CLASS 2 | Part 1

പഠനക്കുറിപ്പ്

കാലാവസ്ഥാ പ്രവചനം: എന്ത്, എങ്ങനെ?

ഭൂമിയിലെ കാലാവസ്ഥയെക്കുറിച്ച് മനസ്സിലാക്കുന്നതിനും അന്തരീക്ഷസ്ഥിതിയിലെ മാറ്റങ്ങൾ പ്രവചിക്കുന്നതിനും വേണ്ടിയുള്ള മനുഷ്യന്റെ ശ്രമങ്ങൾക്ക് ഒരുപക്ഷെ മനുഷ്യരാശിയോളം തന്നെ പഴക്കം കാണും. 3500 BCE ൽ മഴപെയ്യിക്കാനായി ഈജിപ്റ്റിൽ പലതരം അനുഷ്ഠാനങ്ങൾ നടത്തിയിരുന്നു. ബാബിലോണിയൻ സംസ്കാരത്തിൽ ചന്ദ്രനുചുറ്റും കാണുന്ന ചില പ്രഭാവലയങ്ങൾ (halos) നിരീക്ഷിച്ച് മഴ പ്രവചിക്കുന്നരീതി നിലനിന്നിരുന്നതായി കരുതുന്നു. കൂടാതെ, ചില പക്ഷികളെയും പ്രാണികളെയും മറ്റും നിരീക്ഷിച്ചും മഴവരുന്നത് മുൻകൂട്ടിയറിയാൻ പ്രാചീന ജനത ശ്രമിച്ചിരുന്നു. ഇത്തരം പ്രവചനങ്ങളുമായി ബന്ധപ്പെട്ട് പല പഴമൊഴികളും നിലനിന്നിരുന്നു (weather lores). പക്ഷെ, ഇത്തരം ശ്രമങ്ങൾ ഒന്നും കൃത്യമായ ശാസ്ത്രീയ പിൻബലമുള്ളവയായിരുന്നില്ല. പലരുടെയും അനുഭവങ്ങളിൽ നിന്ന് പകർന്നുകിട്ടിയവയും നിരന്തരമായ നിരീക്ഷണങ്ങൾ വഴി ഉരുത്തിരിഞ്ഞ ആശയങ്ങളും വിശ്വാസങ്ങളും എല്ലാം ചേർന്നതായിരുന്നു പണ്ടുകാലത്തെ പ്രവചന രീതികൾ. ഇതിനൊരു മാറ്റം സംഭവിക്കുന്നത് 17-18 നൂറ്റാണ്ടുകളിലായി നിരീക്ഷണോപാധികളുടെ (observational instruments) കണ്ടുപിടിത്തത്തോടെയാണ്. പിന്നീട് ഭൂമിയുടെ അന്തരീക്ഷത്തെക്കുറിച്ചും കാലാവസ്ഥയെക്കുറിച്ചുമുള്ള നമ്മുടെ അറിവുകൾ മെച്ചപ്പെട്ടുവരുകയും, അതിന്റെ ഫലമായി കൂടുതൽ ശാസ്ത്രീയമായ പ്രവചനരീതികൾ പലരും തുടങ്ങിവെച്ചു. കൂടുതൽ മികച്ച പ്രവചന പദ്ധതികൾ വികസിപ്പിക്കുന്നതിൽ ഒരു വഴിത്തിരിവാകുന്നത് 1950 കളിൽ കമ്പ്യൂട്ടറുകളുടെ വരവോടെയാണ്. പലവിധ കാരണങ്ങളാൽ അത്ഭുതപൂർവ്വമായ വളർച്ചയായിരുന്നു പിന്നീടങ്ങോട്ട് ഈ മേഖലയിൽ. നാളത്തെ മഴപെയ്യുമോ എന്നതുമുതൽ ഈ നൂറ്റാണ്ടിന്റെ അവസാനം ഭൂമിയിലെ കാലാവസ്ഥ എങ്ങനെയായിരിക്കും

എന്നറിയുന്നതിനുവരെ ഇന്ന് നാം പലരീതിയിലുള്ള പ്രവചനങ്ങൾ നടത്തിവരുന്നു. ഇന്ന് നിലനിൽക്കുന്ന ഇത്തരം പ്രവചന സംവിധാനങ്ങളെക്കുറിച്ച് കൂടുതൽ പരിശോധിക്കുകയാണ് ഇവിടെ.

അൽപ്പം ചരിത്രം

കാലാവസ്ഥാ പ്രവചനം എന്നുകേൾക്കുമ്പോൾ ഒരുപക്ഷെ നമ്മുടെ മനസ്സിൽ ആദ്യം എത്തുന്നത് “കേരളത്തിൽ രണ്ടുദിവസത്തേക്ക് ഇടിയോടുകൂടിയ മഴയ്ക്ക് സാധ്യത”, “കേരളത്തിൽ പരക്കെ ശക്തമായ മഴയ്ക്ക് സാധ്യത” എന്നിങ്ങനെയുള്ള മുന്നറിയിപ്പുകൾ ആയിരിക്കും. അതായത്, വരുന്ന ഏതാനും ദിവസത്തെ അന്തരീക്ഷത്തിന്റെ സ്വഭാവം എങ്ങനെയായിരിക്കും എന്നുള്ള പ്രവചനങ്ങൾ. അഥവാ, അന്തരീക്ഷസ്ഥിതി പ്രവചനങ്ങൾ (weather predictions/forecasts). വലിയ മഴപ്പെയ്ത്തുകൾ, ചുഴലിക്കാറ്റുകൾ എന്നിങ്ങനെ പലവിധ ദുരന്തങ്ങൾ മുൻകൂട്ടി അറിയുവാനും അതുവഴി അപകടങ്ങൾ കുറയ്ക്കുന്നതിനും മറ്റും ഇത്തരത്തിലുള്ള മുന്നറിയിപ്പുകൾ ഏറെ അത്യാവശ്യമാണ്. മുൻപ് സൂചിപ്പിച്ചതുപോലെ, പണ്ടുകാലത്ത് ചില സൂചനകൾ മനസ്സിലാക്കി മനുഷ്യർ ചുഴലിക്കാറ്റിന്റെ വരവും മഴയുടെ സാന്നിധ്യവും മറ്റും പ്രവചിക്കുവാൻ ശ്രമിച്ചിരുന്നു. പിന്നീട് താപനില അളക്കുവാൻ തെർമോമീറ്ററും (thermometer), മർദ്ദം അളക്കുന്നതിനുള്ള ബാരോമീറ്ററും (barometer), കാറ്റിന്റെ വേഗത നിർണ്ണയിക്കാൻ അനിമോമീറ്ററും (anemometer), ഈർപ്പത്തിന്റെ അളവ് കണക്കാക്കാൻ ഹൈഗ്രോമീറ്ററും (hygrometer) കണ്ടുപിടിക്കപ്പെട്ടതോടെ ചിലയിടങ്ങളിൽ, വിശേഷിച്ചും പാശ്ചാത്യ രാജ്യങ്ങളിൽ, നിരീക്ഷണ കാമ്പെയിനുകൾ (observational campaigns) നടന്നുവന്നു. പിന്നീട് ടെലിഗ്രാഫിന്റെ കണ്ടുപിടിത്തത്തോടെ ദൂരെസ്ഥലങ്ങളിൽ നിന്നുള്ള ഡാറ്റ വളരെ പെട്ടന്നുതന്നെ ശേഖരിക്കാം എന്നായി. ഇങ്ങനെ കുറെ സ്ഥലങ്ങളിൽ നിന്ന് ലഭിക്കുന്ന ഡാറ്റ, മാപ്പുകളിൽ അടയാളപ്പെടുത്തി വെതർ മാപ്പുകൾ (weather maps) നിർമ്മിച്ചു. വലിയൊരു പ്രദേശത്തെ അന്തരീക്ഷ സവിശേഷതകൾ ഇത്തരം മാപ്പുകളിൽ നിന്ന് എളുപ്പം മനസ്സിലാക്കുവാൻ സാധിക്കുമായിരുന്നു. പതുക്കെ, മഴയ്ക്ക് കാരണമാകുന്നതും ചുഴലിക്കാറ്റുകളുടെ സാന്നിധ്യം കാണിക്കുന്നതുമായ പ്രത്യേകമായ പാറ്റേണുകൾ (weather patterns) വെതർ മാപ്പുകൾ വിശകലനം ചെയ്ത് മനസ്സിലാക്കാമെന്ന സ്ഥിതിയായി. കൂടാതെ, ഏതാനും ദിവസത്തെ മാപ്പുകൾ പരിശോധിച്ചാൽ പല വെതർ പാറ്റേണുകളുടെയും സഞ്ചാരം (movement) ഏറെക്കുറെ കൃത്യമായി മനസ്സിലാക്കാമായിരുന്നു. 1850 ന് ശേഷം യുകെയിലും അമേരിക്കയിലും വെതർ മാപ്പുകൾ ഉപയോഗപ്പെടുത്തിയുള്ള പ്രവചനങ്ങൾ തുടങ്ങിയിരുന്നു.

ഇരുപതാം നൂറ്റാണ്ടിന്റെ തുടക്കത്തിൽ വിലേം ബിയേക്നെസ് (Vilhelm Bjerknes) എന്ന നോർവീജിയൻ ശാസ്ത്രജ്ഞനാണ് പ്രവചനത്തിന് പുതിയൊരു ആശയം അവതരിപ്പിച്ചത്. അതായത്, മാപ്പുകൾ അടിസ്ഥാനപ്പെടുത്തിയുള്ള പ്രവചനങ്ങൾക്ക് പകരം അന്തരീക്ഷസ്ഥിതിയേ നിയന്ത്രിക്കുന്ന ഭൗതികനിയമങ്ങളെ മനസ്സിലാക്കി അതിനുവേണ്ട ഗണിത സമവാക്യങ്ങൾ (governing equations) നിർധാരണം ചെയ്ത് പ്രവചനം സാധ്യമാക്കാം എന്ന് ആദ്യമായി അഭിപ്രായപ്പെട്ടത് അദ്ദേഹമാണ്. ഇത്തരം ഒരു പ്രവചനം നടത്തുന്നതിന് ആവശ്യമായ ഗണിതസമവാക്യങ്ങളുടെ ഒരു ചട്ടക്കൂട്ടും (mathematical framework) അദ്ദേഹം നിർദ്ദേശിച്ചിരുന്നു. ഏതാനും വർഷങ്ങൾക്ക് ശേഷം 1922 ൽ ഇംഗ്ലീഷ് ശാസ്ത്രജ്ഞനായ ലൂയിസ് റിച്ചാർഡ്സൺ (Lewis Richardson) ആണ് ആദ്യമായി ഇത്തരത്തിലൊരു പ്രവചനത്തിന് പ്രായോഗിക സംവിധാനം ചിട്ടപ്പെടുത്തിയത്. ഏറെ പ്രതീക്ഷയോടെ റിച്ചാർഡ്സൺ നടത്തിയ പ്രവചനം നിർഭാഗ്യവശാൽ അമ്പേ പാളിപ്പോയി. യാഥാർഥ്യവുമായി ഒരുതരത്തിലും പൊരുത്തപ്പെടാത്ത റിസൾട്ടുകളാണ് അദ്ദേഹത്തിന് ലഭിച്ചത്. പ്രവചനത്തിനായി

ഉപയോഗിച്ച ഇൻപുട് ഡാറ്റയിലെ പിശകായിരിക്കും തെറ്റായ ഫോർകാസ്റ്റിൽ കലാശിച്ചതെന്ന് വിശ്വസിച്ചു റിച്ചാർഡ്സൺ. പിന്നീടുള്ള വിശദമായ പഠനങ്ങളിൽ നിന്ന് റിച്ചാർഡ്സൺ മുന്നോട്ട് വച്ച മാതൃകയിലെ മറ്റു പാളിച്ചകളും ശാസ്ത്രലോകം തിരിച്ചറിഞ്ഞു. ഏറെ കാലത്തിനു ശേഷം, 1950 ൽ ജോൺ ന്യൂമാൻ (John von Newmann), ജൂലി ചാർണി (Jule Charney), റാനർ ഫ്യോർതോഫ്ത് (Ragnar Fjortoft) എന്നിവർ ചേർന്ന് പ്രിൻസ്റ്റണിലെ, ഇൻസ്റ്റിറ്റിയൂട്ട് ഫോർ അഡ്വാൻസ്ഡ് സ്റ്റഡീസിൽ വെച്ച്, വളരെ ലളിതമായൊരു അന്തരീക്ഷ മാതൃക പിൻപറ്റി ആദ്യമായി അന്തരീക്ഷ പ്രവചനം (numerical weather forecast) സാധ്യമാക്കി. എനിയാക് (ENIAC - Electronic Numerical Integrator and Computer) എന്ന ആദ്യകാല കമ്പ്യൂട്ടറാണ് ഗണിത സമവാക്യങ്ങൾ നിർധാരണം ചെയ്യാൻ അവർ ഉപയോഗിച്ചത്. പിന്നീട്, മികച്ച കമ്പ്യൂട്ടറുകളുടെ വരവും കൃത്രിമോപഗ്രഹങ്ങൾ ഉൾപ്പടെയുള്ള നിരീക്ഷണ സംവിധാനങ്ങളുടെ കണ്ടുപിടിത്തവും വഴി ദ്രുതഗതിയിലായിരുന്നു പ്രവചന സംവിധാനങ്ങളുടെ വളർച്ച.

അന്തരീക്ഷത്തിന് ഒരു മോഡൽ!

ഒരു കല്ലെടുത്തു ദൂരേക്ക് എറിയുന്നു എന്ന് കരുതുക. ആ കല്ലിനെ സ്വാധീനിക്കുന്ന ബലങ്ങൾ (ഘടകങ്ങൾ) എല്ലാം കൃത്യമായി അറിയാമെങ്കിൽ, ആ കല്ല് എപ്പോൾ, എവിടെ വീഴുമെന്ന് കൃത്യമായി പ്രവചിക്കാൻ കഴിയും. അവിടെ നാം ഉപയോഗപ്പെടുത്തുന്നത് ആ കല്ലിന്റെ ഗതിയെ നിയന്ത്രിക്കുന്ന ഒരു ഗണിത സമവാക്യമാണ് (governing equation). എത്ര വേഗതയിൽ എറിയുന്നു, എത്ര ചെരിവിൽ (angle) എറിയുന്നു എന്നിവ അറിയാമെങ്കിൽ, ചലനസമവാക്യം ഉപയോഗിച്ച് കല്ലോ പന്തോ എവിടെ വീഴും എന്ന് പറയുവാൻ കഴിയും. ഈ ഗണിതസമവാക്യത്തെ നമുക്ക് ഒരു ഗണിത മോഡൽ (mathematical model) എന്ന് വിളിക്കാം. കല്ല് എറിയാതെ തന്നെ അതിന്റെ സഞ്ചാരപാത (trajectory) ഏറെക്കുറെ കൃത്യമായി നമുക്ക് ഈ സമവാക്യം ഉപയോഗിച്ച് കണക്കുകൂട്ടിയാൽ കണ്ടെത്താം. കല്ലിന് അനുഭവപ്പെടുന്ന ഘർഷണം (air resistance), ആ സമയത്തെ കാറ്റിന്റെ വേഗത എന്നിവ കൂടെ മേൽപ്പറഞ്ഞ സമവാക്യത്തിൽ ഉൾപ്പെടുത്തിയാൽ ലഭിക്കുന്ന ഉത്തരത്തിന് കൂടുതൽ കൃത്യതവരും. അതായത്, എന്തിനെക്കുറിച്ചാണോ പഠിക്കുന്നത് ആ വസ്തുവിന്റെ സാധ്യമായ എല്ലാ സ്വഭാവ വിശേഷങ്ങളും ഇത്തിരത്തിലുള്ള ഗണിത സമവാക്യത്തിൽ ഉൾക്കൊള്ളിക്കണം. എന്നാൽ മാത്രമേ പ്രവചനത്തിന് കൃത്യത ലഭിക്കൂ. ഇതിന്റെ കുറേകൂടി സങ്കീർണ്ണമായ രൂപമാണ് മിസൈലുകളുടെ സഞ്ചാരപാത കണക്കുകൂട്ടാൻ ഉപയോഗിക്കുന്നത്. മിസൈൽ കൃത്യസ്ഥാനത്ത് എത്തിക്കുവാൻ ഏത് ദിശയിൽ എത്ര വേഗതയിൽ എത്ര ചെരിവിൽ നിറയൊഴിക്കണം എന്ന് മുൻകൂറായി കണക്കുക്കൂട്ടാൻ ഇത്തരം മോഡലുകൾ സഹായിക്കുന്നു. പക്ഷെ, മോഡലുകൾ സങ്കീർണ്ണമാകുന്നതോടെ കണക്കുകൂട്ടലുകളും സങ്കീർണ്ണമാകും. ഉത്തരം കണ്ടെത്താൻ കമ്പ്യൂട്ടറിന്റെ സഹായം വേണ്ടിവരും. ഇത്തരത്തിൽ, ഒരു വസ്തുവിന്റെയോ, ഒരു പ്രതിഭാസത്തിന്റെയോ **(phenomena/process)** ഗതി/അവസ്ഥ നിർണ്ണയിക്കുന്ന ഗണിത സമവാക്യങ്ങൾ നിർധാരണം ചെയ്യുന്നത് വഴി ആ വസ്തുവിന്റെ സ്വഭാവം അനുകരിക്കുന്ന **(simulate)** പ്രോഗ്രാമുകളെ കമ്പ്യൂട്ടർ അധിഷ്ഠിത ഗണിത മാതൃകകൾ **(computer based mathematical models)** എന്ന് വിളിക്കാം.

അങ്ങനെയെങ്കിൽ, കല്ലിന്റെ സഞ്ചാരപാതയുടെ ഗണിത മോഡൽ പോലെ അന്തരീക്ഷത്തിനും ഒരു മോഡൽ നിർമ്മിക്കാമല്ലോ. പക്ഷെ, കല്ലിന്റെ കാര്യത്തിലേതുപോലെ എളുപ്പമാവില്ല അത്! ഭൂമിയുടെ പുറമെ, ഭൂമിയെ പൊതിഞ്ഞുനിൽക്കുന്ന വായുവിന്റെ ഒരു പാളിയാണല്ലോ നമ്മുടെ അന്തരീക്ഷം. നൈട്രജനും ഓക്സിജനും കാർബൺ ഡൈ ഓക്സൈഡും പിന്നെ ചെറിയ അളവിൽ മാത്രം കാണുന്ന പല വാതകങ്ങളും എല്ലാം ചേർന്ന വായുവിന്റെ ഒരു പുതപ്പ്. ഈ വായുവിന് നിരന്തരം പലമാറ്റങ്ങളും

സംഭവിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്നുണ്ട്. ഈ മാറ്റങ്ങളാണ് ഓരോ പ്രദേശത്തും മഴയായും കാറ്റായും അനുഭവപ്പെടുന്നത്. ഈ മാറ്റങ്ങൾ എല്ലാം തന്നെ കൃത്യമായ ഭൗതിക നിയമങ്ങൾ അനുസരിച്ചാണ് സംഭവിക്കുന്നത്. മുൻപ് സൂചിപ്പിച്ചതുപോലെ, നോർവീജിയൻ ശാസ്ത്രജ്ഞനായ വിലേം ബിയേക്നെസ് ആണ് 1904 ൽ അന്തരീക്ഷത്തിന്റെ ഒരു ഗണിത മാതൃകയായുള്ള സമവാക്യങ്ങൾ നിർദ്ദേശിക്കുന്നത്. അന്തരീക്ഷത്തിലെ മാറ്റങ്ങളെ നിയന്ത്രിക്കുന്ന നിയമങ്ങൾ ഉൾക്കൊള്ളുന്ന സമവാക്യങ്ങളായിരുന്നു അവ. ന്യൂട്ടന്റെ രണ്ടാം ചലനനിയമം (Newtons second law of motion), ഊർജ്ജ സംരക്ഷണ നിയമം (conservation of energy), മാസ്സിന്റെ സംരക്ഷണം (conservation of mass) എന്നീ തത്വങ്ങളെ അടിസ്ഥാനപ്പെടുത്തി വികസിപ്പിച്ചവയാണ് പ്രവചനത്തിന് ഉപയോഗിക്കുന്ന സമവാക്യങ്ങൾ.

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -u\frac{\partial u}{\partial x} - v\frac{\partial u}{\partial y} - w\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\mathrm{uv}\tan\phi}{a} - \frac{\mathrm{uw}}{a} - \frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x} - 2\Omega(w\cos\phi - v\sin\phi) + \mathrm{Fr}_x$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -u\frac{\partial v}{\partial x} - v\frac{\partial v}{\partial y} - w\frac{\partial v}{\partial z} - \frac{u^2\tan\phi}{a} - \frac{\mathrm{uw}}{a} - \frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y} - 2\Omega u\sin\phi + \mathrm{Fr}_y$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} = -u\frac{\partial w}{\partial x} - v\frac{\partial w}{\partial y} - w\frac{\partial v}{\partial z} - \frac{u^2+v^2}{a} - \frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial z} + 2\Omega u\cos\phi - g + \mathrm{Fr}_z$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -u\frac{\partial T}{\partial x} - v\frac{\partial T}{\partial y} + (\gamma - \gamma_d)w + \frac{1}{c_p}\frac{\mathrm{dH}}{\mathrm{dt}}$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -u\frac{\partial \rho}{\partial x} + -v\frac{\partial \rho}{\partial y} - w\frac{\partial \rho}{\partial z} - \rho\left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z}\right)$$

$$\frac{\partial q_v}{\partial t} = -u\frac{\partial q_v}{\partial x} - v\frac{\partial q_v}{\partial y} - w\frac{\partial q_v}{\partial z} + Q_v$$

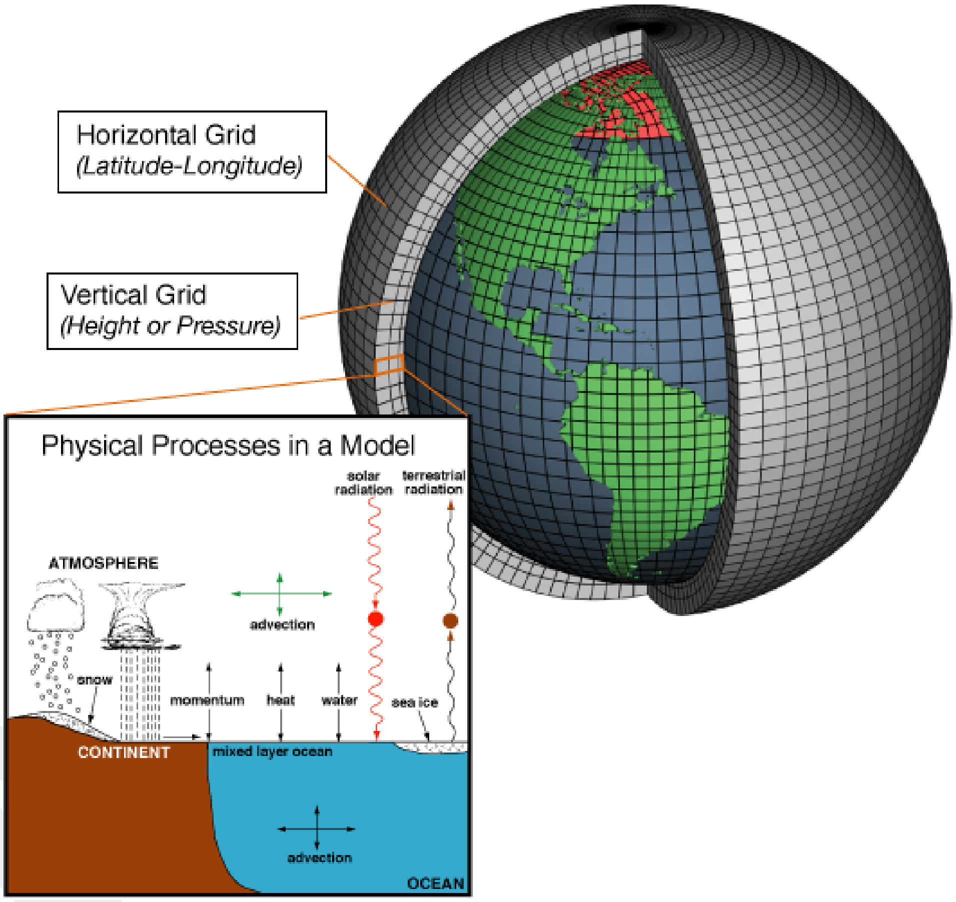
$$p\alpha = \mathrm{RT}$$

ചിത്രം **1.** മോഡലിൽ ഉപയോഗിക്കുന്ന സമവാക്യങ്ങൾ (From Pu and Kalnay (2018)).

ആദ്യത്തെ മൂന്ന് സമവാക്യങ്ങൾ ന്യൂട്ടന്റെ രണ്ടാം ചലന സമവാക്യത്തിന്റെ കുറേക്കൂടി പരിഷ്കരിക്കപ്പെട്ട രൂപമാണ്. ഭൂമിയുടെ കറക്കം മൂലമുള്ള കൊറിയോലിസ് പ്രഭാവം ഈ സമവാക്യത്തിൽ ചേർത്തിട്ടുണ്ട്. ഊർജ്ജത്തിന്റേയും ദ്രവ്യത്തിന്റേയും (mass) കൈമാറ്റവുമായി ബന്ധപ്പെട്ടതാണ് നാലും അഞ്ചും സമവാക്യങ്ങൾ (thermodynamic energy equation and mass continuity equation). അന്തരീക്ഷത്തിലെ നീരാവിയുടെ (moisture content) വിതരണത്തെ കുറിക്കുന്നതാണ് ആറാമത്തെ സമവാക്യം. യൂണിവേഴ്സൽ ഗ്യാസ് നിയമം ആണ് ഇതിൽ അവസാനത്തേത്. ഈ സമവാക്യങ്ങൾ എല്ലാം തന്നെ പാർഷ്യൽ ഡിഫറൻഷ്യൽ ഇക്വേഷൻസ് (partial differential equations; PDE)

എന്ന ഗണത്തിൽ പെടുന്ന, നേരായവഴിയ്ക്ക് ഉത്തരം കണ്ടെത്താൻ കഴിയാത്തതരത്തിലുള്ളവയാണ് (no analytical solutions exist). അതിനാൽ, ചില ആവർത്തിച്ചുള്ള കണക്കുകൂട്ടലുകൾ വഴി (iterative methods), ഏകദേശ റിസൾട്ടുകൾ (approximate solutions) മാത്രമേ ഇവിടെ സാധ്യമാവൂ. ഇവിടെ ഏഴിൽ ആറ് സമവാക്യങ്ങളും സമയത്തിനനുസരിച്ച് ഓരോ പരാമീറ്ററുകളും എങ്ങനെ മാറുന്നു എന്നത് വിശദീകരിക്കുന്നവയാണ്. അതായത്, ഒരു പ്രത്യേക സമയത്തെ താപനില, കാറ്റിന്റെ വേഗം, ഈർപ്പത്തിന്റെ അളവ് (humidity), മർദ്ദം (pressure) എന്നീ അളവുകൾ ഈ സമവാക്യങ്ങളിൽ ഇൻപുട്ടായി നൽകിയാൽ കുറച്ച് സമയത്തിനുശേഷം ഈ അളവുകളിൽ വരുന്ന മാറ്റം കണ്ടുപിടിക്കാം. അതുവഴി ആ സമയത്തെ അന്തരീക്ഷസ്ഥിതി പ്രവചിക്കാം.

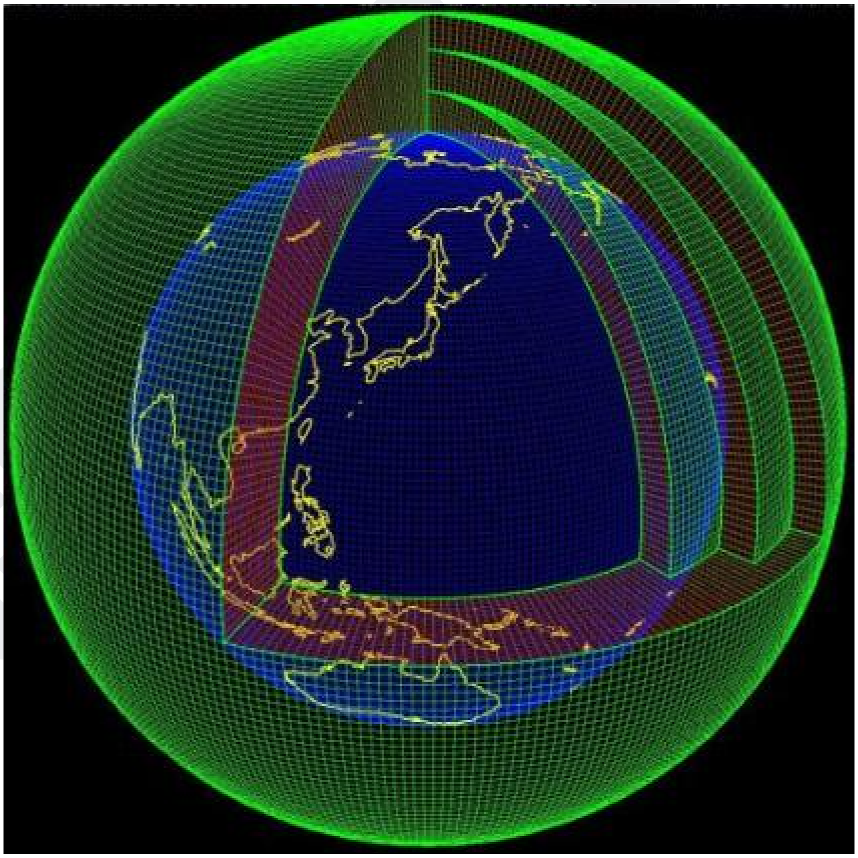
മോഡൽ പ്രവചനം എങ്ങനെ**?**



ചിത്രം **2.** ഒരു അന്തരീക്ഷ മോഡലിന്റെ രൂപമാതൃക (Source: wikipedia).

പ്രവചനത്തിന് ഉപയോഗിക്കുന്ന മോഡലുകളിൽ ഭൂമിയുടെ അന്തരീക്ഷത്തെ ഭൂനിലം മുതൽ മുകളിലേയ്ക്ക് ഏതാണ്ട് 25-30 km വരെയുള്ള ഭാഗം കുറെ ചെറിയ ത്രിമാന അറകളായി (3D boxes/ grid cells) തിരിയ്ക്കും. ഓരോ അറയ്ക്കും എത്ര വലുപ്പമുണ്ടെന്നത് ഏറെ പ്രധാനമാണ്. കാരണം ഈ അറയുടെ വലുപ്പം

എത്രയാണോ അതിലും താഴെ ദൈർഘ്യമുള്ള ഭൗതിക പ്രതിഭാസങ്ങളുടെ വിവരങ്ങളും മോഡലിൽ നേരിട്ട് ഉൾക്കൊള്ളിക്കാൻ കഴിയില്ല. ഉയർന്ന റെസലൂഷനിൽ ഉള്ള ചിത്രങ്ങളിൽ വളരെ സൂക്ഷ്മമായ വിശദാംശങ്ങൾ കാണാം എന്നതുപോലെയാണ് മോഡലിന്റെ കാര്യത്തിലും. ഭൂമിയുടെ മേൽഭാഗം കടലും മലയും ഗർത്തവും എല്ലാം നിറഞ്ഞതാണ്. അതാത് സ്ഥലത്തെ ഭൂപ്രകൃതി മോഡലിൽ കൃത്യമായി ഉൾക്കൊള്ളിക്കേണ്ടത് അത്യാവശ്യമാണ്. പ്രാദേശികമായ സവിശേഷതകൾ മോഡലിൽ ഉൾപ്പെടുത്തണമെങ്കിൽ അറകൾ അത്രകണ്ട് ചെറുതാവണം. അറകൾ തമ്മിലുള്ള അകലം കുറയുന്നതനുസരിച്ച്, വളരെ പ്രാധാന്യമുള്ള പല വിവരങ്ങളും മോഡലിൽ ഉൾപ്പെടുത്താൻ സാധിക്കുന്നു. വിശേഷിച്ച് പർവ്വതങ്ങളുടെയും മറ്റു പ്രത്യേകതകൾ (topographical features) നന്നായി മോഡലിൽ ഉൾപ്പെടുത്തണമെങ്കിൽ ഗ്രിഡ് പോയന്റുകൾ തമ്മിലുള്ള അകലം കുറവായിരിക്കണം, അതായത് മോഡലിന്റെ റെസലൂഷൻ (model resolution) കൂടുതലായിരിക്കണം. ഇന്ന് അന്തരീക്ഷസ്ഥിതി പ്രവചിക്കുന്നതിന് ഉപയോഗിക്കുന്ന മോഡലുകളിൽ ഗ്രിഡ് പോയന്റുകൾ തമ്മിലുള്ള അകലം (horizontal grid-spacing) ഏകദേശം 10 km ആണ് (പക്ഷെ, ധ്രുവപ്രദേശത്തേക്ക് നീങ്ങുന്നതിനനുസരിച്ച ഈ അകലം കുറഞ്ഞുവരും). അതുപോലെ തന്നെ, മുകളിലേക്കുള്ള ഭാഗം കുറെ പാളികളയായി തിരിക്കുന്നു (ചിത്രം 3 കാണുക). മേഘങ്ങളുടെ രൂപീകരണവും ഊർജ്ജകൈമാറ്റവുമെല്ലാം നല്ല രീതിയിൽ മോഡലിൽ ഉൾക്കൊള്ളിക്കുന്നതിന് മുകൾഭാഗത്തുള്ള ഗ്രിഡുകൾ തമ്മിൽ അധികം അകലം പരമാവധി കുറഞ്ഞിരിക്കണം. 80-100 വെർട്ടിക്കൽ ഗ്രിഡുകൾ (vertical grids) ആണ് ഇന്നുള്ള മോഡലിൽ സാധാരണ കാണുന്നത്.



ചിത്രം **3.** മോഡലിലെ ഗ്രിഡിന്റെ ഘടന (Souce: WMO)

ഭൂഗോളം മുഴുവൻ ഉൾക്കൊള്ളിച്ചുകൊണ്ടുള്ള മോഡൽ (global model) ആണെങ്കിൽ, ആകെ ഗ്രിഡ് പോയന്റുകളുടെ എണ്ണം ഏതാണ്ട് 80 കോടിയോളം വരും! (4000 x 2000 x 100). ഇങ്ങനെ ഒരു മോഡൽ ഉപയോഗിച്ച് പ്രവചനം നടത്തുവാൻ ആദ്യം എല്ലാ ഗ്രിഡ് പോയന്റിലും ഇൻപുട് ഡാറ്റ നൽകണം. അതായത്, ഇന്ന് രാവിലെ 10 മണിക്ക് പ്രവചനം ആരംഭിക്കുന്നു എന്ന് കരുതുക. നാളെ രാവിലെ 10 മണി വരെയുള്ള 24 മണിക്കൂർ വരെയുള്ള സമയത്തേക്കാണ് പ്രവചനം. ഇതിന് ആദ്യം വേണ്ടത്, പ്രവചനം തുടങ്ങുന്ന സമയത്തെ എല്ലാ ഗ്രിഡ് പോയന്റിലെയും കൃത്യമായ ഡാറ്റയാണ് (താപനില, മർദ്ദം, കാറ്റ്, ഹ്യൂമിഡിറ്റി). ഈ ഡാറ്റ ഇൻപുട് ആയി നൽകി, എല്ലാ ഗ്രിഡ് പോയന്റിലും മോഡൽ സമവാക്യങ്ങൾ ഉപയോഗിച്ച് കണക്കുകൂട്ടലുകൾ നടത്തി 24 മണിക്കൂറിലുള്ള മാറ്റം കണ്ടുപിടിക്കുകയാണ് മോഡലിന്റെ ജോലി. മറ്റൊരു കാര്യം, രണ്ടു ഗ്രിഡുകൾ തമ്മിലുള്ള അകലം ഏതാണ്ട് 10 km ആണെന്ന് പറഞ്ഞുവല്ലോ. എന്നാൽ യഥാർത്ഥത്തിൽ ഇത് വലിയൊരു അകാലമാണല്ലോ. ഈ 10 km-നുള്ളിൽ നടക്കുന്ന മാറ്റങ്ങൾ ഒന്നും നമ്മുടെ മോഡലിന് 'കാണാൻ' കഴിയില്ല. ഉദാഹരണത്തിന് 2 ഗ്രിഡിന് ഇടയിൽ ഒരു ഭാഗത്ത് അധികം വലുപ്പമില്ലാത്ത മേഘം ഉണ്ടാവുന്നുണ്ട് എങ്കിൽ മോഡലിന് അതിനെക്കുറിച്ചുള്ള ഒരു വിവരവും സ്വാഭാവികമായി ലഭിക്കില്ല. ഇത്തരത്തിൽ നിരവധി പ്രതിഭാസങ്ങൾ നിരന്തരം അന്തരീക്ഷത്തിൽ സംഭവിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്നുണ്ട്. ഇവ subgrid scale പ്രക്രിയകൾ എന്നാണ് അറിയപ്പെടുന്നത്. Subgrid scale എന്നാൽ, ഒരു ഗ്രിഡിന്റെ വലുപ്പത്തിലും താഴെ മാത്രം വലുപ്പമുള്ള പ്രക്രിയകൾ എന്നാണ് അർത്ഥമാക്കുന്നത്. ഇത്തരത്തിൽ, വളരെ ചെറിയ പ്രദേശത്തുസംഭവിക്കുന്ന (smaller-scale) പ്രതിഭാസങ്ങളെ കൃത്യമായി മോഡലിൽ ഉൾപ്പെടുത്തുന്നത് ഏറെ വെല്ലുവിളികളുള്ള ഒന്നാണ്. ചില കുറുക്കുവഴികളിലൂടെയാണ് subgrid scale പ്രക്രിയകളെ മോഡലിൽ ഉൾക്കൊള്ളിക്കുന്നത് (parameterization of subgrid scale processes). ഇത്തരം കണക്കുകൂട്ടലുകൾ എല്ലാം ചെയ്യാൻ പാകത്തിന് തയ്യാറാക്കിയ ഒരു ഭീമൻ കമ്പ്യൂട്ടർ പ്രോഗ്രാമാണ് ഓരോ മോഡലും. ഇത്തരത്തിൽ വികസിപ്പിച്ചെടുക്കുന്ന കമ്പ്യൂട്ടർ പ്രോഗ്രാമുകൾക്ക് ലക്ഷക്കണക്കിനോ കോടിക്കണക്കിനോ വരികൾ വലുപ്പമുണ്ടാകും – കുറെ മനുഷ്യരുടെ അദ്ധ്വാനമാണ്. മറ്റൊന്ന്, ഇത്രയും ഭീമമായ മോഡൽ ഒരു സാധാരണ കമ്പ്യൂട്ടർ ഉപയോഗിച്ച് പ്രവർത്തിപ്പിക്കാനും കഴിയില്ല – വളരെ വേഗമേറിയ സൂപ്പർ കമ്പ്യൂട്ടറുകളാണ് ഇതിനായി ഉപയോഗിക്കുന്നത്.

പടി പടിയായിട്ടാണ് മോഡൽ പ്രവചനം മുന്നോട്ട് പോകുന്നത്. അതായത്, 24 മണിക്കൂർ ദൈർഘ്യമുള്ള ഒരു പ്രവചനം നടത്തുന്നത്, നേരെ ഒരൊറ്റ സ്റ്റെപ്പിൽ അല്ല, പകരം, ഏതാനും മിനിട്ടുകൾ മാത്രം ദൈർഘ്യമുള്ള ചെറു പടികളായിട്ടാണ്. 24 മണിക്കൂർ എന്നാൽ 1440 മിനിട്ടുകൾ. മൂന്ന് മിനിറ്റുകളുള്ള പടികളായിട്ടാണ് മോഡൽ ഫോർകാസ്റ്റ് പുരോഗമിക്കുന്നതെങ്കിൽ 480 തവണകളായിട്ടാവും പ്രവചനം പൂർത്തീകരിക്കുന്നത്. എന്നാൽ മാത്രമേ അന്തരീക്ഷത്തിൽ സംഭവിക്കുന്ന ഓരോ ചെറിയ മാറ്റങ്ങളുടേയും സ്വാധീനം പൂർണ്ണമായി ഉൾക്കൊള്ളാനാകൂ. ഇങ്ങനെയുള്ള പ്രവചനത്തിൽ ഏറ്റവും നിർണ്ണായകമായ സംഗതി നമ്മൾ കൊടുക്കുന്ന ഇൻപുട്ട് ഡാറ്റയാണ്. ഫോർകാസ്റ്റിന്റെ അഥവാ പ്രവചനത്തിന്റെ കൃത്യത ഒരു പരിധിവരെ ഇൻപുട്ട് ഡാറ്റയുടെ കൃത്യതയെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. എന്നുപറഞ്ഞാൽ, എത്ര നന്നായി അന്തരീക്ഷത്തിലെ കാറ്റ്, മർദ്ദം, താപനില, ജലാംശം എന്നീ പരാമീറ്ററുകൾ അളക്കുവാൻ സാധിക്കുന്നുവോ (observations), അത്രയും നന്നായി പ്രവചനവും നടത്താം. മോഡലിലേക്കുള്ള ഇൻപുട്ട് ഡാറ്റ തയ്യാറാക്കുന്നതിനാണ് സാറ്റലൈറ്റ്, റഡാർ ഉൾപ്പടെയുള്ള പലവഴിക്കുള്ള ഡാറ്റ നാം ശേഖരിക്കുന്നത്. ഇത്തരത്തിൽ ശേഖരിക്കുന്ന

നിരീക്ഷണങ്ങൾ 'ഡാറ്റ അസിമിലേഷൻ' (data assimilation) എന്നൊരു സംവിധാനം ഉപയോഗിച്ചാണ് മോഡലിന് വേണ്ട ഇൻപുട്ട് ഡേറ്റ തയ്യാറാക്കുന്നത്.

COURSE LUCA