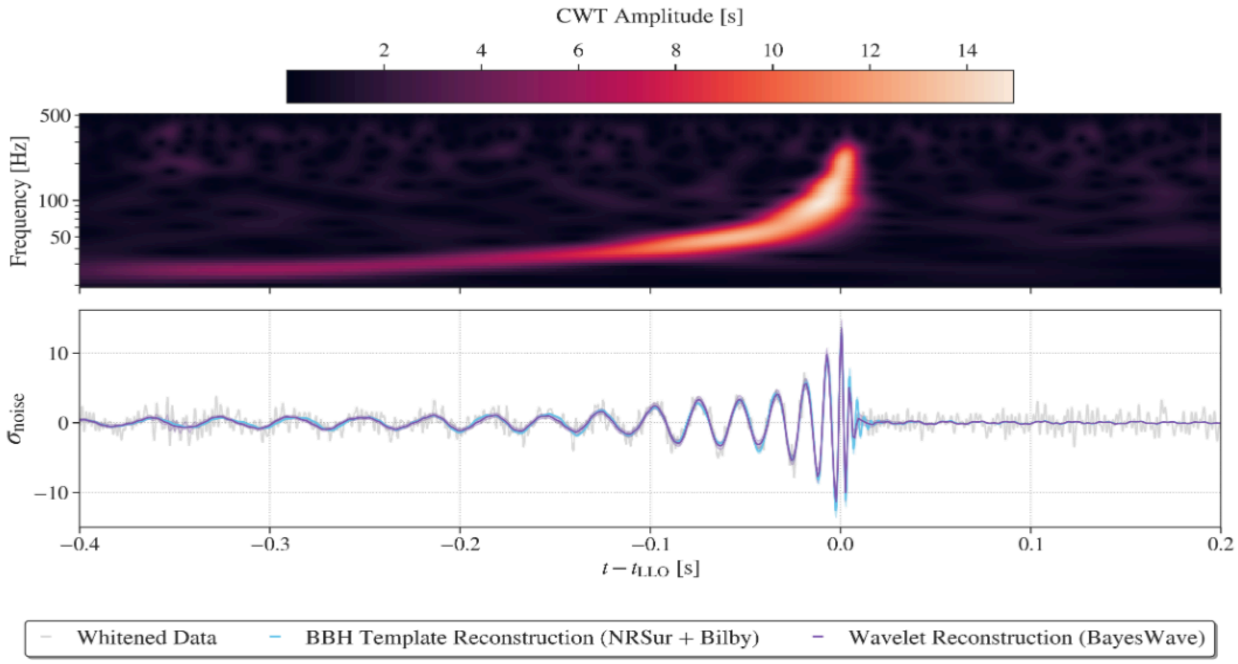
GW230814: லைகோ லிவிங்ஸ்டன் ஈர்ப்பலை ஆய்வக தரவுகளில் பதிவான மிக உரத்த ஈர்ப்பலை சமிக்ஞை

லைகோ (LIGO), விற்கோ (VIRGO) மற்றும் காக்ரா (KAGRA) (சுருக்கமாக - LVK) ஆராய்ச்சி கூட்டமைப்பு ஆகஸ்ட் 14, 2023 அன்று பன்னாட்டு நேரப்படி 23:09:01 (UTC) மிக உரத்த (Loud) ஈர்ப்பலை சமிக்ஞையை லிவிங்ஸ்டன் ஆய்வக தரவுகளில் கண்டறியப்பட்டது. GW230814 என்று பெயரிடப்பட்டுள்ளது இந்த நிகழ்வு இரு கருந்துளைகளின் இணைப்பின் விளைவாக உருவாகியவை ஆகும்.

சமிக்ஞையை கண்டறிதல்

நான்காவது அறிவியல் கண்காணிப்பு ஓட்டத்தின் (O4a) முதல் பகுதியில் GW230814 நிகழ்வு காணப்பட்டது. இவ்வோட்டத்தில் லிவிங்ஸ்டன் ஆய்வகம் மட்டும் தரவை சேகரித்துக் கொண்டிருந்தபோது, இந்த மிக உரத்த ஈர்ப்பலை நிகழ்வு கண்டறியப்பட்டது. படம்-1 GW230814 சமிக்ஞையின் வெவ்வேறு பிரதிநிதித்துவங்களைக் காட்டுகிறது.



படம் 1: GW230814 ஈர்ப்பலை சமிக்ஞை. மேல் படம் சமிக்ஞையின் நேர (Time) - அதிர்வெண் (Frequency) பிரதிநிதித்துவத்தைக் காட்டுகிறது. பிரகாசமான பகுதிகள் பெரிய வீச்சை (Amplitude) குறிக்கின்றன. கீழ் படம் சமிக்ஞையின் நேரத் தொடரைக் காட்டுகிறது. நீலம் மற்றும் ஊதா நிற கோடுகள் சமிக்ஞையின் அலை வடிவத்தின் இரு வேறு மறு கட்டமைப்பு வழிமுறையை குறிக்கின்றது. மேலும், இவை இரு அடற்பொருட்களின் மோதலின் விளைவாக உருவாகின என்பது தரவுகளுடன் அதிர்வு–தணிவு நிலை வரை ஒத்துப்போகிறது (முக்கிய உரையில் கூறப்பட்டுள்ளது).

மிக உரத்த சமிக்ஞை என்றால் என்ன?

பிரபஞ்சத்தில் இருந்து வரும் எந்த ஒரு ஈர்ப்பலை சமிக்ஞையும் ஆய்வகம் மற்றும் சுற்றுச்சூழல் இரைச்சல்களுடன் தரவுகளில் பதிவாகின்றன. ஈர்ப்பலை சமிக்ஞையின் அளவை, சமிக்ஞை-இரைச்சல் விகித (Signal-to-Noise Ratio) எண்ணிக்கையைப் பயன்படுத்தி குறியிடப்படுகிறது. ஒரு சமிக்ஞை எவ்வளவு மடங்கு இரைச்சல்களை விட அதிகமாக உள்ளது என்பதை இந்த விகித எண் விவரிக்கிறது. ஒற்றை ஆய்வக கண்காணிப்பின் மூலம் கண்டறியப்பட்ட GW230814 நிகழ்வின் சமிக்ஞை-இரைச்சல் விகித எண் சுமார் 42 ஆகும். முதல் ஈர்ப்பலை GW150914 நிகழ்வின் சமிக்ஞை-இரைச்சல் எண் 24 உடன் ஒப்பிடுகையில் மிக அதிகமாகும்.

GW230814 நிகழ்விற்கு காரணம் இரு கருத்துளைகளின் இணைப்பு

கருந்துளைகளின் நிறைகள் (Mass) மற்றும் தற்சுழற்சி (Spin) வேகங்கள் பற்றி அறிய, ஐன்ஸ்டீனின் பொது சார்பியல் கோட்பாடு (General Relativity) அடிப்படையில் உருவாக்கப்பட்ட மாதிரி சமிக்ஞையை தரவுடன் ஒப்பிட்டதன் மூலம், GW230814 நிகழ்வு சுமார் 34 மற்றும் 28 சூரிய நிறைகளைக் கொண்ட இரண்டு கருந்துளைகளின் இணைவிலிருந்துதான் வந்திருக்கலாம் என்று கணிக்கப்படுகிறது. இது முதல் GW150914 நிகழ்வின் நிறைகளுடன் மிகவும் ஒத்ததாகும்.

பூமியில் இருந்து 300 மெகாபார்செக் அதாவது சுமார் ஒரு நிகற்புதம் (Billion) ஒளியாண்டு தொலைவில் இந்த நிகழ்வு நடந்துள்ளது. இந்த சமிக்ஞை ஒரே ஒரு ஆய்வக தரவுகளில் மட்டும் ஒரு வினாடிக்கும் குறைவான நேரத்தில் கண்டறியப்பட்டதால், இதன் திசையை விண்வெளியில் துல்லியமாக கண்டறிவதில் சவாலை கூட்டுகிறது. குறைந்தது ஈர்ப்பலை நிகழ்வுகள் ஒரே கால நேரத்தில் மூன்று ஆய்வகத் தரவுகளில் கண்டறிவதன் மூலம் அதன் திசையை தோராயமாக கணக்கிட முடியும். உதாரணமாக, எட்டாண்டுக்கு முன் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட GW170817 ஈர்ப்பலை நிகழ்வைக் கூறலாம்.

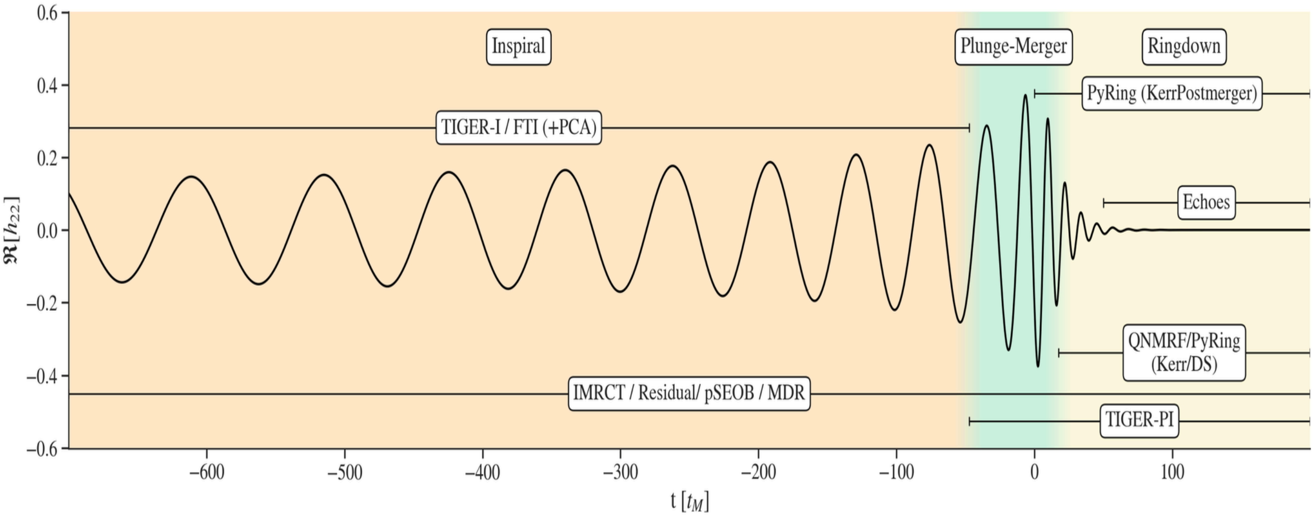
பொது சார்பியல் கோட்பாட்டை சரி பார்த்தல்

LVK ஆராய்ச்சி கூட்டமைப்பு ஈர்ப்பலை சமிக்ஞைகளை பொது சார்பில் கோட்பாட்டை கணிப்புகளுடன் ஒத்துப் போகிறதா என்று சரி பார்க்கின்றன. கடந்த நூற்றாண்டு முழுவதும் பல முறை சோதிக்கப்பட்ட பொது சார்பில் கோட்பாட்டை இன்னும் ஏன் சோதிக்க வேண்டும் என்று நீங்கள் வியப்பாக கேட்கலாம். எந்த இயற்பியல் கோட்பாடு போலவே பொது சார்பில் கோட்பாடும் இன்னும் கண்டறியப்படாத, முழுமையான கோட்பாட்டின் ஒரு தோராய வடிவமாக இருக்கலாம். ஒரு நூற்றாண்டுக்கு முன்பு, ஐன்ஸ்டீனின் பொது சார்பில் கோட்பாடு, நியூட்டனின் ஈர்ப்பு விசை கோட்பாட்டால் விளக்க முடியாத இயற்பியல் விதிகளை விளக்கி, அதை விரிவாக்கியது.

ஈர்ப்பலை சமிக்ஞைகளை பயன்படுத்தி பொது சார்பில் கோட்பாட்டை சோதிக்கும் போது, பொதுவாக இரண்டு அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட ஆய்வகத் தரவுகளில் பதிவான உரத்த தெளிவான சமிக்ஞைகளை மட்டுமே பயன்படுத்தப்படுகின்றன. ஆனால், GW230814 மிக உரத்த சமிக்ஞை என்பதால், இது ஒரு சிறப்பான நிகழ்வாகும்.

கருந்துளைகள் இணையும் போது உருவாகும் சமிக்ஞையின் பல்வேறு நிலைகளை அறிவதன் மூலம் இதன் முக்கியத்துவத்தை புரிந்து கொள்ள முடியும். இரு அடர்

பொருட்களின் இணைப்பின் விளைவாக உருவாகும் ஈர்ப்பலை சமிக்ஞையின் பல்வேறு நிலைகள் படம் 2 விளக்கப்பட்டுள்ளது.



படம் 2: இரு அடர் பொருட்களின் இணைப்பின் விளைவாக உருவாகும் ஈர்ப்பலை சமிக்ஞையின் பல்வேறு நிலைகள். இந்த விளக்கப்படத்தில், நிலை அச்சில் (Vertical axis) வீச்சு மற்றும் கிடை அச்சில் (Horizontal axis) நேரம் ஆகியவற்றுக்கிடையிலான தொடர்பு காட்டப்பட்டுள்ளது. சமிக்ஞையின் வெவ்வேறு நிலைகள் உள்ளோங்கல் சுழல் (செம்மஞ்சள் நிறம்), சுழல்பாய்ச்சி இணைவு (இலகு பச்சை நிறம்), அதிர்வு–தணிவு நிலை (மஞ்சள் நிறம்). மேலும், பொது சார்பியல் கோட்பாட்டை சோதிக்க பயன்படுத்தப்படும் அறிவியல் பெயர்களும், அவை கவனிக்கும் சமிக்ஞையின் பகுதிகளும் இங்கே குறிப்பிடப்பட்டுள்ளன (மேலும் விவரங்களுக்கு அறிவியல் கட்டுரையைப் பார்க்கவும்).

உள்ளோங்கல் சுழல் (Inspiral): இரு பெரிய திண்மப் பொருட்கள் உதாரணமாக இரண்டு கருந்துளைகள் ஈர்ப்பு விசையால் ஒன்றை ஒன்று சுற்றி, மெதுவாக அருகருகே வந்து கொண்டிருக்கும் நிலை. இந்த நிலையில், ஈர்ப்பலை சமிக்ஞையின் அதிர்வெண் மற்றும் வீச்சு இரண்டும் அதிகரித்து கொண்டே இருக்கும்.

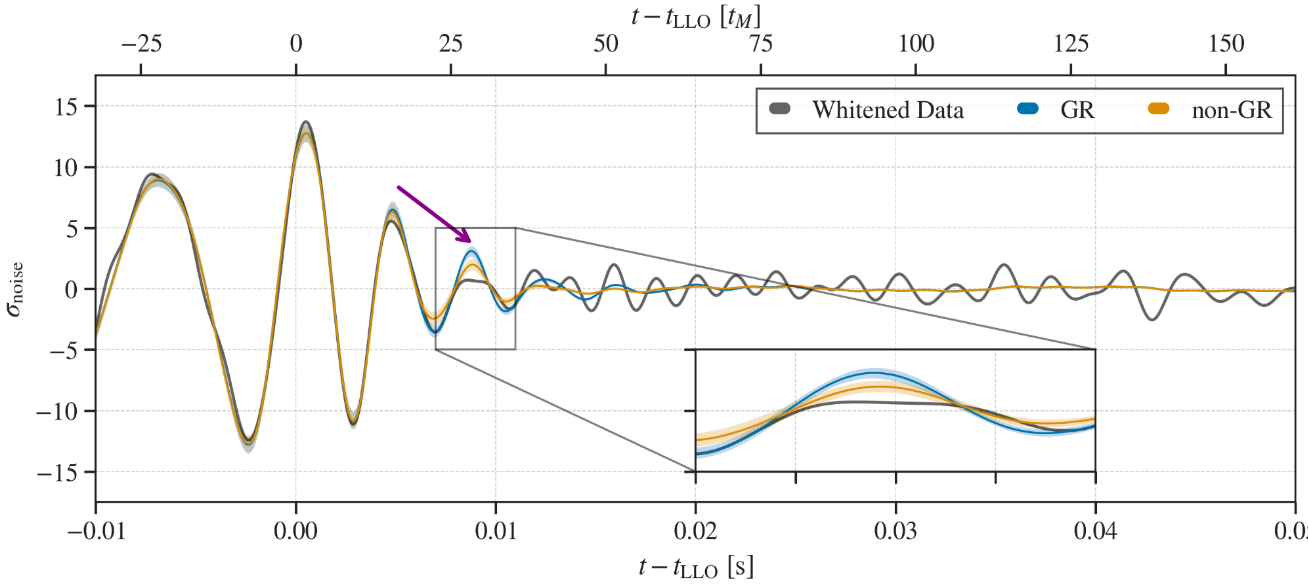
சுழல்பாய்ச்சி இணைவு (Plunge–Merger): இரண்டு பெரிய திண்மப் பொருட்கள் ஒன்றாக இணைந்து ஒரு புதிய, பெரிதான தின்மப் பொருள் உருவாக்கும் நிலை. இந்த நேரத்தில், ஈர்ப்பலையின் வீச்சு மிக அதிகமாக இருக்கும்.

அதிர்வு–தணிவு நிலை (Ringdown): சுழல்பாய்ச்சி இணைவு நிலைக்குப் பின், உருவான தின்மப் பொருளின் ஈர்ப்பலை சமிக்ஞையின் அதிர்வெண் மற்றும் வீச்சு இரண்டும் மெதுவாகக் குறைந்து தன் சீர்நிலையை அடையும். இதனை எளிதாகக் கற்பனை செய்ய, ஒரு மணி அடிக்கப்படும் தருணத்தை (சுழல்பாய்ச்சி இணைவு இணையானது) எடுத்துக்கொள்ளலாம். மணி அடிக்கப்பட்ட பின், அது இன்னும் ஒலி எழுப்பிக் கொண்டே இருக்கும், ஆனால் அந்த ஒலி மெதுவாக குறைந்து, இறுதியில் அமைதியாகிவிடும் (அதிர்வு–தணிவு நிலை இணையானது).

சமிக்ஞையின் வெவ்வேறு பகுதிகளை LVK ஆராய்ச்சி கூட்டமைப்பு ஆராய்கின்றன. GW230814 உள்ளோங்கல் சுழல் நிலை பகுதியை ஆராய்ந்த சோதனைகள் பொது சார்பியல் கோட்பாட்டின் கணிப்புகளுடன் ஒத்ததாக இருப்பதை காட்டுகின்றன. ஆனால், சுழல்பாய்ச்சி இணைவு பகுதியை மையமாகக் கொண்ட சோதனைகள், சற்றே புதிரான நிலையை வெளிப்படுத்துகின்றன. அதிர்வு–தணிவு நிலை பகுதி பொது சார்பியல் கோட்பாடு கணித்ததை விட குறைந்து காணப்படுகிறது. இது படம் 3-ல்

காட்டப்பட்டுள்ளது: இணைவுக்குப் பிந்தைய சமிக்ஞையின் உச்சம் கணிப்பை விடச் சிறியதாக உள்ளது.

சமிக்ஞையின் தரவு மற்றும் பொது சார்பியல் கோட்பாட்டின் கணிப்பிற்கிடையிலான இந்த வேறுபாட்டை ஏற்படுத்திய காரணிகள் என்ன? இதற்கு பல காரணிகள் உள்ளன, அவற்றில் ஒன்றாக துணை நிலை அதிர்வுகள் (Sub-Harmonics) காரணமாக இருக்கலாம். ஈர்ப்பலை சமிக்ஞையில் இத்தகைய துணை நிலை அதிர்வுகள், ஒலி அலைகளில் உள்ள உயர் அதிர்வுகள் போன்று செயல்படுகின்றன. மேலும், ஈர்ப்பு வில்லையின் காரணமாக இந்த வேறுபாடு ஏற்பட்டிருக்கலாம் என்று ஆராய்ந்ததிலும், இவைகள் தான் என்று உறுதியாக கூறுவதற்கு போதுமான ஆதாரங்கள் இல்லை.



படம் 3: GW230814 சமிக்ஞை (சாம்பல் நிறம்), பொது சார்பியல் கோட்பாட்டின் சமிக்ஞை மாதிரி (நீலம்), மற்றும் பொது சார்பியல் கோட்பாடு இல்லாத சமிக்ஞை மாதிரி (செம்மஞ்சள் நிறம்). ஊதா நிற அம்பு, சமிக்ஞையின் ஒரு பகுதியைச் சுட்டிக்காட்டுகிறது (சிறிய பெட்டியில் பெரிதாக்கி காட்டப்பட்டுள்ளது). அங்கு தரவுகளில் உள்ள சமிக்ஞையின் வீச்சு, பொது சார்பியல் கோட்பாட்டின் கணிப்பில் எதிர்பார்த்ததை விடக் குறைவாக இருப்பதை காணலாம். கவனிக்கத்தக்கது என்னவென்றால், கிடைமட்ட அச்சு வெறும் 0.06 விநாடிகள் (ஒரு வினாடியில் அறுநூறில் ஒரு பங்கு) கொண்டுள்ளது. நேரம் = 0 என்பது சுழல்பாய்ச்சி இணைவு நிலைக்கு இணையானது. இவை ஈர்ப்பலை ஆய்வுகள் உண்மையில் அதிநுட்பத் துல்லிய காலத்தில் நுழைந்துவிட்டன என்பதை உணர்த்துகின்றன.

இரண்டாவது சாத்தியக்கூறு என்னவென்றால், இந்த ஒத்திசைவின்மை (Inconsistency) உண்மையில் பொது சார்பியல் கோட்பாட்டின் ஒரு விலகல் (Deviation) அல்ல, மாறாக ஈர்ப்பலை சமிக்ஞை மாதிரிகளின் (Waveform models) துல்லியமற்ற தன்மையின் காரணமாக இருக்கலாம். GW230814 போன்ற மிக உரத்த சமிக்ஞைகள், அதிகமான தகவல்களை வெளிப்படுத்துவதால், ஈர்ப்பலை சமிக்ஞை மாதிரிகளில் இருக்கும் சிறிய குறைபாடுகளையும் வெளிக்கொணரக் கூடும், இந்த சமிக்ஞை மாதிரி துல்லியமற்றதால் உண்மையில் காணப்பட்ட ஒத்திசைவின்மைக்கு ஒரு நம்பத் தகுந்த விளக்கமாக இருக்கலாம் என்பதைக் காட்டுகின்றன.

மற்றொரு சாத்திய விளக்கம், அந்த ஒத்திசைவின்மை, தரவிலுள்ள சீரற்ற இரைச்சல் (Random noise) மாற்றங்களால் ஏற்பட்டிருக்கலாம். எடுத்துக்காட்டாக,

அதிர்வு-தணிவு நிலை பகுதியில் சீரற்ற இரைச்சல் ஏற்பட்டால், சமிக்ஞை பொது சார்பியல் கோட்பாட்டிற்கு ஒவ்வாதது போலத் தோன்றும்.

இந்தக் கருதுகோளைச் சோதிப்பதற்காக, கணினிகள் மூலம் பொது சார்பியல் கோட்பாட்டின் அடிப்படையில், GW230814 போன்ற ஈர்ப்பலை சமிக்ஞை மாதிரிகள் பல சீரற்ற இரைச்சல் சேர்க்கப்பட்டனர். பின்னர், ஒவ்வொரு செயற்கைச் சமிக்ஞைகைகளிலும் மீண்டும் பொது சார்பியல் கோட்பாடு சோதனைகள் நடத்தியதன் மூலம், இந்த ஒத்திசைவின்மைக்கு சீரற்ற இரைச்சல் மாற்றங்களும் காரணமாக இருக்கலாம் என்பதைத் தெரிவிக்கின்றன.

ஈர்ப்பலை ஆய்வக வலையமைப்பின் முக்கியத்துவம்

ஒன்றுக்கும் மேற்பட்ட ஈர்ப்பலை ஆய்வகங்கள் ஒரே சமயத்தில் சமிக்ஞையை கண்டறியப்படும் பொழுது: அந்த சமிக்ஞை விண்வெளியிலிருந்து வந்துள்ள என்பதை மேலும் உறுதிப்பட வலு சேர்க்கிறது, ஈர்ப்பலையின் காரணிகளின் பண்புகளை துல்லியமாக கணக்கிட முடிகிறது, சமிக்ஞை எந்த திசையிலிருந்து வந்தன என்பதை மதிப்பட உதவுகிறது.

GW230814 நிகழ்வு, பல ஈர்ப்பலை ஆய்வகத்தின் அவசியத்தை மீண்டும் வலியுறுத்துகிறது. ஆறு ஆண்டுகளுக்கு முன் முதல் முறையாக மூன்று ஈர்ப்பலை ஆய்வகங்கள் இரட்டை கருந்துளை இணைவு GW170814 நிகழ்வின் மூலம் கண்டறியப்பட்டதை இங்கு எடுத்துக்கட்டாக கூறலாம். ஒரே ஒரு ஆய்வக தரவுகளின் அடிப்படையிலிருந்து செய்யக்கூடிய அளவீடுகள் குறைவாகவே இருக்கும்; மேலும் அவற்றின் துல்லியமான கணக்கீட்டை பாதிக்கப்படுகின்றன.

அறிவியலாளர்கள் ஒரு உலகளாவிய ஈர்ப்பலை ஆய்வக வலையமைப்பை உருவாக்குவதற்காக தீவிரமாக உழைத்து வருகின்றனர். ஆனால், அந்த வலையமைப்பு 24/7 தொடர்ந்து செயல்படும் என எதிர்பார்க்க முடியாது. வலையமைப்பு எவ்வளவு பெரியதாக இருக்கிறதோ, அதுவே சிறந்தது. 2025-இல், LVK ஈர்ப்பலை ஆய்வக வலையமைப்பில் நான்கு ஆய்வங்கள் உள்ளன: அமெரிக்காவில் அமைந்துள்ள இரண்டு லைகோ (LIGO) ஆய்வகம், இத்தாலியில் உள்ள ஐரோப்பிய விற்கோ (Virgo) ஆய்வகம், ஜப்பானில் உள்ள காக்ரா (KAGRA) ஆய்வகம். இந்த மூன்று ஆய்வக கூட்டமைப்பு, ஈர்ப்பலை தேடும் பணியில் இருந்து அதிகபட்ச அறிவியல் பலனைப் பெற உலகளவில் ஒருங்கிணைத்து இயக்குகின்றன.

பிரகாசமான எதிர்காலம்

இரண்டு கருந்துளைகளின் இணைவிலிருந்து ஈர்ப்பலைகள் முதன்முதலாகக் கண்டறியப்பட்டு 10 ஆண்டுகள் கடந்த நிலையில், LVK ஆராய்ச்சி கூட்டமைப்பு ஆய்வகத்தின் உணர்திறன் (Sensitivity) தொடர்ந்து மேம்பட்டு வருவதால், இன்னும் பல “உரத்த” சமிக்ஞையை கண்டறிவதில் எதிர்நோக்கி உள்ளன. இத்தகைய நிகழ்வுகள், கருந்துளைகளின் பண்புகளை மேலும் ஆராய்வதற்கும், ஐன்ஸ்டீனின் பொது சார்பியல் கோட்பாட்டை தொடர்ந்து சோதனைக்கு உட்படுத்துவதற்கும் புதிய வாய்ப்புகளை வழங்கும்.

சொற்களஞ்சியம் (Glossary)

கருந்துளை (Black hole):

பெருமளவு ஈர்ப்புச் சக்தியைக் கொண்ட ஒரு விண் பொருள். இதன் அருகில் வரும் எந்த பொருளையும் இதன் பிடியிலிருந்து வெளியேற விடாது, ஒளியையும் கூட. கருந்துளைகள் பல அளவுகளில் இருக்கும்:

- விண்மீன்-நிறை கருந்துளைகள் (Stellar-mass black holes): விண்மீனின் சிதைவின் போது உருவாகும், எடைகள் சில சூரிய எடையிலிருந்து சுமார் 65 சூரிய எடைக்கு வரையிலானவை.
- மத்திய நிறை கருந்துளைகள் (Intermediate-mass black holes): சுமார் 100 சூரிய எடையிலிருந்து 10^5 சூரிய எடைக்கு வரையிலானவை.
- பெருநிறை கருந்துளைகள் (Supermassive black holes): 10^5 சூரிய எடைக்கு மேற்பட்டவை, 10^9 சூரிய எடைக்கு கூட அதிகமாக இருக்கலாம்.

இரும கருந்துளைகள் (Binary black hole): மிகக் குறுகிய சுற்றுப்பாதையில் பயணிக்கும் இரண்டு கருந்துளைகளைக் கொண்ட ஒரு அமைப்பு.

பொது சார்பியல் கோட்பாடு (General relativity): 1915-ல் அல்பர்ட் ஐன்ஸ்டீன் முன்மொழிந்த ஈர்ப்பு கோட்பாடு. ஒரு நெகிழ்வான துணி போல இருக்கிற கால-வெளி, பொருள் மற்றும் ஆற்றல் இருப்பிடங்களை வளைக்கிறது

ஈர்ப்பலைகள் (Gravitational waves): விண்வெளியில் உருவாகும் கால-வெளி அலைகள், பெரும்பாலான நிகழ்வுகள் நொதுமி விண்மீன் அல்லது கருந்துளைகள் இணைப்புகளின் காரணமாக அமைகிறது.

இரைச்சல் (Noise): ஈர்ப்பலை ஆய்வக கருவிகள் மற்றும் சுற்றுச்சூழல் காரணமாக ஏற்படும் சீரற்ற மாற்றங்கள். ஈர்ப்பு அலை கண்டறியும் கருவியின் உணர்திறன் (Sensitivity) இரைச்சலால் வரம்படுத்தப் படிகிறது.

சூரிய நிறை (Solar mass, $M_\odot$): சூரியனின் நிறை, வானியல் தரநிலை எடையாக பயன்படுத்தப்படுகிறது. சுமார் 2×10^{30} கிலோகிராம்.

மேலும் அறிய

எங்கள் வலைத்தளங்களைப் பார்வையிடவும்:

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

- முழு அறிவியல் கட்டுரையின் முன்வெளியீடு இங்கே படிக்கவும்.
- GW230814 க்கான ஈர்ப்பு-அலை திறந்த அறிவியல் மையம் (GWOSC) தரவு வெளியீடு கிடைக்கிறது இங்கே
- GWTC-4.0 க்கான GWOSC தரவு வெளியீடு இங்கே கிடைக்கிறது.

தமிழ் மொழியாக்கம் :
சுதாகர் சுயம்பிரகாசம்
சரிபார்ப்பு :
ஸ்ரீ காந்த் ஹரிகுமார்