ്ടാവുന്ന ഈ വ്യതിയാനങ്ങൾ ശ്രദ്ധിക്കുകയും, ചുററും എന്താണ് നടക്കുന്നതെന്ന് ഏറെക്കുറെ ഗ്രഹിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. വാവൽ പോലുള്ള പ്രാണികൾ ഈ ശബ്ദതരംഗങ്ങളിൽക്കൂടി യാണ് പരിസരത്തെക്കുറിച്ചുള്ള സങ്കീർണ്ണമായ വിവരങ്ങൾ ശേഖരിക്കുന്നത്. പ്രകാശതരംഗങ്ങൾ കടന്നുചെല്ലാത്ത അന്ധ കാരം നിറഞ്ഞ പതിതസ്ഥിതിയിൽ വിജയകരമായി സഞ്ചരി ക്കുകയും ജീവിക്കുകയും ചെയ്യുന്നതിനു ഈ അത്ഭുതസിദ്ധി പരിണാമംകൊണ്ടാണ് വാവലിന് സിദ്ധിച്ചതെന്നു അനുമാ നിക്കുന്നതിൽ തെററില്ല. ഇരുളുമൂടിയ ഗുഹയിൽ അകപ്പെട്ടു പോയാൽ കൈനീട്ടി സ്പർശിച്ചറിയാൻ വയ്യാത്ത ഗുഹാന്തർഭാ ഗത്തെക്കുറിച്ചറിയാൻ പ്രതിധ്വനി നമുക്കും തീർച്ചയായും ഉപ കരിക്കും.

ശ്രാവ്യശബ്ദ പ്രതിധ്വനി
(Echoes of auiddle sounds)

പ്രതിധ്വനി എന്ന പദം നമ്മുടെ സ്മരണയിൽ ഉണർത്തു ന്നതു കീഴ്ക്കാംതൂക്കായ പാറക്കെട്ടുകളും, കുന്നുകളും അകലെ സ്ഥിതിചെയ്യുന്ന പ്രശാന്തമായ ഒരു നാട്ടിൻപുറമാണ്. ഒരു വെടിനാദം അവിടത്തെ അന്തരീക്ഷത്തിൻെറ നിശബ്ദത ഭഞ്ജിക്കുകയും തുടർന്നുപ്രതിധ്വനി മുഴങ്ങിക്കേൾക്കുകയും ചെ യ്യുന്നു. ചിലപ്പോൾ നിരനിരയായി നിൽക്കുന്ന കുന്നിൻ പുറ

ങ്ങളിൽ ശബ്ദ പ്രതിപതനം നടന്നു് പ്രതിധ്വനി ദീർഘനേരം നീണ്ടുനിൽക്കുകയും ചെയ്യും. ശബ്ദതരംഗങ്ങളുടെ പ്രവേഗം അറിയാമെന്നതുകൊണ്ടു് ഒരു സ്റ്റോപ്പ് വാച്ച് കൊണ്ടു് ശബ്ദം പുറപ്പെട്ട സമയം മുതൽ പ്രതിധ്വനി കേൾക്കുന്നതുവരെയുള്ള സമയം കൃത്യമായി അളന്നു് കുന്നിന്റെ അകലം നിർണ്ണയിക്കാവുന്നതാണു്.

മൂടൽ മഞ്ഞുമൂടിയ സമുദ്രതീരത്തിനു് സമീപം കൂടി സഞ്ചരിക്കുന്ന ബോട്ടുകാർ പ്രതിധ്വനി പ്രയോജനപ്പെടുത്താറുണ്ടു്. സമീപം തൂക്കായ പ്രദേശങ്ങളോ, പാറക്കെട്ടുകളോ ഉണ്ടെന്നു് സംശയം തോന്നിയാൽ ഉച്ചത്തിൽ ശബ്ദം ഉണ്ടാക്കുകയും പ്രതിധ്വനിയിൽനിന്നു് അവയുടെ സാമീപ്യം മനസ്സിലാക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. ഊത്തുകളോ (Whistle) ഹോണുകളോ ഉപയോഗിച്ചായിരിക്കും സാധാരണയായി ഉച്ചത്തിലുള്ള ശബ്ദം പുറപ്പെടുവിക്കുന്നതു്. ചില മീൻ പിടിത്തക്കാർ പാനൽ മാർഗ്ഗങ്ങളിൽ പൊങ്ങിക്കിടക്കുന്ന 'ബോയ്സ്' (Buoys) ൽ നിന്നുള്ള പ്രതിധ്വനിപോലും കേൾക്കാൻ കഴിയുമെന്നു് അവകാശപ്പെടുന്നുണ്ടു്. മിക്കവാറും വെള്ളത്തിൽ താണിരിക്കുന്ന പാറക്കെട്ടുകളും മററും മനസ്സിലാക്കുന്നതിനു് ഈ മാർഗ്ഗം പ്രയോജനപ്പെടുകയില്ല. ആധുനിക ഉപകരണങ്ങൾകൊണ്ടു് ശക്തിയുള്ള ശബ്ദതരംഗങ്ങൾ വെള്ളത്തിനുള്ളിൽ സൃഷ്ടിക്കുകയും, അവയുടെ പ്രതിധ്വനിയിൽനിന്നു് വെള്ളത്തിനടിയിലുള്ള വസ്തുക്കളുടെ സാന്നിദ്ധ്യം ഗ്രഹിക്കുകയുമാണു് ഇക്കാലത്തു് ചെയ്യുന്നതു്.

'ക്ലിക്കു്' ശബ്ദവും അതിന്റെ പ്രതിധ്വനിയും

എല്ലാ വസ്തുക്കളും, ഗണ്യമായ തോതിൽതന്നെ ശബ്ദതരംഗങ്ങളെ പ്രതിപതിപ്പിക്കുന്നുണ്ടു്. പ്രതിധ്വനിയില്ലാത്ത ശബ്ദം സാധാരണ ഉണ്ടാകാറില്ല. അവ നമ്മുടെ ശ്രദ്ധയിൽ പെടാറില്ല എന്നു മാത്രമേയുള്ളു. കാരണം പ്രതിധ്വനി പൂർവ ശബ്ദത്തിൽ നിന്നു് വേർപെട്ടു കേൾക്കാറില്ല. ഇവ രണ്ടുംകൂടി

കലർന്നു കേറക്കുന്നതു് കൊണ്ടാണു് ഇവയെ വിവേചിച്ചറിയാൻ സാധിക്കാതെ വരുന്നതു്. ഇവയ്ക്കു തമ്മിൽ നിശബ്ദമായ ഒരു ഇടവേള സാധാരണ ഗതിയിൽ ഉണ്ടാകാറില്ല.

ഏതു ശബ്ദമായാലും കുറച്ചു സമയം കൊണ്ടു് നിലയ്ക്കുമല്ലോ? എന്നിട്ടും പ്രതിധ്വനി സാധാരണയായി കേറക്കാറില്ല. നമ്മുടെ ശ്രവണേന്ദ്രിയത്തിന്റെ ഒരു പ്രത്യേകതയാണു് ഇതിനു കാരണം. പ്രതിധ്വനിയെ അവഗണിക്കുന്ന ഒരു പ്രവണത നമ്മുടെ ശ്രവണേന്ദ്രിയത്തിനുണ്ടു്. ശബ്ദത്തെ തുടർന്നു് ഇടവേളയില്ലാതെ വന്നുചേരുന്ന പ്രതിധ്വനിയെയാണു് നമ്മുടെ ശ്രവണേന്ദ്രിയം വിഗണിച്ചു കളയുന്നതു്. ഈ കാരണം കൊണ്ടാണു് വളരെ അധികം പ്രതിപതനം നടക്കുന്ന ഒരു മുറിയിൽവച്ചും, തുറന്ന സ്ഥലത്തുവച്ചും കേറക്കുന്ന ഒരു ശബ്ദത്തിനു് സാരമായ വ്യത്യാസം ഉണ്ടാകുന്നില്ലെന്നു തോന്നുന്നതു് ശ്രദ്ധിച്ചാൽ ഒച്ചയും, ഗുണവും വ്യത്യാസപ്പെട്ടിട്ടുണ്ടെന്നു് മനസ്സിലാക്കാവുന്നതേയുള്ളൂ. എങ്കിലും സാധാരണഗതിയിൽ ഈ വ്യത്യാസം പ്രകടമാകുകയില്ല. ഒഴിഞ്ഞതും വിസ്തൃതങ്ങളുമായ മുറികളിൽവച്ചു് കാലടി ശബ്ദത്തിനുണ്ടാകുന്ന വ്യത്യാസം നമുക്കു് അനുഭവമുള്ളതാണു്.

ഇടവേളയില്ലാതെ ശബ്ദത്തെ തുടർന്നുണ്ടാകുന്ന പ്രതിധ്വനിയെ അവഗണിക്കുന്ന പ്രവർത്തന രഹസ്യം അജ്ഞാതമാണു്. ഈ അവഗണന സെക്കൻറിന്റെ ഒരംശം സമയത്തേയ്ക്കുമാത്രമേ നീണ്ടുനിൽക്കുകയുള്ളൂ. നേരിട്ടുള്ള ശബ്ദം കേട്ടുകഴിഞ്ഞ ഉടനെയാണു് ഈ അവഗണന ഗണ്യമായ തോതിൽ ഉണ്ടാകുന്നതു്. അകലെയുള്ള ഒരു വസ്തുവിൽനിന്നു് മൂന്നോ, നാലോ സെക്കൻറു സമയം കഴിഞ്ഞു വരുന്ന പ്രതിധ്വനി കേറക്കുന്നതിനു് വിഷമം നേരിടുകയില്ല. അതേ പ്രതിധ്വനി പൂർവശബ്ദം നിലച്ചു് $\frac{1}{10}$ സെക്കൻറു സമയത്തിനുള്ളിലാണു് വന്നുചേരുന്നതെങ്കിൽ കേറക്കാൻ കഴിയാതെ വരും,

0.1 സെക്കൻറു് സമയത്തിൽ കുറവായി നീണ്ടുനിൽക്കുന്ന ഒരു ശബ്ദത്തിനു് 'ക്ലിക്കു്' എന്നു പറയാം. 'ക്ലിക്കു്' ശബ്ദത്തിൻെറ പ്രതിധ്വനി വ്യക്തമായി കേൾക്കാവുന്ന വിധം സൃഷ്ടിക്കാൻ കഴിയുന്നതാണു്. ഒരു ക്ലിക്കർ (കുട്ടികൾ സാധാരണ ഉപയോഗിക്കുന്ന ഒരു കളിപ്പാട്ടം) ഉപയോഗിച്ചു് ഉച്ചസ്വരത്തിലുള്ളതും 10 മില്ലിസെക്കൻറു സമയമെടുക്കുന്നതുമായ 'ക്ലിക്കു്' ശബ്ദം പുറപ്പെടുവിക്കാവുന്നതാണു്. 10 മില്ലിസെക്കൻറു സമയം കൊണ്ടു് ശബ്ദം 10 അടി ദൂരം സഞ്ചരിക്കും. 5 അടി അകലെയുള്ള ഒരു ചുവരിൽ നിന്നുണ്ടാകുന്ന ഇതിൻെറ പ്രതിധ്വനി ക്ലിക്കറിനടുത്തെത്തുമ്പോൾ 'ക്ലിക്കി'ൻെറ ഒടുവിലത്തെ തരംഗം അതിൽനിന്നു പുറപ്പെട്ടുകഴിഞ്ഞിരിക്കും. ഒരു മില്ലി സെക്കൻറു സമയമെടുക്കുന്ന'ക്ലിക്കു'ശബ്ദത്തിൻെറ പ്രതിധ്വനി 6 ഇഞ്ചു് അകലെയുള്ള ഒരു വസ്തുവിൽനിന്നു് തിരിച്ചെത്തുമ്പോൾ 'ക്ലിക്കു്' ശബ്ദം അവസാനിക്കും. 'ക്ലിക്കു്' ശബ്ദം സൃഷ്ടിക്കുന്ന പ്രതിധ്വനിശ്രദ്ധിക്കുന്നതുരസാവഹമാണു്.

കൈത്തലം രണ്ടും ഒരു 'ഹാൺ' പോലെ ചെവിയ്ക്കിരുവശവും ക്രമീകരിച്ചു വച്ചിട്ടു് ക്ലിക്കർ അതിനുള്ളിൽവച്ചു് ക്ലിക്കറിൽ ശബ്ദമുണ്ടാക്കുക. ഈ ക്രമീകരണം ശബ്ദം നല്ലതുപോലെ കേൾക്കുന്നതിനും ശബ്ദോർജ്ജം പ്രതിപതനം കൊണ്ടു് വർദ്ധിപ്പിച്ചു് മുമ്പോട്ടു നയിക്കുന്നതിനും സഹായിക്കും. ക്ലിക്കറും കയ്യും 50 അടി അകലെയുള്ള ഒരു കെട്ടിടത്തിനു് അഭിമുഖമായി പിടിച്ചുകൊണ്ടു് 'ക്ലിക്കു്' ശബ്ദം പുറപ്പെടുവിച്ചാൽ പ്രതിധ്വനി വ്യക്തമായി കേൾക്കാൻ കഴിയുന്നതാണു്. ഒരടി വ്യാസമുള്ള ഒരു മരത്തിനു നേരെ ശബ്ദം പുറപ്പെടുവിച്ചാലും പ്രതിധ്വനികേൾക്കാൻ കഴിയും. മിന്നിട്ടിൽ ഒന്നോ രണ്ടോ 'ക്ലിക്കു്' ശബ്ദമുണ്ടാക്കിക്കൊണ്ടു് അങ്ങോട്ടും ഇങ്ങോട്ടും നടക്കുമ്പോൾ കേൾക്കുന്ന പ്രതിധ്വനികൾ സൂക്ഷ്മമായി വിശകലനം ചെയ്തുനോക്കിയിൽ നമുക്കു് വ്യക്തമായ ധാരണകൾ ഉണ്ടാകും. പ്രതിധ്വനി വ്യക്തമായി കേൾക്കുമ്പോൾ അതു് ഉണ്ടായ പ്രതലം സാമാന്യം വലുതാണെന്നും,

പ്രതലം വളരെ അകലത്തിലല്ലെന്നും മനസ്സിലാക്കാവുന്ന താണ്. അനേകം കെട്ടിടങ്ങളും മരങ്ങളും തിങ്ങിനിൽക്കുന്ന സ്ഥലത്ത് ആവർത്തന പ്രതിപതനം നടക്കുന്നതുകൊണ്ട് പ്രതിധ്വനി സങ്കീർണ്ണമാവുകയും, വിശകലനം വിഷമമായി ത്തീരുകയും ചെയ്യുന്നു.

ഏഴാംചിത്രത്തിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെയുള്ള ഒരു 'ഹാൺ' നിർമ്മിച്ച് ക്ലിക്കർ അതിനുള്ളിൽ സ്ഥാപിക്കുന്നത് സൗകര്യപ്രദമായിരിക്കും. കാർഡ്ബോർഡോ പ്ലാസ്റ്റിക്കോ കൊണ്ട് ഹാൺ നിർമ്മിക്കാവുന്നതാണ്. ഹാൺ പരാബൊള ആകൃതിയിൽ (Parabola) ആയിരിക്കുന്നതാണ് നല്ലത്. ക്ലിക്കർ പ്രവർത്തിപ്പിക്കാനുള്ള സജ്ജീകരണം കൂടി ഉണ്ടായിരി ക്കണം. ഹാൺ ഒരു കെട്ടിടത്തിനു നേരെ പിടിച്ചുകൊണ്ട് 'ക്ലിക്ക്' ശബ്ദം പുറപ്പെടുവിക്കുക. പ്രതിധ്വനി വ്യക്തമാകു ന്നില്ലെങ്കിൽ കണ്ണടച്ചുകൊണ്ട് ശ്രദ്ധിക്കുക. ഒരു അന്ധൻ തന്റെ സഞ്ചാരമാർഗ്ഗം നിർണ്ണയിക്കുന്നതു പോലെയാണിത്. ഈ പ്രക്രിയ അന്ധന്മാരിൽ വളരെ വിജയകരമായിതന്നെ നടക്കു ന്നുണ്ട്. ഇരുപത്തിയിറാർ അകലെനിന്നു കെട്ടിടത്തിനടുത്തേക്കു നടന്നു ചെല്ലുമ്പോൾ കുറെ നേരത്തേയ്ക്ക് 'ക്ലിക്കി'ൻെറ പ്രതി ധ്വനി വേർതിരിച്ചു കേൾക്കാൻ കഴിയും. അടുത്ത് എത്തിക്ക ഴിയുമ്പോൾ ശബ്ദവും പ്രതിധ്വനിയും ഒന്നിച്ചു ചേർന്ന ഒററ ശബ്ദമാണ് കേൾക്കുന്നത്. അവിടെ നിന്നുകൊണ്ട് വസ്തുക്കൾ ഒന്നുമില്ലാത്ത മറെറാരു ദിശയിലേയ്ക്ക് ഹാൺ തിരിച്ചുവച്ച് അനേകപ്രാവശ്യം 'ക്ലിക്കു' ചെയ്യുക. ഇപ്പോൾ കേൾക്കുന്ന 'ക്ലിക്ക്' ശബ്ദത്തിനു മുമ്പുകേട്ട ശബ്ദത്തിൽനിന്നു വ്യത്യാസം ഉണ്ടായിരിക്കും. കെട്ടിടത്തിനു നേരെയും, വേറൊരു ദിശ യിലും ഹാൺ മാറി മാറി പിടിച്ച് ക്ലിക്കു ചെയ്തുകൊണ്ട് കെട്ടിടത്തിനടുത്തേയ്ക്ക് ചെല്ലുക. കെട്ടിടത്തിനു വളരെ സമീ പം ചെല്ലുമ്പോൾ ക്ലിക്ക് ശബ്ദം ഉച്ചത്തിൽ കേട്ടുതുടങ്ങും.

ഹാണിൻെറ വശങ്ങളിൽനിന്നുള്ള പ്രതിപതനം കൊണ്ട് ഊർജ്ജം കൂടിയ ശബ്ദതരംഗങ്ങളെ മുമ്പോട്ടു നയിക്കുന്നതി

നാണ് ഹാൺ ഉപയോഗിക്കുന്നതു്. സമതല ദർപ്പണത്തിൽ പ്രകാശരശ്മികഠം പ്രതിപതിക്കുന്നതു പോലെയുള്ള ശബ്ദ പ്രതിപതനം നടക്കണമെങ്കിൽ പ്രതിപതന തലത്തിൻെറ അളവ് തരംഗ ദൈർഘ്യത്തെക്കാഠം കൂടുതലായിരിക്കണം. പ്രതിപതനതലം തരംഗ ദൈർഘ്യത്തേക്കാഠം ചെറുതായിരുന്നാൽ നാനാഭാഗത്തേയ്ക്കും സഞ്ചരിച്ചു പോകുന്നതും പ്രതിധ്വനിയെന്നു പറയാവുന്നതുമായ ദ്വിതീയതരംഗങ്ങഠം(Secondary waves) ആണ് ഉണ്ടാകുന്നതു്. ഇതിലെ പ്രതിധ്വനിയ്ക്ക് ഓരോ ദിക്കിലുമുള്ള ശക്തി വസ്തുവിൻെറ ആകൃതിയേയും തരംഗദൈർഘ്യത്തെ അപേക്ഷിച്ചുള്ള പ്രതിപതന തലത്തിൻെറ വലിപ്പത്തേയും ആശ്രയിച്ചാണിരിക്കുന്നതു്.

പരാബൊാള ആകൃതിയിലുള്ള ഹാണിൻെറ ഫോക്കസ്സിൽ നിന്നു പുറപ്പെടുന്ന ശബ്ദതരംഗങ്ങഠം അതിൻെറ വശങ്ങളിൽ നിന്നു് പതനകോണിനു് തുല്യമായ കോണിൽതന്നെ പ്രതിപതിച്ചുവരുന്നതായിട്ടാണു് കരുതപ്പെടുന്നതു്. തരംഗദൈർഘ്യം 1.5 മീററാണെന്നു സങ്കല്പിക്കുക. ഫലപ്രദമായ പ്രതിപതനം ഹാണിൽ ഉണ്ടാകണമെങ്കിൽ അതിനു് തരംഗദൈർഘ്യത്തിൻെറ അനേകം മടങ്ങു വലിപ്പമുണ്ടാവണം. ഇത്രയും വലിപ്പമുള്ള ഹാൺ കൈകാര്യം ചെയ്യുക വിഷമകരമാണ്. ആവൃത്തി 10000 C.P.S ആണെങ്കിൽ തരംഗദൈർഘ്യം $\frac{344}{10000}$ മീററർ അതായതു് ഏകദേശം 3 സെ.മീ. ആയിരിക്കും. ഇതിൻെറ അനേകം മടങ്ങ് വല്ലിപ്പമുള്ള ഹാൺ കൈകാര്യം ചെയ്യുന്നതിനു് വിഷമമില്ല. അതു കാര്യക്ഷമമായി പ്രവർത്തിക്കുകയും ചെയ്യും, വാവലുകഠം 150000 C.P.S ആവൃത്തിയിലുള്ള ശബ്ദതരംഗങ്ങഠംവരെ പുറപ്പെടുവിക്കുന്നുണ്ട്. ഇവയുടെ തരംഗദൈർഘ്യം ഏകദേശം 2.5 മില്ലിമീററായിരിക്കും. വാവലുകളുടെ വായ് ചെറുതാണെങ്കിലും, തരംഗ ദൈർഘ്യം തീരെ കുറവായ ശബ്ദതരംഗങ്ങളെ ഫലപ്രദമായി പ്രതിപതനം ചെയ്യാനും, ഊർജ്ജം കേന്ദ്രീകരിച്ച് ഒരേ ദിശയിലേയ്ക്കു് നയിക്കുവാനും ഒരു ഹാൺ പോലെ പ്രവർത്തിക്കുന്നു, പ്രതിപതിച്ചു വരുന്ന

ദുർബല തരംഗങ്ങളെ കാതും ഇതുപോലെയുള്ള പ്രവർത്തന ത്തിൽകൂടി പ്രവർദ്ധമാക്കി (amplify) തീർക്കുന്നു.

ക്ലിക്കർ ശബ്ദം അതിന്റെ തരംഗ ദൈർഘ്യത്തിന്റെ പല വലിപ്പത്തിലുമുള്ള പ്രതിപതന തലങ്ങളിന്മേൽ പ്രയോഗിച്ച് പ്രതിധ്വനികൾ പരിശോധിച്ചു നോക്കാം. ക്ലിക്കറിന്റെ ആവൃത്തി മിക്കവാറും 300 C.P.S നും 10000 C.P.S നും ഇടയിലായിരിക്കും. ഏററവും കൂടിയ തരംഗദൈർഘ്യം ഏതാനും ചില സെൻറീമീററർ മാത്രമാണ്. ഈ തരംഗങ്ങൾ വിസ്തൃതമായ ഒരു ഭിത്തിയിൽ തട്ടിയാലുണ്ടാകുന്ന പ്രതിപതനം, പ്രകാശ രശ്മികളുടെ പ്രതിപതനംപോലെയായിരിക്കും. ഹാൺ കെട്ടിടത്തിന് ലംബമായി പിടിച്ചുകൊണ്ട് ശബ്ദം പുറപ്പെടുവിച്ചാൽ പ്രതിധ്വനി അതേ ദിശയിൽകൂടി തന്നെ തിരിച്ചുവരും. ചിത്രത്തിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ ഹാൺ ഒരു വശത്തേയ്ക്ക് ചരിച്ചു പിടിച്ചുകൊണ്ട് ശബ്ദം പുറപ്പെടുവിക്കുകയാണെങ്കിൽ പ്രതിധ്വനി ക്ലിക്കറിന് അകലെയുള്ള ഒരു ബിന്ദുവിലാണ് വ്യക്തമായി കേൾക്കാൻ കഴിയുന്നത്. ക്ലിക്കർ ഭിത്തിക്ക ലംബമായിരുന്നാൽ ഉണ്ടാകുന്ന പ്രതിധ്വനി കൂടുതൽ ഉച്ചത്തിലായിരിക്കുമെന്നു മനസ്സിലാക്കാൻ കഴിയുന്നതാണ്.

ഒരാൾ ക്ലിക്കർ ചുവരിന്റെ ലംബരേഖയിൽ നിന്നു് 30° ചരിച്ചു പിടിച്ചുകൊണ്ടു് ശബ്ദംപുറപ്പെടുവിക്കുക. ചിത്രം 8 മററൊരാൾ പ്രതിധ്വനി ശ്രദ്ധിക്കുക. ഏററവും വ്യക്തമായി കേൾക്കാൻ കഴിയുന്ന സ്ഥലം കണ്ടുപിടിക്കുക. ചിത്രത്തിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ ഏററവും വ്യക്തമായി കേൾക്കാവുന്നതു് 'C' യിലായിരിക്കും. പ്രകാശ പ്രതിപതനം നടക്കുമ്പോൾ പതനകോണും പ്രതിപതന കോണും തുല്യമായിരിക്കുന്നതുപോലെ, ഇവിടെയും ഈ രണ്ടു കോണുകളും തുല്യമാണെന്നു കാണുവാൻ കഴിയും.

നിത്യജീവിതത്തിൽ പ്രതിധ്വനിയിൽക്കൂടി വസ്തുക്കളെ തിരിച്ചറിയുവാൻ നമുക്കു കഴിയും. ഒരു മോട്ടോർ കാറിൽ തുറന്ന ജന്നലിനു സമീപമിരുന്നു സഞ്ചരിക്കുകയാണെങ്കിൽ എൻജിൻെറയും, ടയറുകളുടേയും, ജന്നലിൽക്കൂടി വരുന്ന കാററിൻെറയും ശബ്ദങ്ങൾ കേട്ടുകൊണ്ടിരിക്കും. വലിയ ഒരു മതിൽക്കെട്ടിനോ, മറേറതെങ്കിലും പ്രതിപതന തലത്തിനോ അടുത്തുകൂടി കാറോടിച്ചു പോകുമ്പോൾ നാം കേൾക്കുന്ന ശബ്ദത്തിൻെറ ഗുണം മാറിക്കൊണ്ടിരിക്കും. കണ്ണടച്ചിരുന്നു ശ്രദ്ധിച്ചാൽ കടന്നുപോയ സ്ഥലങ്ങളും വസ്തുക്കളും നമുക്കു ഊഹിക്കുവാൻ കഴിഞ്ഞെന്നു വരും.

വാവലുകളും അന്ധരും പെറിയ വസ്തുക്കളെ തിരിച്ചറിയുന്നതെങ്ങനെയെന്ന് പരിശോധിച്ചു നോക്കിയാൽ പ്രതിപതനതരംഗങ്ങളുടെ മററു ചില പ്രത്യേകതകൾക്കൂടി വെളിവാകും. 'ക്ലിക്കർ' പരിശീലനത്തിൽ അല്പം വൈദഗ്ദ്ധ്യം നേടിക്കഴിഞ്ഞാൽ പെറിയ വൃക്ഷങ്ങളിലും കമ്പിത്തൂണുകളിലും പരീക്ഷിച്ചു നോക്കുക. സൂക്ഷ്മതയോടും ക്ഷമയോടും ശ്രമിച്ചാൽ 6 ഇഞ്ചുമുതൽ അനേകം അടിവരെ അകലെയുള്ള മരങ്ങളുടെ സാന്നിദ്ധ്യം ഗ്രഹിക്കാൻ കഴിയും. മറെറാരാളിനെക്കൊണ്ടു് 'ക്ലിക്കർ' മരത്തിനുനേരെ പ്രവർത്തിപ്പിച്ചുകൊണ്ടു് പ്രതിധ്വനി ശ്രദ്ധിക്കുക. മരത്തിനു ചുററുമുള്ള മിക്കസ്ഥലത്തും പ്രതിധ്വനി കേൾക്കാൻ കഴിയുന്നതാണു്. ചിത്രം 9 മരത്തിൻെറ വ്യാസം തരംഗദൈർഘ്യത്തെക്കാൾ വളരെ കൂടുതലല്ലെങ്കിൽ പ്രതിധ്വനി വിസ്തൃതമായ ഒരു മേഖലയിൽ വ്യാപിക്കുന്നു. ഇവയുടെ ഒച്ചയ്ക്ക് ഒരിടത്തും വിസ്തൃതമായ ഒരു ഭിത്തിയിൽനിന്നുണ്ടാകുന്നതിൻെറ തീവ്രത അനുഭവപ്പെടുകയില്ല. പ്രതിപതന തലത്തിൻെറ വലിപ്പം ഏറെക്കുറെ നിർണ്ണയിക്കുവാൻകഴിയും.

പ്രതിധ്വനിയിലെ ഭാഷ

(Language of Echoes)

സന്ദേശവാഹിയായ പ്രതിധ്വനി ഉണ്ടാകുന്നതെങ്ങിനെയെന്നും, അതിന്റെ പ്രത്യേകതകൾ എന്താണെന്നും പ്രസ്താവിച്ചുവല്ലോ ? ചിലജീവികൾ പ്രതിധ്വനി വിദഗ്ധമായി വിശകലനം ചെയ്യുന്നതെങ്ങിനെയെന്നും അതിനു സഹായിക്കുന്ന ഉപാധികളെന്തെന്നും, അവ പുറപ്പെടുവിക്കുന്ന ശബ്ദത്തിന്റെ പ്രത്യേകതകൾ എന്തെന്നും പരിശോധിക്കാം. ഇതര ജീവികളിൽനിന്ന് വളരെയേറേ നാം ഇതിനകം ഗ്രഹിച്ചു കഴിഞ്ഞിട്ടുണ്ട്. ഇനിയും പലതും ഗ്രഹിക്കാതെ അവശേഷിക്കുന്നു.

വാവലിന് സഞ്ചാരഗതി അനായാസമായി നിയന്ത്രിക്കുന്നതിനും, ഇരപിടിക്കുന്നതിനും പ്രതിധ്വനി എങ്ങനെ പ്രയോജനപ്പെടുന്നു എന്നു നോക്കാം. അവ പുറപ്പെടുവിക്കുന്ന ശബ്ദോർജ്ജത്തിന്റെ ഏറിയ പങ്കും 10 മുതൽ 150 വരെയുള്ള കിലോസൈക്കിളുള്ളവയായിരിക്കും. ഇവ നമ്മുടെ ശ്രവണശക്തിയ്ക്കു അതീതമാണെന്ന് പ്രസ്താവിച്ചിട്ടുണ്ടല്ലോ?

ഏഷ്യയിലും യൂറോപ്പിലും കാണുന്ന ഒരു ജാതി വാവലുകളുണ്ട്. അവയെ ഹാഴ്സ്ഷൂ (Horse shoe) വാവലുകൾ എന്നാണ് പറയുന്നത്. ഇവ പുറപ്പെടുവിക്കുന്ന സ്പന്ദനങ്ങൾ 60 കിലോ സൈക്കിളിനും 120 കിലോ സൈക്കിളിനും ഇടയ്ക്കുള്ളതായിരിക്കും. ഒരു സമയത്തു പുറപ്പെടുവിക്കുന്ന സ്പന്ദത്തിന്റെ ആവൃത്തി ആരംഭംമുതൽ അവസാനംവരെ തുല്യമായിരിക്കും. സ്പന്ദനങ്ങൾ 50 മില്ലി സെക്കൻറ് മുതൽ 100 മില്ലി സെക്കൻറുവരെ നീണ്ടുനിൽക്കുകയും ചെയ്യും. ഈ സമയ ദൈർഘ്യം മററിനം വാവലുകളുടേതിനേക്കാൾ വളരെ കൂടുതലാണ്. ലാടത്തിന്റെ ആകൃതിയിലുള്ള ഇവയുടെ ശ്രവണപുടവും,വായും അനേകം മടക്കുകളുള്ള തൊക്കുകൾ കൊണ്ട് ചുററപ്പെട്ടിരിക്കും. ഹാൺ പോലെ പ്രവർത്തിക്കുന്ന ഈ സംവിധാനം ശബ്ദതരംഗ

ങ്ങൾ ഒരു ദിശ ലക്ഷ്യമാക്കി പ്രക്ഷേപണം ചെയ്യുവാനും പ്രതിധ്വനി സമത്ഥമായി സ്വീകരിക്കുവാനും സഹായിക്കുന്നു.

അമേരിക്കയിൽ സാധാരണ കാണപ്പെടുന്ന ഒരുതരം വാവലുകൾ ഷഡ്പദങ്ങളെയാണ് ഭക്ഷിക്കുന്നത്. തുറന്ന പ്രദേശങ്ങളിൽവച്ച് ഇരയെ പിന്തുടരുമ്പോൾ ഇവ കാണിക്കുന്ന അഭ്യാസങ്ങൾ രസാവഹങ്ങളാണ്. ഇവയുടെ സ്പന്ദങ്ങൾ ഉന്നത ആവൃത്തിയിൽ ആരംഭിച്ച് പെട്ടെന്നു താഴുന്നു. 95 k c യിൽ ആരംഭിക്കുന്ന സ്പന്ദങ്ങൾ അവസാനിക്കുന്നത് 45 k.c യിൽ ആയിരിക്കും. സ്പന്ദങ്ങൾ ഓരോന്നും 2 മി. സെക്കൻറു സമയം നീണ്ടുനിൽക്കുന്നവയാണ്.

പത്താം ചിത്രത്തിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ ഒരു സ്പന്ദം ഏകദേശം 50 തരംഗങ്ങൾ സൃഷ്ടിക്കുന്നു. ഒരു തരംഗം മറ്റൊന്നിൽനിന്നും വ്യത്യാസമായിരിക്കുകയും ചെയ്യും. ആദ്യമുണ്ടായ തരംഗത്തിൻെറ തരംഗദൈർഘ്യം ഒടുവിലുണ്ടായതിൻെറ പകുതിയായിരിക്കും.

രാത്രിയിൽ ഇരതേടി നടക്കുന്ന ഇവയ്ക്ക് വായുവിൽക്കൂടി സഞ്ചരിച്ചു കൊണ്ടിരിക്കുന്ന ചെറിയ ശലഭങ്ങളെ കണ്ടെത്തുവാനും, പിന്തുടർന്നു പിടികൂടുവാനും ജാഗ്രതയോടെ പ്രവൎത്തിക്കേണ്ടിയിരിക്കുന്നു. രാത്രിയിൽ ചെടികളും മരങ്ങളും നിറഞ്ഞ പ്രദേശത്തുകൂടി സഞ്ചരിക്കുന്ന ശലഭങ്ങളെ വേട്ടയാടുന്നതു് വിഷമകരമാണ്. കാഴ്ചശക്തിയില്ലെങ്കിലും ഇവയ്ക്കു ഇരപിടിക്കാൻ കഴിയുമെന്നു് സ്പല്ലൻ സാനി തെളിയിച്ചു കഴിഞ്ഞതാണ്.

വായുവിൽക്കൂടി സഞ്ചരിക്കുന്ന ഇര തരംഗങ്ങൾ സൃഷ്ടിക്കുമെങ്കിലും ആ തരംഗങ്ങളെ വാവൽ ശ്രദ്ധിക്കുന്നതേ ഇല്ല. ഒരു ചെറിയ കല്ലോ, നനച്ച തുണിക്കഷണമോ മേല്പോട്ട് എറിയുകയാണെങ്കിൽ വാവൽ അവയെ പിന്തുടരുന്നതു കാണാം. ഇരയെ പിന്തുടരുമ്പോൾ ഉണ്ടാകുന്ന എല്ലാ പ്രതികരണങ്ങളും

വാവലിൽ പ്രകടമാകുകയും ചെയ്യും. വാവൽ പിടിക്കുന്ന ഇരകളെല്ലാം ഏറെക്കുറെ നിശബ്ദമായി സഞ്ചരിക്കുന്നവയാണ്. വാവൽ പുറപ്പെടുവിക്കുന്ന സ്പന്ദങ്ങൾ ഇരയിൽ തട്ടിയുണ്ടാകുന്ന പ്രതിധ്വനിയാണ് ഇരയെ കണ്ടെത്താൻ സഹായിക്കുന്നതെന്ന് വ്യക്തമാണ്.

ഒരു നിശ്ചിത സമയത്തിനുള്ളിൽ എത്ര ചെറു പ്രാണികളെ പിടിക്കുവാൻ വാവലിന് കഴിയും? പരീക്ഷിച്ചുനോക്കിയപ്പോൾ ഒരു മിനിട്ടിൽ ഏകദേശം പത്തോ പന്ത്രണ്ടോ ശലഭങ്ങൾ വരെ പിടിച്ചു ഭക്ഷിക്കാനുള്ള കഴിവുണ്ടെന്നു തെളിഞ്ഞിട്ടുണ്ട്. 5 സെക്കൻറു സമയത്തിനുള്ളിൽ ഒരു ഇരയെ പിടിച്ചു ഭക്ഷിക്കണമെങ്കിൽ അതു്ദ്രുതഗതിയിൽ പ്രവർത്തിക്കേണ്ടിയിരിക്കുന്നു. വളരെ അപൂവ്മായി മാത്രമേ അവ പരാജയപ്പെടാറുള്ളു. സഞ്ചരിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുമ്പോൾ ശ്രദ്ധ ഇരയിലേക്ക് ആകർഷിക്കപ്പെട്ടു കഴിഞ്ഞാൽ സ്പന്ദത്തിന്റെ എണ്ണം വർദ്ധിച്ചുതുടങ്ങുന്നു. സ്പന്ദം കൂടുന്നതു് ഇരയിൽനിന്ന് രണ്ടോ മൂന്നോ അടി അകലെ വച്ചായിരിക്കും. സ്പന്ദങ്ങൾ ക്രമാതീതമായി വർദ്ധിക്കുമ്പോൾ അവതമ്മിലുള്ള ഇടവേള വളരെ കുറയുകയും സ്പന്ദങ്ങളെല്ലാം ഒന്നുചേർന്ന് തുടർച്ചയായ ഒരു ശബ്ദമാണെന്നു് തോന്നുകയും ചെയ്യും.

വാവലിന് പെട്ടെന്ന് വസ്തുക്കളെ തിരിച്ചറിയാൻ കഴിയുന്നു എന്നു മാത്രമല്ലാ സൂക്ഷ്മവസ്തുക്കളെപ്പോലും കണ്ടെത്തുന്നതിന് കഴിയുന്നു എന്നുള്ളതു് ശ്രദ്ധേയമാണ്. ഒരു മുറിയുടെ മദ്ധ്യത്തു് 30 സെ.മീ ഇടവിട്ട് 3 മില്ലീമീററർ മുതൽ 0.12 മില്ലിമീററർ വരെ വ്യാസമുള്ള കമ്പികൾ കെട്ടിനിറുത്തി ഇവയുടെ ഗ്രഹണശക്തി പരിശോധിച്ചുനോക്കി. കമ്പികൾക്കു സമീപം വളരെ ഋജുവായി പറന്ന് എത്തിയ വാവലുകൾ ഏതാനു ഇഞ്ചു അകലെ വച്ച് തിരിഞ്ഞു പറക്കുന്നതായി കാണപ്പെട്ടു. എന്നാൽ അടുത്തു് എത്തുന്നതിന് മുമ്പുതന്നെ സ്പന്ദങ്ങൾ ദ്രുതഗതിയിലായി തീരുന്നതുകൊണ്ട് നേരത്തെതന്നെ ഇവയുടെ സാന്നിദ്ധ്യം ഗ്രഹിച്ചുകഴിഞ്ഞിരുന്നു എന്നു അനുമാ

നിക്കുന്നതിൽ തെററില്ല. ഇതിൽനിന്നെല്ലാം വാവലിൻെറ ഗ്രഹണപാടവം സംശയാതീതവും, കുററമററതും ആണെന്നു് മനസ്സിലാക്കാം.

നാം ഇതുവരെ ചർച്ചചെയ്തുകൊണ്ടിരുന്നതു് ശുദ്ധമായ പ്രതിധ്വനികളെയാണു്. എന്നാൽ വസ്തുക്കൾകൊണ്ടു് നിറഞ്ഞ ഈ ലോകത്തുണ്ടാകുന്ന പ്രതിധ്വനികളെല്ലാം തന്നെ സങ്കീർണ്ണങ്ങളാണു്. കൂടാതെ മുമ്പോട്ടു സഞ്ചരിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന ശബ്ദതരംഗങ്ങൾ പ്രതിധ്വനിയെ ശ്രവണാതീതമാക്കിത്തീർക്കുന്നു. ഒരു സെക്കൻെറിൻെറ ഏതാനും അംശത്തിനുള്ളിൽ ഉണ്ടാകുന്ന പ്രതിധ്വനിയെ നമ്മുടെ ശ്രവണേന്ദ്രിയം വിഗണിക്കുമെന്നു് മുമ്പ് പ്രസ്താവിച്ചുവല്ലോ. പക്ഷേ വാവലിന്റെ ശ്രവണേന്ദ്രിയത്തിനു് ഇങ്ങനെയുള്ള പ്രതിധ്വനി ഗ്രഹിക്കുന്നതിനുള്ള അന്യാദൃശ്യമായ കഴിവുണ്ടു്. ഇരപിടിക്കുന്ന ശ്രമത്തിലേർപ്പെട്ടിരിക്കുമ്പോൾ എപ്പോഴും അതിൻെറ ശ്രവണേന്ദ്രിയം അഭിമുഖീകരിക്കേണ്ടി വരുന്നതു് സങ്കീർണ്ണമായ പ്രതിധ്വനിയാണു്. അവ പുറപ്പെടുവിക്കുന്ന ശബ്ദത്തിനും, ഇരയിൽനിന്നുണ്ടാകുന്ന പ്രതിധ്വനിക്കും പുറമേ, ഭൂമിയിൽനിന്നും, മരങ്ങളിൽനിന്നും കെട്ടിടങ്ങളിൽനിന്നും ഇതര ജീവികളിൽനിന്നും പ്രതിധ്വനികളെ വിവേചിച്ചറിയുന്നതെങ്ങനെ?

ഒരു മുറിയുടെ മദ്ധ്യത്തും ഒരററത്തുള്ള ചുവരിൽനിന്നു് 45 സെ.മീററർ മുമ്പിലും ൩0 സെ.മീററർ ഇടവിട്ടു് നേരിയ കമ്പികൾ കെട്ടിനിറുത്തിയതിനുശേഷം വാവലുകളെ മുറിയ്ക്കുള്ളിൽ കൂടി പറത്തിവിട്ടു. മദ്ധ്യത്തുള്ള കമ്പികളിൽ മുട്ടാതെ തന്നെ അവ പറക്കുന്നതായി കാണപ്പെട്ടു. എന്നാൽ ഭിത്തിയ്ക്കു സമീപമുള്ള കമ്പികളിൽ അവയിൽ പലതും ചെന്നു മുട്ടി കമ്പിയ്ക്കു സമീപമുള്ള ചുവരിൽനിന്നും വരുന്ന ശക്തിയുള്ള പ്രതിധ്വനികളാണു് ഇതിനു കാരണം. ദൈനംദിന ജീവിതത്തിൽ അവയ്ക്കു നേരിടേണ്ടിവരുന്ന പ്രതിധ്വനികൾ ഇരയിൽനിന്നും വരുന്നവയും, അതോടൊപ്പം ഭൂമി, തടി, വൃക്ഷശിഖരങ്ങൾ ഇവയിൽനിന്നുള്ളവയുമായിരിക്കും. ഇവ സങ്കീർണ്ണങ്ങളാണെങ്കിലും

ചുവരിൽനിന്നു വരുന്നതുപോലുള്ള ശക്തിയുള്ള പ്രതിധ്വനികളായിരിക്കുകയില്ല. സങ്കീർണ്ണങ്ങളായ പ്രതിധ്വനികളെ വിഗ്രഹിച്ച് വിവേചിച്ചറിവാനുള്ള അത്ഭുതകരമായ കഴിവാണു് വാവലുകളെ രാത്രികാലങ്ങളിൽ കർമ്മനിരതരാകുവാൻ പ്രാപ്തമാക്കുന്നതു്. ഇരയെ സമീപിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന വാവലുകളുടെ പാതയിൽ കൃത്രിമങ്ങളായ ശബ്ദതരംഗങ്ങൾ സൃഷ്ടിച്ച് അവയെ വഴി തെററിക്കാൻ നടത്തിയ ശ്രമം വിഫലമാകുകയാണു് ചെയ്തതു്. കൃത്രിമശബ്ദം വിഗണിച്ചുകൊണ്ടു് പ്രവർത്തനം തുടരുവാൻ അവയ്ക്കു കഴിഞ്ഞിരിക്കുന്നു, പ്രതിധ്വനി വിഗ്രഹിച്ചു് അതിൽ അടങ്ങിയിരിക്കുന്ന സന്ദേശം അവ അനായാസം സ്വീകരിക്കുന്നു. ഈ ജീവിയുടെ ചെറിയ തലച്ചോററിൽ നടക്കുന്ന ഈ അത്ഭുത സിദ്ധിയുടെ പ്രവർത്തനരഹസ്യം അജ്ഞാതമാണു്.

അദ്ധ്യായം മൂന്നു്

(സോണാർ Sonar)

ഇരുപതാം നൂററാണ്ടിൻെറ ആരംഭകാലം വരെ പ്രതിധ്വനി പ്രയോജനപ്പെടുത്തുന്നതിനുള്ള കാര്യമായ സംരംഭം ഒന്നും തന്നെ നടന്നിരുന്നില്ല. മനുഷ്യജീവിതം കൂടുതൽ സങ്കീർണ്ണമാവുകയും, ദ്രുതഗതിയിലുള്ള ഗതാഗതം വർദ്ധിക്കുകയും ചെയ്തപ്പോറം അപകട സാദ്ധ്യത വർദ്ധിച്ചു. ശാസ്ത്രത്തിൻെറ അത്ഭുതപൂർവ്വമായ വളർച്ചയോടൊപ്പം നശീകരണശക്തി ക്രമാതീതമായി തീരുകയും അപകടങ്ങറം മുൻകൂട്ടി മുൻകൂട്ടി കാണേണ്ട ആവശ്യം നേരിടുകയും ചെയ്തു.

1912-ൽ ടൈററാനിക് എന്ന കപ്പലിനു് അററ്ലാൻറിക് സമുദ്രത്തിൽവച്ചു് നേരിട്ട ദുരന്തം ഈ വഴിയ്ക്കു ചിന്തിക്കുന്നതിനുള്ള പ്രചോദനം നൽകി. മൂടൽമഞ്ഞു മൂടിയ സമുദ്രത്തിൽക്കൂടി ഒഴുകി സഞ്ചരിച്ചിരുന്ന ഒരു 'മഞ്ഞുമല' (Iceberg) ൽ മുട്ടിയാണു് ടൈററാനിക് തകർന്നതു്. മൂടൽമഞ്ഞിലും രാത്രിയിലും മഞ്ഞു മലകളെ ദൂരെവച്ചു തന്നെ കാണുന്നതിനുള്ള ഒരു മാർഗ്ഗം ആരാഞ്ഞു തുടങ്ങി. പത്തൊമ്പതാം ശതകത്തിൻെറ അന്ത്യത്തിൽ സർ ഗ്രഹാംബെൽ (Sir Graham Bell) വാവലിൻെറ പ്രവർത്തനമാതൃകയിൽ ഒരു ഉപകരണം നിർമ്മിച്ചു് കപ്പലിൽ ഘടിപ്പിക്കുന്നതിനുള്ള ഒരു യത്നം നടത്തിനോക്കി. വാവലിൻെറ ചിറകടി ശബ്ദത്തിൻെറ പ്രതിധ്വനിയാണു് അവയെ കാണുവാൻ സഹായിക്കുന്നതെന്നായിരുന്നു അന്നുണ്ടായിരുന്ന ധാരണ. അതുകൊണ്ടു് 15 C. P. S ആവൃത്തിയിലുള്ള ശബ്ദതരംഗങ്ങറം പുറപ്പെടുവിക്കുന്ന ഉപകരണം കപ്പലിൽ സ്ഥാപിച്ചു് പ്രതിധ്വനികൊണ്ടു് ഒരു ചെറിയ മണി പ്രവർത്തിപ്പിക്കുവാനുള്ള ഒരു യത്നമാണു് അദ്ദേഹം നടത്തിയതു്.

അദ്ദേഹത്തിൻെറ ഈ പ്രയത്നം മുന്നോട്ടുള്ള ഒരു ചുവടു് വയ്പായിരുന്നു. എന്നാൽ പദ്ധതി പ്രായോഗികമായി പരാ

ജയപ്പെട്ടകയാണുണ്ടായത്. 15 C. P. S.-ലുള്ള ശബ്ദതരംഗങ്ങളുടെ തരംഗദൈർഘ്യം 20 മീററിൽ കൂടുതലാണ്. ഈ തരംഗങ്ങൾ പെറിയ വസ്തുക്കളിൽ തട്ടിയാൽ അവ്യക്തവും ദുർബലവുമായ പ്രതിധ്വനിയാണുണ്ടാകുന്നതു്. കൂടാതെ ഭൂരിഭാഗവും വെള്ളത്തിനടയിൽ താണുകിടക്കുന്ന മഞ്ഞുമലകളെ വായുവിൽ കൂടി സഞ്ചരിക്കുന്ന തരംഗങ്ങൾകൊണ്ടു് കണ്ടുപിടിക്കുന്നതിനുള്ള ഒരു വിഫല ശ്രമമായിരുന്നു ഈ പദ്ധതി.

ടൈററാനിക്കിനുണ്ടായ അത്യാഹിതത്തിനുശേഷം രണ്ടു വർഷംകൂടി കഴിഞ്ഞപ്പോൾ ഒന്നാം ലോകമഹായുദ്ധം പൊട്ടിപ്പുറപ്പെട്ടു. അന്തർവാഹിനികൾ സമുദ്രാന്തർ ഭാഗത്തു സൈ്വരവിഹാരം നടത്തിത്തുടങ്ങി. അനേകം കപ്പലുകൾ അവയ്ക്കു ഇരയായി. വൻതോതിലുള്ള ആൾനാശവും, വിഭവനാശവും വരുത്താൻ ഇവയ്ക്കു പറയത്തക്ക പ്രതിബന്ധമൊന്നുമുണ്ടായില്ല. സമുദ്രത്തിനുള്ളിൽകൂടി സഞ്ചരിച്ചിരുന്ന ഇവയെ കണ്ടുപിടിക്കുവാനോ, ഫലപ്രദമായി എതിരിടുവാനോ അന്നു് മാർഗ്ഗങ്ങൾ ഒന്നും തന്നെയില്ലായിരുന്നു.

അന്തർവാഹിനികളുടെ സാന്നിദ്ധ്യം മനസ്സിലാക്കുന്നതിനുള്ള വഴി ദ്രുതഗതിയിൽ ആരാഞ്ഞുതുടങ്ങി. സഞ്ചരിക്കുമ്പോൾ ഇവയുടെ എൻജിനും, പ്രൊപ്പല്ലറും ശബ്ദം പുറപ്പെടുവിക്കും. ഈ ശബ്ദം ശ്രദ്ധിച്ചുകേട്ട്, അവ കണ്ടുപിടിക്കുന്നതിനുള്ള ശ്രമമായിരുന്നു ആദ്യകാലങ്ങളിൽ നടത്തിനോക്കിയതു്. 1918 ൽ പെറിയതോതിൽ ആരംഭിച്ചു് 1940 ൽ വിപുലമായി നടത്തിയ ഗവേഷണങ്ങളുടെ ഫലമായി പ്രതിധ്വനികൊണ്ടു് സമുദ്രപര്യവേക്ഷണം നടത്തുന്നതിനുള്ള സോണാർ നിർമ്മിക്കപ്പെട്ടു.

സോണാറിന്റെ പ്രഥമ ലക്ഷ്യം അന്തർവാഹിനികളായിരുന്നു. ഇതോടൊപ്പംതന്നെ സമുദ്രത്തിന്റെ ആഴം നിർണ്ണയിക്കുന്നതിനുള്ള ഫാദോ മീററർ (Fathometer) നിർമ്മിക്കപ്പെട്ടു. ഇവയിൽ നിന്നു് ശബ്ദതരംഗങ്ങൾ ജലത്തിനുള്ളൽ പ്രക്ഷേപണം ചെയ്യപ്പെടുന്നു. ഈ തരംഗങ്ങൾ ലക്ഷ്യത്തിൽ ചെന്നുതട്ടി

തിരിച്ചുവരും. ശബ്ദം പ്രക്ഷേപണം ചെയ്ത സമയം മുതൽ പ്രതിധ്വനി വന്നെത്തുന്നതുവരെയുള്ള സമയം കൃത്യമായി കണക്കാക്കുന്നു. ഈ സമയത്തിന്റെ പകുതിഭാഗം ശബ്ദതരംഗങ്ങൾ ലക്ഷ്യംവരെ സഞ്ചരിക്കുന്നതിനു വേണ്ടിവരുന്ന സമയമാണ്. ഈ സമയം കൊണ്ടു് ശബ്ദതരംഗങ്ങൾ വെള്ളത്തിൽകൂടി സഞ്ചരിക്കുന്ന ദൂരമായിരിക്കും ലക്ഷ്യത്തിന്റെ അകലം. ആദ്യകാലങ്ങളിൽ സമുദ്രത്തിന്റെ വിശാലമായ അടിത്തട്ടിൽനിന്നുപോലും ദുർബലമായ പ്രതിധ്വനി സൃഷ്ടിക്കുവാൻ മാത്രമേ ഇവയ്ക്കു കഴിഞ്ഞിരുന്നുള്ളു. കപ്പലിൽ നിന്നാണ് ശബ്ദം പ്രക്ഷേപണം ചെയ്യപ്പെടുന്നതു്. പ്രക്ഷേപണശബ്ദം നിലച്ചു കഴിഞ്ഞാലും കപ്പലിന്റെ ഗാത്രത്തിൽനിന്ന് ശബ്ദം മുഴങ്ങി കേട്ടുകൊണ്ടിരിക്കും. ഈ മുഴക്കം പ്രതിധ്വനി വ്യക്തമായി കേൾക്കുന്നതിന് പ്രതിബന്ധം സൃഷ്ടിച്ചിരുന്നു. 1950 ആയപ്പോൾ ഇതൊക്കെ തരണം ചെയ്ത് അന്തർവാഹിനികളുടെ സാന്നിദ്ധ്യവും, സമുദ്രത്തിന്റെ ആഴവും വിജയകരമായി കണ്ടുപിടിക്കുവാൻ കഴിയുമെന്ന നിലയിലെത്തി.

സോണാറിന്റെ പ്രവർത്തനം അന്തർവാഹിനികളുടെ സാന്നിദ്ധ്യം ഗ്രഹിക്കുവാൻ സഹായിച്ചതോടൊപ്പം തന്നെ സമുദ്രാന്തർഭാഗത്തുള്ള പലരഹസ്യങ്ങളും വെളിച്ചത്തു കൊണ്ടുവരാനും സഹായിച്ചു. യഥാർത്ഥമായ അടിത്തട്ടിനും കപ്പലിനും ഇടയിൽ ചിലപ്പോൾ മറ്റൊരു അടിത്തട്ടുകൂടി ഉണ്ടെന്നു തോന്നാറുണ്ട്. കുറച്ചു കാലത്തേയ്ക്ക് ഇതു് ചിന്താക്കുഴപ്പം സൃഷ്ടിച്ചുവെങ്കിലും ആഴത്തിൽ ജീവിക്കുന്ന ചില മത്സ്യസമൂഹങ്ങളാണ്, ഇതിനു കാരണമെന്ന് പിന്നീടു വെളിവായി. ദുർബലമായ പ്രതിധ്വനികൾ ഉണ്ടാക്കുന്ന ഈ മേഖലകൾ പകൽ സമയം ജലത്തിൽ വളരെ താഴെയായും രാത്രിയിൽ മുകളിലായും മാറിമാറി പ്രത്യക്ഷപ്പെടുന്നു. സൂര്യപ്രകാശം എത്തിച്ചേരാത്ത സമുദ്രാന്തർഭാഗത്തു്, രാത്രിയും പകലും ഉയരുകയും താഴുകയും ചെയ്തുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന മത്സ്യ സമൂഹങ്ങളെ ഗവേഷകർ കണ്ടുപിടിച്ചിരുന്നുവെങ്കിലും, അവയുടെ ഗതിവിഗതികളും,

സാന്നിദ്ധ്യവും വ്യക്തമായി ഗ്രഹിക്കുവാൻ കഴിഞ്ഞു എന്നുള്ളതു് ഒരു നേട്ടമാണ്. ഇതോടുകൂടി സോണാർ ജന്തു ശാസ്ത്ര പഠനത്തിനും ഉപയോഗിക്കാമെന്നു ബോദ്ധ്യമായി.

ഇനി സോണാറിന്റെ പ്രവർത്തനം പരിശോധിക്കാം. ശക്തിയുള്ള ശബ്ദതരംഗങ്ങൾ വെള്ളത്തിൽക്കൂടി പ്രക്ഷേപണം ചെയ്യാനുള്ള ഒരു 'ഹൈഡ്രോഫോൺ' സോണാറിൽ ഉണ്ടായിരിക്കും. 600 വാട്ട്സ് ശക്തിയുള്ള ശബ്ദതരംഗങ്ങളാണ് സാധാരണയായി ഇവയിൽ നിന്നു് പ്രക്ഷേപണം ചെയ്യപ്പെടുന്നതു്. അട്ടഹസിച്ചാൽ ഉണ്ടാകുന്ന ശബ്ദതരംഗങ്ങളുടെ ശക്തി $\frac{1}{10^4}$ വാട്ട്സ് (10^{-4} Watts) ആണ്. അട്ടഹാസത്തിന്റെ 6000000 മടങ്ങ് ശക്തി സോണാറിൽ നിന്നു് പുറപ്പെടുവിക്കുന്ന ശബ്ദതരംഗങ്ങൾക്ക് ഉണ്ടായിരിക്കും. $\frac{1}{10}$ സെക്കന്റു സമയം മുതൽ $\frac{2}{10}$ സെക്കന്റു സമയം വരെ നീണ്ടു നിൽക്കുന്ന സ്പന്ദങ്ങളായിട്ടാണ് ശബ്ദം പ്രക്ഷേപണം ചെയ്യപ്പെടുന്നതു്. ഇവയുടെ ആവൃത്തി 10000 C. P. S. നും 26000 C. P. S. നും ഇടയ്ക്കായിരിക്കും. സമുദ്രജലത്തിൽ ശബ്ദതരംഗങ്ങളുടെ പ്രവേഗം സെക്കന്റിൽ 1500 മീററാണ്. അതുകൊണ്ടു് തരംഗദൈർഘ്യം 5 സെ.മീററർ മുതൽ 13 സെ.മീ വരെയാണ്. ഒരു സ്പന്ദത്തിന്റെ വ്യാപ്തി 50 മീററിനും 300 മീററിനും ഇടയിലായിരിക്കുകയും ചെയ്യും.

സോണാറിൽ നിന്നുണ്ടാകുന്ന ചില തരംഗങ്ങളുടെ ആവൃത്തി നമ്മുടെ ശ്രവണശക്തിക്കതീതമായതിനാൽ ഇവയുടെ പ്രതിധ്വനികൾ ശ്രവണയോഗ്യമാക്കേണ്ട ആവശ്യം നേരിടുന്നു. 'ബീററ് ഫ്രീക്വൻസി' (Beat Frequency) കൊണ്ടാണ് അവ ശ്രവണയോഗ്യമാക്കപ്പെടുന്നതു്. 500 C. P. S ലും 600 C.P.S ലും ഏകദേശം ഒരുപോലെയുള്ള രണ്ടു ശബ്ദങ്ങൾ ഉല്പാദിപ്പിക്കുകയാണെങ്കിൽ 100 C.P.S. ലുള്ള(600–600) ഒരു ശബ്ദം കേൾക്കാൻ കഴിയും. ഇത്തരമനയുള്ള ശബ്ദത്തിനാണ് ബീററ് ഫ്രീക്വൻസി എന്നു പറയുന്നതു്. സോണാറിലെ റിസീ

വറിൽ വൈദ്യുതധാരകൊണ്ട് പ്രതിധ്വനിയുടെ ആവൃത്തിയിൽനിന്ന് അല്പം വ്യത്യാസമുള്ള ഒരു ആവൃത്തിയിൽ തരംഗങ്ങൾ ഉല്പാദിപ്പിച്ചു നിറുത്തിയിരിക്കുന്നു. പ്രതിധ്വനിയും ഈ തരംഗവുംകൂടി കലരുമ്പോൾ ബീററ് ഫ്രീക്വൻസികൊണ്ട് കേൾക്കാവുന്ന ഒരു ശബ്ദം ഉണ്ടാകുന്നു. ഉദാഹരണമായി പ്രതിധ്വനിയുടെ ആവൃത്തി 20000 C. P. S-ം റിസീവറിലെ ആവൃത്തി 19000 C. P. S-ം ആണെങ്കിൽ 1000 C. P. S ആവൃത്തിയിലുള്ള ശബ്ദം റിസീവറിൽനിന്നു കേൾക്കാൻ കഴിയും. പിങ്ങ് (Ping) എന്നു അറിയപ്പെടുന്ന ഈ ശബ്ദം അന്തർവാഹിനി പ്രതിരോധത്തിൽ ഏർപ്പെട്ടിരിക്കുന്ന നാവികർക്ക് സുപരിചിതമാണ് (ചിത്രം 11)

സോണാറിൽനിന്നും പ്രക്ഷേപണം ചെയ്യപ്പെടുന്ന ശബ്ദങ്ങൾ ഹ്രസ്വങ്ങളായ സ്പന്ദങ്ങളാണെന്നു പ്രസ്താവിച്ചുവല്ലോ? അതിനൊരു പ്രത്യേക ലക്ഷ്യമുണ്ട്. പ്രതിധ്വനി എത്തിച്ചേരുന്നതിനു മുമ്പുതന്നെ സ്പന്ദം നിലച്ചുകഴിഞ്ഞിരിക്കും. ഹ്രസ്വമായ സ്പന്ദന സമയത്തിനുള്ളിൽ അനേകം തരംഗങ്ങൾ സൃഷ്ടിക്കപ്പെടണമെങ്കിൽ ആവൃത്തി കൂടുതലായിരിക്കണം. എന്നാൽ ആവൃത്തി വളരെ കൂടുതലായിരിക്കുന്നതും കുറഞ്ഞിരിക്കുന്നതും ഹാനികരമാണ്. ആവൃത്തി വളരെ കൂടുമ്പോൾ തരംഗദൈർഘ്യം കുറയും. തരംഗദൈർഘ്യം കുറഞ്ഞ ശബ്ദതരംഗങ്ങൾ ജലത്തിൽകൂടി സഞ്ചരിക്കുമ്പോൾ അവയിലെ ഊർജ്ജത്തിന്റെ ഏറിയ പങ്കും നഷ്ടപ്പെട്ടുപോകുന്നു. നേരെമറിച്ച് സ്പന്ദത്തിന്റെ ആവൃത്തി കുറവായാൽ തരംഗദൈർഘ്യം കൂടുതലുള്ള ഒന്നോ രണ്ടോ തരംഗങ്ങൾ മാത്രമേ സൃഷ്ടിക്കപ്പെടുകയുള്ളു. ഇവ ചെറിയ ലക്ഷ്യങ്ങളിൽ തട്ടിയാൽ ദുർബലമായ പ്രതിധ്വനിയേ ഉണ്ടാവുകയുള്ളു. ഈ ന്യൂനതകളില്ലാതെ ശക്തമായ പ്രതിധ്വനി ഉല്പാദിപ്പിക്കുന്നതിന് അനുയോജ്യമായ ആവൃത്തി 10000 C. P. S നും 26000 C. P. S നും ഇടയിലുള്ളതാണ്.

വാല്വിന്റെ സ്പന്ദങ്ങൾ ഉയർന്ന ആവൃത്തിയിൽ ആരംഭിച്ച് പെട്ടെന്നു താഴ്ന്നതായി മുമ്പ് പ്രസ്താവിച്ചുവല്ലോ? ചില സോണാറുകൾ പ്രവർത്തിക്കുന്നതു് ഈ തത്വം അനുസരിച്ചാണ്. സോണാറിലെ സ്പന്ദങ്ങൾ സാധാരണയായി 20000 C. P. S ആണെന്നു സങ്കല്പിക്കുക. മുൻപറഞ്ഞ തത്വം അനുസരിച്ച് സ്പന്ദങ്ങൾ ആരംഭിക്കുന്നതു്. 20800 C. P. S ലും അവസാനിക്കുന്നതു് 19200 C.P S ലും ആയിരിക്കും റിസീവറിലെ ആവൃത്തി 19200 C. P. S ആണെങ്കിൽ ബീററ് ഫ്രീക്വൻസി ആരംഭിക്കുന്നതു് 1600 C. P. S ലും അവസാനിക്കുന്നതു്. 200 C. P. S ലും ആയിരിക്കും. ഇതിനു് ഒരു മെച്ചമുണ്ട്. ജലത്തിനുള്ളിൽ നിന്നു വരുന്ന ഇതര പ്രതിധ്വനികളിൽ നിന്നു് ഈ ശബ്ദം എളുപ്പം തിരിച്ചറിയാൻ കഴിയുന്നു.

മററു ചില സോണാറുകളിൽ സ്ഥിരമായ ഒരാവൃത്തിയിലുള്ള സ്പന്ദങ്ങളാണ് പ്രക്ഷേപണം ചെയ്യപ്പെടുന്നതു്. പ്രക്ഷേപണം ചെയ്യപ്പെടുന്ന സ്പന്ദത്തിന്റെ ആവൃത്തിയും പ്രതിധ്വനിയുടെ ആവൃത്തിയും സാധാരണ ഗതിയിൽ തുല്യമായിരിക്കും. എന്നാൽ സോണാർ ഘടിപ്പിച്ചിരിക്കുന്ന കപ്പലും ലക്ഷ്യവും ചലിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്നതുകൊണ്ടു് സ്പന്ദത്തിന്റേയും പ്രതിധ്വനിയുടേയും ആവൃത്തികളിൽ വ്യത്യാസമുണ്ടാകുന്നു. പ്രതിധ്വനിയുടെ ആവൃത്തിയിൽ മാററമുണ്ടാകുന്നതുകൊണ്ടു് 'പിങ്ങ്' ശബ്ദത്തിന്റെ സ്ഥായിയിൽ വ്യത്യാസമുണ്ടാകുകയും ചെയ്യുന്നു. ഇതു ശ്രദ്ധിക്കപ്പെടുകയും 'ഡാപ്ലർ' ഇഫക്ററി (Doppler effect) ലെ തത്വമനുസരിച്ചു് ലക്ഷ്യത്തിന്റെ ആപേക്ഷികവേഗം നിശ്ചയിക്കപ്പെടുകയും ചെയ്യുന്നു.

ഓടിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്ന ഒരു തീവണ്ടിയിലെ വിസിൽ ശബ്ദത്തിന്റെ സ്ഥായിയിൽ വ്യത്യാസമുണ്ടാകുന്നതു് നമുക്കു് പരിചയമുള്ളതാണ്. സോണാർ ഘടിപ്പിച്ചിരിക്കുന്ന കപ്പൽ സെക്കൻഡിൽ 10 മീററർ വേഗത്തിൽ കിഴക്കോട്ടു സഞ്ചരിക്കുന്നു എന്നു് സങ്കല്പിക്കുക. 0.1 സെക്കൻഡു സമയം നീണ്ടു

നിൽക്കുന്നതും 20000 C. P. S ആവൃത്തിയിലുള്ളതുമായ സ്പന്ദങ്ങൾ കപ്പലിൽനിന്നു പുറപ്പെടുവിക്കുന്നു എന്നും തരംഗങ്ങൾ മുന്നോട്ടു സഞ്ചരിക്കുന്നു എന്നും ഇരിക്കട്ടെ. സമുദ്രജലത്തിൽ ശബ്ദത്തിന്റെ പ്രവേഗം 1500 മീററാണു്. കപ്പൽ നിശ്ചലമായിരുന്നുവെങ്കിൽ 0.1 സെക്കൻറു സമയംകൊണ്ടു് സ്പന്ദതരംഗങ്ങൾ 150 മീററർ ദൂരം വെള്ളത്തിൽ വ്യാപിക്കുമായിരുന്നു. ഈ സമയംകൊണ്ടു് കപ്പൽ ഒരു മീററർ ദൂരം മുന്നോട്ടു സഞ്ചരിച്ചുകഴിയും. അതിനാൽ 150 മീററർ ദൂരത്തിൽ വ്യാപിച്ചുനിൽക്കേണ്ടിയിരുന്ന തരംഗങ്ങളുടെ വ്യാപ്തി 149 മീറററായി ചുരുങ്ങുന്നു. പ്രവേഗത്തിനു മാററമൊന്നും സംഭവിക്കുകയില്ല. വെള്ളത്തിലുള്ള ഒരു കടൽപ്പന്നിക്കു് 149 മീററർ വ്യാപ്തിയിലുള്ള 2000 തരംഗങ്ങൾ ഗ്രഹിക്കാൻ കഴിയും. പക്ഷെ വേണ്ടിവരുന്ന സമയം $\frac{149}{1500} = 0.099$ സെക്കൻറായിരിക്കും. അതായതു് ആവൃത്തി 0.099 സെക്കൻറിൽ 2000 തരംഗങ്ങൾ അല്ലെങ്കിൽ ഒരു സെക്കൻറിൽ ഏകദേശം 20202 C. P. S ആയി ഉയരുന്നു. ചുരുക്കിപ്പറഞ്ഞാൽ കപ്പൽ മുമ്പോട്ടു സഞ്ചരിക്കുന്നതിന്റെ ഫലമായി മുമ്പോട്ടു പ്രക്ഷേപണം ചെയ്യപ്പെടുന്ന ശബ്ദത്തിന്റെ ആവൃത്തി വർദ്ധിക്കുന്നു.

ഈ തരംഗങ്ങൾ സെക്കൻറിൽ 10 മീററർ വേഗത്തിൽ പടിഞ്ഞാറോട്ടു കപ്പലിനെ ലക്ഷ്യമാക്കി സഞ്ചരിക്കുന്ന ഒരു അന്തർവാഹിനിയിൽ ചെന്നു തട്ടുന്നു എന്നു സങ്കല്പിക്കുക 149 മീററർ ദൈർഘ്യമുള്ള സ്പന്ദനതരംഗങ്ങൾ മുമ്പോട്ടു സഞ്ചരിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്നു. അന്തർവാഹിനിയിൽ തട്ടുമ്പോൾ തരംഗങ്ങളുടെ വ്യാപ്തി വീണ്ടും ചുരുങ്ങുന്നതിനിടയാകുന്നു. തരംഗങ്ങൾ അന്തർവാഹിനിയിൽ നിന്നു് പ്രതിപതിക്കുമ്പോഴും മുൻതത്വമനുസരിച്ചുള്ള കുറവു് സംഭവിക്കുന്നതിനിടയാകുന്നു. അവസാനമായി 10 മീററർ വേഗത്തിൽ സഞ്ചരിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന കപ്പലിലെ റിസീവറിൽ ഇതു സ്വീകരിക്കപ്പെടുമ്പോഴും തരംഗവ്യാപ്തി ഒരിക്കൽകൂടി ചുരുങ്ങുന്നു. തൽഫലമായി പ്രതി

ധ്വനി സ്വീകരിക്കപ്പെടുന്നതിനു വേണ്ടിവരുന്ന സമയം പ്രക്ഷേപണം ചെയ്യുന്നതിനു വേണ്ടിവരുന്ന 0.1 സെക്കൻറിനേക്കാരം കറവായിരിക്കും. മുൻവിവരിച്ച ഉദാഹരണത്തിൽ ഈ കറവു് ഏകദേശം 0 03 സെക്കൻറു സമയമായിരിക്കും.

മുകളിൽ പറഞ്ഞ കാരണങ്ങരംകൊണ്ടു് സ്വീകരിക്കപ്പെടുന്ന പ്രതിധ്വനിയുടെ ആവൃത്തി 20000 C. P. S ൽ നിന്നു്

$20000 \times \left(\frac{150}{149}\right)^4$ അതായതു് ഏകദേശം 20540 C. P. S ആയി ഉയരുന്നു. ഈ തരംഗങ്ങരം റിസീവറിലെ 19000 C.P.S ലുള്ള തരംഗങ്ങളുമായി ചേരുമ്പോഴുണ്ടാകുന്ന 'ബീററ് ഫ്രീക്വൻസി' 1540 C. P. S ആയിരിക്കും. കപ്പലും ലക്ഷ്യവും നിശ്ചലമായിരുന്നുവെങ്കിൽ ബീററ് ഫ്രീക്വൻസി 1000 C. P. S ആയിരുന്നേനെ. ഫ്രീക്വൻസിയിലും സ്വീകരണസമയത്തിലും ഉണ്ടാകുന്ന വ്യത്യാസങ്ങളിൽ നിന്നു് ലക്ഷ്യത്തിൻെറ ആപേക്ഷിക വേഗവും സ്ഥാനവും നിർണ്ണയിക്കുവാൻ കഴിയുന്നു.

സമുദ്രത്തിൻെറ ആഴം നിർണ്ണയിക്കപ്പെടുമ്പോരം ചിലപ്പോരം യഥാർത്ഥമായ അടിത്തട്ടിനു താഴെയായി മറെറാരു അടിത്തട്ടുകൂടി ഉള്ളതായി അനുഭവപ്പെടാറുണ്ടു്. അടിത്തട്ടിൽ നിന്നുള്ള പ്രതിധ്വനികരം സ്വീകരിക്കപ്പെടുന്നതിനുശേഷം അല്പസമയംകഴിഞ്ഞു് ദുർബ്ബലമായ മറെറാരു പ്രതിധ്വനികൂടി വന്നുചേരുന്നു. സാധാരണഗതിയിൽ ആദ്യമുണ്ടായ പ്രതിധ്വനി കപ്പലിൽതട്ടി തിരിയെ ജലത്തിൽകൂടി സഞ്ചരിച്ചുണ്ടാകുന്ന മറെറാരു പ്രതിധ്വനിയാണെന്നു് തോന്നാൻ ഇടയുണ്ടു്. അങ്ങനെയാണെങ്കിൽ രണ്ടു പ്രതിധ്വനികരംക്കും വേണ്ടിവരുന്ന സമയം തുല്യമായിരിക്കണം. പക്ഷെ അനുഭവത്തിൽ അങ്ങനെയല്ല കാണപ്പെടുന്നതു്. ഇതിനു കാരണം എന്താണെന്നു നോക്കാം. ശബ്ദോർജ്ജത്തിൻെറ ഭൂരിഭാഗവും അടിത്തട്ടു് പ്രതിഫലിപ്പിക്കുന്നു എങ്കിലും, കുറെ ഭാഗം അവിടെയുള്ള മണലിലും ചെളിയിലുംകൂടി കടന്നുചെല്ലുന്നു. കുറെദൂരം സഞ്ചരിച്ചുകഴിയുമ്പോരം അതിനടിയിലുള്ള ശിലാപടത്തി

ലോ മറേറാ തട്ടി പ്രതിപതിക്കപ്പെടുന്നു. ഇങ്ങനെ ഉണ്ടാകുന്ന പ്രതിധ്വനികളാണു് രണ്ടാമതൊരു അടിത്തട്ടുകൂടി ഉണ്ടെന്നു് ധ്വനിപ്പിക്കുന്നതു്. അടിത്തട്ടിനു് എത്രമാത്രം താഴെയായി ഈ മാതിരിയുള്ള പ്രതലങ്ങൾ സ്ഥിതിചെയ്യുന്നു എന്നു മനസ്സിലാക്കാൻ ഭൂഗർഭ ശാസ്ത്രജ്ഞന്മാർക്കു് ഇതു് ഉപകരിക്കുന്നു.

സൈസ്മോ ഗ്രാഫ് (Seismograph)

ഭൂഗർഭ ശാസ്ത്രജ്ഞന്മാർക്കു് ഭൂമിയുടെ ഉപരിതല ഭാഗത്തിന്റെ ഭൗതികഘടനയും, രാസസ്വഭാവവും, നേരിട്ടുള്ള ഗവേഷണങ്ങളിൽക്കൂടി വെളിപ്പെടുത്താൻ കഴിഞ്ഞിട്ടുണ്ടു്. എന്നാൽ ഭൂമിയുടെ അന്തർഭാഗത്തിന്റെ സ്വഭാവവും ഘടനയും ഉപരിതലത്തിൽ വച്ചു് ലഭിക്കാവുന്ന വിവരങ്ങളിൽക്കൂടി ഗ്രഹിക്കേണ്ടതായിട്ടാണിരിക്കുന്നതു്. അനേകശതം മൈലുകൾ ഭൂമിയ്ക്കുള്ളിൽ കഴിച്ചിറങ്ങിച്ചെന്നു് ഗവേഷണം നടത്തുക സാദ്ധ്യമല്ലല്ലോ? ഭൂചലനങ്ങൾ സൃഷ്ടിക്കുന്ന ശക്തിയുള്ള തരംഗങ്ങളും, സ്ഫോടനം കൊണ്ടു് കൃത്രിമമായി സൃഷ്ടിക്കപ്പെടുന്ന തരംഗങ്ങളും, പ്രയോജനപ്പെടുത്തിയാണു് ഭൂഗർഭരഹസ്യങ്ങൾ ഗ്രഹിക്കുന്നതു്. ഈ തരംഗങ്ങൾ സൂക്ഷ്മമായി വിശകലനം ചെയ്തു പല വസ്തുതകളും ശേഖരിക്കപ്പെടുന്നുണ്ടു്.

ഈ വിജ്ഞാന ശാഖയ്ക്കു് ''സൈസ്മോളജി'' (Seismology) എന്നാണു പറയുന്നതു്. സൈസ്മോഗ്രാഫ് എന്ന ഉപകരണമാണു് ഗവേഷണത്തിനു സഹായിക്കുന്നതു്. പത്തൊമ്പതാം ശതകത്തിൽ ഭൂചലനങ്ങളുടെ നാടായ ജപ്പാനിൽവച്ചു് ജോൺ മിൽനേ (John Milae) എന്ന ഇംഗ്ലീഷ് ശാസ്ത്രജ്ഞനാണു് ഇതു് ആദ്യമായി നിർമ്മിച്ചതു്. ഈ ഉപകരണത്തിനു് ഭൂചലനങ്ങൾ രേഖപ്പെടുത്തുവാനും, ഭൂമിയുടെ ഏതുഭാഗത്താണു് ഭൂചലനത്തിന്റെ കേന്ദ്രബിന്ദു എന്നു നിർണ്ണയിക്കുവാനും കഴിയുന്നു.

സൈസ്മോ ഗ്രാഫിന്റെ ഉറപ്പുള്ള പട്ടക്കൂട് ശിലകളിൽ ബലമായി ഉറപ്പിച്ചുനിറുത്തിയിരിക്കും. ഒരു വലിയ ഭാരം,

ഇതിൽ തൂക്കിയിട്ടിരിക്കുന്നു. ഭൂചലനം കൊണ്ട് ഭൂഭാഗം ത്രസിക്കുമ്പോൾ ഭാരം നിശ്ചലമായി നിൽക്കുകയും ഭൂമിയോട് ബലമായി ബന്ധിച്ചിരിക്കുന്ന ചട്ടക്കൂട് ഭൂമിക്കൊപ്പം, മുകളിലേക്കും, വശങ്ങളിലേക്കും ചാഞ്ചാടുകയും ചെയ്യും. ഭാരത്തിനു തൊട്ടുതാഴെയായി ഒരു റോളർ ചട്ടക്കൂടിനോട് ഘടിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നു, റോളറിന്റെ പുറത്തു ചുററിയിരിക്കുന്ന ഒരു കടലാസ് ചട്ടക്കൂടിനോടൊപ്പം ത്രസിക്കുകയും ചെയ്യും. ഭൂചലനം ഉണ്ടാകുമ്പോൾ ഭാരത്തിന്റെ അററത്ത് ഘടിപ്പിച്ചിരിക്കുന്ന ഒരു പേന കടലാസ്സിൽ കമ്പനമനുസരിച്ചുള്ള അടയാളങ്ങൾ രേഖപ്പെടുത്തുമ്പോൾ ഘർഷണം അനുഭവപ്പെടുന്നതുകൊണ്ട് ഇതിന്റെ പ്രവർത്തനത്തിന് പ്രായോഗിക വൈഷമ്യം നേരിടുന്നു ആധുനിക കാലത്ത് ഭൂചലനങ്ങൾ സൂക്ഷ്മമായി രേഖപ്പെടുത്തുന്നത് വൈദ്യുത സഹായം കൊണ്ടാണ്. സൈസ്മോ ഗ്രാഫിലെ (ചിത്രം 12) ഭാരത്തിൽ ഒരു കമ്പിവലയം ചുററിയിരിക്കും. ചട്ടക്കൂടിനോട് ഘടിപ്പിച്ചുവച്ചിരിക്കുന്ന ഒരു കാന്തത്തിന്റെ ധ്രുവങ്ങൾക്കിടയിലാണ് ഭാരം ക്രമീകരിച്ച് വച്ചിരിക്കുന്നത്. ചട്ടക്കൂട് കമ്പനം ചെയ്യുമ്പോൾ കാന്തം ചലിക്കുകയും കമ്പിവലയത്തിൽകൂടി വൈദ്യുത ധാര ഉണ്ടാവുകയും ചെയ്യുന്നു. ഈ ധാര ഒരു ഗാൽവനോമീററിലേക്കു നയിക്കപ്പെടുന്നു. ഗാൽവനോ മീററിലെ സൂചനിയോട് ഒരു ദർപ്പണം ഘടിപ്പിച്ചിരിക്കും. ഈ ദർപ്പണത്തിൽനിന്നു വരുന്ന പ്രകാശകിരണങ്ങൾ ഒരു ഛായാഗ്രഹണതകിടിൽ പതിപ്പിക്കുകയും, തകിടിൽ തരംഗരൂപത്തിലുള്ള അടയാളങ്ങൾ ഉണ്ടാവുകയും ചെയ്യുന്നു. ഭൂമിക്ക് തിരശ്ചീനതലത്തിലും ലംബതലത്തിലും അനുഭപ്പെടുന്ന ചലനങ്ങൾ രേഖപ്പെടുത്തുവാൻ പ്രത്യേകം ഗ്രാഫുകൾ സൈസ്മോഗ്രാഫിൽ ഉണ്ടായിരിക്കും. ഈ ഗ്രാഫുകളിൽ നിന്ന് ഭൂമിക്ക് എല്ലാതലങ്ങളിലും അനുഭവപ്പെടുന്ന ചലനങ്ങൾ ഗ്രഹിക്കുവാൻ സാധിക്കുന്നു.

ഭൂഗർഭ ഗവേഷണം നടത്തുന്നവർക്ക് ഭൂചലനം സൃഷ്ടിക്കുന്ന തരംഗങ്ങൾ വളരെയധികം വിജ്ഞാനം നൽകുന്നുണ്ട്. ഇവയെ 'ഷാക്ക് തരംഗങ്ങൾ' (Shock waves) എന്നാണ് പറ

യുന്നതു്. ഇവയ്ക്കു ശരിയായ ഒരു ആകൃതി കാണുകയില്ല. ക്രമമായ ആവൃത്തി ഉണ്ടെന്നു പറയുവാനും വയ്യ. ഇതിലെ ചില തരംഗങ്ങൾക്കു് 0.5 മുതൽ 5 CPS വരെയുള്ള ആവൃത്തി കണ്ടെന്നുവരും. വെള്ളത്തിലും വായുവിലുംകൂടി സഞ്ചരിക്കുന്ന ശബ്ദതരംഗങ്ങളിൽനിന്നു് തികച്ചും വിഭിന്ന സ്വഭാവത്തോടുകൂടിയവയാണു് ഇതിലെ തരംഗങ്ങൾ.

ഭൂചലനങ്ങൾ സൃഷ്ടിക്കുന്ന തരംഗങ്ങളിൽ പലതും വിവിധഗുണങ്ങളോടുകൂടിയവയാണു്: കണങ്ങൾ തരംഗങ്ങളുടെ സഞ്ചാരദിശയിൽതന്നെ ചലിക്കുന്ന ലാഞ്ചിറ്റ്യൂടിനൽ തരംഗങ്ങൾ (Longitudinal waves) ഇവയിലുണ്ടായിരിക്കും. സൈസ്മോഗ്രഫുകളിൽ ആദ്യം എത്തിച്ചേരുന്നതു് ഈ തരംഗങ്ങളാണു്. ഇവയെ 'കംപ്രഷൻ തരംഗ'ങ്ങൾ എന്നു പറയുന്നു. ഇവ ആദ്യം വന്നുചേരുന്നതുകൊണ്ടു് ഇവയെ പ്രാഥമിക തരംഗങ്ങൾ (Primary waves) എന്നാണു് പറയുന്നതു്. മറ്റുചില കണങ്ങൾ തരംഗങ്ങളുടെ സഞ്ചാരദിശയ്ക്കു് ലംബമായി ചലിക്കുന്ന 'ട്രാൻസ്‌വേഴ്സ് തരംഗങ്ങ'ളാണു് (Transverse waves) രണ്ടാമതു വന്നുചേരുന്ന ഇവയെ ദ്വിതീയ തരംഗങ്ങൾ (Secondary waves) എന്നാണു പറയുന്നതു്. ഈ രണ്ടു തരംഗങ്ങളേയും യഥാക്രമം 'P' തരംഗങ്ങളെന്നും, 'S' തരംഗങ്ങൾ എന്നുമാണു് പറഞ്ഞുവരുന്നതു്. ഭൂചലനസമയത്തുണ്ടാകുന്ന ഈ തരംഗങ്ങൾ ഭൂമിയുടെ നാനാഭാഗത്തും സ്ഥാപിച്ചിട്ടുള്ള ഗവേഷണകേന്ദ്രങ്ങളിൽ ശ്രദ്ധിക്കപ്പെടുന്നു. ഭൂമിയുടെ അന്തർഭാഗത്തുള്ള പല അജ്ഞാത രഹസ്യങ്ങളും ഇവ പുറത്തുകൊണ്ടുവരുന്നു. ദ്വിതീയ തരംഗങ്ങൾ ട്രാൻവേഴ്സ് തരംഗങ്ങൾ ആയതുകൊണ്ടു് ദ്രാവകങ്ങൾക്കുള്ളിൽകൂടി കടന്നുപോവുകയില്ല. ഇവ ഭൂമധ്യത്തിൽ (Core) കൂടി കടന്നു പോകുന്നില്ലെന്നു് മനസ്സിലാക്കാൻ കഴിഞ്ഞിട്ടുണ്ടു്. ഇതിൽനിന്നു് ഭൂമധ്യം ദ്രവരൂപത്തിലാണെന്നുള്ള നിഗമനത്തിൽ എത്തിച്ചേരുന്നതിൽ തെറ്റില്ല.

'P' തരംഗങ്ങളും 'S' തരംഗങ്ങളും ഭൂമിയുടെ ബഹിരാവരണ (Mantle) ത്തിൽക്കൂടി കടന്നു പോകുന്നു. 'P' തരംഗങ്ങൾ ഉണ്ടാകുന്നതു വ്യാപ്തത്തിലുണ്ടാകുന്ന വ്യത്യാസം കൊണ്ടും 'S' തരംഗങ്ങൾ ഉണ്ടാകുന്നതു് ആകൃതി വ്യത്യാസം കൊണ്ടുമാണു്. ഇതിൽനിന്നു് ബഹിരാവരണം (Mantle) ആകൃതിയും, വ്യാപ്തിയും ഉള്ള ഖരവസ്തു ആണെന്നു ഗ്രഹിക്കാം.

ഭൂമിയ്ക്കുള്ളിൽ ചലനം നടക്കുന്ന കേന്ദ്രബിന്ദുവിന് നേരെ മുകളിൽ ഉപരിതലത്തിലുള്ള സ്ഥലത്തിനു് അധികേന്ദ്രം (Epi-centre) എന്നു പറയുന്നു. 'P' തരംഗങ്ങളും 'S' തരംഗങ്ങളും വന്നു ചേരുന്നതു് ഒരേ സമയത്തായിരിക്കുകയില്ലെന്നു പ്രസ്താവിച്ചുവല്ലോ. നിരീക്ഷണകേന്ദ്രത്തിൽ ഈ രണ്ടുതരംഗങ്ങളും വന്നുചേരുന്നതിനിടയ്ക്കുള്ള സമയം കൃത്യമായി നിർണ്ണയിക്കപ്പെടുന്നു. നേരത്തെ തയ്യാറാക്കിവച്ചിട്ടുള്ള ഒരു പട്ടിക നോക്കി അധികേന്ദ്രം ഗവേഷണകേന്ദ്രത്തിൽനിന്നു് എന്തകലെയാണെന്നു് നിർണ്ണയിക്കാവുന്നതാണു്. ഉദാഹരണമായി ഇടവേള 6 മി: 4 സെ: സമയമാണെങ്കിൽ അധികേന്ദ്രം നിരീക്ഷണകേന്ദ്രത്തിൽനിന്നു് 3050 മൈൽ അകലെയായിരിക്കും. ഇതു കൊണ്ടായില്ല, ഈ സ്ഥലം നിരീക്ഷണകേന്ദ്രത്തിൽനിന്നു് 3050 മൈൽ വ്യാസാർദ്ധമുള്ള ഒരു വൃത്തത്തിന്റെ പരിധിയിൽ എവിടെയും ആകാവുന്നതാണു്. വളരെ അകലെ സ്ഥിതിചെയ്യുന്ന മറ്റുരണ്ടു നിരീക്ഷണകേന്ദ്രങ്ങളിൽ നിന്നു കിട്ടിയ വിവരങ്ങൾകൂടി കണക്കിലെടുത്തു് അധികേന്ദ്ര കൃത്യമായി നിർണ്ണയിക്കാൻ കഴിയും. ഈ മൂന്നു നിരീക്ഷണ കേന്ദ്രങ്ങളും കേന്ദ്രമാക്കി അവയിൽനിന്നു് അധികേന്ദ്രത്തിലേയ്ക്കുള്ള ദൂരം വ്യാസാർദ്ധമാക്കി മൂന്നു വൃത്തങ്ങൾ ഒരു ഭൂപടത്തിൽ വരയ്ക്കുക. ഈ മൂന്നു വൃത്തങ്ങളും തമ്മിൽ ബന്ധിക്കുന്ന ബിന്ദുവായിരിക്കും അധികേന്ദ്രം.

ഭൂമിയുടെ ഉപരിതലത്തിൽനിന്നു് അല്പം ഉള്ളിലായി ശക്തിയായ സ്ഫോടനങ്ങൾ കൃത്രിമമായി സൃഷ്ടിച്ച് ഭൂഗർഭശാസ്ത്രജ്ഞന്മാർ പലതരത്തിലുള്ള പാറകളുടെ സാന്നിദ്ധ്യം തരാ

ഗങ്ങളിൽകൂടി ഗ്രഹിക്കുന്നുണ്ട്. ഭൂമിയ്ക്കുള്ളിലെ എണ്ണഖനികൾ കണ്ടുപിടിയ്ക്കാൻ ഈ മാർഗ്ഗം വളരെ സഹായിക്കുന്നു. ആധുനിക വ്യവസായം മുഴുവൻ ഇപ്രകാരം കണ്ടെത്തുന്ന എണ്ണഖനികളെ ആശ്രയിച്ചാണ് സ്ഥിതിചെയ്യുന്നതു്. കൂടാതെ ലോകത്തിന്റെ ഒരൊഴിഞ്ഞ കോണിലുള്ള ഭൂഗർഭ സങ്കേതങ്ങളിൽ വച്ചു് രഹസ്യമായി നടത്തപ്പെടുന്ന അണുസ്ഫോടനം സൈസ്മോഗ്രാഫ് പിടിച്ചെടുത്തു് വെളിപ്പെടുത്തുകയും ചെയ്യുന്നു.

റഡാർ (Radar)

ആധുനികശാസ്ത്രത്തിന്റെ അത്ഭുത സൃഷ്ടിയാണ് റഡാർ. Radio Detection and Ranging എന്ന ഇംഗ്ലീഷ് പദങ്ങളുടെ ആദ്യക്ഷരങ്ങളിൽ നിന്നാണ് ഈ പേരുണ്ടായതു്. മനുഷ്യരുടെ ഒരു 'അത്ഭുതനേത്ര'മായി പ്രവർത്തിക്കുന്ന ഈ ഉപകരണം നമ്മുടെ നിരീക്ഷണ വ്യാപ്തി വളരെവർദ്ധിപ്പിച്ചിട്ടുണ്ട്. ഇതു കനത്ത മൂടൽമഞ്ഞിലും കൂരിരുട്ടിലും നമുക്കു കാണുവാൻ കഴിയുന്നു. അനേകശതം മൈലുകൾക്കപ്പുറമുള്ള പർവ്വതങ്ങളും, റോഡുകളും, കൊടുങ്കാററുകേന്ദ്രങ്ങളും കപ്പലുകളും പറന്നു കൊണ്ടിരിക്കുന്ന വിമാനങ്ങളും, നമുക്കു ദൃശ്യമായിത്തീരുന്നു. ഇതൊരത്ഭുതമല്ലേ?

സോണാർ പോലെതന്നെ പ്രതിധ്വനികൊണ്ടു് പ്രവർത്തിക്കുന്ന ഒരു ഉപകരണമാണ് റഡാറും. സോണാറിൽനിന്നു് പ്രക്ഷേപണം ചെയ്യപ്പെടുന്ന ശബ്ദതരംഗങ്ങൾക്കുപകരം റഡാറിൽ നിന്നു പ്രക്ഷേപണം ചെയ്യപ്പെടുന്നതു് വൈദ്യുതകാന്തതരംഗങ്ങളാണ്. ഈ തരംഗങ്ങൾ ലക്ഷ്യത്തിൽ ചെന്നു തട്ടി ശബ്ദതരംഗങ്ങളെപ്പോലെപ്രതിപതിച്ചുവരുന്നു. സെക്കൻറിൽ 3×10^8 മീററർ (186000 മൈൽ) പ്രവേഗത്തിലാണ് ഈ തരംഗങ്ങൾ സഞ്ചരിക്കുന്നതു്. ഇവ ക്ഷണനേരത്തിനുള്ളിൽതന്നെ തിരിച്ചെത്തുകയും ചെയ്യും. പ്രക്ഷേപണം ചെയ്യപ്പെടുന്ന സമയത്തിനും പ്രതിപതന തരംഗങ്ങൾ തിരിച്ചെത്തുന്നതിനും ഇടയ്ക്കുള്ള സമയം കണ്ടുപിടിച്ചു് ലക്ഷ്യത്തിന്റെ അകലം നിർണ്ണയിക്കപ്പെടുന്നു.

റേഡിയോ തരംഗങ്ങൾ അഥവാ വൈദ്യുതകാന്തതരംഗങ്ങൾ എന്നാൽ എന്തു്? വൈദ്യുതധാര ഇലക്‌ട്രോണുകളുടെ പ്രവാഹമാണു്. ഇലക്‌ട്രോണുകളുടെ ചലനം ത്വരിതപ്പെടുത്തുകയോ, അവ തിരിച്ചയയ്ക്കപ്പെടുകയോ ചെയ്യുമ്പോൾ, അവയിൽനിന്നും ഊർജ്ജം പുറത്തേയ്ക്കു പ്രസരിച്ചുതുടങ്ങുന്നു. ജലത്തിൽ ഒരു കാക്ക്‌താഴ്ത്തുകയും ഉയർത്തുകയും ചെയ്യുമ്പോൾ ജലത്തിൽ തരംഗങ്ങൾ സൃഷ്ടിക്കപ്പെടുന്നതുപോലെ ഇലക്‌ട്രോണുകൾ വിസർജ്ജിക്കുന്ന ഊർജ്ജം തരംഗങ്ങളെ സൃഷ്ടിക്കുന്നു. വൈദ്യുതസ്വഭാവവും കാന്തസ്വഭാവവും കലർന്നു കാണപ്പെടുന്ന ഇവയെ വൈദ്യുത കാന്ത തരംഗങ്ങൾ എന്നാണു് പറയുന്നതു്. സഞ്ചരിക്കുന്നതിനു് ഇവയ്ക്കു് ഒരു മാധ്യമത്തിന്റെ ആവശ്യമില്ല. ഈ തരംഗങ്ങൾ ലോഹ നിർമ്മിതമായ ഒരു പ്രതലത്തിൽ തട്ടിയാൽ പ്രതിപതിക്കുമെന്നു് 1887 ൽ ഹീൻറിഷ് ഹെർട്ട്സ് (Heinrich Hertz) എന്ന ശാസ്ത്രജ്ഞൻ കണ്ടുപിടിച്ചു 1922 ൽ ഇററാലിയൻശാസ്ത്രജ്ഞനായ മാർക്കോണി കുറച്ചുകൂടി മുമ്പോട്ടു പോയി-ഉന്നത ആവൃത്തിയിലുള്ള വൈദ്യുത കാന്തതരംഗങ്ങൾ ഉപയോഗിച്ചു് മൂടൽമഞ്ഞിലും, രാത്രിയിലും കപ്പലുകളുടെ സാന്നിദ്ധ്യം മനസ്സിലാക്കാൻ കഴിയുമെന്നു് അദ്ദേഹം പ്രസ്താവിച്ചു. എന്നാൽ ഈ കണ്ടുപിടിത്തങ്ങൾ ഒന്നുംതന്നെ അന്നു് റഡാർ നിർമ്മിക്കുന്നതിനുള്ള പ്രേരണ നൽകിയില്ല.

''ആവശ്യം സൃഷ്ടിയുടെ മാതാവു്'' ആണെന്നു തെളിയിക്കുന്ന ഒരു സംഭവമായിരുന്നു. രണ്ടാം ലോക മഹായുദ്ധകാലത്തു് റഡാറിന്റെ ആവിർഭാവം ശത്രുക്കൾ കരയിലും, ആകാശത്തിലും, കടലിലും വച്ചു് ഏററുമുട്ടി. സമരമുറകൾ ലോകം മുമ്പു് കണ്ടിട്ടുള്ളവയിൽനിന്നു ഭിന്നമായിരുന്നു. അസംഖ്യം പോർവിമാനങ്ങളും, ബോംബർ വിമാനങ്ങളും യുദ്ധരംഗത്തിറങ്ങി. സൈന്യസങ്കേതങ്ങൾ മാത്രമല്ല ഗതാഗതമാർഗ്ഗങ്ങളും, ഉല്പാദനകേന്ദ്രങ്ങളും, നഗരങ്ങളും നാട്ടിൻപുറങ്ങളുമെല്ലാം ആക്രമണവിധേയമായി. ഇവ വർഷിച്ച ബോംബുകളുടെ നശീകരണശക്തി ഭയങ്കരമായിരുന്നു. പലപ്പോഴും ഇവ ലക്ഷ്യസ്ഥാനങ്ങളിൽ എത്തിക്കഴിഞ്ഞതിനു ശേഷമാണു് കാണാൻ കഴിഞ്ഞിരു

ന്നതു്. തന്നിമിത്തം തക്കതായ രക്ഷാനടപടികൾ സ്വീകരിക്കുവാനോ, ഫലപ്രദമായി ഇവയെ നേരിടുവാനോ ഉള്ള സമയം കിട്ടിയിരുന്നില്ല. രാത്രിയിൽ വരുന്ന ബോംബർ വിമാനങ്ങൾ കണ്ടുപിടിക്കാൻ സെർച്ചു ലൈറ്റുകൾ ഉപയോഗിച്ചു നോക്കിയെങ്കിലും, വലിയ പ്രയോജനമൊന്നുമുണ്ടായില്ല. സെർച്ചുലൈറ്റുകൊണ്ടു് ചെറിയ ഒരു മേഖലയിൽ ഉള്ള വസ്തുക്കൾ മാത്രമേ കാണാൻ കഴിയുകയുള്ളു. മാത്രമല്ല മൂടൽമഞ്ഞിൽക്കൂടി പ്രകാശകിരണങ്ങൾക്കു് അധികദൂരം സഞ്ചരിക്കുവാൻ കഴിയുകയുമില്ല. ശബ്ദതരംഗങ്ങൾ ഉപയോഗിച്ചു നോക്കിയെങ്കിലും, കാര്യമായ നേട്ടമൊന്നും ഉണ്ടായില്ല. ശബ്ദത്തിന്റെ പ്രവേഗം റേഡിയോ തരംഗങ്ങളുടെ പ്രവേഗത്തെ അപേക്ഷിച്ചു് വളരെ കുറവാണു്. ശബ്ദതരംഗങ്ങൾ ഉപയോഗിച്ചു് ദ്രുതഗതിയിൽ സഞ്ചരിക്കുന്ന ബോംബർ വിമാനങ്ങളുടെ സാന്നിദ്ധ്യം മനസ്സിലാക്കിക്കഴിയുമ്പോഴേക്കും അവ ലക്ഷ്യസ്ഥാനങ്ങൾ തകർത്തുകഴിഞ്ഞിരിക്കും. ഈ അടിയന്തിരഘട്ടത്തിലായിരുന്നു റഡാറിന്റെ ജനനം. കുറെക്കാലം റഡാറിന്റെ നിർമ്മിതിയും ഉപയോഗവും, എല്ലാരാഷ്ട്രങ്ങളും ഒരു സൈനിക രഹസ്യമായി സൂക്ഷിച്ചിരുന്നതുകാരണം ആദ്യം നിർമ്മിച്ചതാരെന്നുള്ളതു് ഒരു വിവാദവിഷയമാണു്.

റഡാറിൽനിന്നു് പ്രക്ഷേപണം ചെയ്യപ്പെടുന്ന വൈദ്യുതകാന്ത തരംഗങ്ങൾ അത്യന്തമായ ആവൃത്തിയിലുള്ളവയാണു്. തന്നിമിത്തം അവയുടെ തരംഗദൈർഘ്യം തുലോം ചെറുതാണു്. റേഡിയോ തരംഗങ്ങളുടെ പ്രവേഗം സെക്കന്റിൽ 3×10^8 മീറ്റർ ആയതുകൊണ്ടു് 3 സെ.മീ. തരംഗദൈർഘ്യമുള്ളവയു ആവൃത്തി 10000 ദശലക്ഷം സൈക്കിളായിരിക്കും. ആധുനിക കാലത്തു് റഡാർ പല ആവശ്യങ്ങൾക്കും വിനിയോഗിക്കപ്പെടുന്നതുകൊണ്ടു് ഉദ്ദേശാനുസരിച്ചു് തരംഗദൈർഘ്യത്തിലും ആവൃത്തിയിലും വ്യത്യാസങ്ങൾ സൃഷ്ടിക്കുന്നു. എന്നാൽ തരംഗങ്ങളുടെ പ്രവേഗത്തിനു് ഒരു മാറ്റവും ഉണ്ടാവുകയില്ല.

റഡാർ ഉപയോഗിച്ച് അകലെയുള്ള ഒരു വിമാനത്തിന്റെ സാന്നിദ്ധ്യം ഗ്രഹിക്കുന്നതു് എങ്ങിനെയെന്നു നോക്കാം. വിമാനം 15 കിലോ മീററർ അകലെയാണെന്നു സങ്കല്പിക്കാം. റഡാറിൽ നിന്നു് പ്രക്ഷേപണം ചെയ്യപ്പെടുന്ന തരംഗങ്ങൾ വിമാനത്തിൽ തട്ടി തിരിച്ചുവരുന്നതിനു വേണ്ടിവരുന്ന സമയം $\frac{.30}{3 \times 10^5}$ സെക്കന്റു് അതായതു് 0.0001 സെക്കൻറായിരിക്കും. ഇത്രത്തോളം ഹ്രസ്വമായ സമയം സാധാരണയായി ഒരു മൈക്രോസെക്കൻറി (ഒരു സെക്കൻറിന്റെ ദശലക്ഷത്തിൽ ഒരു ഭാഗം) ലാണു് പറയപ്പെടുന്നതു്. മുകളിൽ സൂചിപ്പിച്ച 100 മൈക്രോസെക്കൻറു സമയം തരംഗങ്ങൾ റഡാറിൽ നിന്നു് വിമാനം വരെയ്ക്കും തിരിച്ചു റഡാറിലേയ്ക്കും സഞ്ചരിക്കുന്നതിനു് വേണ്ടിവന്ന സമയമാണു്. വിമാനം വരെ തരംഗങ്ങൾ സഞ്ചരിക്കുന്നതിനു് വേണ്ടി വന്ന സമയം 50 മൈക്രോ സെക്കൻറു് ആയിരിക്കും. ഈ സമയത്തിൽ നിന്നു് വിമാനത്തിന്റെ അകലം നിർണ്ണയിക്കുകയാണു് ചെയ്യുന്നതു്. ചിത്രം 13.

അനുസ്യൂതമായി പുറപ്പെട്ടുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന റേഡിയോ തരംഗങ്ങളല്ല. റഡാറിൽനിന്നു് പ്രക്ഷേപണം ചെയ്യപ്പെടുന്നതു്, തുടർച്ചയായ തരംഗങ്ങൾ പ്രക്ഷേപണം ചെയ്തുകൊണ്ടിരുന്നാൽ റിസീവറിൽ പ്രതിപതന തരംഗങ്ങൾ സ്വീകരിക്കുന്നതിനു് വിഘ്നമുണ്ടാകുന്നു. ഏതാനും മൈക്രോസെക്കൻറു സമയം നീണ്ടുനിൽക്കുന്ന സ്പന്ദങ്ങളായിട്ടാണു് തരംഗങ്ങൾ പ്രക്ഷേപണം ചെയ്യപ്പെടുന്നതു്. പ്രതിപതന തരംഗങ്ങൾ ലക്ഷ്യത്തിൽ തട്ടി തിരിച്ചെത്തുന്നതിനു മുമ്പു് സ്പന്ദം അവസാനിച്ചിരിക്കണം. 100 മൈക്രോസെക്കൻറിൽ ഒരിക്കൽ വീതം 10 മൈക്രോസെക്കൻറു സമയം നീണ്ടു നിൽക്കുന്ന സ്പന്ദങ്ങൾ ഉല്പാദിപ്പിക്കുന്നു എന്നു കരുതുക. സ്പന്ദം 10 മൈക്രോസെക്കൻറു സമയം കഴിഞ്ഞു നിൽക്കുന്നു. അടുത്ത സ്പന്ദം ആരംഭിക്കുന്നതു് 90 മൈക്രോസെക്കൻറു സമയം കഴിഞ്ഞിട്ടായിരിക്കും. ഈ 90 മൈക്രോസെക്കൻറു സമയം നിശബ്ദമായ ഒരു ഇടവേളയായിരിക്കും. ഈ സമയത്തിനുള്ളിൽ വന്നുചേരുന്ന പ്രതിപതന

തരംഗങ്ങൾ റിസീവറിൽ സ്വീകരിക്കുന്നതിന് തടസ്സ നേരിടുകയില്ല. ഒരു ഫ്ളാഷ്ലൈററ് ഉപയോഗിച്ച് ഫോട്ടോ എടുക്കുന്നതുപോലെയാണിത്. നിമിഷനേരംകൊണ്ട് ഫോട്ടോ എടുക്കണമെങ്കിൽ വസ്തു ഉജ്ജ്വലമായി പ്രകാശിപ്പിക്കപ്പെടണം. ആ ഹ്രസ്വസമയത്തിനുള്ളിൽതന്നെ ഫോട്ടോ എടുക്കുകയും വേണം. അതുപോലെ നിമിഷനേരം നീണ്ടുനിൽക്കുന്ന സ്പന്ദങ്ങൾകൊണ്ട് ശക്തമായ പ്രതിധ്വനി ലക്ഷ്യങ്ങളിൽനിന്നുണ്ടാകണമെങ്കിൽ തരംഗങ്ങളുടെ ഊർജ്ജ നിലവാരം വളരെ ഉയർന്നിരിക്കണം.

ട്രാൻസ്മിററിൽനിന്നു പുറപ്പെട്ടുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന ഹ്രസ്വമായ സ്പന്ദങ്ങൾ അതിനോട് ഘടിപ്പിച്ചിരിക്കുന്ന ആൻറിനാ (Antenna) ചിത്രം 14 യിലേയ്ക്കു നയിക്കപ്പെടുന്നു. ഒരു റേഡിയോ നിലയത്തിൽനിന്നുള്ള തരംഗങ്ങൾ എല്ലാ ദിശയിലും ഒരേ സമയത്തു പ്രക്ഷേപണം ചെയ്തുകൊണ്ടിരിക്കുന്നവയാണ്. എന്നാൽ റഡാറിലെ ആൻറിനായിൽ നിന്നു് പ്രക്ഷേപണം ചെയ്യപ്പെടുന്ന തരംഗങ്ങൾ ഒരു നിശ്ചിത സമയത്ത് ഒരു ദിശയിൽ കേന്ദ്രീകരിച്ച് അയച്ചാൽ മാത്രമേ ഫലപ്രദമായി ലക്ഷ്യത്തിലെത്തി പ്രതിപതിച്ച് വരുകയുള്ളു. ലോഹനിർമ്മിതമായ 'റിഫ്ളക്റ്റർ'കൾ ആൻറിനായിൽ ഘടിപ്പിച്ച് തരംഗങ്ങളെ ഒരു ദിശലക്ഷ്യമാക്കി പ്രക്ഷേപണം ചെയ്യുന്നു. ആൻറിന കറങ്ങിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്നതുകൊണ്ട് എല്ലാ ദിശവിലും ശക്തിയുള്ള തരംഗങ്ങൾ ഇടവിട്ട് സഞ്ചരിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുകയും ചെയ്യും.

ലക്ഷ്യത്തിൽ തട്ടി തിരിച്ചുവരുന്ന തരംഗങ്ങൾ റഡാറിലെ റിസീവറിൽ വന്നുചേരുന്നു. ട്രാൻസ്മിററർ സ്പന്ദങ്ങൾ പ്രക്ഷേപണം ചെയ്യുമ്പോൾ റിസീവർ പ്രവർത്തനരഹിതമായിരിക്കും. സ്പന്ദങ്ങൾ നിലച്ചുകഴിയുന്ന നിമിഷം റിസീവർ പ്രവർത്തനക്ഷമമാകുകയും പ്രതിപതന തരംഗങ്ങൾ അതിൽ സ്വീകരിക്കപ്പെടുകയും ചെയ്യും. ഇക്കാലത്തുള്ള റഡാറുകളിൽ തരംഗങ്ങൾ പ്രക്ഷേപണം ചെയ്യുന്നതും, സ്വീകരിക്കുന്നതും ആൻറിനായിൽകൂടിയാണ്. ചില റഡാറുകളിലെ ആൻ

റിനായിൽ ഒരു ഭാഗത്തു് പ്രക്ഷേപണം ചെയ്യുന്നതിനും വേറൊരു ഭാഗത്തു് പ്രതിപതന തരംഗങ്ങൾ സ്വീകരിക്കുവാനുമുള്ള സജ്ജീകരണങ്ങൾ ഉണ്ടായിരിക്കും. ഇവയെ 'ഡബിൾ ഡക്കർ' ആൻറിനാ എന്നു പറയുന്നു.

സ്പന്ദങ്ങൾ പ്രക്ഷേപണം ചെയ്യപ്പെടുന്ന സമയം മുതൽ പ്രതിപതന തരംഗങ്ങൾ സ്വീകരിക്കുന്നതുവരെയുള്ള സമയം കൃത്യമായി കണ്ടുപിടിച്ചാണു് ലക്ഷ്യത്തിൻെറ സ്ഥാനം നിർണ്ണയിക്കുന്നതെന്നു് പ്രസ്താവിച്ചുവല്ലോ? എന്നാൽ റഡാറുകളിൽ അതിൻെറ ആവശ്യം ഇന്നില്ല. റഡാർസ്കോപ്പിലെ തിരയിൽ (Screen) നിന്നു് ലക്ഷ്യത്തിൻെറ സ്ഥാനവും ദിശയും നേരിട്ടു മനസ്സിലാക്കാവുന്നതാണു്. ഇന്നു സാധാരണയായി ഉപയോഗിക്കപ്പെടുന്ന ഈ ഉപകരണത്തിനു് പ്ലാൻ പൊസിഷൻ ഇൻഡിക്കേറ്റർ (plan position indicator ചിത്രം 15) എന്നാണു് പറയുന്നതു്. ചുരുക്കി P. P. I എന്നു പറയുന്നു. ആൻറിനാ കറങ്ങിക്കൊണ്ടിരിക്കുമ്പോൾ അതിനൊത്തു് P.P.S യിൽനിന്നു് തിരയിൽ പതിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന കിരണാവലി വൃത്താകാരമായ തിരയിൽക്കൂടി കറങ്ങിക്കൊണ്ടിരിക്കും. തിരയിൽ ദിശയും, അകലവും അങ്കനം ചെയ്തിരിക്കും. പ്രതിപതന തരംഗങ്ങൾ ആൻറിനാ പിടിച്ചെടുത്തു് റിസീവറിലേക്കു നയിക്കുന്നു. റിസീവർ അതിനെ പ്രവർദ്ധമാക്കി റഡാർസ്കോപ്പിലെ തിരയിൽ കാണുന്ന കിരണാവലിയിൽ ചില 'ബ്ലോബുകൾ' പ്രത്യക്ഷപ്പെടുകയും ചെയ്യുന്നു. ഇതു് ലക്ഷ്യത്തെയാണു് കാണിക്കുന്നതു്. ലക്ഷ്യത്തെ പ്രതിനിധീകരിക്കുന്ന 'ബ്ലോബി'ൽക്കൂടി ലക്ഷ്യത്തിൻെറ അകലവും ദിശയും, തിരയിൽനിന്നു് നേരിട്ടു് മനസ്സിലാക്കാൻ കഴിയുന്നതാണു്.

ആരംഭകാലത്തു് ശത്രുവിമാനങ്ങളും, നശീകരണക്കപ്പലുകളും കണ്ടുപിടിക്കുന്നതിനു് ഉപയോഗിക്കപ്പെട്ടിരുന്ന റഡാറിൻെറ ഇന്നത്തെ ഉപയോഗം ബഹുമുഖമാണു്. റഡാറിൻെറ ആവിർഭാവത്തിനു മുമ്പു് അനേകം വിമാനങ്ങൾ പേമാരിയിലും, കൊടുങ്കാറ്റിലും അകപ്പെട്ടു് തകർന്നുപോയിട്ടുണ്ടു്.

മൂടൽ മഞ്ഞു പുതച്ചു നിൽക്കുന്ന പർവ്വത ശിഖരങ്ങളിൽ മുട്ടി തകർന്നിട്ടുണ്ടു്. ഇക്കാലത്തു് റഡാർ ഏർപ്പെടുത്തിയിട്ടുള്ള വിമാനങ്ങൾ അപകട സാദ്ധ്യതകൾ വളരെ അകലെ വച്ചുതന്നെ കണ്ടറിഞ്ഞു് അപകടം ഒഴിവാക്കുന്നു കപ്പലുകൾക്കു് വെള്ളത്തിൽ ഒഴുകി നടക്കുന്ന അപകടകാരികളായ മഞ്ഞുമലകളും, മൂടൽ മഞ്ഞും, മാർഗ്ഗമധ്യേയുള്ള മററു പ്രതിബന്ധങ്ങളും ഇന്നൊരു പ്രശ്നമല്ലാതായി തീർന്നിട്ടുണ്ടു്. ശത്രുക്കളുടെയും മിത്രങ്ങളുടെയും കപ്പലുകൾ വളരെ അകലെവച്ചുതന്നെ തിരിച്ചറിയുവാൻ കഴിയുന്നു. കാലാവസ്ഥ നിരീക്ഷകർക്കും വാനശാസ്ത്ര ഗവേഷകർക്കും റഡാർ ഒരു അനുഗ്രഹം തന്നെയാണു്.

അദ്ധ്യായം നാലു്

പ്രതിധ്വനി അന്ധരിൽ

ചില ജീവികൾ സ്വന്തം നിലനില്പിനുവേണ്ടി പ്രതിധ്വനി എങ്ങനെ പ്രയോജനപ്പെടുത്തുന്നു എന്നു നാം കണ്ടുകയുണ്ടായി. ഈ പ്രകൃതിരഹസ്യം ചൂഷണം ചെയ്തു മനുഷ്യർ നിർമ്മിച്ചിട്ടുള്ള ചില ഉപകരണങ്ങളെ കുറിച്ചു കഴിഞ്ഞ അദ്ധ്യായത്തിൽ പ്രസ്താവിച്ചു. കണ്ടുപിടിത്തങ്ങളുടെ പ്രാധാന്യം മനുഷ്യജീവിതം ലഘൂകരിക്കാനും സുഖപ്രദമാക്കാനും അവ എന്തുമാത്രം സഹായിക്കുന്നു എന്നതിനെ ആശ്രയിച്ചാണിരിക്കുന്നതു്. ശബ്ദതരംഗങ്ങളെക്കുറിച്ചും, പ്രതിധ്വനിയെക്കുറിച്ചും മനുഷ്യർ വളരെയേറെ വസ്തുതകൾ ഇതിനകം ഗ്രഹിച്ചുകഴിഞ്ഞിട്ടുണ്ടു്. ഈ വിജ്ഞാനത്തിനു് കാഴ്ചശക്തി നിഷേധിക്കപ്പെട്ട അന്ധർക്കു് 'കാണുവാനു'ള്ള ഒരു ഉപായം സംഭാവന ചെയ്തുകൂടെ?

അന്ധത ഒരു ശാപംതന്നെയാണു്. നമ്മുടെ സമീപത്തുകൂടി തപ്പിത്തടഞ്ഞു സാവധാനം നടന്നുപോകുന്ന അന്ധരെ നോക്കി നാം സഹതപിക്കാറുണ്ടു്. കാഴ്ചകൊണ്ടു് അനുഗ്രഹീതരായ ആളുകളെപ്പോലെ കർമ്മനിരതരാകാൻ അവർക്കു കഴിയുകയില്ല. നമ്മുടെ തലച്ചോറിന്റെ ഘടനയും, പ്രവർത്തനചാതുരിയും,

കൂട്ടതലും പ്രകാശത്തിൽ അധിഷ്ഠിതമായതുകൊണ്ടു് അന്ധർക്ക് വലിയ പരാധീനത അനുഭവിക്കേണ്ടിവരുന്നു. എന്നാൽ കണ്ണുമാത്രമല്ല ബാഹ്യലോകവുമായി സമ്പർക്കം പുലർത്തുവാനുള്ള ഏകമാർഗ്ഗമെന്ന ഒരു സമാധാനമുണ്ടു്.

മുന്നിലുള്ള പ്രതിബന്ധങ്ങൾ അന്ധരായ ആളുകൾ മനസ്സിലാക്കുന്നതെങ്ങിനെയാണു്? ചിലപ്പോൾ നമ്മെ അമ്പരിപ്പിക്കുന്ന രീതിയിൽ ഇരുചക്രവാഹനങ്ങളും ആളുകളും നിറഞ്ഞൊഴുകുന്ന നഗരവീഥികളിൽകൂടി സഞ്ചരിക്കുന്നതു നാം കാണാറുണ്ടു്. അന്ധന്മാരും അവരോടു് സമ്പർക്കമുള്ളവരും ഇതിനു് നൽകുന്ന വ്യാഖ്യാനങ്ങൾ പരസ്പര വിരുദ്ധങ്ങളാണു് കയ്യും മുഖവുമാണു് വസ്തുക്കളുടെ സാമീപ്യം മനസ്സിലാക്കാൻ സഹായിക്കുന്നതെന്നാണു് ചിലരുടെ വിശ്വാസം. അതല്ല ശ്രവണമാണെന്നും, ദേഹത്തു് അനുഭവപ്പെടുന്ന 'മർദ്ദം' ആണെന്നും, നിർവചിക്കാൻ കഴിയാത്ത ഒരു അനുഭൂതിയാണെന്നും വിവിധ അഭിപ്രായഗതികൾ ഉണ്ടാകാറുണ്ടു്.

ഒരു കാര്യം സംശയാതീതമാണു്. അവർ വസ്തുക്കളുടെ സാന്നിദ്ധ്യം ഗ്രഹിക്കാൻ കഴിവുള്ളവരാണു്. കൈകൊണ്ടു് സ്പർശിച്ചറിയാതെ തന്നെ അവർ വസ്തുക്കളുടെ സാന്നിദ്ധ്യം മനസ്സിലാക്കുകയും ചെയ്യുന്നുണ്ടു്. എങ്ങിനെയുള്ള ഭൗതിക സന്ദേശമാണു് അവർ സ്വീകരിക്കുന്നതു് എന്നാണു് നമുക്കറിയേണ്ടതു്. നിർജ്ജീവവസ്തുക്കളിൽ ഭൗതികതത്വങ്ങൾ പരീക്ഷിച്ചറിയുക എളുപ്പമാണു്. എന്നാൽ സങ്കീർണ്ണ സ്വഭാവമുള്ള ഒരു ജീവിയിൽ പ്രവർത്തിക്കുന്ന ഭൗതിക തത്വരഹസ്യങ്ങൾ വെളിച്ചത്തുകൊണ്ടുവരാൻ പ്രയാസം നേരിടുന്നു. പ്രതികരണം പലപ്പോഴും വിഭിന്നങ്ങളായി തീരുന്നതാണു് ഇതിനുമുഖ്യകാരണം.

അന്ധന്മാർക്കു് ആശ്വാസംനൽകുന്ന ഈ രഹസ്യം വെളിപ്പെടുത്തുന്നതിനു്, അന്ധന്മാർ പരീക്ഷണ വിധേയരാക്കപ്പെട്ടു. ഇവർക്കു് നടന്നുപോകേണ്ട പാതയിൽ, പല സ്ഥലങ്ങളിലായി തിരകൾ വച്ചുകയും, എന്തകലത്തിൽ വച്ചു് അവയുടെ സാന്നിദ്ധ്യം

മനസിലാക്കാൻ കഴിയുന്നു എന്നു പറയുവാൻ അവരോട് ആവശ്യപ്പെടുകയും ചെയ്തു. അനേകം അടി അകലെവെച്ചുതന്നെ പ്രതിബന്ധങ്ങളുടെ സാന്നിദ്ധ്യം ഗ്രഹിക്കാൻ കഴിയുന്നതായി പരീക്ഷണത്തിൽ നിന്നു വെളിവായി. ഏതു് അവയവമാണ് ഇതിനു് അന്ധരെ സഹായിക്കുന്നതു്?

പ്രബലമായ രണ്ടു വാദഗതികളാണു് മുമ്പോട്ടുവന്നതു്. വസ്തുക്കളെ സമീപിക്കുമ്പോൾ തൊക്കിൽ അനുഭവപ്പെടുന്നമർദ്ദ (Skin pressure theory) മാണ് ഇതിനു സഹായിക്കുന്നതു്. ഈ മർദ്ദം കൂടുതലായി അനുഭവപ്പെടുന്നതു് കയ്യിലും മുഖത്തുമുള്ള തൊക്കിലാണത്രേ. ഈ വാദഗതിയുടെ സാധുത തെളിയിക്കാൻ മുഖവും കയ്യും ഭദ്രമായി ആവരണം ചെയ്യപ്പെട്ട അന്ധർ പരീക്ഷണവിധേയരാക്കപ്പെട്ടു. ആവരണം ഒരു വിധത്തിലും ശ്രവണശക്തിയെ ബാധിക്കാതിരിക്കാൻ പ്രത്യേകം ശ്രദ്ധിച്ചിരുന്നു. കട്ടിയുള്ള തുകൽ കൊണ്ടാണ് കയ്യും മുഖവും മൂടിക്കെട്ടിയിരുന്നതു്. ഈ കവചം ധരിച്ച അന്ധരോട് മാർഗ്ഗമദ്ധ്യത്തിലുള്ള പ്രതിബന്ധങ്ങൾ എന്തകലെവച്ച് മനസ്സിലാക്കാൻ കഴിയുന്നു എന്നു പറയുവാൻ നിർദ്ദേശിക്കപ്പെട്ടു. ഈ പരീക്ഷണത്തിനു് നിയോഗിക്കപ്പെട്ടിരുന്ന അന്ധരിൽ ചിലർ തങ്ങൾ കയ്യും മുഖവും കൊണ്ടാണ് കാണുന്നതു് എന്നു് ശക്തിയായി വാദിച്ചവരായിരുന്നു. പ്രതിബന്ധങ്ങളെ തിരിച്ചറിയാനുള്ള അവരുടെ കഴിവു് മാററമൊന്നും കൂടാതെ തന്നെ നില നിൽക്കുന്നതായിട്ടാണ് കാണുവാൻ കഴിഞ്ഞതു്.

മററൊരുകൂട്ടർ വാദിച്ചതു് ശ്രവണശക്തിയാണ് തങ്ങളെ 'കാണാ'ൻ സഹായിക്കുന്നതെന്നായിരുന്നു. ഈ വാദഗതി ശരിയാണെങ്കിൽ ശ്രവണശക്തി പൂർണ്ണമായി നിഷേധിക്കപ്പെട്ട അന്ധർക്ക് വസ്തുക്കളുടെ സാന്നിദ്ധ്യം മനസ്സിലാക്കാനുള്ള കഴിവ് ഇല്ലാതെയാകണം. കാതു് ഭദ്രമായി അടച്ചു കെട്ടിയ അന്ധന്മാരിൽ മുൻപരീക്ഷണം ആവർത്തിക്കപ്പെട്ടു. കാതു് സാധാരണഗതിയിൽ അടച്ചു കെട്ടിയാൽ തരംഗ ദൈർഘ്യം വളരെ കുറഞ്ഞ ശബ്ദങ്ങൾ കേൾക്കാൻ കഴിഞ്ഞെന്നുവരും.

അതുകൊണ്ടു് വേണ്ട മുൻകരുതലോടുകൂടിയായിരുന്നു കാതുകെട്ടിയടച്ചിരുന്നതു്. പരീക്ഷണ വിധേയരാക്കപ്പെട്ട അന്ധന്മാരെല്ലാംതന്നെ മാർഗ്ഗതടസ്സങ്ങൾ കണ്ടെത്തുന്നതിൽ പൂർണ്ണമായി പരാജയപ്പെടുകയാണുണ്ടായതു്. ഇങ്ങനെ ശ്രവണേന്ദ്രിയമാണു് അന്ധരെ 'കാണുന്ന'തിനു് സഹായിക്കുന്നതെന്ന വസ്തുത സംശയാതീതമായി അംഗീകരിക്കപ്പെട്ടു.

ശ്രവണേന്ദ്രിയം കൊണ്ടാണു് അന്ധർ കാണുന്നതെന്നു് സമ്മതിച്ചാൽ തന്നെയും, ശബ്ദതരംഗങ്ങൾ കൊണ്ടല്ല, വസ്തുക്കളുടെ സാമീപ്യം കൊണ്ടു് ശ്രവണേന്ദ്രിയത്തിൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന മററു ചില വ്യതിയാനങ്ങളാണെന്നു് ചിലർ സംശയിച്ചേക്കാം. താഴെ വിവരിക്കുന്ന പരീക്ഷണങ്ങളിൽക്കൂടി പ്രതിധ്വനിയാണു് അന്ധരെ സഹായിക്കുന്നതെന്നു് വ്യക്തമാക്കപ്പെട്ടു.

വളരെ അകലെയുള്ള നിശബ്ദമായ ഒരു മുറിയിൽ അന്ധന്മാരെ ഇരുത്തി അവർക്കു് ഓരോ ടെലിഫോൺ നൽകപ്പെട്ടു. കയ്യിലൊരു മൈക്രോഫോണുമായി ഒരാൾ നിശബ്ദമായി തിരയുടെ നേർക്കു നടന്നുകൊണ്ടിരുന്നു. ടെലിഫോണിൽക്കൂടി അന്ധന്മാർ കേൾക്കുന്ന ശബ്ദം മൈക്രോഫോൺ തിരസ്സു സമീപംനിന്നു് ശേഖരിച്ചയയ്ക്കുന്ന ശബ്ദം മാത്രമായിരുന്നു. ഈ ശബ്ദം ശ്രദ്ധിച്ചിരുന്ന അന്ധർക്കു് മൈക്രോഫോണുമായി നടന്നിരുന്ന ആൾ തിരസ്സു 6·4 അടി മുമ്പിൽ എത്തിയപ്പോൾ തിരയുടെ സാന്നിദ്ധ്യം മനസ്സിലാക്കാൻ കഴിഞ്ഞു. അന്ധന്മാർ നേരിട്ടു നടന്നിരുന്നപ്പോൾ 6.9 അടി അകലെവച്ചാണു് അവയുടെ സാന്നിദ്ധ്യം ഗ്രഹിക്കാൻ കഴിഞ്ഞിരുന്നതു്. ഈ പരീക്ഷണത്തിൽനിന്നു് തിരയിൽ നിന്നുണ്ടാകുന്ന പ്രതിധ്വനിയാണു് അവരെ കാണാൻ സഹായിച്ചതു എന്നു അനുമാനിക്കുന്നതിൽ തെററില്ല.

ജീവനുള്ള വസ്തുക്കളിൽ ഭൗതികശാസ്ത്രതത്വങ്ങൾ പരിശോധിക്കുമ്പോൾ വിഷമങ്ങൾ ഉണ്ടാകുമെന്നു് സൂചിപ്പിച്ചുവല്ലോ? മൈക്കുകൊണ്ടുപോയ ആളിൽ തിരസ്സു സമീപം

എത്തിയപ്പോൾ, അനിയന്ത്രിതമായി ശ്വാസഗതിയിലും കാൽപെരുമാററത്തിലും മാററങ്ങൾ ഉണ്ടായെന്നുവരും. പരീക്ഷണം നടത്തുന്ന എന്നബോധം അയാളിലുണ്ടല്ലോ ? അയാളിലുണ്ടായ മാററങ്ങൾ ദൂരെയിരുന്ന അന്ധന്മാരെ തിരയുടെ സാമീപ്യം മനസ്സിലാക്കുവാൻ സഹായിച്ചുകൂടെന്നില്ല. ഈ ന്യൂനത പരിഹരിക്കാൻ മൈക്രോഫോൺ ഒരു വാഹനത്തിൽ ഘടിപ്പിച്ച് തിരയ്ക്കുനേരെ അയച്ചു പരീക്ഷണം ആവർത്തിക്കപ്പെട്ടു. ടെലിഫോണിൽക്കൂടി കേൾക്കുന്ന പ്രതിധ്വനിയിൽക്കൂടി തിരയുടെ സാമീപ്യം മനസ്സിലാക്കുവാൻ അവർക്കു പ്രതിബന്ധമൊന്നുമുണ്ടായില്ല.

മുൻ പരീക്ഷണങ്ങളിൽനിന്ന് വസ്തുക്കളിൽ നിന്നുണ്ടാകുന്ന പ്രതിധ്വനിയാണ് അന്ധരെ സഹായിക്കുന്നതെന്ന് വ്യക്തമായി തെളിഞ്ഞു. സാധാരണ ഗതിയിൽ ഈ ശബ്ദം എവിടെനിന്നാണ് പുറപ്പെടുന്നത് ? കാലൊച്ച തീർച്ചയായും അന്ധർക്ക് സഹായകമാണ്. കനത്ത പാദരക്ഷകൾ ധരിച്ചു നടക്കുന്ന അന്ധർ ശരാശരി 6.9 അടി അകലെ വച്ചു തന്നെ പ്രതിബന്ധങ്ങൾ മനസ്സിലാക്കുന്നു. എന്നാൽ സ്റ്റാക്കിംങ്സ് മാത്രം ധരിച്ചുകൊണ്ട് കാർപ്പററിൽക്കൂടി നടന്ന അന്ധന്മാരുടെ ഗ്രഹണശക്തി ഗണ്യമായി കുറയുന്നതായി കാണപ്പെട്ടു. ചിലർ കൈകൊണ്ടും മററും ചില ശബ്ദങ്ങൾ പുറപ്പെടുവിക്കുന്നു. മററു ചിലർ സ്വന്തം ശ്വാസോച്ഛ്വാസത്തിലും വസ്ത്രങ്ങളുടെ ചലനത്തിലും നിന്നുണ്ടാകുന്ന ശബ്ദത്തെ ആശ്രയിക്കുകയാണ് ചെയ്യുന്നത്.

ശബ്ദങ്ങളിൽ നിന്ന് വസ്തു സ്ഥിതിചെയ്യുന്ന ദിശ മനസ്സിലാക്കുന്നതെങ്ങിനെയെന്ന് പരിശോധിക്കാം. രാത്രിയിൽ ഒരു ശബ്ദം കേട്ടാൽ എവിടെ നിന്നാണുണ്ടായതെന്ന് നമുക്ക് ഏറെക്കുറെ അനുമാനിക്കാൻ കഴിയുന്നു. ചിലപ്പോൾ നാം തല ചരിച്ചു പിടിച്ച് ശബ്ദം ശ്രദ്ധിക്കാറുണ്ട്. ശബ്ദം ഏതു ചെവിയിലാണോ കൂടുതൽ ഉച്ചത്തിൽ കേൾക്കുന്നത് ആ ചെവിയുടെ ദിശയിൽ നിന്നാണ് ശബ്ദമുണ്ടായതെന്ന് നാം ഏറെക്കുറെ ഗ്രഹിക്കുന്നു. എന്നാൽ സാധാരണയായി രണ്ടു ചെവി

യിലും ശബ്ദം കേൾക്കുന്ന സമയത്തിന്റെ വ്യത്യാസത്തിൽനിന്നാണു് ശബ്ദമുണ്ടാകുന്ന ദിശ നാം മനസ്സിലാക്കുന്നതു്. ശബ്ദം നേരേ മുമ്പിൽ നിന്നാണെങ്കിൽ രണ്ടു ചെവിയിലും ഒരേ സമയത്തു കേൾക്കുന്നു. വലതുവശത്തു നിന്നാണു് ശബ്ദമുണ്ടാകുന്നതെങ്കിൽ വലതു ചെവിയിൽ ശബ്ദതരംഗങ്ങൾ ആദ്യം എത്തിച്ചേരുന്നതു കുറച്ചു സമയംകൂടി കഴിഞ്ഞിട്ടായിരിക്കും, രണ്ടു ചെവികളും തമ്മിലുള്ള ശരാശരി അകലം 20 സെ. മീറററാണു്. ശബ്ദത്തിന്റെ പ്രവേഗം മില്ലി സെക്കൻറിൽ 30 സെ.മീ. ആയതുകൊണ്ടു് 20 സെ:മീ. സഞ്ചരിക്കാൻ വേണ്ടിവരുന്ന സമയം ഒരു മില്ലി സെക്കൻറിൽ അല്പം കുറവായിരിക്കും. ഈ സമയ വ്യത്യാസം ഗ്രഹിച്ചറിഞ്ഞു വസ്തുക്കളുടെ ദിശ നിർണ്ണയിക്കുവാനുള്ള നമ്മുടെ ശ്രവണേന്ദ്രിയത്തിനുള്ള കഴിവു് അത്ഭുതകരംതന്നെയാണു്. 5 മീററർ അകലെ 10° കോണിൽ സ്ഥിതിചെയ്യുന്ന ഒരു വസ്തുവിൽനിന്നുണ്ടാകുന്ന ശബ്ദം രണ്ടു ചെവിയിലും വന്നെത്തുന്നതിനുള്ള സമയവ്യത്യാസം ഒരു മില്ലി സെക്കൻറാണു്. നേരെ മുമ്പിൽനിന്നു വരുന്ന ശബ്ദം ഒരേസമയത്താണു് രണ്ടു ചെവിയിലും എത്തുന്നതു്. അപ്പോൾ നാം തല ചരിച്ചു് ഒരു ചെവി ശബ്ദത്തിനു് നേരെ കൊണ്ടുവരികയും, അപ്പോഴുണ്ടാകുന്ന സമയവ്യത്യാസത്തിൽ നിന്നു് ദിശ നിശ്ചയിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു.

പ്രതിധ്വനിയാണു് അന്ധരെ നയിക്കുന്നതെന്നു് പ്രസ്താവിച്ചുവല്ലോ? ഏതുതരം ശബ്ദമാണു് അന്ധർക്കു് ശ്രവണയോഗ്യമായ പ്രതിധ്വനി ഉല്പാദിപ്പിക്കാൻ ഏററവും ഉചിതമെന്നു് നോക്കാം, വസ്തുവിനെ സമീപിച്ചുകൊണ്ടിരുന്ന ഒരു ഉച്ചഭാഷിണിയിൽ നിന്നുണ്ടായ ശബ്ദം ടെലിഫോണിൽകൂടി ശ്രവിച്ച അന്ധന്മാർക്കു് 3.7 അടി അകലെവച്ചു മാത്രമേ അവയെ 'കാണാൻ' കഴിഞ്ഞുള്ളു. കാലൊച്ചകൊണ്ടു് 6.9 അടി അകലെ വച്ചു കാണുവാൻ അവർക്കു കഴിയുന്നു. 'ക്ലിക്കു' ശബ്ദത്തിനു് ശ്രവണയോഗ്യമായ പ്രതിധ്വനി സൃഷ്ടിക്കാൻ കഴിയുമെന്നു് മുമ്പു് പ്രസ്താവിച്ചിട്ടുണ്ടല്ലോ? അതുകൊണ്ടായിരിക്കണം ചില അന്ധന്മാർ ഇരുമ്പുലാടങ്ങൾ തറച്ച പാദരക്ഷകൾ ഇഷ്ട

പ്പെടുന്നതു്. ചിലർ ക്ലിക്കർ ഉപയോഗിക്കുന്നുണ്ടു്. മററു ചിലർ അവർ ഉപയോഗിക്കുന്ന വടി തറയിൽ മുട്ടിച്ചു് ശബ്ദം പുറപ്പെടുവിക്കുന്നു ഇതിൽ ഏതു ശബ്ദമാണു് അന്ധർക്കു് വ്യക്തമായ പ്രതിധ്വനി നൽകാൻ പററിയതു്? ഇന്നും ഉത്തരം കിട്ടാതെ അവശേഷിക്കുന്ന ഒരു ചോദ്യമാണിതു്. ശരിയായ ഉത്തരത്തിനുവേണ്ടി നടത്തിയ ഗവേഷണങ്ങളെല്ലാംതന്നെ നിരാശാജനകമായിട്ടാണു് പരിണമിച്ചതു്. അന്ധർക്കു് അറിയേണ്ട വസ്തുക്കളെല്ലാംതന്നെ ശ്രവണയോഗ്യമായ പ്രതിധ്വനി ഉത്പാദിപ്പിക്കാൻ കഴിവുള്ളവയാണു്. നല്ല ഒച്ചയുള്ള ശബ്ദത്തെ തുടർന്നുണ്ടാകുന്ന പ്രതിധ്വനിയെ വിഗണിക്കുന്ന പ്രവണത നമ്മുടെ ശ്രവണേന്ദ്രിയത്തിനുണ്ടെന്നു നാം കണ്ടുകഴിഞ്ഞതാണു്. ഇതായിരിക്കുമോ അന്ധർക്കു് പ്രതിധ്വനി വേണ്ടവണ്ണം പ്രയോജനപ്പെടുത്താനുള്ള പ്രതിബന്ധം? ഇതിനൊരു പ്രതിവിധി നിർദ്ദേശിക്കാൻ ശാസ്ത്രത്തിനു് സാദ്ധ്യമല്ലേ ? ഈ പ്രശ്നങ്ങൾക്കെല്ലാം അനതിദൂരഭാവിയിൽതന്നെ ശാസ്ത്രം പരിഹാരം ഉണ്ടാക്കുമെന്നും അശരണരായ അന്ധരെ അനുഗ്രഹിക്കുമെന്നും നമുക്കു പ്രത്യാശിക്കാം.

R. V. Memorial Press. Tvm.

Printed at

R. V. MEMORIAL PRESS

M. G. ROAD, TRIVANDRUM-1

വീക്ഷണം ശബ്ദതരംഗങ്ങളിൽക്കൂടി

SIE

ഗൈഡൻസ് വിഭാഗം

സ്റ്റേററ് ഇൻസ്ററിററ്യൂട്ട് ആഫ് എഡ്യൂക്കേഷൻ

വിദ്യാഭ്യാസവകുപ്പ്

കേരളം

1970

Indic Digital Archive Foundation

gpura.org