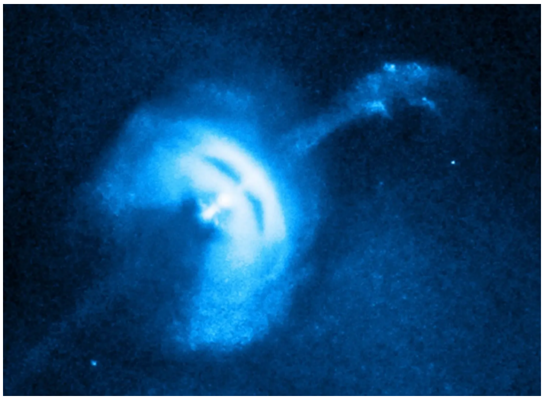
# ഗുരുത്വാകർഷണ തരംഗങ്ങളിലൂടെ പൾസർ "ഗ്ലിച്ചസ്" കണ്ടെത്താൻ സാധിക്കുമോ?

2024-ൽ, റേഡിയോ ജ്യോതിശാസ്ത്രജ്ഞർക്കിടയിൽ വളരെ പ്രസിദ്ധമായ “വേല പൾസർ (Vela Pulsar)” എന്നറിയപ്പെടുന്ന ഒരു ന്യൂട്രോൺ നക്ഷത്രത്തിന് ഒരു "ഗ്ലിച്ച്" അനുഭവപ്പെട്ടു: അതിന്റെ ക്രമമായ റേഡിയോ സിഗ്നലുകളിൽ നിന്നും ഒരുതരം വ്യതിയാനം. പൾസർ "ഗ്ലിച്ചിനു" പിന്നിലെ ഭൗതിക പ്രക്രിയകൾ ഇപ്പോഴും പൂർണ്ണമായി മനസ്സിലായിട്ടില്ല. അതിനാൽ തന്നെ ഗുരുത്വാകർഷണ തരംഗങ്ങളിൽ അവയെ കണ്ടെത്തുന്നതു ഈ സമസ്യ പരിഹരണത്തിലെ ഒരു പ്രധാന നാഴികകല്ലായിരിക്കും.



ചിത്രം 1: വേല പൾസറിന് ചുറ്റുമുള്ള നെബുലയും അത് വിക്ഷേപിച്ച ജെറ്റും. എക്സ്-റേയുടെ (ക്രെഡിറ്റ്: NASA/CXC/യൂണിവേഴ്സിറ്റി ഓഫ് ടൊറന്റോ/M.Durant et al.) സംയോജിത ചിത്രം, ഒപ്റ്റിക്കൽ (ക്രെഡിറ്റ്: DSS/Davide De Martin).

## പൾസർ “ഗ്ലിച്ചസ്”

ഭൂമിയിൽ നിന്ന് ഏകദേശം ആയിരം പ്രകാശവർഷം അകലെ സ്ഥിതി ചെയ്യുന്നതും പതിനായിരം വർഷത്തിൽ കൂടുതൽ പഴക്കമില്ലാത്തതുമായ വേല പൾസർ, വളരെ ആകർഷകമായ ഒരു തരം നക്ഷത്രത്തിൽ പെടുന്നു: ഒരു ഭീമൻ നക്ഷത്രത്തിന്റെ ആയുസ്സിന്റെ അവസാനത്തിൽ സൂപ്പർനോവ സ്ഫോടനത്തിന്റെ വളരെ സാന്ദ്രമായ അവശിഷ്ടം, വളരെയധികം ചുരുങ്ങി ഒരു ന്യൂട്രോൺ നക്ഷത്രമായി മാറി. ഇത് വളരെ വേഗത്തിൽ (സെക്കൻഡിൽ 11 തവണയിൽ കൂടുതൽ) ചുറ്റുകയും, കൂടാതെ വളരെ തീവ്രമായ ഒരു കാന്തികക്ഷേത്രം (ഭൂമിയേക്കാൾ ഒരു ട്രില്യൺ മടങ്ങ് ശക്തമായവ) ഉള്ളതിനാൽ അത് ശക്തമായ വൈദ്യുതകാന്തിക വികിരണ രശ്മികൾ പുറപ്പെടുവിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. ഓരോ ഭ്രമണത്തിലും ഈ രശ്മികൾ ഭൂമിയെ കടന്നുപോകുമ്പോൾ, റേഡിയോ ടെലിസ്കോപ്പുകൾ (കൂടാതെ മറ്റ് തരംഗദൈർഘ്യങ്ങളിൽ നിരീക്ഷിക്കുന്നവ) ഇത്തരം പൾസ്ഡ് സിഗ്നലുകൾ എടുക്കുന്നു - അതിനാൽ പൾസർ എന്ന പദം. പൾസർ കാലക്രമേണ പതുക്കെ ഊർജ്ജം നഷ്ടപ്പെടുകയും വേഗത കുറയ്ക്കുകയും ചെയ്യുന്നു, ഈ ഊർജ്ജ നഷ്ടത്തിന്റെ ഒരു ചെറിയ ഭാഗം തുടർച്ചയായ ഗുരുത്വാകർഷണ തരംഗ ഉദ്വമനം വഴി വിശദീകരിക്കാം.

എന്നാൽ വേല പൾസാറിന്റെ കാര്യത്തിൽ, ഈ പതിവ് പൾസുകളുടെ പരമ്പര ഓരോ രണ്ട് വർഷത്തിലൊരിക്കൽ അസാധാരണമായ ഒരു സവിശേഷത കാണിക്കുന്നു: "ഗ്ലിച്ച്" എന്നറിയപ്പെടുന്ന പ്രതിഭാസ സമയത്ത്: പൾസാറിന്റെ ഭ്രമണം പെട്ടെന്ന് വീണ്ടും വേഗത കൈവരിക്കുന്നു. മറ്റ് വിവിധ പൾസാറുകളിൽ നിന്ന് ഇത്തരം "ഗ്ലിച്ചുകൾ" കണ്ടെത്തിയിട്ടുണ്ട്, എന്നാൽ "ഗ്ലിച്ച്" സംഭവിച്ചതായി നിരീക്ഷിക്കപ്പെട്ട ആദ്യത്തെ പൾസാറാണ് വേല, അറിയപ്പെടുന്നതിൽ വച്ച് ഏറ്റവും ശക്തമായ "ഗ്ലിച്ച്" കാണിച്ചിട്ടുണ്ട്, കൂടാതെ ഇത്തരം "ഗ്ലിച്ചുകൾ" ഏറ്റവും കൂടുതൽ ഉണ്ടാക്കുന്ന പൾസാറുകളിൽ ഒന്നാണിത്. എന്നിരുന്നാലും, ദൂരദർശിനി നിരീക്ഷണങ്ങളിൽ നിന്ന് മാത്രം, "ഗ്ലിച്ചുകൾ" വളരെ നിഗൂഢമായ സംഭവങ്ങളായി തുടരുന്നു. അവ ശക്തമായ "നക്ഷത്ര ഭൂകമ്പങ്ങൾ (starquakes)", നക്ഷത്രത്തിന്റെ സാന്ദ്രത ഏറിയ ഉൾഭാഗത്തെ "സൂപ്പർഫ്ലൂയിഡ് ഇഫക്റ്റുകൾ" അല്ലെങ്കിൽ രണ്ടിന്റെയും സംയോജനം എന്നിവയുമായി ബന്ധപ്പെട്ടിരിക്കാം, പക്ഷേ വിശദാംശങ്ങൾ ഇപ്പോഴും അജ്ഞാതമായി തുടരുന്നു.

പ്രത്യേകിച്ച്, LIGO-Virgo-KAGRA (LVK) സഹകരണത്തിന്റെ ഭാഗത്ത് നിന്ന്, 2024 ഏപ്രിൽ അവസാനത്തിൽ, LIGO, Virgo ഡിറ്റക്ടറുകൾ പൂർണ്ണ നിരീക്ഷണാവസ്ഥയിലായിരിക്കെ, റേഡിയോ ടെലിസ്കോപ്പുകൾ കണ്ടെത്തിയ വേല പൾസാറിന്റെ ഏറ്റവും പുതിയ വലിയ ഗ്ലിച്ചിനെക്കുറിച്ചു ഞങ്ങൾ ആവേശഭരിതരായിരുന്നു. വേല തെക്കൻ ആകാശത്തിലെ ഒരു നക്ഷത്രസമൂഹമായതിനാൽ, ഈ ഗ്ലിച്ചിനെക്കുറിച്ചു കൃത്യമായ സമയ വിവരങ്ങൾ നൽകിയ രണ്ട് റേഡിയോ ദൂരദർശിനികൾ അർജന്റീനിയൻ ഇൻസ്റ്റിറ്റ്യൂട്ട് ഓഫ് റേഡിയോസ്ട്രോണമിയുടെയും ടാസ്മാനിയ സർവകലാശാലയിലെ മൗണ്ട് പ്ലസന്റ് ഒബ്സർവേറ്ററിയുടെയും റേഡിയോ ദൂരദർശിനികളായിരുന്നു.

## പൾസർ ഗ്ലിച്ചുകൾ ഗുരുത്വാകർഷണ തരംഗങ്ങൾക്ക് കാരണമാകുന്നത് എന്തുകൊണ്ട്?

ന്യൂട്രോൺ നക്ഷത്രങ്ങളുടെ ഉയർന്ന സാന്ദ്രതയും ദ്രുതഗതിയിലുള്ള ഭ്രമണവും, അവയെ എറെ സാധ്യതകളുള്ള ഗുരുത്വാകർഷണ തരംഗ സ്രോതസ്സുകളുടെ കൂട്ടത്തിൽ പെടുത്തുന്നു. അവയുടെ ഭ്രമണ വേഗത മന്ദഗതിയിലാകുന്നതിൽ നിന്നുള്ള മങ്ങിയ ദീർഘകാല സിഗ്നലുകൾക്ക് പുറമേ, നക്ഷത്രത്തിന് പൾസാർ "ഗ്ലിച്ചുകൾ" പോലുള്ള ചില അക്രമാസക്തമായ സംഭവങ്ങൾ നേരിടേണ്ടിവരുമ്പോൾ കുറഞ്ഞ കാലയളവിൽ ശക്തമായ സിഗ്നലുകളും ഉത്പാദിപ്പിക്കാൻ കഴിയും. ഒരു പൾസാർ "ഗ്ലിച്ച്" എങ്ങനെ ഗുരുത്വാകർഷണ തരംഗങ്ങൾ ഉത്പാദിപ്പിക്കുമെന്ന് കാണിക്കുന്ന നിരവധി മാതൃകകളുണ്ട്.

ചിത്രം 2: ഈ പ്രവർത്തനത്തിൽ പങ്കെടുക്കുന്ന നാല് നിരീക്ഷണാലയങ്ങൾ: അർജന്റീനയിലും ടാസ്മാനിയയിലുമുള്ള രണ്ട് റേഡിയോ ദൂരദർശിനികൾ, യുഎസിലെ രണ്ട് LIGO ഗുരുത്വാകർഷണ-തരംഗ ഡിറ്റക്ടറുകൾ. ക്രെഡിറ്റുകൾ: അർജന്റീനിയൻ ഇൻസ്റ്റിറ്റ്യൂട്ട് ഓഫ് റേഡിയോസ്ട്രോണമി, ടാസ്മാനിയ സർവകലാശാല, LIGO ലബോറട്ടറി (കാൽടെക്/എംഐടി).

ഒന്നാമതായി, ഒരു ന്യൂട്രോൺ നക്ഷത്രത്തിന് വിവിധ തരം ആന്ദോളനങ്ങളോടെ ഒരു മണി പോലെ മുഴങ്ങാൻ കഴിയും. ഏറ്റവും ശക്തമായവയെ "f-മോഡുകൾ" എന്ന് വിളിക്കുന്നു, "അടിസ്ഥാന മോഡുകൾ (fundamental modes)" എന്നതിന്റെ ചുരുക്കെഴുത്ത്. ഒരു ചുറ്റിക കൊണ്ട് അടിക്കുമ്പോൾ മണി മുഴങ്ങുന്നത് പോലെ, "ഗ്ലിച്ചുകൾ" അത്തരം f-മോഡുകൾക്ക് കാരണമാകും. ന്യൂട്രോൺ നക്ഷത്രം കമ്പനം ചെയ്യുമ്പോൾ, അത് കിലോഹെർട്സ് പരിധിയിൽ ഗുരുത്വാകർഷണ തരംഗങ്ങൾ പുറപ്പെടുവിക്കുമെന്ന് പ്രതീക്ഷിക്കുന്നു, ഇത് ഒരു സെക്കൻഡിന്റെ ഒരു ഭാഗം അല്ലെങ്കിൽ പരമാവധി കുറച്ച് സെക്കൻഡുകൾ നീണ്ടുനിൽക്കും.

രണ്ടാമതായി, ഈ തകരാർ ന്യൂട്രോൺ നക്ഷത്രത്തിന്റെ ആകൃതിയെ വികലമാക്കുകയും ചെയ്തേക്കാം. പൾസാറിന്റെ നിശ്ചലാവസ്ഥയിലുള്ള നിരപ്പായ ആകൃതിയിൽ നിന്ന് കുറച്ചുകാലത്തേക്ക് ഉയർന്നുവരുന്ന ഒരുതരം "ക്ഷണിക പർവത"ത്തിന്റെ രൂപീകരണമായി ഇതിനെ സങ്കൽപ്പിക്കാം. ഇത് സംഭവിച്ചുകഴിഞ്ഞാൽ, ഇപ്പോൾ അസമമായ ഭ്രമണം ഗുരുത്വാകർഷണ തരംഗങ്ങൾ പുറപ്പെടുവിക്കും. എന്നാൽ ന്യൂട്രോൺ നക്ഷത്രത്തിന്റെ അപാരമായ ഗുരുത്വാകർഷണം കാരണം, പർവതം ഒടുവിൽ വീണ്ടും അലിഞ്ഞുചേരും. ഈ ഗുരുത്വാകർഷണ തരംഗങ്ങൾ വളരെ കുറഞ്ഞ ആവൃത്തികളിലായിരിക്കും (പൾസാറിന്റെ തന്നെ ഭ്രമണ നിരക്കിന്റെ ഇരട്ടി, അതിനാൽ വേലയ്ക്ക് ഏകദേശം 22 ഹെർട്സ്). കൂടാതെ f-മോഡുകളിൽ നിന്നുള്ളതിനേക്കാൾ ദുർബലമായിരിക്കും, പക്ഷേ ദിവസങ്ങളോ മാസങ്ങളോ പോലും നിലനിൽക്കാൻ സാധ്യതയുണ്ട്, അതിനാൽ അവയുടെ മൊത്തത്തിലുള്ള പ്രഭാവം കണ്ടെത്താനുള്ള സാധ്യത ഇപ്പോഴും നമുക്കുണ്ട്.

## ഗുരുത്വാകർഷണ തരംഗത്തിനായുള്ള അന്വേഷണങ്ങൾ

നാലാമത്തെ നിരീക്ഷണ ഘട്ടത്തിൽ, LIGO ഡിറ്റക്ടറുകൾ അതിശയകരമായ സംവേദനക്ഷമത കൈവരിച്ചിരിക്കുന്നു. ആദ്യമായി, വേല പൾസാറിൽ നിന്നുള്ള ഒരു "ഗ്ലിച്ച്" പോലുള്ളതൊന്നു മൂലമുണ്ടാകുന്ന ഗുരുത്വാകർഷണ തരംഗങ്ങൾ കണ്ടെത്താനുള്ള യഥാർത്ഥ അവസരം നമുക്ക് ഇപ്പോൾ ലഭിച്ചു. ഈ അവസരം പ്രയോജനപ്പെടുത്തുന്നതിന്, "ഗ്ലിച്ച്" ഉണ്ടാകുമ്പോൾ യഥാർത്ഥത്തിൽ എന്താണ് സംഭവിക്കുന്നതെന്നുള്ള വലിയ അജ്ഞാതതകൾക്കിടയിലും എന്തെങ്കിലും കണ്ടെത്താൻ കഴിയുമെന്ന് ഉറപ്പാക്കാൻ ഞങ്ങൾ വ്യത്യസ്ത രീതികളുടെ മിശ്രിതം ഉപയോഗിച്ചു. അജ്ഞാത ഭൗതികശാസ്ത്രത്തിന്റെയും സങ്കീർണ്ണമായ ഡിറ്റക്ടർ ശബ്ദ പാറ്റേണുകളുടെയും പശ്ചാത്തലത്തിൽ സ്ഥിരത ഉറപ്പാക്കാൻ ഓരോ വ്യത്യസ്ത സിഗ്നലിനും നിരവധി വ്യത്യസ്ത തിരയൽ അൽഗോരിതങ്ങൾ ഉപയോഗിക്കുന്നത് പ്രധാനമാണ്.

## കൂടുതൽ അറിയാൻ:

ഞങ്ങളുടെ വെബ്സൈറ്റുകൾ സന്ദർശിക്കുക:

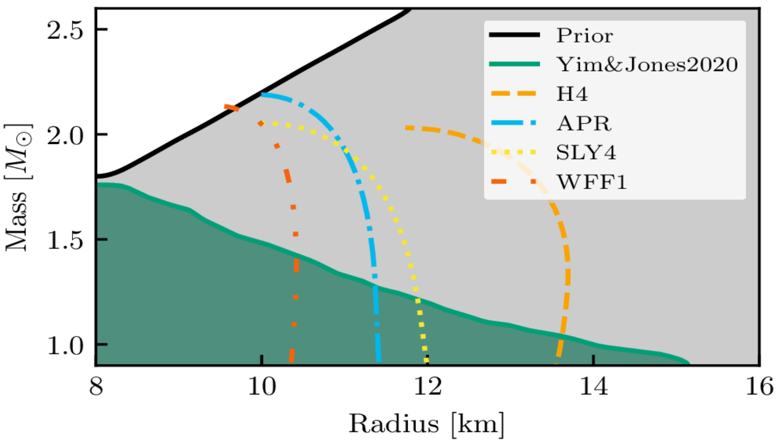
www.ligo.org
www.virgo-gw.eu
gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/

പരമാവധി സെക്കൻഡുകളോ മിനിറ്റുകളോ ദൈർഘ്യമുള്ള സിഗ്നലുകൾക്കായി തിരയാൻ ഞങ്ങൾ മൂന്ന് വ്യത്യസ്ത അൽഗോരിതങ്ങൾ ഉപയോഗിച്ചു. ഇവ വിശാലമായ ഫ്രീക്വൻസി പരിധി ഉൾക്കൊള്ളുന്നു, കൂടാതെ നിർദ്ദിഷ്ട സിഗ്നൽ മോഡലുകൾ അനുമാനിക്കുന്നില്ല, അതിനാൽ അവ പ്രതീക്ഷിക്കുന്ന f-മോഡുകളോടും ഒരു വികലമാക്കപ്പെട്ട ന്യൂട്രോൺ നക്ഷത്രം പുറപ്പെടുവിക്കാൻ കഴിയുന്ന മറ്റ് ഹ്രസ്വകാല സിഗ്നലുകളോടും സംവേദനക്ഷമതയുള്ളവയാണ്.

ഇതിനുപുറമെ, അര മണിക്കൂർ മുതൽ നാല് മാസം വരെയുള്ള ദീർഘകാല സിഗ്നലുകൾക്കായി നാല് മറ്റ് അൽഗോരിതങ്ങൾ രൂപകൽപ്പന ചെയ്തിട്ടുണ്ട്. ഇവ ഏകദേശം 11 ഹെർട്സും 22 ഹെർട്സും സിഗ്നൽ ഫ്രീക്വൻസികളിലാണ് ശ്രദ്ധ കേന്ദ്രീകരിക്കുന്നത്, ഉദാഹരണത്തിന് "ക്ഷണികമായ പർവത" സാഹചര്യത്തിൽ നിന്ന്.

## ആദ്യത്തെ ഭൗതിക പരിധിയും ഭാവി സാധ്യതകളും

നിർഭാഗ്യവശാൽ, LIGO ഡിറ്റക്ടറുകളുടെ നിലവിലെ നിരീക്ഷണ ഘട്ടത്തിൽ റെക്കോർഡ് ഭേദിക്കുന്ന സംവേദനക്ഷമത ഉണ്ടായിരുന്നിട്ടും, വേല പൾസാറിൽ നിന്ന് ഗുരുത്വാകർഷണ തരംഗങ്ങളുടെ ബോധ്യപ്പെടുത്തുന്ന അടയാളങ്ങൾ ഞങ്ങൾക്ക് ഇതുവരെ കണ്ടെത്താൻ കഴിഞ്ഞിട്ടില്ല. എന്നിരുന്നാലും, ഈ ഫലങ്ങൾ ഒരു പ്രധാന നാഴികക്കല്ലാണ്: ആദ്യമായി, ഒരു പൾസർ "ഗ്ലിച്ചിനു" ശേഷം ഗുരുത്വാകർഷണ വികിരണത്തിൽ ഭൗതികമായി അർത്ഥവത്തായ പരിധികൾ സ്ഥാപിക്കാൻ ഞങ്ങൾ വേണ്ടത്ര സംവേദനക്ഷമതയുള്ളവരായിരുന്നു. ഇതിനർത്ഥം ഒരു "ഗ്ലിച്ച്" പ്രതിഭാസത്തിൽ പുറത്തുവിടുന്ന മുഴുവൻ ഊർജ്ജവും ഗുരുത്വാകർഷണ തരംഗങ്ങൾ ഉൽപ്പാദിപ്പിക്കുന്നതിന് ഉപയോഗിക്കുമായിരുന്നുവെങ്കിൽ, നമുക്ക് എന്തെങ്കിലും കണ്ടെത്താമായിരുന്നു എന്നാണ്. ദീർഘകാല സിഗ്നലുകളുടെ മുഴുവൻ പരിധിയിലും ഇത് ശരിയാണ്, അതേസമയം f-മോഡ് കേസിൽ ഒരു കിലോഹെർട്സിന് താഴെയുള്ള താഴ്ന്ന ഫ്രീക്വൻസികളിൽ മാത്രമേ നമ്മൾ അത്തരം പുതിയ നിയന്ത്രണങ്ങളിൽ എത്തുകയുള്ളൂ, അതേസമയം മിക്ക ന്യൂട്രോൺ നക്ഷത്ര മോഡലുകളും ഉദ്വമനം ഉയർന്ന ഫ്രീക്വൻസികളിലായിരിക്കണം എന്ന് പറയുന്നു.




ചിത്രം 3: (ശാസ്ത്രീയ ലേഖനത്തിലെ ചിത്രം 7): 2024 ലെ "ഗ്ലിച്ചിനു" ശേഷം LIGO ഗുരുത്വാകർഷണ തരംഗ ഡിറ്റക്ടറുകൾ വേല പൾസാറിൽ നിന്ന് ഒരു സിഗ്നലും കണ്ടെത്താത്തതിനാൽ, ചില ഉദ്വമന മാതൃകകൾ പൂർണ്ണമായും ശരിയല്ല, അല്ലെങ്കിൽ ഈ ന്യൂട്രോൺ നക്ഷത്രത്തിന് ഗുരുത്വാകർഷണ തരംഗങ്ങളെ നമുക്ക് നഷ്ടപ്പെടുത്താൻ കഴിയുന്നത്ര ദുർബലമാക്കുന്ന ചില ഗുണങ്ങൾ ഉണ്ടായിരിക്കണമെന്ന് ഇത് നമ്മോട് പറയുന്നു. പ്രത്യേകിച്ചും, ദീർഘകാല സിഗ്നലുകളെക്കുറിച്ചുള്ള ഞങ്ങളുടെ ഫലങ്ങൾ, "ഗ്ലിച്ചിനു" ശേഷം പൾസാറിന്റെ റേഡിയോ വികിരണത്തിൽ കാണുന്ന നിർദ്ദിഷ്ട മാറ്റങ്ങൾ ഒരു "ക്ഷണികമായ പർവതം" മൂലമല്ല, അല്ലെങ്കിൽ അങ്ങനെയാണെങ്കിൽ, പൾസറിന് ചില പരിധിയിൽ കവിയുന്ന പിണ്ഡമോ വലുപ്പമോ ഉണ്ടാകാൻ കഴിയില്ലെന്ന് പറയുന്നു. ഈ ഗ്രാഫിക്കിൽ, ആരത്തിലും (തിരശ്ചീന അക്ഷം) പിണ്ഡത്തിലും (ലംബ അക്ഷം) ആ പരിധികൾ നമുക്ക് കാണാം. കട്ടിയുള്ള കറുത്ത വരക്കു കീഴിലുള്ള വലിയ പ്രദേശം നമ്മൾ ആദ്യം പരിഗണിച്ച സാധ്യമായ മൂല്യങ്ങളുടെ കൂട്ടമാണ്, അതേസമയം താഴെ ഇടതുവശത്തുള്ള പച്ച ചേർന്ന പ്രദേശം നമ്മൾ ദീർഘകാല സിഗ്നലുകൾ നിരീക്ഷിച്ചിട്ടില്ലെന്ന് കണക്കിലെടുക്കുമ്പോൾ അവശേഷിക്കുന്നവയാണ്, പക്ഷേ നമ്മൾ പരീക്ഷിച്ചുകൊണ്ടിരുന്ന നിർദ്ദിഷ്ട മാത്രക അനുസരിച്ച് ഒരു പർവ്വതം ചില ഗുരുത്വാകർഷണ തരംഗങ്ങൾ പുറപ്പെടുവിച്ചിട്ടുണ്ടെന്ന് ഞങ്ങൾ ഇപ്പോഴും അനുമാനിക്കുന്നു. ഒരു ന്യൂട്രോൺ നക്ഷത്രത്തിന്റെ പിണ്ഡവും ആരവും പരസ്പരം എങ്ങനെ ബന്ധപ്പെട്ടിരിക്കാമെന്നതിന്റെ ചില സൈദ്ധാന്തിക പ്രവചനങ്ങളുമായി ഇടവിട്ടതും കുത്തിട്ടതുമായ വരകൾ യോജിക്കുന്നു.

തൽഫലമായി, ഈ തിരയലിൽ ഒന്നും കണ്ടെത്താനാകാത്തതിൽ നിന്ന് വേല പൾസാറിനെക്കുറിച്ച് ഞങ്ങൾക്ക് ലഭിച്ച ഏറ്റവും മികച്ച ഉൾക്കാഴ്ച "ക്ഷണികമായ പർവത" സാഹചര്യത്തെക്കുറിച്ചാണ്. ഈ സാഹചര്യത്തിൽ നമുക്കു ഇങ്ങന പറയാം, ഒന്നുകിൽ:

- "ഗ്ലിച്ചിനു" ശേഷം പൾസാറിന്റെ റേഡിയോ വികിരണത്തിൽ കാണുന്ന പ്രത്യേക മാറ്റങ്ങൾ അത്തരമൊരു "ക്ഷണികമായ പർവ്വതം" മൂലമാണെന്ന ആശയം ശരിയല്ല, അല്ലെങ്കിൽ
- ഈ ആശയം ശരിയാണെങ്കിൽ, ഈ സാഹചര്യത്തിൽ പ്രവചിച്ചതുപോലെ ഗുരുത്വാകർഷണ തരംഗങ്ങൾ പുറപ്പെടുവിക്കപ്പെട്ടിട്ടുണ്ടെങ്കിൽ, പൾസാർ ഇത്തരത്തിലുള്ള ഞെരുങ്ങിയ നക്ഷത്ര അവശിഷ്ടത്തിന് സാധ്യമായ ഏറ്റവും ചെറുതും ഭാരം കുറഞ്ഞതുമായ അറ്റത്തായിരിക്കണം. കാരണം, വലുതോ ഭാരമേറിയതോ ആയ ഒരു ന്യൂട്രോൺ നക്ഷത്രം അതിന്റെ "ക്ഷണികമായ പർവതത്തിൽ" നിന്ന് ഒരു സിഗ്നൽ പുറപ്പെടുവിക്കുമായിരുന്നെങ്കിൽ, അത് നമ്മൾ കണ്ടെത്തേണ്ടതായിരുന്നു - ചിത്രം 3 കാണുക.

ഈ ഫലങ്ങൾ മറ്റ് ന്യൂട്രോൺ നക്ഷത്ര നിരീക്ഷണങ്ങളിൽ നിന്നുള്ള ഫലങ്ങളുമായി (പ്രസിദ്ധമായ GW170817 ജോഡിയുടെ ലയനം പോലുള്ളവ) പൊരുത്തപ്പെടുന്നു. ഇവ ഇതിനകം തന്നെ വേല പൾസാർ നമ്മുടെ സൂര്യനെക്കാൾ ഉയർന്ന പിണ്ഡം 15 കിലോമീറ്ററിൽ താഴെ ആരമുള്ള - ഭൂമിയിലെ മിക്ക നഗരങ്ങളെക്കാളും കൂടുതലല്ല! - ഒരു ഗോളത്തിലേക്ക് ഉൾക്കൊള്ളിക്കണമെന്നു സൂചിപ്പിക്കുന്നു.

ഈ നാഴികക്കല്ലിനു ശേഷം, ഗുരുത്വാകർഷണ തരംഗ ഡിറ്റക്ടറുകൾ കൂടുതൽ സംവേദനക്ഷമത കൈവരിക്കുമ്പോൾ, ഭാവിയിൽ സംഭവിക്കുന്ന പൾസാർ "ഗ്ലിച്ചുകൾ" കൂടുതൽ മികച്ച ഭൗതിക പരിധികൾ സൃഷ്ടിക്കുമെന്ന് നമുക്ക് പ്രതീക്ഷിക്കാം. ഒടുവിൽ, ഒരു പൾസർ "ഗ്ലിച്ചിൽ" നിന്ന് ഗുരുത്വാകർഷണ തരംഗങ്ങളെ നേരിട്ട് കണ്ടെത്തുന്നത് വേലയ്ക്കും അതിന്റെ സഹോദരങ്ങൾക്കും ഈ വിചിത്രമായ ഇക്കിൾ അനുഭവപ്പെടുന്നതിന്റെ രഹസ്യം വെളിപ്പെടുത്താൻ സഹായിക്കും.

## പദശേഖരം

**റേഡിയോ ജ്യോതിശാസ്ത്രം:** ഭൂമിയിലെ റേഡിയോ, ടിവി സിഗ്നലുകൾക്ക് ഉപയോഗിക്കുന്നതുപോലുള്ള, ബഹിരാകാശത്ത് നിന്ന് വരുന്ന, വളരെ നീണ്ട തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള വൈദ്യുതകാന്തിക വികിരണത്തെക്കുറിച്ചുള്ള പഠനം.

**ഗുരുത്വാകർഷണ തരംഗങ്ങൾ (GWs):** ഭീമൻ വസ്തുക്കളുടെ ത്വരണം മൂലമുണ്ടാകുന്ന സ്ഥല-സമയത്തിലെ തരംഗങ്ങൾ. വൈദ്യുതകാന്തിക വികിരണം പോലെ, അവ പ്രകാശവേഗത്തിലാണ് സഞ്ചരിക്കുന്നത്. ഐൻസ്റ്റീന്റെ പൊതു ആപേക്ഷികതാ സിദ്ധാന്തം പ്രവചിക്കുന്നവയാണ് ഇവ, സാധാരണയായി ഗുരുത്വാകർഷണ തരംഗങ്ങൾ എന്നറിയപ്പെടുന്നു. കൂടുതലറിയാൻ നിങ്ങൾ ശരിയായ സ്ഥലത്ത് എത്തിയിരിക്കുന്നു! ഗുരുത്വാകർഷണ-തരംഗ ശാസ്ത്രത്തെക്കുറിച്ചുള്ള ഞങ്ങളുടെ മറ്റ് പേജുകൾ നോക്കാൻ ശ്രമിക്കുക.

**പൾസർ:** “സ്പന്ദിക്കുന്ന റേഡിയോ സ്രോതസ്സിൽ” നിന്ന്: കാന്തികധ്രുവങ്ങളിൽ നിന്ന് വൈദ്യുതകാന്തിക വികിരണത്തിന്റെ കിരണങ്ങൾ പുറപ്പെടുവിക്കുന്ന, ഉയർന്ന കാന്തികതയുള്ള ഭ്രമണം ചെയ്യുന്ന ഒരു ഞെരുങ്ങിയ നക്ഷത്രം. (വിക്കിപീഡിയ)

**വേല പൾസർ:** ഭൂമിയിൽ നിന്ന് ഏകദേശം 1000 പ്രകാശവർഷം അകലെ, ദക്ഷിണ ആകാശത്തിലെ വേല നക്ഷത്രസമൂഹത്തിലെ ഒരു ന്യൂട്രോൺ നക്ഷത്രം. അറിയപ്പെടുന്നതിൽ വച്ച് ഏറ്റവും അടുത്തും, തിളക്കമുള്ളതും, ഏറ്റവും സജീവവുമായ പൾസാറുകളിൽ ഒന്നാണിത്. ഈ പൾസാറിനെ നമ്മൾ പലപ്പോഴും "വേല" എന്നും വിളിക്കുന്നു. കൂടുതൽ വിവരങ്ങൾക്കും പൾസാറിന്റെ വീഡിയോ ടൂറിനും, https://www.nasa.gov/missions/chandra/vela-pulsar/ കാണുക.

**ന്യൂട്രോൺ നക്ഷത്രങ്ങൾ:** ഒരു ഭീമൻ നക്ഷത്രത്തിന്റെ അവശിഷ്ടം. ഒരു ഭീമൻ നക്ഷത്രം അതിന്റെ ന്യൂക്ലിയർ ഇന്ധനം തീർന്നുപോകുമ്പോൾ, അത് ഒരു ഭയാനകമായ രീതിയിൽ മരിക്കുന്നു - ഒരു സൂപ്പർനോവ - ഇത് ഒരു ന്യൂട്രോൺ നക്ഷത്രത്തിന്റെ രൂപീകരണത്തിലേക്ക് നയിച്ചേക്കാം: ഭൂമിയിൽ നമ്മൾ സാധാരണയായി കാണുന്നതുപോലെ ആറ്റങ്ങൾക്ക് അവയുടെ ഘടന നിലനിർത്താൻ കഴിയാത്തത്ര പിണ്ഡമുള്ളതും സാന്ദ്രവുമായ ഒരു വസ്തു (ഒരു തമോദ്വാരത്തിന്റെ അത്രയും അല്ലെങ്കിലും). ഈ നക്ഷത്രങ്ങൾ നമ്മുടെ സൂര്യനെപ്പോലെ തന്നെ വലുതാണ്, പക്ഷേ ഏകദേശം പത്ത് കിലോമീറ്റർ ദൂരമുണ്ട്. (വിക്കിപീഡിയ)

**പൾസർ "ഗ്ലിച്ചുകൾ":** ഒരു പൾസർ എത്ര വേഗത്തിൽ കറങ്ങുന്നു എന്നതിലെ പെട്ടെന്നുള്ള മാറ്റങ്ങൾ. ന്യൂട്രോൺ നക്ഷത്രത്തിന്റെ ഉൾഭാഗത്തെ പ്രവർത്തനങ്ങൾ ഇപ്പോഴും പൂർണ്ണമായി മനസ്സിലായിട്ടില്ല. ഇവയെ ഡിറ്റക്ടർ "ഗ്ലിച്ചു" മായി - ഗുരുത്വാകർഷണ തരംഗ തിരയലുകൾ കൂടുതൽ ദുഷ്കരമാക്കുന്ന ശല്യപ്പെടുത്തുന്ന ശബ്ദ പ്രതിഭാസങ്ങൾ - ആശയക്കുഴപ്പത്തിലാകരുത്.

**വൈദ്യുതകാന്തിക വികിരണം:** ദൃശ്യപ്രകാശം ചുവപ്പ് മുതൽ വയലറ്റ് വരെ നീളുന്നു, എന്നാൽ ഈ പരിധിക്കപ്പുറവും വർണരാജി തുടരുന്നു. ചുവപ്പ് വെളിച്ചത്തിന് മുമ്പ് ഇൻഫ്രാറെഡ് പ്രകാശം, മൈക്രോവേവ്, റേഡിയോ തരംഗങ്ങൾ എന്നിവയുണ്ട്, വയലറ്റിന് മുമ്പ് അൾട്രാവയലറ്റ് പ്രകാശം, എക്സ്-റേ, ഗാമാ കിരണങ്ങൾ എന്നിവയുണ്ട്. പ്രപഞ്ചത്തിന്റെ വ്യത്യസ്ത വശങ്ങൾ കാണാൻ ജ്യോതിശാസ്ത്രജ്ഞർ വർണരാജിയുടെ വ്യത്യസ്ത ഭാഗങ്ങൾ ഉപയോഗിക്കുന്നു. എന്നിരുന്നാലും, ചില കാര്യങ്ങൾ ഇരുണ്ടതാണ്, അതിനാൽ ഈ സ്പെക്ട്രത്തിന്റെ ഏതെങ്കിലും ഒരു ഭാഗം ഉപയോഗിച്ചു കാണുക പ്രയാസകരമാണ്. (വിക്കിപീഡിയ)

**തുടർച്ചയായ ഗുരുത്വാകർഷണ തരംഗങ്ങൾ (CWs):** വളരെ ദുർബലവും എന്നാൽ സ്ഥിരവുമായ ഗുരുത്വാകർഷണ തരംഗങ്ങൾ, സാധാരണയായി ചെറിയ രൂപഭേദങ്ങളോടെ ഭ്രമണം ചെയ്യുന്ന ന്യൂട്രോൺ നക്ഷത്രങ്ങളിൽ നിന്ന് വരുന്നതായി പ്രതീക്ഷിക്കപ്പെടുന്നു. സമീപകാല LIGO ഡാറ്റയിൽ, വേല ഉൾപ്പെടെയുള്ള നിരവധി പൾസാറുകളിൽ നിന്നും ഞങ്ങൾ ഇവയ്ക്കായി തിരയുകയും, അവയുടെ നിരീക്ഷിച്ച മന്ദഗതിയിലുള്ള ഊർജ്ജ നഷ്ടത്തിന്റെ 1% ൽ താഴെ മാത്രമേ ഗുരുത്വാകർഷണ തരംഗങ്ങൾ മൂലമാകൂ എന്ന് കണ്ടെത്തുകയും ചെയ്തു (ഇവിടെ കാണുക).

**സൂപ്പർഫ്ലൂയിഡ്:** ദ്രാവകം വിസ്കോസിറ്റി ഇല്ലാതെ ഒഴുകുന്ന ഒരു പ്രത്യേക ദ്രവ്യ അവസ്ഥ. (വിക്കിപീഡിയ)

**കിലോഹെർട്സ്:** ആയിരം ഹെർട്സിന്റെ ആന്ദോളന ആവൃത്തി. ശബ്ദ തരംഗങ്ങൾക്ക്, ഇത് മനുഷ്യന്റെ കേൾവിയുടെ ഉയർന്ന പരിധിയിലായിരിക്കും, ഗുരുത്വാകർഷണ തരംഗങ്ങൾക്ക് ഇത് നമ്മുടെ LIGO ഡിറ്റക്ടറുകളുടെ ഉയർന്ന സംവേദനക്ഷമത പരിധിയിലും ആയിരിക്കും, അതിനാൽ സിഗ്നലുകൾ കണ്ടെത്തുന്നത് അവയുടെ ഏറ്റവും മികച്ച ആവൃത്തിയായ ഏതാനും നൂറ് ഹെർട്സിനേക്കാൾ ബുദ്ധിമുട്ടാണ്.

**നാലാമത്തെ നിരീക്ഷണ ഘട്ടം:** ആഗോള LIGO-Virgo-KAGRA ശൃംഖലയുടെ ഗുരുത്വാകർഷണ-തരംഗ ഡിറ്റക്ടറുകൾ 2023 മെയ് മുതൽ 2025 നവംബർ വരെ ഡാറ്റ എടുത്തുകൊണ്ടിരുന്ന ഒരു നിരീക്ഷണ കാലയളവ്.

**ലൈഗോ:** ലേസർ ഇന്റർഫെറോമെട്രിക് ഗ്രാവിറ്റേഷണൽ-വേവ് ഒബ്സർവേറ്ററി (LIGO) എന്നത് യുഎസ് ആസ്ഥാനമായുള്ള ഒരു ജോഡി ഗുരുത്വാകർഷണ-തരംഗ ഡിറ്റക്ടറുകളാണ്. ഒന്ന് ലൂസിയാനയിലെ ലിവിംഗ്സ്റ്റണിനടുത്തും മറ്റൊന്ന് വാഷിംഗ്ടണിലെ ഹാൻഫോർഡിന് സമീപവുമാണ്. രണ്ട് ഡിറ്റക്ടറുകളും 4 കിലോമീറ്റർ നീളമുള്ള രണ്ട് ലംബ ഭുജങ്ങളുള്ള ലേസർ ഇന്റർഫെറോമീറ്ററുകളാണ്. (വിക്കിപീഡിയ)

## കൂടുതൽ അറിയാൻ:

### ഞങ്ങളുടെ വെബ്സൈറ്റുകൾ സന്ദർശിക്കുക:

- www.ligo.org
- www.virgo-gw.eu
- gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/ (കാഗ്ര)
- www.iar.unlp.edu.ar (അർജന്റീനിയൻ ഇൻസ്റ്റിറ്റ്യൂട്ട് ഓഫ് റേഡിയോആസ്ട്രോണമി - സ്പാനിഷിൽ)
- ra-wiki.phys.utas.edu.au UTAS റേഡിയോ ജ്യോതിശാസ്ത്ര ഗ്രൂപ്പ് (മൗണ്ട് പ്ലസന്റ് റേഡിയോ ഒബ്സർവേറ്ററി)

### പൂർണ്ണ ശാസ്ത്ര ലേഖനത്തിന്റെ സൗജന്യ മുൻപകർപ്പു ഇവിടെയോ arxiv-ലോ വായിക്കുക.