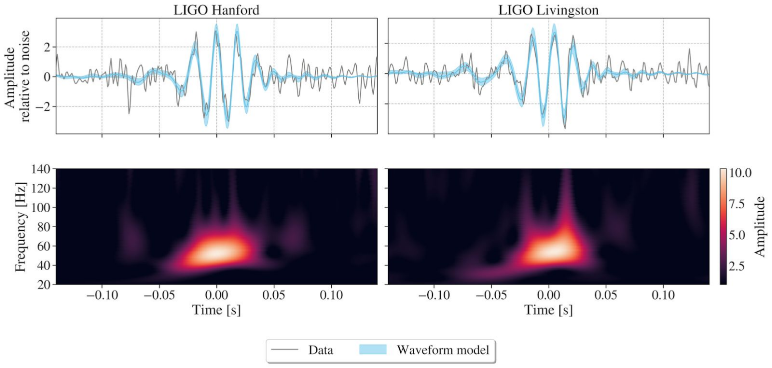
GW231123: ഗുരുത്വാകർഷണ തരംഗങ്ങളിലൂടെ കണ്ടെത്തിയ ഏറ്റവും വലിയ തമോദ്വാര ദ്വന്ദ്വ നക്ഷത്രം

2023 നവംബർ 23, ഏകോപിപ്പിച്ച സാർവത്രിക സമയം അഥവാ അന്താരാഷ്ട്ര സമയക്രമം 13:54:30 ന്, LIGO-Virgo-KAGRA (LVK) സഹകരണം ഇതുവരെ നിരീക്ഷിച്ചിട്ടുള്ളതിൽ വച്ച് ഏറ്റവും ഉയർന്ന സംയോജിത പിണ്ഡമുള്ള (mass) രണ്ട് തമോദ്വാരങ്ങളുടെ (Black Hole) ലയനം മൂലമുണ്ടാകുന്ന ഒരു ഗുരുത്വാകർഷണ-തരംഗ 'സിഗ്നൽ' കണ്ടെത്തി. ഇതിന് GW231123 എന്നാണ് പേര് നൽകിയിരിക്കുന്നത്. ഈ തമോദ്വാരങ്ങൾ അവിശ്വസനീയമാംവിധം വേഗത്തിൽ കറങ്ങുകയായിരിന്നു. കൂടാതെ അവയുടെ വ്യക്തിഗത പിണ്ഡങ്ങൾ, ഭീമാകാരമായ നക്ഷത്രങ്ങൾ എങ്ങനെ പരിണമിക്കുകയും അവയുടെ ജീവൻ അവസാനിപ്പിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു എന്നതിനെക്കുറിച്ചുള്ള നിലവിലുള്ള സിദ്ധാന്തങ്ങളെ വെല്ലുന്നതായി കരുതപ്പെടുന്നു.

സിഗ്നലിന്റെ കണ്ടുപിടിത്തം

നാലാമത്തെ LVK നിരീക്ഷണ ഓട്ടത്തിന്റെ ആദ്യ ഭാഗത്തിൽ (O4a) അമേരിക്കയിലെ ഹാൻഫോർഡിലെയും ലിവിംഗ്സ്റ്റണിലെയും രണ്ട് വികസിതമായ LIGO (Advanced LIGO) ഡിറ്റക്ടറുകളാണ് ഈ ഗുരുത്വാകർഷണ തരംഗം കണ്ടെത്തിയത്. ചിത്രം 1 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ, ഈ സിഗ്നൽ ഒരു ഞൊടിയുടെ പത്തിലൊന്ന് മാത്രമേ നീണ്ടു നിന്നുള്ളുവെങ്കിലും വ്യക്തമായി വേറിട്ടു നിന്നു, സാധാരണ ഡിറ്റക്ടർ ശബ്ദത്തേക്കാൾ (noise) 20 മടങ്ങ് ഉച്ചത്തിൽ. ഇത് 'ഡാറ്റ' യിലെ ക്രമരഹിതമായ ഒരു മങ്ങൽ അല്ലെന്ന് ഉറപ്പാക്കാൻ, ഞങ്ങൾ ശ്രദ്ധാപൂർവ്വമായ സ്ഥിതിവിവരക്കണക്ക് ('സ്റ്റാറ്റിസ്റ്റിക്കൽ') പരിശോധനകൾ നടത്തി. ആയിരക്കണക്കിന് വർഷത്തെ വ്യാജ 'ഡാറ്റ'യെ അനുകരിക്കുന്ന സാങ്കേതിക വിദ്യകൾ ഉപയോഗിച്ച്, GW231123 നെ അനുകരിക്കുന്ന ക്രമരഹിതമായ ശബ്ദത്തിന്റെ (Random noise) സാധ്യത 10,000 വർഷത്തിലൊരിക്കൽ അല്ലെങ്കിൽ അതിൽ കുറവാണെന്ന് ഞങ്ങൾ കണ്ടെത്തി ! ഇത് സിഗ്നലിന്റെ ഭൗമേതര ഉത്ഭവത്തിലും അതിനാൽ ഈ ഗുരുത്വാകർഷണ-തരംഗ സിഗ്നലിന്റെ യാഥാർത്ഥ്യത്തിലും ഞങ്ങൾക്ക് അങ്ങേയറ്റം ആത്മവിശ്വാസം നൽകുന്നു.



ചിത്രം 1: LIGO ഹാൻഫോർഡ് (ഇടത്), ലിവിംഗ്സ്റ്റൺ (വലത്) ഡിറ്റക്ടറുകളിൽ നിന്നുള്ള ഡാറ്റയിലെ GW231123 സിഗ്നൽ. മുകളിലെ പാനലുകൾ കാലക്രമേണ ഡാറ്റയുടെ വ്യാപ്തി കാണിക്കുന്നു (ചാരനിറത്തിലുള്ള ട്രെയ്സുകൾ). ഷേഡുള്ള നീല ബാൻഡ് യഥാർത്ഥ സിഗ്നലിനെക്കുറിച്ചുള്ള ഞങ്ങളുടെ കണക്ക് കാണിക്കുന്നു. താഴെയുള്ള പാനലുകൾ സ്പെക്ട്രോഗ്രാമുകളാണ്, ടൈം-ഫ്രീക്വൻസി മാപ്പുകൾ എന്നും അറിയപ്പെടുന്നു, അവ

സിഗ്നലിന് പിന്നിലെ ഉറവിടം

രണ്ട് തമോദ്വാരങ്ങളുടെ ലയനത്തിൽ നിന്നാണ് ഈ സിഗ്നൽ വന്നതെന്ന് ഡാറ്റ ശക്തമായി സൂചിപ്പിക്കുന്നു. ഈ തമോദ്വാരങ്ങളെക്കുറിച്ച് കൂടുതലറിയാൻ - അവ എത്ര വലുതായിരുന്നു, എത്ര വേഗത്തിൽ കറങ്ങുന്നു (Spin) എന്നതുപോലെ - ഐൻസ്റ്റീന്റെ പൊതു ആപേക്ഷികതാ സിദ്ധാന്തത്തെ അടിസ്ഥാനമാക്കിയുള്ള നിരവധി മോഡലുകൾ ഉപയോഗിച്ച് വ്യത്യസ്ത തമോദ്വാര ജോഡികൾക്ക് അത്തരമൊരു സിഗ്നൽ എങ്ങനെയായിരിക്കുമെന്ന് അനുകരിക്കാൻ ഞങ്ങൾ ശ്രമിച്ചു.

ഈ മോഡലുകളുമായി വിവരാംശങ്ങൾ താരതമ്യം ചെയ്തപ്പോൾ, മേല്പറഞ്ഞ തമോദ്വാരങ്ങൾക്ക് സൂര്യന്റെ പിണ്ഡത്തിന്റെ ഏകദേശം 137 ഇരട്ടിയും 103 ഇരട്ടിയും ഭാരമുണ്ടെന്ന് ഞങ്ങൾ കണ്ടെത്തി. എല്ലാ അനിശ്ചിതത്വങ്ങളും കണക്കിലെടുക്കുമ്പോൾ, അവയുടെ ആകെ ഭാരം 190 നും 265 നും ഇടയിലായിരിക്കാൻ സാധ്യതയുണ്ട്, ഇതുവരെ നിരീക്ഷിച്ചതിൽ വച്ച് ഏറ്റവും വലിയ തമോദ്വാര 'ബൈനറി' (ദ്വിത്വം) എന്ന നിലയിൽ GW190521 നെ പിൻതള്ളുകയും ചെയ്തു ഈ സിഗ്നൽ. മാത്രമല്ല, രണ്ട് തമോദ്വാരങ്ങളും സൈദ്ധാന്തികമായി തമോദ്വാരങ്ങൾക്ക് കറങ്ങാൻ കഴിയുന്നത്ര വേഗത്തിൽ കറങ്ങാൻ സാധ്യതയുണ്ട്, ഇത് GW231123 നെ ഏറ്റവും വലിയത് മാത്രമല്ല, ഗുരുത്വാകർഷണ തരംഗങ്ങളാൽ കണ്ടെത്തിയ ഏറ്റവും വേഗത്തിൽ കറങ്ങുന്ന തമോദ്വാര ബൈനറിയാക്കി മാറ്റുന്നു. ഈ ലയനം 182 നും 251 നും

കൂടുതൽ അറിയാൻ

വെബ്സൈറ്റ് സന്ദർശിക്കുക :

https://ligo.org/
https://www.virgo-gw.eu/
https://gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/

ഇടയിൽ പിണ്ഡമുള്ള ഒരു തമോദ്വാരം സൃഷ്ടിച്ചു. ഇത് ഇന്റർമീഡിയറ്റ്-മാസ് തമോദ്വാരങ്ങൾ എന്നറിയപ്പെടുന്ന അപൂർവ തമോദ്വാരങ്ങളുടെ വിഭാഗത്തിൽ പെടുന്നു - നക്ഷത്രങ്ങളുടെ തകർച്ചയിൽ നിന്ന് രൂപം കൊള്ളുന്നതിനേക്കാൾ ഭാരമേറിയതും എന്നാൽ ഗാലക്സികളുടെ കേന്ദ്രങ്ങളിൽ പതിയിരിക്കുന്ന സൂപ്പർമാസിവ് തമോദ്വാരങ്ങളേക്കാൾ വളരെ ഭാരം കുറഞ്ഞതുമാണ്. GW231123, GW190521 എന്നിവയുടെ ലയന അവശിഷ്ടങ്ങൾ ഈ അവ്യക്തവും ഇടത്തരം വലിപ്പമുള്ളതുമായ തമോദ്വാരങ്ങളുടെ ഏറ്റവും വ്യക്തമായ ഗുരുത്വാകർഷണ-തരംഗ കണ്ടെത്തലുകളായി വേറിട്ടുനിൽക്കുന്നു.

ഈ സവിശേഷതകൾ രസകരമായിരിക്കുന്നത് എന്തുകൊണ്ട് ?

നക്ഷത്ര പരിണാമത്തെക്കുറിച്ചുള്ള നിലവിലുള്ള സിദ്ധാന്തങ്ങൾ സൂചിപ്പിക്കുന്നത് ഏകദേശം 60 നും 130 നും ഇടയിൽ സൗരപിണ്ഡമുള്ള തമോദ്വാരങ്ങൾ അപൂർവമോ നിലവിലില്ലാത്തതോ ആയിരിക്കണമെന്നാണ്. തമോദ്വാര പിണ്ഡ വിടവ് (Mass gap) എന്നറിയപ്പെടുന്ന ഈ "നിരോധിത" പിണ്ഡ ശ്രേണി, ഭാരമേറിയ നക്ഷത്രങ്ങളെ വേർപെടുത്തുന്ന (Pair Instability സൂപ്പർനോവകൾ) അല്ലെങ്കിൽ തകർച്ചയ്ക്ക് മുമ്പ് അവയുടെ പിണ്ഡത്തിന്റെ ഒരു പ്രധാന ഭാഗം (pulsational pair-instability സൂപ്പർനോവകൾ) പുറന്തള്ളുന്ന പ്രത്യേക തരം സ്ഫോടനങ്ങളുടെ ഫലമാണെന്ന് കരുതപ്പെടുന്നു, ഇത് ഒരു കനത്ത തമോദ്വാരത്തിന്റെ രൂപീകരണം തടയുന്നു.

എന്നിരുന്നാലും, GW231123 ഈ പ്രതീക്ഷയെ വെല്ലുവിളിക്കുന്നു. ഭാരം കുറഞ്ഞ തമോദ്വാരം പിണ്ഡ വിടവിനുള്ളിൽ തന്നെയാണ്, അതിനുള്ളിൽ വീഴാനുള്ള സാധ്യത 83% ആണ്, അതേസമയം ഭാരം കൂടിയ തമോദ്വാരത്തിന് 26% ആണ് സാധ്യത. പരമ്പരാഗത നക്ഷത്ര പരിണാമം അവയുടെ ഉത്ഭവം പൂർണ്ണമായി വിശദീകരിച്ചേക്കില്ല എന്നാണ് ഇത് സൂചിപ്പിക്കുന്നത്.

ഈ തമോദ്വാരങ്ങളിൽ ഒന്നോ രണ്ടോ മുമ്പത്തെ തമോദ്വാര ലയനങ്ങളുടെ ഫലമായി രൂപപ്പെട്ടതാകാമെന്നതാണ് ഒരു അമ്പരപ്പിക്കുന്ന സാധ്യത. ഇത് അവയുടെ ഉയർന്ന കണക്കാക്കിയ പിണ്ഡവും ഭ്രമണവും വിശദീകരിക്കും, കൂടാതെ അവ വളരെ സാന്ദ്രമായ ഒരു ജ്യോതിർഭൗതിക അന്തരീക്ഷത്തിലാണ് ജീവിച്ചിരുന്നതെന്ന് സൂചിപ്പിക്കുന്നു, ഉദാഹരണത്തിന് ഒരു ന്യൂക്ലിയർ സ്റ്റാർ ക്ലസ്റ്റർ അല്ലെങ്കിൽ സജീവമായ ഒരു ഗാലക്സി ന്യൂക്ലിയസ്, അവിടെ തമോദ്വാരങ്ങൾ കൂട്ടിയിടിക്കാൻ സാധ്യതയുണ്ട്. ഈ സാന്ദ്രമായ പരിതസ്ഥിതികൾ കൂടുതൽ നീളമേറിയതോ വികേന്ദ്രീകൃതമോ ആയ പാതകളിൽ തമോദ്വാരങ്ങൾ പരസ്പരം പരിക്രമണം ചെയ്യുന്നതിലേക്ക് നയിച്ചേക്കാം. എന്നിരുന്നാലും, അവയുടെ സങ്കീർണ്ണത പരിമിതപ്പെടുത്തുന്നതിനായി, ഗുരുത്വാകർഷണ തരംഗങ്ങൾ പുറപ്പെടുവിക്കുമ്പോൾ ക്രമേണ ചുരുങ്ങുന്ന ഏതാണ്ട് ഗോളാകൃതിയിലുള്ള ഭ്രമണപഥങ്ങളിൽ തമോദ്വാരങ്ങൾ അകത്തേക്ക് സർപ്പിളമായി നീങ്ങുന്നുവെന്ന് ഞങ്ങളുടെ മോഡലുകൾ നിലവിൽ അനുമാനിക്കുന്നു. എന്നാൽ ഭ്രമണപഥങ്ങൾ വളരെ വികേന്ദ്രീകൃതമാണെങ്കിൽ, പ്രത്യേകിച്ച് ലയിക്കുന്നതിന് തൊട്ടുമുമ്പ്, അത് പുറത്തുവിടുന്ന തരംഗരൂപങ്ങളെ ഞങ്ങളുടെ മോഡലുകൾ പിടിച്ചെടുക്കാത്ത വിധത്തിൽ ബാധിച്ചേക്കാം. GW231123 ന്, ഈ സാധ്യത തുറന്നിരിക്കുന്നു, പരീക്ഷിക്കാൻ കൂടുതൽ നൂതന മോഡലുകൾ ആവശ്യമാണ്.

ഗുരുത്വാകർഷണ ലെൻസിംഗ്, ആദിമ തമോദ്വാരങ്ങൾ, കോർ-കൊളാപ്സ് സൂപ്പർനോവകൾ, ബോസോൺ നക്ഷത്ര ലയനങ്ങൾ, കോസ്മിക് സ്ട്രിങ്ങുകൾ എന്നിവ പോലുള്ള ഇതര സാഹചര്യങ്ങൾ ഇതുപോലുള്ള ഒരു സിഗ്നൽ സൃഷ്ടിക്കുവാനുള്ള സാധ്യത മുകളിൽ ചർച്ച ചെയ്തതിനേക്കാൾ ജ്യോതിശാസ്ത്രപരമായി കുറവാണ്.

ലയനത്തിന്റെ അവസാന നിമിഷങ്ങൾ

LVK നിരീക്ഷിക്കുന്ന മിക്ക തമോദ്വാര ലയനങ്ങൾക്കും (ഈ ശാസ്ത്ര സംഗ്രഹം എഴുതിയ സമയത്ത് ഏകദേശം 300) സിഗ്നലിന്റെ മുൻ ഭാഗങ്ങളോടാണ് കൂടുതലും സെൻസിറ്റീവ് ആയി കാണപ്പെടുന്നത്, എന്നിരുന്നാലും ഈ സിഗ്നലിന്റെ വലിയ പിണ്ഡം കാരണം, GW231123 അതിന്റെ മഹത്തായ അന്തിമഫലത്തിന്റെ ഏറ്റവും വ്യക്തമായ കാഴ്ച നമുക്ക് നൽകി: ലയനത്തിന്റെയും റിംഗ്ഡൗൺ ഘട്ടത്തിന്റെയും, പുതുതായി രൂപംകൊണ്ട തമോദ്വാരം ഗുരുത്വാകർഷണ തരംഗങ്ങളിലൂടെ ഊർജ്ജം പ്രസരിപ്പിക്കുകയും, വൈബ്രേറ്റ് ചെയ്യുകയും ഒടുവിൽ നിശബ്ദതയിലേക്ക് ഒരു മണി മുഴങ്ങുന്നത് പോലെ സ്ഥിരതയുള്ള അവസ്ഥയിലേക്ക് മാറുകയും ചെയ്യുന്ന ഘട്ടം.

സിഗ്നലിന്റെ ഈ അവസാന നിമിഷത്തെ സാമാന്യ ആപേക്ഷികതാ സിദ്ധാന്തത്തിന്റെ പ്രവചനങ്ങളുമായി താരതമ്യം ചെയ്തപ്പോൾ സിദ്ധാന്തവും ഞങ്ങളുടെ ഡാറ്റയും തമ്മിൽ ശക്തമായ യോജിപ്പ് കണ്ടെത്തി. എന്നിരുന്നാലും, GW231123 ന്റെ അങ്ങേയറ്റത്തെ സവിശേഷതകൾ ഞങ്ങളുടെ മോഡലുകളെ അവയുടെ പരിധികളിലേക്ക് തള്ളിവിടുന്നു, ചില സൂക്ഷ്മ സവിശേഷതകൾ വിശദീകരിക്കാനാകാതെ വിടുകയും ഞങ്ങളുടെ തരംഗരൂപങ്ങൾ മെച്ചപ്പെടുത്താൻ കഴിയുന്ന മേഖലകളിലേക്ക് വിരൽ ചൂണ്ടുകയും ചെയ്യുന്നു

ഉപസംഹാരം

കുറച്ച് വർഷങ്ങൾക്ക് മുമ്പ്, GW190521 ന്റെ സംഗ്രഹത്തിൽ, റെക്കോർഡുകൾ തകർക്കപ്പെടേണ്ടതാണെന്ന് ഞങ്ങൾ പറഞ്ഞിരുന്നു, GW231123 അത് തന്നെയാണ് ചെയ്തത്. പിണ്ഡ വിടവിലെ തമോദ്വാരങ്ങൾ ഉൾപ്പെടാവുന്നതും സൈദ്ധാന്തിക പരിധിക്ക് സമീപം കറങ്ങുന്നതും ഉൾപ്പെടുന്ന ഗുണങ്ങളോടെ, ഈ സംഭവം അസാധാരണവും വ്യാഖ്യാനിക്കാൻ ബുദ്ധിമുട്ടുള്ളതുമായി വേറിട്ടുനിൽക്കുന്നു. പരമ്പരാഗത നക്ഷത്ര പരിണാമത്തിനപ്പുറം തമോദ്വാര രൂപീകരണത്തിനുള്ള ബദൽ മാർഗങ്ങൾ പര്യവേക്ഷണം ചെയ്യാൻ ഇത് നമ്മെ നിർബന്ധിക്കുന്നു, കൂടാതെ നമ്മുടെ നിലവിലെ തരംഗരൂപ മാതൃകകളുടെ പരിമിതികൾ വെളിച്ചത്തു കൊണ്ടുവരുന്നു. ഗുരുത്വാകർഷണ തരംഗങ്ങളിലൂടെ പ്രപഞ്ചത്തെ ശ്രദ്ധിക്കുന്നത് തുടരുമ്പോൾ, പ്രപഞ്ചം ഇപ്പോഴും നിരവധി ആശ്ചര്യങ്ങൾ സൂക്ഷിക്കുന്നുണ്ടെന്ന് GW231123 ഒരു ശക്തമായ ഓർമ്മപ്പെടുത്തലാണ്, അവ നമ്മൾ കണ്ടെത്താൻ തുടങ്ങിയിട്ടേയുള്ളൂ.

കൂടുതൽ അറിയാൻ

https://ligo.org/
https://www.virgo-gw.eu/
https://gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/

പൂർണ്ണ ശാസ്ത്ര ലേഖനത്തിന്റെ സൗജന്യ പ്രീപ്രിന്റ് ഇവിടെ വായിക്കുക.
ഗ്രാവിറ്റേഷണൽ-വേവ് ഓപ്പൺ സയൻസ് സെന്റർ GW231123-നുള്ള ഡാറ്റ റിലീസ് ഇവിടെ ലഭ്യമാണ്.

മലയാളത്തിലേക്ക് വിവർത്തനം ചെയ്തത് ശ്രീകാന്ത് ഹരികുമാറും പ്രസിയ പി യും (ഇംഗ്ലീഷ് ഒറിജിനലിൽ നിന്ന് https://ligo.org/science-summaries/GW231123/)