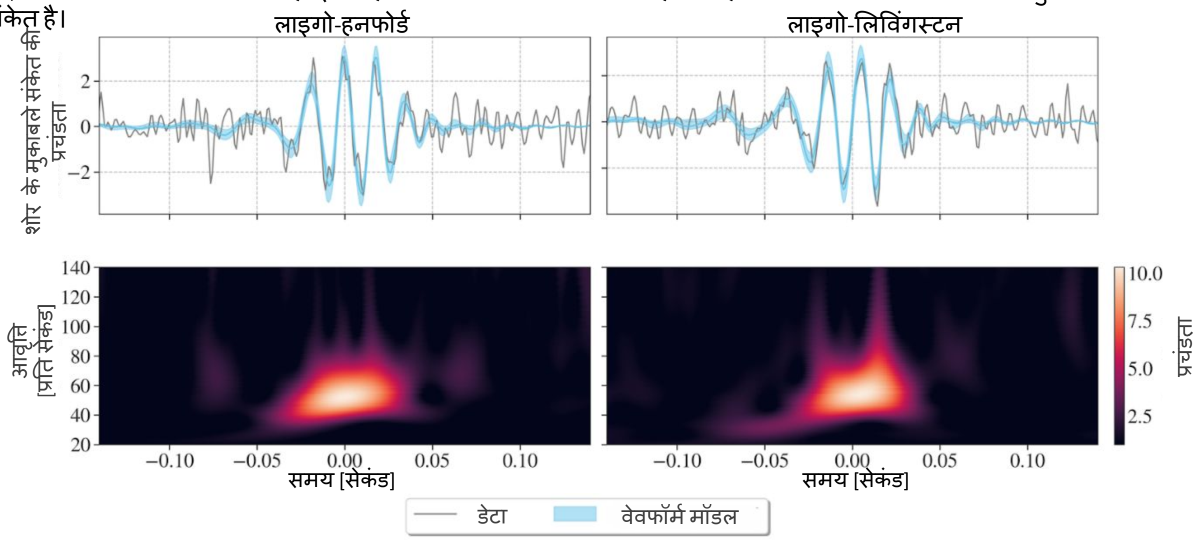
GW231123: गुरुत्वाकर्षण तरंगों के माध्यम से खोजा गया सबसे विशाल ब्लैक होल द्विआधारी (बाइनरी)

23 नवम्बर 2023, शाम 07:24:30 (भारतीय समयानुसार), को **लाइगो–विर्गो–काग्रा (एलवीके)** सहयोग समूह ने एक दुर्लभ माने जाने वाली खगोलीय प्रणाली से आने वाली गुरुत्वाकर्षण तरंगों के संकेत का पता लगाया है | यह प्रणाली इस सहयोग समूह के इतिहास में पता लगाया जाने वाला सबसे विशाल ब्लैक होल (कृष्ण विवर) द्विआधारी है, जिसको GW231123 नाम दिया गया है | यह गुरुत्वाकर्षण तरंग संभवतः दो ब्लैक होलों के विलय के कारण उत्पन्न हुआ है । इन दो ब्लैक होलों का ना केवल **संयुक्त द्रव्यमान सबसे अधिक** है बल्कि इसका **घूर्णन** भी अब तक खोजे गए ब्लैक होलों में **सबसे तीव्र** है | यही कारण है की इस ख़ोज ने विशाल तारों के क्रमिक विकास और मृत्यु से जुड़े वर्तमान सिद्धांतों को चुनौती दी है |

संकेत को कैसे खोजा गया ?

इस गुरुत्वाकर्षण तरंग के संकेत को हनफोर्ड और लिविंगस्टन में स्थित **दो एडवांस्ड लाइगो** संवेदकों ने चौथे एलवीके अवलोकन चक्र (O4a) के पहले भाग में देखा । यह तरंग एलवीके संवेदकों में स्थित आइनों में कंपन पैदा करतें हैं जिसे लेज़र की सहायता से संकेत के रूप में परिवर्तित किया जाता है | गुरुत्वाकर्षण तरंग के द्वारा कंपन की तीव्रता बहुत कम होने के कारण संकेत शोर के बीच में छुपा रहता है जिसको हमारे वैज्ञानिक अलग अलग तरीकों से खोज निकालते हैं| दोनों संवेदकों के बीच सामंजस्य एक सुनिश्चित खोज करने में अत्यंत आवश्यक था। GW231123 के संकेत को चित्र 1 में दिखाया गया है | इस संकेत की अवधि लगभग **एक सेकंड के दसवें हिस्से के बराबर थी**, लेकिन संवेदक में होने वाले सामान्य शोर की तुलना में यह संकेत करीब **20 गुना अधिक स्पष्ट** रूप से दिखाई दिया। यह सुनिश्चित करने के लिए कि यह संकेत डेटा में कोई आकस्मिक गड़बड़ी नहीं है, हमने सटीक सांख्यिकीय परीक्षण किए। हजारों वर्षों के शोर को अनुकरण करने वाली तकनीकों का उपयोग करके, हमने पाया कि GW231123 जैसे संकेत का सिर्फ संवेदक के शोर से उभरने की संभावना 10,000 वर्षों में एक बार से भी कम है! इससे हमारे दावे को काफी बल मिलता है कि यह संकेत वास्तव में एक वास्तविक गुरुत्वाकर्षण-तरंग संकेत है।



चित्र 1: GW231123 संकेत लाइगो हनफोर्ड (बाएं) और लिविंगस्टन (दाएं) डिटेक्टरों के डेटा में दिखाया गया है। ऊपर के पैनलों में समय के साथ डेटा का परिमाण (भूरे रंग की रेखाएं) दिखाया गया है। **नीले रंग** की छायांकित पट्टी हमारे द्वारा **अनुमानित वास्तविक संकेत** को दर्शाती है। नीचे के पैनल **स्पेक्ट्रोग्राम्स** हैं, जिन्हें टाइम-फ्रिक्वेंसी मैप भी कहा जाता है, जो समय (क्षैतिज अक्ष) और आवृत्ति (लंबवत अक्ष) के अनुसार संकेत का परिमाण दिखाते हैं। जहाँ रंग अधिक चमकीले हैं, वहाँ संकेत अधिक मजबूत है।

संकेत का जनक स्रोत

डेटा स्पष्ट रूप से दर्शाता है कि यह संकेत दो ब्लैक होलों के उग्र विलय से उत्पन्न हुआ था। इन ब्लैक होलों के बारे में और जानने के लिए—जैसे कि उनका द्रव्यमान कितना था और वे कितनी तेजी से घूम रहे थे—हमने आइंस्टीन के सापेक्षिकता का व्यापक सिद्धांत (जनरल थ्योरी ऑफ रिलेटिविटी) पर आधारित कई मॉडल्स का उपयोग किया। इन मॉडलों की मदद से हमने यह सिमुलेट किया कि अलग-अलग ब्लैक होल बाइनरी के लिए ऐसा सिग्नल कैसा दिखाई दे सकता है।

इन मॉडलों की तुलना जब डेटा से की गई, तो हमने पाया कि इन ब्लैक होलों का द्रव्यमान क्रमशः लगभग 137 और 103 सौर द्रव्यमान था। सभी अनिश्चितताओं को ध्यान में रखते हुए, इनका कुल संयुक्त द्रव्यमान लगभग **190 से 265 सौर द्रव्यमान** के बीच रहा होगा। यह खोज अब तक देखे गए सबसे विशाल ब्लैक होल युग्म के रूप में GW190521 को पीछे छोड़ देती है।

और जानें:

हमारी वेबसाइट्स पर जाएं:

www.ligo.org

www.virgo-gw.eu

gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/

यही नहीं, दोनों ब्लैक होल संभवतः उतनी तेज़ी से घूम रहे थे जितनी सैद्धांतिक रूप से ब्लैक होल घूम सकते हैं। इस विलय से जो ब्लैक होल बना, उसका द्रव्यमान संभवतः 182 से 251 सौर द्रव्यमान के बीच था। यह उसे ब्लैक होलों की एक दुर्लभ श्रेणी में रखता है, जिसे *इंटरमीडिएट-मास ब्लैक होल* कहा जाता है—जो तारकीय पतन से बने ब्लैक होलों से भारी होते हैं, लेकिन उन सुपरमैसिव ब्लैक होलों से कहीं हल्के जो आकाशगंगाओं के केंद्रों में पाए जाते हैं। GW231123 और GW190521 के विलय अवशेष इन दुर्लभ, मध्यम आकार के ब्लैक होलों की अब तक की सबसे स्पष्ट गुरुत्वाकर्षण-तरंग खोजों में शामिल हैं।

ये गुण इतने रोचक क्यों हैं?

वर्तमान सिद्धांतों के अनुसार, तारकीय विकास की प्रक्रिया में ऐसे ब्लैक होल जिनका द्रव्यमान लगभग 60 से 130 सौर द्रव्यमान के बीच हो, बहुत ही दुर्लभ या अस्तित्वहीन होने चाहिए। इस "प्रतिबंधित" द्रव्यमान सीमा को ब्लैक होल मास गैप कहा जाता है। ऐसा माना जाता है कि यह सीमा विशेष प्रकार के विस्फोटों के कारण उत्पन्न होती है, जैसे कि पेयर-इंस्टेबिलिटी सुपरनोवा, जो भारी तारों को पूरी तरह नष्ट कर देते हैं, या पल्सेशनल पेयर-इंस्टेबिलिटी सुपरनोवा, जो तारे के पतन से पहले उसके अधिकांश द्रव्यमान को बाहर फेंक देते हैं। इन प्रक्रियाओं के कारण एक भारी ब्लैक होल बन ही नहीं पाता।

हालांकि, GW231123 इस अपेक्षा को चुनौती देता है। हल्का ब्लैक होल लगभग निश्चित रूप से मास गैप के भीतर आता है, जिसमें इसके उस सीमा में होने की संभावना 83% है, जबकि भारी ब्लैक होल के लिए यह संभावना 26% है। यह संकेत देता है कि पारंपरिक तारकीय विकास सिद्धांत इन ब्लैक होलों की उत्पत्ति को पूरी तरह से नहीं समझा सकते।

एक रोमांचक संभावना यह है कि इन दोनों ब्लैक होलों में से एक या दोनों पहले किसी अन्य ब्लैक होल विलय के परिणामस्वरूप बने हों। इससे इनके उच्च अनुमानित द्रव्यमान और तेज़ घूर्णन की व्याख्या हो सकती है, और यह संकेत देता है कि ये अत्यधिक सघन खगोलीय परिवेश में रहे होंगे, जैसे कि न्यूक्लियर स्टार क्लस्टर या सक्रिय आकाशगंगा केंद्र (एक्टिव गैलेक्टिक न्यूक्लियाई/ एजीएन), जहाँ ब्लैक होल के टकराने की संभावना अधिक होती है। ऐसे घने परिवेश ब्लैक होलों को अधिक विलक्षण (एक्सेंट्रिक) कक्षाओं में परिक्रमा करने के लिए भी प्रेरित कर सकते हैं। हालांकि, इन जटिलताओं को सीमित रखने के लिए हमारे मौजूदा मॉडल यह मानते हैं कि ब्लैक होल लगभग गोलाकार कक्षाओं में धीरे-धीरे गुरुत्वाकर्षण तरंगें उत्सर्जित करते हुए एक-दूसरे की ओर बढ़ते हैं। लेकिन अगर ये कक्षाएं अत्यधिक विलक्षण हों, विशेषकर विलय से ठीक पहले, तो तरंगों के रूपों पर असर पड़ सकता है—जिसे हमारे वर्तमान मॉडल पकड़ नहीं पाते। GW231123 के लिए यह संभावना अभी भी खुली हुई है और इसकी जांच के लिए अधिक उन्नत मॉडल की आवश्यकता है।

ऐसे सिग्नल उत्पन्न करने वाले अन्य परिदृश्य—जैसे कि ग्रैविटेशनल लेंसिंग, प्राइमॉर्डियल ब्लैक होल्स, कोर-कोलैप्स सुपरनोवा, बोसॉन स्टार मर्जर और कॉस्मिक स्ट्रिंग्स—पिछले अनुभाग में चर्चा किए गए परिदृश्यों की तुलना में भौतिकीय रूप से कम संभावित हैं।

विलय के अंतिम क्षण

एलवीके द्वारा देखे गए अधिकांश ब्लैक होल बाइनरी विलयों—जो इस सारांश के लिखे जाने तक लगभग 300 थे—के संकेत विलय के प्रारंभिक हिस्सों के प्रति सबसे अधिक संवेदनशील होते हैं, जब ब्लैक होल एक-दूसरे की ओर बढ़ते हैं और अंततः विलय कर जाते हैं। लेकिन अपने विशाल द्रव्यमान के कारण, GW231123 ने हमें इसके अंतिम चरणों (विलय (मर्जर) और *रिंगडाउन*) का सबसे स्पष्ट दृश्य प्रदान किया| विलय के बाद होने वाले *रिंगडाउन* में नया बना ब्लैक होल गुरुत्वाकर्षण तरंगों के माध्यम से ऊर्जा उत्सर्जित करता है, कंपन करता है और अंततः स्थिर अवस्था में पहुँच जाता है—कुछ वैसा ही जैसे कोई घंटी बजने के बाद धीरे-धीरे शांत हो जाती है।

हमने इस संकेत के अंतिम हिस्से की तुलना सापेक्षिकता के व्यापक सिद्धांत की उन भविष्यवाणियों से की जो यह बताती हैं कि कोई ब्लैक होल रिंगडाउन चरण में कैसे व्यवहार करता है, और पाया कि सिद्धांत और हमारे अवलोकित डेटा के बीच काफी मजबूत मेल है। हालांकि, GW231123 की अत्यधिक विशेषताएं हमारे मॉडलों की सीमाओं को छूती हैं, जिससे कुछ सूक्ष्म पहलू अभी भी अनसुलझे रह जाते हैं और यह दर्शाते हैं कि हमारे वेवफॉर्म्स को और बेहतर बनाने की आवश्यकता है।

निष्कर्ष

कुछ साल पहले, जब हमने GW190521 का सारांश प्रस्तुत किया था, तब हमने कहा था कि रिकॉर्ड टूटने के लिए ही होते हैं—और GW231123 ने ठीक वही किया है। इसकी विशेषताएं—जिनमें मास गैप में ब्लैक होल्स और सैद्धांतिक सीमा के करीब स्पिन शामिल हो सकते हैं—इसे असाधारण तो बनाती ही हैं, साथ ही इसकी व्याख्या को भी चुनौतीपूर्ण बनाती हैं। यह घटना हमें प्रेरित करती है कि हम ब्लैक होल के निर्माण के पारंपरिक तारकीय विकास से आगे के वैकल्पिक रास्तों की भी खोज करें, और यह हमारे मौजूदा वेवफॉर्म मॉडल की सीमाओं को भी उजागर करती है। जैसे-जैसे हम गुरुत्वाकर्षण तरंगों के माध्यम से ब्रह्मांड की आवाज़ें सुनना जारी रखते हैं, GW231123 हमें यह याद दिलाता है कि इस ब्रह्मांड में अब भी कई रहस्य छिपे हैं—और हम अभी तो बस उनकी परतें खोलना शुरू ही कर रहे हैं।

और जानें:

हमारी वेबसाइट्स पर जाएं:

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

पूरे वैज्ञानिक लेख का निःशुल्क प्रीप्रिंट यहाँ पढ़ें
GW231123 के लिए ग्रैविटेशनल-वेव ओपन साइंस सेंटर का डेटा रिलीज़ यहाँ उपलब्ध है