<u>ചരടുസ ിദ്ധാന്തം</u>

ഈ സിദ്ധാന്തം ചുരുക്കത്തിൽ പറഞ്ഞാൽ ഇതാണു : ഈ പ്രപഞ്ചത്തിൽ നാം കാണുന്ന എല്ലാ വസ്തുക്കൾക്കും (അതേ, എല്ലാം തന്നെ **space-time**ഉം ഉൾപെടുമെന്നു പോലും ചിലർ വാദിക്കും) അടിസ്ഥാനപരമായി ഒരു വസ്തു ഉണ്ട്. ഇത് ഏകമാനമായ (**one-dimensional**)"മൗലിക ചരട്" ആകുന്നു. ചരട് (അഥവാ സൂത്ര) സിദ്ധാന്തം പ്രചാരത്തിൽ വരുന്നതിനു മുമ്പുള്ള എല്ലാ സിദ്ധാന്തങ്ങളിലും അടിസ്ഥാന വസ്തു ശൂന്യമാനമായ (**zero-dimensional**) വിസ്താരം ഒട്ടും ഇല്ലാത്ത (**point-particle**) കണികകളായിരുന്നു. കണികയ്ക്കു പകരം മൂല വസ്തു ഏകമാനമായതും, വിസ്താരമുള്ളതുമായ (നീളമുണ്ട്, പക്ഷെ വണ്ണം ഇല്ല) ഒരു ചരടാണെന്നുള്ള ആശയം ഭൗതിക ശാസ്ത്രത്തിൽ വിപ്ലവകരമാണ്. ഈ ആശയത്തിൻെറ വിപ്ലവാത്മകത മനസ്സിലാക്കാൻ ഈ ചരടിൻെറ ഗുണവിശേഷങ്ങൾ ആരാഞ്ഞു നോക്കാം.

ചരടിൻെറ വിറയുടെ ആവൃത്തി

ഒരു വീണക്കമ്പി ഓർക്കുക. അതു മീട്ടുമ്പോൾ പല ആവൃത്തികളിൽ ശബ്ദതരംഗങ്ങൾ ഉണ്ടാകുന്നു. ഇതിനു സംഗീതജ്ഞർ സ്വരങ്ങൾ എന്നു പറയുന്നു. വീണക്കമ്പി വിറക്കുന്നതും ഇതേ ആവൃത്തികളിൽ തന്നെ ആകുന്നു. ഏറ്റവും താഴ്ന്ന സ്വരത്തിനെ അഥവാ ആവൃത്തിയെ മൂലസ്വരം അല്ലെങ്കിൽ മൂല ആവൃത്തി എന്നു വിളിക്കാം. മറ്റു ആവൃത്തികളെല്ലാം ഈ മൗലിക ആവൃത്തിയുടെ പലമടങ്ങായിരിക്കും. മൂല ആവൃത്തി നിശ്ചയിക്കുന്നതിൽ പ്രധാന പങ്ക് വീണക്കമ്പിയുടെ മുറുക്കത്തിനാകുന്നു. കൂടുതൽ മുറുക്കി കെട്ടിയാൽ ആവൃത്തി കൂടുന്നതാണു. ആവൃത്തി മുറുക്കത്തിൻെറ വർഗമൂലത്തിൻെറ അനുപാതത്തിലാണു കൂടുന്നത്. (**frequency ∝ √ tension**). അതായതു മുറുക്കം നാലു മടങ്ങ്കൂടിയാൽ ആവൃത്തി ഇരട്ടിയാകും. മൗലിക ചരടിൻെറ സ്വഭാവം ഏകദേശം ഇങ്ങനെയൊക്കെ തന്നെയാകുന്നു. അതും നിശ്ചിത ആവൃത്തിയിൽ തന്നെ വിറക്കും. ഈ ആവൃത്തികൾ എല്ലാം ഒരു മൂല ആവൃത്തിയുടെ പലമടങ്ങുകളാകുന്നു. മൂല ആവൃത്തി നിശ്ചയിക്കുന്നത് മൗലിക ചരടിൻെറ മുറുക്കമാകുന്നു.

ചരടിൻെറ ഘനം

മൗലിക ചരട് നിശ്ചിത ആവൃത്തിയിൽ വിറയ്ക്കുമ്പോൾ അതിനു ഒരു നിശ്ചിത ഘനമുണ്ട്. ആവർതനത്തിൻെറ അനുപാതത്തിലാണു അതിൻെറ ഘനം. "ഈ കണകയുടെ ഘനം എത്രയാണ് " എന്നു ചോദിക്കുന്നതുപോലെ "ഈ (മൗലിക) ചരടിൻെറ ഘനം എത്രയാണ് " എന്നു ചോദിക്കാൻ പാടില്ല. പരിതസ്ഥിതി അനുസരിച്ച് ഘനം മാറാൻ ചരടിനു കഴിയും. വേറൊരു വിധത്തിൽ പറഞ്ഞാൽ പലതരം കണികളെ (അതായത് പല ഘനമുള്ള കണികകളെ) ഒരേ ഒരു (മൗലിക) ചരട് പ്രതിനിധീകരിക്കുന്നു. ഇപ്പോൾ പ്രചാരത്തിലുള്ള കണികാ സിദ്ധാന്തങ്ങളിലെല്ലാം പലതരം കണികകളുണ്ട് - മിക്കതും പരീക്ഷണശാലകളിൽ കണ്ടുപിടിക്കപ്പെട്ടിട്ടുള്ളവയാണുതാനും. ഉദാഹരണമായി ഇലക്ട്രോൺ, ക്വാർക്, ന്യൂട്രീനൊ, ഫോട്ടോൺ, ഗ്രാവിറ്റോൺ, ഗ്ലുവോൺ, എന്നൊക്കെയാണ് ചില കണികകളുടെ പേരുകൾ. ഫോട്ടോൺ എന്നു പറയുന്നതു പ്രകാശത്തിൻെറ കണികയും, ഗ്രാവിറ്റോൺ ഗുരുത്വാകർഷണ ശക്തിയുടെ കണികയുമാണു. ഇവ എല്ലാം ഒരേ ഒരു മൗലിക ചരടിൻെറ മുഖമാറ്റങ്ങളാണെന്നു പറയുമ്പോൾ അത് വളരെ ആകർഷണീയമായ ഒരു ആശയമല്ലേ? ഇതു തന്നെയാണു ഐൻസ്റ്റൈൻ സ്വപ്നം കണ്ട "ഏകീകൃത (ക്ഷേത്ര) സിദ്ധാന്തം" (**unified field theory**) എന്ന് ചിലർ പറയുന്നു.

രണ്ടു പ്രശ്നങ്ങൾ

മൗലിക കമ്പിയുടെ ഇത്രയും ഗുണവിശേഷങ്ങൾ വിസ്തരിച്ചതിനുശേഷം നാം രണ്ടു ചോദ്യങ്ങൾക്ക് ഉത്തരം നൽകേണ്ടതുണ്ട്. ഒന്ന്, ഇതുവരെ പ്രചാരമുണ്ടായിരുന്ന "കണികാ" സിദ്ധാന്തങ്ങളിലെല്ലാം (കണാദമുനിയുടെ അണു സിദ്ധാന്തം മുതൽ ആധുനിക സിദ്ധാന്തങ്ങൾ വരെ) ശൂന്യമാനമായ കണികകളാണ് പ്രപഞ്ചത്തിലെ അടിസ്ഥാന വസ്തു. ഈ സിദ്ധാന്തങ്ങൾ പ്രപഞ്ചത്തിൽ സാധാരണ കാണുന്ന മിക്ക പ്രതിഭാസങ്ങളേയും നല്ലവണ്ണം വിശദീകരിക്കുന്നുമുണ്ടു. അപ്പോൾ പ്രപഞ്ചത്തിൽ അടിസ്ഥാന വസ്തു ശൂന്യമാനമായ കണികയാണെന്ന സിദ്ധാന്തം കുറെയൊക്കെ ശരിയാകണമല്ലൊ?. ഒരു സ്ഥൂല നിലയിലെങ്കിലും ഇത് ഒരു വാസ്തവം ആയിട്ടു കാണപ്പെടുന്നു. ഈ വസ്തുതയോട് ചരട് ആണ് അടിസ്ഥാന വസ്തുവെന്ന സിദ്ധാന്തത്തിനെ പൊരുത്തപ്പെടുത്താൻ കഴിയുമോ? രണ്ട്, ശൂന്യമാനമായതും വിസ്താരമില്ലാത്തതുമായ അടിസ്ഥാന കണികയെന്ന ആശയം വിട്ട്, ഏകമാനമായതും വിസ്താരമുള്ളതുമായ ചരട് എന്ന ആശയത്തിലേക്ക് നമ്മൾ എന്തുകൊണ്ടു ആകർഷിക്കപ്പെടുന്നു?

ആദ്യത്തെ പ്രശ്നത്തിൻെറ ഉത്തരം വളരെ സരളമാണ്. മൗലിക ചരടിൻെറനീളം ഏകദേശം 10^{-33} **cm** ആകുന്നു. ഏതു ആധുനിക യന്ത്രത്തിനും 10^{-17} **cm** ൽ കവിഞ്ഞ സൂക്ഷ്മതയില്ല. അതായതു 10^{-17} **cm** ൽ ചെറുതായ വസ്തുക്കൾ വിസ്താരമില്ലാത്ത ബിന്ദുക്കളായിട്ടാണ് കാണപ്പെടുക. ഇമ്മട്ടിൽ സ്ഥൂലദൃഷ്ടിയിൽ ഈ ചരടുകളും വിസ്താരമില്ലാത്ത ശൂന്യമാനമായ കണികകളായിട്ടാണ് കാണപ്പെടുക. അപ്പോൾ പരീക്ഷണശാലകളിൽ ചരടും കണികയും തമ്മിൽ തിരിച്ചറിയുവാൻ പോലും പറ്റില്ല.

കണികാസിദ്ധാന്തത്തിൻെറ ന്യൂനത - വലുപ്പമില്ലായ്മ !

തിരിച്ചറിയുവാൻ പോലും പറ്റില്ലെങ്കിൽ നാം എന്തിനാണ് അടിസ്ഥാന വസ്തു കണികയല്ല, ചരടാണു എന്ന് ശാഠ്യം പിടിക്കുന്നത്? ഇതായിരുന്നു രണ്ടാമത്തെ പ്രശ്നം. അതിനെപറ്റി ചിന്തിക്കാം. ഒരു പ്രധാനകാരണം മുമ്പു പറഞ്ഞുവല്ലോ - ഇതൊരു ഏകീകൃത സിദ്ധാന്തമാണ് എന്നതാണ്. പക്ഷെ ഇതിനു പുറമെ വേറൊരു പ്രധാന കാരണവുമുണ്ട്. കണികാ സിദ്ധാന്തങ്ങൾക്കു സ്വാഭാവികമായി ഒരു ന്യൂനത ഉണ്ട്. ഇതെന്താണെന്നു മനസ്സിലാക്കാൻ ഒരു ഉദാഹരണമായി 19-ആം നൂറ്റാണ്ടിൽ **James Clerk Maxwell** പടുത്ത **classical electromagnetism** എടുക്കാം. വിദ്യുത് കണികയും (ഇലക്ട്രോൺ) വൈദ്യുതി മണ്ഡലവും (**electric field**) തമ്മിലുള്ള പരസ്പര ബന്ധത്തിനെ വിവരിക്കുന്ന സിദ്ധാന്തമാണ് ഇത്. എന്നാൽ ഈ സിദ്ധാന്തത്തിലെ സമവാക്യങ്ങൾ പ്രയോഗിച്ച് വിദ്യുത് കണികയുടെ ഘനം ഗണിച്ചു നോക്കിയാൽ (10^{-23} **gm** എന്ന ശരിയായ ഉത്തരത്തിനു പകരം) കിട്ടുന്നതു **∞ (infinity)** എന്ന അർത്ഥശൂന്യമായ ഉത്തരമാണ്! '**∞**' എന്ന ഉത്തരത്തിൽ നാം എങ്ങിനെ എത്തിച്ചേരുന്നു എന്നു മനസ്സിലാക്കാൻ നോക്കാം. അപ്പോൾ കണികാസിദ്ധാന്തങ്ങളുടെ അടിത്തറയിലുള്ള ന്യൂനത കണ്ടെത്താൻ സാധിക്കും.

Classical electromagnetism സിദ്ധാന്തം പ്രകാരം വിദ്യുത് കണികയുടെ ചുറ്റുപാടും വൈദ്യുതിമണ്ഡലമുണ്ട്, എന്നു മാത്രമല്ല, മണ്ഡലത്തിൽ ഊർജ്ജവുമുണ്ട്. ഐൻസ്റ്റൈൻെറ $E=mc^2$ എന്ന പ്രശസ്ത സമവാക്യം ഉപയോഗിച്ചാൽ ഊർജ്ജത്തിൻെറ അനുപാതത്തിൽ വിദ്യുത് കണികയുടെ ഘനവുമുണ്ട് എന്ന് അനുമാനിക്കാം. എത്ര ഊർജ്ജമുണ്ട് എന്നാണ് നാം ഇനി ഗണിക്കേണ്ടത്. വൈദ്യുതി മണ്ഡലത്തിൻെറ ശക്തി വിദ്യുത് കണികയുടെ അടുത്ത് ചെല്ലും തോറും അതിരില്ലാതെ കൂടി വരുന്നു - അതായത്, ദൂരം '**r**' ആണെങ്കിൽ

'$1/r^2$' എന്ന അനുപാതത്തിൽ. ദൂരം പകുതിയായാൽ ശക്തി നാലിരട്ടിയാകുന്നു. തൊട്ടടുത്തു `r`പൂജ്യമായതിനാൽ വൈദ്യുതീമണ്ഡലത്തിൻെറ ശക്തി ∞ ആകും. വൈദ്യുതി മണ്ഡലത്തിൻെറ ശക്തിയുടെ **square** എന്ന അനുപാതത്തിലാണു ഊർജ്ജത്തിൻെറ സാന്ദ്രത*. വിദ്യുത് കണികയുടെ തൊട്ടടുത്ത് ഊർജ്ജത്തിൻെറ സാന്ദ്രതയും അപ്പോൾ ∞ ആകുമല്ലോ?.

വിദ്യുത് കണികയുടെ തൊട്ടടുത്ത് ഊർജ്ജത്തിൻെറ സാന്ദ്രത ∞ ആയിത്തീരുന്നു എന്നുമാത്രമല്ല, മൊത്തത്തിലും ഊർജ്ജം ഗണിച്ചു നോക്കിയാൽ ∞ ആയിവരും. അതുകൊണ്ടാണു ഐൻസ്റ്റൈൻെറ സമവാക്യം പ്രയോഗിക്കുമ്പോൾ വിദ്യുത് കണികയുടെ ഘനം ∞ എന്ന സംഖ്യ കിട്ടുന്നത്.

വിദ്യുത് കണിക ഒരു ബിന്ദു അല്ലാതെ ഒരു പന്തു പോലെ ഗോളാകൃതിയും വലിപ്പവുമുള്ള വസ്തു ആയിരുന്നെങ്കിൽ ഊർജ്ജത്തിൻെറ മാനം എന്തായിരിക്കും? വൈദ്യുതി മണ്ഡലത്തിൻെറ ശക്തി അതിരില്ലാതെ കൂടുകയില്ല എന്നതാണു വസ്തുത. പന്തിൻെറ തൊട്ടടുത്തു പോലും ∞ അല്ലാതെ ഒരു ക്ലിപ്തസംഖ്യ ആയിരിക്കും. (മണ്ഡലശക്തി '$1/r^2$' എന്ന അനുപാതത്തിലാണെന്നു ഓർക്കുക. പന്തിൻെറ തൊട്ടടുത്ത് `r' പൂജ്യമല്ല, പന്തിൻെറ വ്യാസം ആണല്ലൊ). അപ്പോൾ ഊർജ്ജത്തിൻെറ സാന്ദ്രതയും ക്ലിപ്ത സംഖ്യയായിരിക്കും. അതുകൊണ്ട് മൊത്തം ഉള്ള ഊർജ്ജവും അതിനാൽ കണികത്തിൻെറ ഘനവും ക്ലിപ്തമായിരിക്കും. ഗണിച്ചു നോക്കിയാൽ ഗോളാകാരത്തിലുള്ള വിദ്യുത് കണികയുടെ ഘനം അതിൻെറ **1/r** അനുപാതത്തിൽ കൂടുന്നതാകുന്നു. അതായത് **r** പകുതിയായാൽ ഘനം ഇരട്ടി. **r** പൂജ്യമായാൽ ഘനം **1/0** അതായത് ∞! പന്തിൻെറ വ്യാസം പൂജ്യമായാലാണല്ലൊ കണികയെന്നു പറയുന്നത്? ഇത്രയും പറഞ്ഞതിൻെറ സാരാംശം ഇതാണ് – വിദ്യുത് കണികയുടെ ഘനം ∞ ആകാനുള്ള കാരണം അതിൻെറ വലിപ്പമില്ലായ്മയാണ്. ഈ പ്രശ്നം **Classical Electromagnetism** ത്തിനെ മാത്രമല്ല, എല്ലാ കണികാ സിദ്ധാന്തങ്ങളേയും ബാധിക്കുന്ന ഒന്നാകുന്നു.

മാക്സ്വൽ കണ്ടുപിടിച്ച **Electromagnetism** "ക്ലാസ്സിക്കൽ" എന്നു വിവരിക്കപ്പെടുന്നു. മാക്സ്വെല്ലിൻെറ സിദ്ധാന്തവും ക്വാണ്ടം മെക്കാനിക്സും കൂടി പൊരുത്തപ്പെടുത്തിയത് 1948 ൽ ഫൈയ്മ്നാനും, ഷ്വിങ്ങെറും, തൊമൊനാഗയുമാണ്. ഇതിൻ **Quantum Electrodynamics** സിദ്ധാന്തമെന്നു പറയുന്ന്. മുമ്പു വിവരിച്ച പ്രശ്നങ്ങളൊക്കെ ഇതിനെയും ബാധിക്കുന്നുണ്ട്. ക്ലാസ്സിക്കൽ സിദ്ധാന്തത്തിലുള്ള മാതിരി രൂക്ഷമല്ല എന്നു മാത്രം.

------

*ഊർജ്ജവും ഊർജ്ജത്തിൻെറ സാന്ദ്രത തമ്മിൽ വ്യത്യാസമുണ്ടു. ഒരു **cc** യിൽ എത്ര ഊ"ജ്ജമുണ്ടു എന്നു വിവരിക്കുന്ന സംഖ്യയാണു ഊർജ്ജത്തിൻെറ സാന്ദ്രത എന്നു പറയപ്പെടുന്നതു. മൊത്തത്തിൽ എത്ര ഊർജ്ജം ഉണ്ടു എന്നു ഗണിക്കാൻ ഓരോ **cc** യിലും എത്ര ഊർജ്ജം ഉണ്ടെന്നു ഗണിച്ചു (അതായതു ഓരോ സ്ഥലത്തും ഊർജ്ജത്തിൻെറ സാന്ദ്രത എത്രയുണ്ടെന്നു ഗണിച്ചു) അതെല്ലാം കൂട്ടണം. ഈ ഗണിക്കുന്ന പ്രക്രിയയാണല്ലൊ നാം ഹൈ സ്കൂളിൽ പഠിക്കുന്ന **calculus** ഒരു സ്ഥലത്തു ഊർജ്ജത്തിൻെറ സാന്ദ്രത ∞! ആയാൽ ആകെയുള്ള ഊർജ്ജത്തിൻെറ മാനം ∞! ആകാൻ സാദ്ധ്യത ഉണ്ടു, പക്ഷെ ∞! ആകണമെന്നില്ല – അതു ശരിക്കു **calculus** പ്രയോഗിച്ചു ഗണിച്ചു നോക്കിയാൽ തന്നെ അറിയുകയുള്ളു.

ഇത്രയും പറഞ്ഞ സ്ഥിതിക്ക് വേറൊരു സാങ്കൽപിക പ്രശ്നത്തിനെപ്പറ്റിയും ഇവിടെ പരാമർശിക്കാം. കണികയ്ക്ക് വ്യാപ്തിയുമില്ല, മാനവുമില്ല എന്നാണ് സങ്കൽപം. അങ്ങനെയുള്ള ഒരു വസ്തുവിനെ വിഭാവനം ചെയ്യാൻ വിഷമമാണ് എന്നു മാത്രമല്ല ഇത്തരം കണികങ്ങൾ കൊണ്ട് മാനവും വളരെ നിശ്ചിതമായ വ്യാപ്തിയുമുള്ള അണുക്കളെ എങ്ങിനെ നിർമ്മിക്കാൻ പറ്റുന്നു?

അണുവിൻെറ വലുപ്പവും സ്ഥിരതയും (Size and Stability of the Atom)

ഹൈഡ്രോജെൻ അണുവിനെ എടുക്കുക. ഈ അണുവിനുള്ളിൽ ന്യൂക്ലിയസ്സിൻെറ ചുറ്റുമുള്ള ഒരു നിശ്ചിത ഭ്രമണ പഥത്തിൽ ഇലക്ട്രോൺ ചുറ്റുന്നതായിട്ടാണു സങ്കൽപിച്ചിരിക്കുന്നത്. ന്യൂക്ലിയസിനു + (പോസിറ്റീവ്) ചാർജും, എലെക്ട്രോണിനു – (നെഗറ്റീവ്) ചാർജുമാണു. + ചാർജും – ചാർജും തമ്മിൽ ആകർഷണ ശക്തിയുണ്ടല്ലോ?. ഇലക്ട്രോൺ അതിൻെറ നിശ്ചിത ഭ്രമണ പഥത്തിൻെറ വ്യാസത്തിൽനിന്ന് ചിന്നിച്ചിതറി പോകാതെ നിർത്തുന്നതു ഈ ആകർഷണ ശക്തിയാണു. എന്തുകൊണ്ടാണു ഇലക്ട്രോൺ ആകർഷണ ശക്തിക്കു വശപ്പെട്ടു ന്യൂക്ലിയസിൽ ചെന്നു വീഴാതിരിക്കുന്നത്? ഇലക്ട്രോണിൻെറ ഭ്രമണവേഗത കൊണ്ടുള്ള വികേന്ദ്രീകരണ ബലം ഈ ആകർഷണ ശക്തിയെ തുല്യമായി ചെറുത്തുനിൽക്കുന്നതു കൊണ്ടാണു. പക്ഷെ സഞ്ചരിക്കുന്ന എലെക്ട്രോണിൽ നിന്ന് എപ്പോഴും electromagnetic തരംഗങ്ങൾ പ്രസരിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്നതു കൊണ്ട് കാലക്രമത്തിൽ അതിൻെറ ഊർജ്ജവും വേഗതയും കുറഞ്ഞുകൊണ്ടിരിക്കണമല്ലോ?. അപ്പോൾ അതു ഒടുവിൽ ന്യൂക്ലിയസ്സിൽ വീഴേണ്ടതാണു. എന്നാൽ അങ്ങിനെ സംഭവിക്കുന്നില്ല. ഇലക്ട്രോൺ അതിൻെറ നിസ്ചിത ഭ്രമണ പഥത്തിൽ തന്നെ കറങ്ങുന്നു. അതു കാരണം അണു ഒരു നിശ്ചിത വ്യാപ്തിയുള്ള വസ്തുവായി നിലനിൽകുന്നു.

ഇതു എങ്ങനെ സാധിക്കുന്നു എന്നതിനു വളരെക്കാലമായി ഉത്തരമില്ലായിരുന്നു. ഈ പ്രശ്നം ക്ലാസിക്കൽ മെക്കാനിക്സിലെ ഏറ്റവും പ്രധാനപ്പെട്ട പ്രശ്നമായി കാണപ്പെട്ടിരുന്നു. “അണുവിൻെറ സ്ഥിരത ”(Stability of the Atom) എന്ന പേരിലാണു ഈ പ്രശ്നം അറിയപ്പെട്ടിരുന്നത്.

ക്വാണ്ടം മെക്കാനിക്സിൽ “ഹൈസെൻബെർഗ് അനിശ്ചിതത്ത്വ സിദ്ധാന്തം” എന്നു പറയപ്പെടുന്ന വിചിത്രമായ ഒരു ആശയം ഉണ്ട്. ഈ ആശയത്തെ ഒരു തരത്തിൽ വർണ്ണിക്കുന്നതിങ്ങനെയാണു: ഒരു കണികയുടെ സ്ഥാനവും (position) (അതായതു അതു ഇപ്പോൾ എവിടെയാണു സ്ഥിതി ചെയ്യുന്നത് എന്ന വിവരം), അതിൻെറ ഇപ്പോഴത്തെ സംവേഗവും (**momentum**) നമുക്കു ഒരേസമയം കൃത്യമായി നിർണ്ണയിക്കാൻ പറ്റുകയില്ല. സ്ഥാനത്തെ പറ്റിയുള്ള നിശ്ചിതത്ത്വം' വർദ്ധിക്കുമ്പോൾ അതിൻെറ വേഗതയെപ്പറ്റിയുള്ള നിശ്ചിതത്ത്വം കുറഞ്ഞു വരുന്നു. മറിച്ചും. ഹൈഡ്രജൻ അണുവിലെ ഇലക്ട്രോണിൻെറ മേൽപറഞ്ഞ ഭ്രമണം, ന്യൂക്ലിയസ്സിൽ നിന്നും 0.5 **A** (ആംഗ്സ്ട്രോം **Angstrom** ഒരു മീറ്ററിൻെറ ആയിരം കോടിയിൽ ഒരു അംശം.) നേക്കാൾ കുറയുന്നു എന്നിരിക്കട്ടെ. ഭ്രമണപഥം ചുരുങ്ങുന്തോറും, ഇലക്ട്രോണിൻെറ സ്ഥാനനിർണ്ണയത്തിലുള്ള അനിശ്ചിതത്ത്വം കുറയുകയാണു എന്ന് കണക്കുകൂട്ടാം. അപ്പോൾ ഹൈസെൻബെർഗ് സിദ്ധാന്ത പ്രകാരം ഇലക്ട്രോണിൻെറ വേഗത നിർണ്ണയിക്കുന്നതിലുള്ള അനിശ്ചിതത്ത്വം കൂടുമല്ലോ?. വേഗത കൂടുമ്പോഴാണു അതിനെ നിർണ്ണയിക്കുന്നതിലുള്ള അനിശ്ചിതത്ത്വം കൂടുന്നത്. അപ്പോൾ ഭ്രമണപഥം ചുരുങ്ങണമെങ്കിൽ വേഗതയും തദ്വാര ഊർജ്ജവും കൂടുകയാണു വേണ്ടത്, കുറയുകയല്ല. അപ്പോൾ മുമ്പു പറഞ്ഞ പ്രശ്നം, അതായത് ഇലക്ട്രോണിൽ നിന്ന് നിരന്തരമായി **electromagnetic** തരംഗങ്ങളുടെ

പ്രസരണം മൂലം ഊർജ്ജക്ഷയം സംഭവിച്ച് ഇലക്ട്രോൺ, ന്യൂക്ലിയസ്സിലേക്ക് ക്രമേണ വീണുപോകുമെന്ന ശങ്ക പരിഹരിക്കപ്പെടുന്നു. അതായത് ഇലക്റ്റ്രോണിൻെറ ഭ്രമണപഥത്തിൻെറ ആരം 0.5 **A** ആകുമ്പോൾ അത് ഏറ്റവും ചുരുങ്ങിയത് എന്ന് വിശേഷിക്കപ്പെടാവുന്നതാകുന്നു. അതിലും താഴേയുള്ള ഭ്രമണ പഥത്തിലേക്കു ഇറങ്ങാൻ ഇലക്രോണിനു ഊർജ്ജം കൂടുകയാണു വേണ്ടത്, കുറയുകയല്ല. ഊർജ്ജത്തിൻെറ നിലവാരം ഏറ്റവും കുറഞ്ഞത് എന്ന് വിശേഷിക്കപ്പെടുന്ന ഒരു ഭ്രമണ പഥം – 0.5 **A** ആരമുള്ളതും – ക്വാണ്ടം മെക്കനിക്സ് ഇലെക്ട്രോണിനു നൽകുന്നു – ക്ലാസ്സിക്കൽ മെക്കനിക്സിൽ ഇത്തരത്തിലുള്ള ഒരു ഭ്രമണപഥം ഇല്ലതാനും.

ഇതുകൊണ്ടാണു എലെക്റ്റ്രോണിനും ക്വാർക്സിനുമൊക്കെ വ്യാപ്തി ഇല്ലാഞ്ഞിട്ടും അണുവിനു വ്യാപ്തി ഉള്ളതു – അതും വളരെ നിശ്ചിതമായ വ്യാപ്തി.

കണികയുടെ വലുപ്പം

എന്നാൽ ഇലെക്ട്രോൺ ശൂന്യമാനമായതും വിസ്താരമില്ലാത്തതുമാണെന്നതിനു എന്താണു തെളിവ്? പരീക്ഷണങ്ങളിൽ നിന്ന് ഇലെക്ട്രോണിൻെറ വിസ്താരം 10^{-16} **cm** ൽ കുറവാണെന്ന് ഉറപ്പായി പറയാൻ പറ്റും. അതിലും ചെറുതാണെങ്കിൽ ഇപ്പോൾ നിലവിലുള്ള പരീക്ഷണങ്ങൾക്ക് അളക്കാൻ സാദ്ധ്യമല്ല. ഇലെക്ട്രോണിനു വലുപ്പമുണ്ടെന്നു വയ്ക്കുക. ഇതു രണ്ടു വിധത്തിൽ വിഭാവനം ചെയ്യാം. ഒന്നുകിൽ ഇലെക്ട്രോൺ അതിലും ചെറിയ കണികകളുടെ ഒരു സംഘാതം ആയിട്ടു വിഭാവനം ചെയ്യാം. ഇങ്ങിനെ പല സിദ്ധാന്തങ്ങളും നിർമ്മിക്കപ്പെട്ടിട്ടുണ്ട്. പക്ഷെ '∞'യുടെ പ്രശ്നം ഇവയെയൊക്കെ ബാധിക്കുന്നുതാണു.

അല്ലെങ്കിൽ ഇലെക്ട്രോണിനെ 10^{-16} **cm** വിസ്താരമുള്ള ഗോളാകാരത്തിലുള്ള ഒരു വസ്തുവായി വിഭാവനം ചെയ്യാം. പക്ഷെ ഇമ്മാതിരിയുള്ള ഒരു ഇലെക്ട്രോണിനെ ഗണിതശാസ്ത്രപരമായി വിസ്തരിക്കുന്ന ഒരു സിദ്ധാന്തം ഉണ്ടാക്കാൻ ആർക്കും കഴിഞ്ഞിട്ടില്ല! അതായത് മൗലിക കണികയെ ശൂന്യമാനമല്ലാത്തതും വിസ്താരമുള്ളതുമായി വർണ്ണിക്കുന്ന ഒരു സിദ്ധാന്തം (ചരടു സിദ്ധാന്തത്തിനു പുറമെ) ആർക്കും ഉണ്ടാക്കാൻ പറ്റിയിട്ടില്ല – ഇതുവരെ. അടിസ്ഥാനപരമായ പല കടമ്പകളും താണ്ടിയാലേ ഇതു സാധിക്കുകയുള്ളു. ലൊരെൻസ് സമമിതി (**Lorentz Invariance**) എന്ന തത്ത്വം വെടിയാതെ ക്വാണ്ടം മെക്കാനിക്സിൻെറ അടിസ്ഥാനത്തിൽ വെച്ചുകൊണ്ട് കണികകളെ വലുപ്പമില്ലാത്തതായി കണക്കാക്കുന്ന സിദ്ധാന്തങ്ങൾ മാത്രമേ ഇതു വരെ ആർക്കും പടുത്തെടുക്കാൻ കഴിഞ്ഞിട്ടുള്ളു. എന്നുമാത്രമല്ല ഇങ്ങിനെയുള്ള ഒരു സിദ്ധാന്തത്തെ **Standard Model** എന്നു വിളിക്കുന്നുമുണ്ട്. അത് നിലവിലുള്ള എല്ലാ പരീക്ഷണഫലങ്ങളേയും വളരെ കൃത്യമായി വിശദീകരിക്കുന്നുണ്ടുതാനും. അതുകൊണ്ടാണു മൗലിക വസ്തു ഒരു കണികമാണെന്നുള്ള ധാരണ പരക്കെ അംഗീകരിക്കപ്പെട്ടത്. പുതിയതായി പ്രചാരത്തിൽ വന്നിട്ടുള്ള ചരടുസിദ്ധാന്തം ഇപ്പറഞ്ഞതിനു ഒരു അപവാദമാണു. ഇങ്ങനെയൊരു (ചരടു) സിദ്ധാന്തം ശാസ്ത്രജ്ഞരെ എന്തുകൊണ്ട് ആകർഷിക്കുന്നു എന്നു വിശദീകരിക്കാം

ചരടുസിദ്ധാന്തത്തിൻെറ മേന്മ : "∞" യെ ഒഴിവാക്കുന്നു

ചരടിനു നീളമുണ്ട്, അതുകൊണ്ട് കണികയുടെ മാതിരി ശൂന്യവ്യാപ്തിയുള്ളതല്ല – ഇതാണു പ്രധാന വ്യത്യാസം. ചരടിനു നീളമുണ്ടു പക്ഷെ വണ്ണമില്ല, അതുകൊണ്ടു മുമ്പു വിവരിച്ച പന്തിൻെറ മാതിരിയല്ല. പന്തു തൃമാനമുള്ളതാണു, ചരടാണെങ്കിൽ ഏകമാനമുള്ളതും. എന്നാലും നാം ക്വാണ്ടം മെക്കാനിക്സ് ഉപയോഗിച്ച് ചരടിൻെറ ഘനം ഗണിച്ചാൽ ഒരു ക്ലിപ്തസംഖ്യ

ലഭിക്കുന്നതാണു. ഈ ഗണനപ്രകാരം ചരടിന്റെ നീളത്തിനെ ആസ്പദിച്ചാണു അതിന്റെ ഘനം. നീളം കുറഞ്ഞാൽ ഘനം കൂടുകയാണു ചെയ്യുക. അങ്ങനെ എല്ലാ കണികാ സിദ്ധാന്തങ്ങളെയും ബാധിക്കുന്ന ഒരു ദോഷം ചരടു സിദ്ധാന്തത്തിനെ ബാധിക്കുന്നില്ല.

ഗുരുത്വാകർഷണവും ക്വാണ്ടം മെക്കാനിക്സും

കണികാസിദ്ധാന്തങ്ങൾക്കുള്ള ദോഷം ഏറ്റവും രൂക്ഷമായി ബാദ്ധിക്കുന്നത് electromagnetism ത്തിനെയല്ല, ഗുരുത്വാകർഷണ (**gravitatation**) സിദ്ധാന്തത്തിനെയാണു. ഇതുകാരണം ഐൻസ്റ്റൈൻ പടുത്തെടുത്ത ഗുരുത്വാകർഷണ സിദ്ധാന്തത്തെ ക്വാണ്ടം മെക്കാനിക്സുമായി പൊരുത്തപ്പെടുത്താൻ ആർക്കും ഇതുവരെ സാധിച്ചിട്ടില്ല. ഈ സന്ദർഭത്തിൽ "പൊരുത്തപ്പെടുത്തുക" എന്ന പദത്തിന്റെ അർത്ഥം എന്താണു എന്നുപറയട്ടെ. ക്വാണ്ടം മെക്കാനിക്സ് പ്രയോഗിച്ച് എന്തെങ്കിലും ഗണിക്കുമ്പോൾ ക്ലാസ്സിക്കൽ മെക്കാനിക്സിൽ നിന്നും വ്യത്യസ്തമായ സംഖ്യകൾ ലഭിക്കുമെന്നു പ്രതീക്ഷിക്കണമല്ലോ. ഈ വ്യത്യാസങ്ങൾ കൃത്യമായി ഗണിയ്ക്കാൻ പറ്റുന്നുണ്ടോ, അതോ അർത്ഥശൂന്യമായ "∞" എന്ന സംഖ്യ ലഭിക്കുന്നുണ്ടോ എന്നാണു പ്രശ്നം. കൃത്യമായി ഗണിക്കാൻ പറ്റിയാൽ ക്വാണ്ടം മെക്കാനിക്സായി "പൊരുത്തപ്പെടുത്തുവാൻ" പറ്റുമെന്നു പറയാം.

അപ്പോൾ ചരടുസിദ്ധാന്തം ഉപയോഗിച്ചാൽ ഗുരുത്വാകർഷണം എന്ന പ്രതിഭാസത്തിനെ ക്വാണ്ടം മെക്കാനിക്സ് ആയി പൊരുത്തപ്പെടുത്താൻ കഴിയുമോ? കഴിയുമെന്നാണു ചുരുക്കത്തിൽ പറഞ്ഞാൽ ഇതിനുള്ള ഉത്തരം.

ഘനമുള്ള രണ്ടു വസ്തുക്കൾ തമ്മിലുള്ള ആകർഷണശക്തി ചരടുസിദ്ധാന്തത്തിലെ സമവാക്യങ്ങളുപയോഗിച്ച് ഗണിക്കാൻ പറ്റും. ഇതേ രണ്ടു വസ്തുക്കൾ തമ്മിൽ ഐൻസ്റ്റൈനിന്റെ ഗുരുത്വാകർഷണ സിദ്ധാന്തം ഉപയോഗിച്ചു ഗണിച്ചാൽ അതേ സംഖ്യ തന്നെ ലഭിക്കുന്നതാണു. അപ്പോൾ ചരടുസിദ്ധാന്തത്തിനു ഗുരുത്വാകർഷണം എന്ന പ്രതിഭാസത്തെ വിവരിക്കാൻ പറ്റുമെന്നു അനുമാനിക്കാം. ഇപ്പറഞ്ഞതൊക്കെ "ക്ലാസ്സിക്കൽ" തലത്തിലാണു. എന്നാൽ ചരടുസിദ്ധാന്തവും ക്വാണ്ടം മെക്കാനിക്സും തമ്മിൽ പൊരുത്തപ്പെടുത്താൻ സാധിക്കുമെന്നു മുമ്പ് പറഞ്ഞുവല്ലോ. ചരടുസിദ്ധാന്തമുപയോഗിച്ച് ഗുരുത്വാകർഷണ ശക്തിയിൽ ക്വാണ്ടം മെക്കനിക്സ് വരുത്തുന്ന വ്യത്യാസങ്ങൾ ഗണിക്കാൻ പറ്റും - ക്ലിപ്ത സംഖ്യയാണു ലഭിക്കുക.

ഇത് കണികസിദ്ധാന്തങ്ങളോട് താരതമ്യപ്പെടുത്തുമ്പോൾ ചരടുസിദ്ധാന്തത്തിന്റെ ഏറ്റവും പധാനപ്പെട്ട സവിശേഷതയാണെന്നു പറയാം.

ചരടുസിദ്ധാന്തവും ഏകീകൃത ക്ഷേത്ര സിദ്ധാന്തവും

എന്നാൽ വേറൊരു രസകരമായ കാര്യവും ഇവിടെ പറയാം.ചരടുസിദ്ധാന്തത്തിൽ ഐൻസ്റ്റൈന്റെ ഗുരുത്വാകർഷണ സിദ്ധാന്തം ഉൾപെടുത്താമെന്നു മാത്രമല്ല, അതു അനിവാര്യമാണുതാനും! ഈ വസ്തുതക്ക് ചരിത്രപരമായ പ്രാധാന്യവുമുണ്ട്. എന്തെന്നാൽ ചരടുസിദ്ധാന്തം ആദ്യം പ്രചാരത്തിൽ വന്നത് ഒരു മൗലികസിദ്ധാന്തം - അഥവാ പ്രപഞ്ചത്തിലുള്ള എല്ലാ വസ്തുക്കളേയും അടിസ്ഥാനപരമായി വിശദീകരിക്കുന്ന ഒരു സിദ്ധാന്തം ആയിട്ടല്ല, "സ്റ്റ്രോങ് ഇൻെറരാക്ഷൻ" (**Strong Interaction**) എന്നു പറയപ്പെടുന്ന പ്രതിഭാസത്തെ വിശദീകരിക്കാനാണു. അതായത് അണുക്കളുടെ ഉള്ളിൽ ഉള്ള പ്രോടോനുകളും ന്യൂട്രോനുകളും തമ്മിലുള്ള ആകർഷണശക്തിയെ വിശദീകരിക്കാനാണു. 1960-80 വരേ ഗവേഷകസമൂഹം ഈ പ്രതിഭാസത്തെ മനസ്സിലാക്കുന്നതിനായി വളരെയേറെ പരിശ്രമം നടത്തി. ചരടുസിദ്ധാന്തമുപയോഗിച്ച് ഗണിച്ചുനോക്കിയപ്പോൾ "സ്റ്റ്രോങ് ഇൻെറരാക്ഷൻ" എന്ന പ്രതിഭാസത്തിനെ വിശദീകരിക്കുന്നതിനുപകരം ഗുരുത്വാകർഷണശക്തിയെപ്പോലുള്ള ഒരു

ശക്തിയെയാണു അത് വിവരിക്കുന്നത് എന്നു കണ്ടു. അപ്പോൾ ഗവേഷകസമൂഹത്തിനു ചരടുസിദ്ധാന്തത്തിൽ താത്പര്യം പാടെ ഇല്ലാതായി.

അപ്പോൾ ഒരു പുതിയ ആശയം ഉന്നയിക്കപ്പെട്ടു. ചരടു സിദ്ധാന്തം ഗുരുത്വാകർഷണതിന്റെ സിദ്ധാന്തമാണു, സ്ട്രോങ് ഇന്ററാക്ഷൻസിന്റെയല്ല എന്നായിരുന്നു അത്. പിന്നീട് ഈ സിദ്ധാന്തത്തിനു ഗുരുത്വാകർഷണത്തെ മാത്രമല്ല മറ്റു പലേ ശക്തികളേയും (**forces**) (സ്ട്രോങ് ഇന്ററാക്ഷൺ ഉൾപ്പെടെ) വിശദീകരിക്കാൻ കഴിയുമെന്നു കണ്ടു. അങ്ങനെ ഇത് ഐൻസ്റ്റൈൻ സ്വപ്നം കണ്ട **Unified Field Theory** ആണു എന്നും ചില ശാസ്ത്രജ്ഞർക്ക് തോന്നി. ഗുരുത്വാകർഷണത്തിനെ വിശദീകരിക്കുന്നുണ്ടെന്നുള്ളതിനെ പറ്റി സംശയമില്ലെങ്കിലും മറ്റെല്ലാ പ്രതിഭാസങ്ങളേയും നാം പ്രകൃതിയിൽ കാണുന്ന മാതിരി തന്നെ വിശദീകരിക്കുന്നുണ്ടെന്നു ഉറച്ചു പറയാറായിട്ടില്ല. ഇതു ഉറപ്പിക്കാനുള്ള ശ്രമത്തിലാണു പല ശാസ്ത്രജ്ഞരും. ഐൻസ്റ്റൈന്റെ **Unified Field Theory** കണ്ടെത്താനുള്ള പ്രലോഭനമാണു ഇവരെ ചരടുസിദ്ധാന്തത്തിലേക്കു ആകർഷികുന്നത്.