GW190521: अंतरिक्ष में अब तक का देखा जाने वाला सबसे विशालकाय ब्लैकहोल का संघट्टन

हमने क्या देखा?

उन्नत LIGO एवं उन्नत Virgo संसूचकों के द्वारा एक असाधारण ब्लैक-होल की जोड़ी के विलय से उत्पन्न हुए एक गुरुत्वाकर्षण-तरंग संकेत को 21 मई, 2019 को देखा गया। यह GW190521 नाम का संकेत अल्पावधि के लिए था, और आज तक देखे गए किसी भी अन्य युग्मक ब्लैक-होल विलय की तुलना में न्यूनतम " चरम आवृत्ति " का था ।

उन्नत Virgo एवं उन्नत LIGO के संवेदनशील आव्रत पट्टी के मध्य एक ब्लैक-होल युग्मक विलय संकेत द्वारा व्यतीत किया गया समय , ब्लैक-होल जोड़े के कुल द्रव्यमान के विपरीत होता है। GW190521 के विषय में यह अंतराल मात्र 0.1 सेकंड का ही था, जोकि सबसे पहले ज्ञात होने वाले ब्लैक-होल युग्मक GW150914 के विलय की समयावधि के अनुपात में बहुत कम था। इसी प्रकार, जिस आवृत्ति पर एक युग्मक ब्लैक-होल विलय संकेत अपने चरम पर पहुंचता है वह भी इस युग्मक के कुल द्रव्यमान के विपरीत होती है। GW190521 के लिए यह चरम आवृत्ति मात्र 60Hz ही थी, जोकि पुनः GW150914 के चरम आवृत्ति 150Hz की तुलना में बहुत कम थी। इसलिए यह शुरुआत से ही स्पष्ट था (चित्र 1 देखें) कि LIGO और VIrgo के हाथ एक बहुत बड़ा ब्लैक-होल युग्म लगा है ।

चित्र 2 के अंतर्गत GW190521 का उत्पादन करने वाले ब्लैक-होल के मापित द्रव्यमान को दर्शाया गया है। इन दोनों ब्लैक-होल में से बड़ा वाला सूर्य के द्रव्यमान का लगभग 85 गुना था (प्रतीक M☉ द्वारा चिह्नित) जबकि छोटा ब्लैक होल 66 M☉ के निकट दर्ज़ किया गया।
ये दोनों ही ब्लैक-होल, LIGO और Virgo द्वारा अब तक खोजे जाने वाले किसी भी ब्लैक-होल विलय की तुलना में बहुत अधिक विशाल हैं - यही नहीं बल्कि छोटा वाला ब्लैक होल ही पहले ज्ञात हुई अधिकतम विलय घटनाओं के दौरान निर्मित अवशिष्ट ब्लैक-होल की तुलना में बड़ा है (चित्र 3 देखें)।

GW190521 संकेत के विषय में "विलयन के बाद का ब्लैक-होल" का द्रव्यमान लगभग 142 M☉ है, जो इसे LIGO- Virgo की सबसे बड़ी ब्लैक होल की सूची में उच्चतम स्थान प्रदान करता है। यह शेष द्रव्यमान, जिन दो ब्लैक होल का विलयन हुआ उनके संयुक्त द्रव्यमान की अपेक्षा लगभग 8M☉ कम है; द्रव्यमान का यह अंतर गुरुत्वाकर्षण-तरंग संकेत की ऊर्जा में परिवर्तित हो गया।

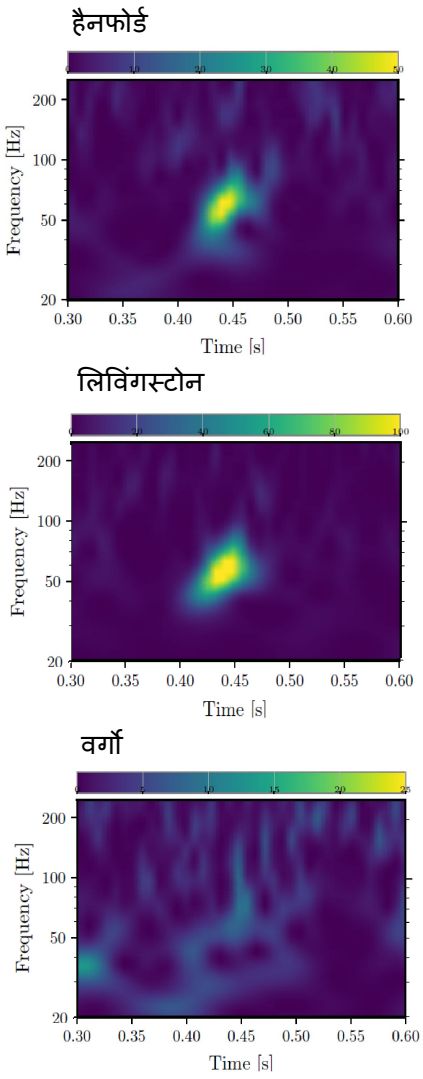

Figure 1. *GW190521 संकेत वाले निर्दिष्ट का समय-आवृत्ति निरूपण, LIGO हैनफोर्ड (शीर्ष), LIGO Livingston (मध्य), और Virgo (नीचे) द्वारा देखा गया। 21 मई, 2019 को 03:02:29 से सम्बंधित समयावधि UTC के सापेक्ष दिखाया गया है। एक निश्चित समय-आवृत्ति कोष्ठक में ऊर्जा को रंग पट्टिका द्वारा दर्शाया जाता है। सिग्नल की बेहद छोटी अवधि और उसके लगभग 60 Hz की चरम आवृत्ति पर ध्यान दें। (हमारे GW190521 शोध पत्र के चित्र 1 से प्राप्त)*

GW190521 इतना दिलचस्प क्यों है?

GW190521 का उत्पादन करने वाले असाधारण द्रव्यमान के ब्लैक-होलों की खोज के मायने मात्र शेखी बघारने से कही अधिक हैं ; ये ब्लैक-होल के निर्माण के बारे में हमारी समझ को चुनौती देती हैं और गुरुत्वाकर्षण के मूल सिद्धांतों को समझने के लिए एक अद्वितीय प्रयोगशाला के रूप में सहायक साबित हो सकती है ।

हमारी वेबसाइट पर जाएँ:

http://www.ligo.org

http://www.virgo-gw.eu

एक विशाल ब्लैक होल का गठन

खगोलविद ब्लैक होल का वर्गीकरण उसके द्रव्यमान के आधार पर करते हैं। यह सार्थक इसलिए है क्योंकि विभिन्न द्रव्यमानो के ब्लैक होल का गठन बहुत भिन्न - भिन्न तरीको से होता है। अधिकांश आकाशगंगाओ के केंद्रों में मौजूद अतिविशालकाय ब्लैक-होलों का द्रव्यमान सैकड़ों-हजारों से लेकर अरबों सूर्य के बराबर हो सकता है।

हमारी मिल्की-वे आकाशगंगा के केंद्र में सूर्य के द्रव्यमान से लगभग 40 लाख गुना बड़ा एक ब्लैक होल है। वास्तव में इन दैत्याकार ब्लैक होल का गठन कैसे हुआ, अभी भी यह एक रहस्य सा ही है। हालांकि, इनकी गठन प्रक्रिया संभवतः तब शुरू हुई जब ब्रह्मांड बहुत छोटा था, जिससे ब्लैकहॉल को इतने बड़े आकार में विकसित होने का समय मिला।

वही दूसरी छोर पर सूर्य की तुलना जितने द्रव्यमान वाले ब्लैक-होल हैं जिन्हें "तारकीय द्रव्यमान ब्लैक होल्स" भी कहा जाता हैं। इनका निर्माण भारी तारों में सुपरनोवा विस्फोट के फलस्वरूप होता है। ऐसे ब्लैक होलों का द्रव्यमान कुछ सूर्य दर्वयमान से लेकर दसों सूर्य के द्रव्यमान जितना हो सकता है , और अभी तक Virgo और LIGO द्वारा देखे गए ब्लैक होल युग्म इसी श्रेणी के हैं।

तारकीय ब्लैक होल और अतिविशालकाय ब्लैक होल के बीच, "मध्यवर्ती द्रव्यमान" ब्लैक होल का वह एक रहस्यमयी क्षेत्र है, जिसमें 100 से लेकर 100,000 सूर्य जितने द्रव्यमान वाले ब्लैक होल हैं। आज तक मध्यवर्ती द्रव्यमान वाले ब्लैक होल का कोई स्पष्ट अवलोकन नहीं हुआ है, लेकिन वे कैसे निर्मित होते हैं, इसके लिए कई भिन्न-भिन्न परिदृश्य हैं। जहाँ एक ओर दूरबीन और गुरुत्वाकर्षण तरंग संसूचकों के बीच क्षमताओं में सुधार हुआ है, वहीं हाल ही में मध्यवर्ती द्रव्यमान वाले ब्लैक होल की खोज को भी बहुत ही गंभीरता से लिया गया है।

भारी तारों की आंतरिक गतिविधियों की सिद्धांतिक समझ के आधार पर हम यह मानते हैं की 65M☐ से 120M☐ के बीच के द्रव्यमान वाले ब्लैक होल इन भारी तारों के विस्फोट से उत्पन्न नहीं हो सकते।

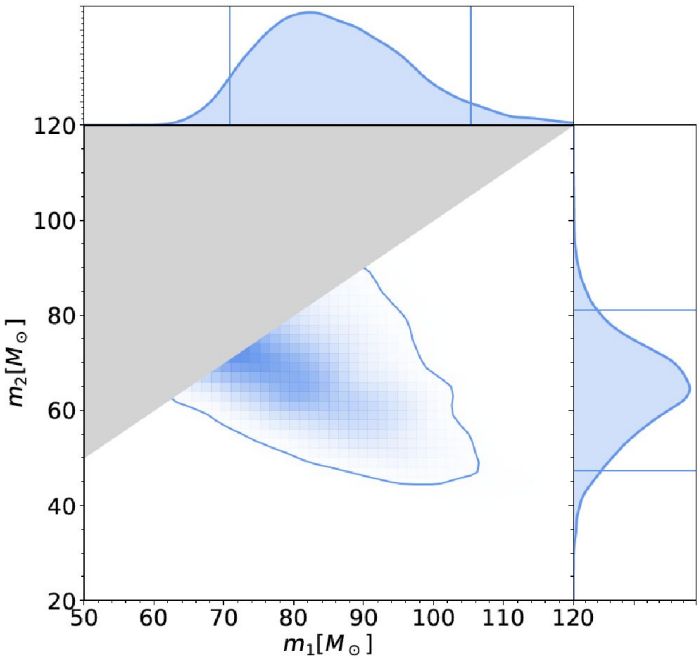

***Figure 2**. टकराते हुए ब्लैक होल का मापित द्रव्यमान जो गुरुत्वाकर्षण तरंग संकेत GW190521 का उत्पादन करता है, प्रामाणिक वितरण (probation distribution) के रूप में दिखाया गया है। LIGO -Virgo विश्लेषण के अनुसार, ब्लैक होल द्रव्यमान के वास्तविक मूल्यों में केंद्रीय भूखंड में ठोस नीले समोच्च के अंदर स्थित होने की 90% संभावना है (जो दोनों द्रव्यमानों के लिए संयुक्त संभावना दर्शाता है)। आकृति के शीर्ष और दाईं ओर घंटी के आकार की वक्र में ठोस ऊर्ध्वाधर और क्षैतिज रेखाओं के लिए भी यही सच है, जो व्यक्तिगत ब्लैक होल के लिए बड़े पैमाने पर माप दिखाते हैं। केंद्रीय भूखंड का ग्रे-आउट क्षेत्र LIGO- वर्गो के सम्मेलन के कारण है , "प्राथमिक" द्रव्यमान m1 हमेशा "माध्यमिक" द्रव्यमान m की तुलना में बराबर या तो उससे अधिक मूल्य का होता है। (Reproduced from Fig. 2 of our GW190521 discovery paper)*

इसलिए GW190521 नामक संकेत हमारी इस मान्यता पर सवाल खड़े करता है क्योंकि इस युग्मक के बड़े ब्लैक-होल("प्राथमिक ब्लैक-होल") का द्रव्यमान 85 M☐ है , इसके अलावा , इसके अवशिष्ट ब्लैक-होल का द्रव्यमान भी मध्यवर्ती ब्लैक-होल की श्रेणी में पड़ता है।

LIGO- Virgo के द्वारा GW190521 के अवलोकन से यह पता चलता है कि या तो ये भारी तारे उच्च द्रव्यमान वाले ब्लैक-होल स्वयं बना सकते हैं, या फिर कुछ LIGO-Virgo ब्लैक-होल का निर्माण अन्य माध्यमों से होता है- संभवतः पूर्ववर्ती विलयनों से बने ब्लैक-होलों का पुनः विलयन ही इतने बड़े द्रव्यमान वाले ब्लैक-होल को जन्म देता है। ऐसे परिदृश्य को सम्भव बनाने के लिए आवश्यक है कि उन ब्लैक-होल का निर्माण एक ऐसे विशिष्ट वातावरण में हो जिसके निकटतम कई और विलयन की घटनाओं के लिए वहाँ पर्याप्त अन्य ब्लैक होल की मौजूदगी हो। खगोलविदों ने ऐसे विशेष वातावरण के संभावित उदाहरणों के रूप में सितारों के सघन समूहों या सक्रिय आकाशगंगा -सम्बन्धी नाभिक के डिस्क को प्रस्तावित किया है।

GW190521 के अवलोकन से यह भी पता चलता है कि तारकीय द्रव्यमान ब्लैक-होल विलय के अवशिष्टों द्वारा मध्यवर्ती द्रव्यमान वाले ब्लैक होल की श्रेणी को आंशिक रूप से आबाद किया जा सकता है। और ठीक इसी तरह, सुपरमैसिव ब्लैक-होल का निर्माण भी संभव है।

गुरुत्वाकर्षण के बारे में हमारी समझ का परीक्षण

गुरुत्वाकर्षण कैसे काम करता है, इस पर हमारी सैद्धांतिक समझ को आइंस्टीन ने अपने सापेक्षता के सिद्धांत (GR) द्वारा बख़ूबी वर्णित किया है। ब्लैक होल के विलय से गुरुत्वाकर्षण-तरंग संकेतों की भविष्यवाणी करने के लिए भौतिकशास्त्री सापेक्षता सिद्धांत (GR) का उपयोग करते हैं। बदले में, उन पूर्वानुमानों का उपयोग Virgo और LIGO के द्वारा प्राप्त निर्दिष्टों के विश्लेषण को समझने के लिए किया जाता है।दूसरी तरफ, गुरुत्वाकर्षण-तरंग संकेतों का अवलोकन इस सिद्धांत द्वारा किए गए पूर्वानुमानों का परीक्षण करने के लिए किया जा सकता है, और ऐसा कोई भी वैकल्पिक गुरुत्वाकर्षण सिद्धांत जो GR के माध्यम से किसी भी विचलन की ओर संकेत करे, उसका पता लगाने के लिए भी इसका उपयोग किया जा सकता है।

भौतिकी प्रयोगशालाओं के रूप में गुरुत्वाकर्षण तरंगों का उपयोग करना कोई नई बात नहीं है: पिछले LIGO- कन्या ब्लैक होल विलयन सम्बंधित सन्दर्भों का उपयोग हमारी GR की समझ का परीक्षण करने के लिए किया गया है। तो ऐसा क्या है जो GW190521 इनसे अलग है?

दो ब्लैक होल की टक्कर से गुरुत्वाकर्षण तरंग संकेत तीन अलग-अलग दौर से गुजरता है (चित्र 4 देखें): पहला "कुंडलित " है, जब दो ब्लैक होल अच्छी तरह से अलग हो जाते हैं और एक दूसरे के चारों ओर परिक्रमा करते हैं; तदोपरांत "विलयन ", जब दो ब्लैक होल एक दूसरे के साथ जुड़ जुड़तें ; अंत में "घण्टाध्वनि ", अंततः स्थिरता प्राप्त करने से पहले अवशिष्ट ब्लैक होल एक "अटके हुए घंट" की तरह ध्वनि उत्पन्न करता है।

जैसा कि पहले ही उल्लेख किया जा चुका है कि, ब्लैक होल संकेतक भिन्न भिन्न समावधि में LIGO- Virgo निर्दिष्टों के संबंध में अवलोकन योग्य होते हैं, और वे ब्लैक होल द्रव्यमान की विभिन्न आवृत्तियों के आधार पर चरम पर पहुँचते है। परिणामस्वरूप, संसूचक युग्मक के द्रव्यमान के आधार पर गुरुत्वाकर्षण तरंग संकेतों के विभिन्न हिस्सों के प्रति संवेदनशील होते हैं। कम द्रव्यमान वाले ब्लैक होल से संकेत उनके प्रेरक और विलय चरणों के दौरान अधिक स्पष्ट रूप से देखे जाते हैं। दूसरी ओर, GW190521 का निर्माण करने वाले ब्लैक होल का बहुत अधिक द्रव्यमान हमें गुरुत्वीय तरंग संकेत के देर से विलय और सैद्धांतिक चरणों का अध्ययन करने हेतु सुनहरा अवसर प्रदान करता है।

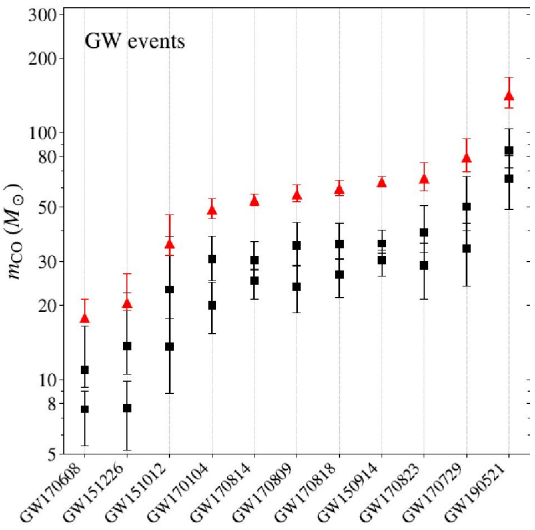

Figure 3. *सारिणी में GW190521 ब्लैक होल के घटक द्रव्यमान (ब्लैक बॉक्स के रूप में दिखाए गए) दिखाई देते हैं, LIGO और Virgo के पहले और दूसरे अवलोकन समयावधि में , O1 और O2 के दौरान पाए गए अन्य ब्लैक होल विलय के द्रव्यमान के साथ। प्रत्येक घटना के अंतर्गत विलयन के अवशेष का द्रव्यमान एक लाल त्रिकोण के रूप में दिखाया गया है। सभी मामलों में ऊर्ध्वाधर दण्ड की लंबाई अनुमानित द्रव्यमान में अनिश्चितता की सीमा को इंगित करती है। इस सारिणी से GW190521 का कीर्तिमान -अंजक द्रव्यमान स्पष्ट है। (GW190521 के खगोल भौतिकी निहितार्थ पर हमारे शोधपत्र के चित्र 10 से प्राप्त)*

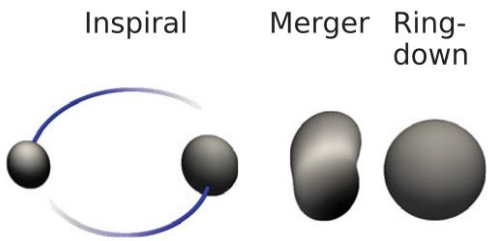

Figure 4. *दो ब्लैक होल की टक्कर से गुरुत्वाकर्षण-तरंग संकेत के तीन अलग-अलग चरणों का प्रतिनिधित्व करने वाला आरेख*

इस प्रकार अब तक देखे गए अन्य सभी ब्लैक होल संकेतों की ही तरह, GW190521 के द्वारा पस्तुत परीक्षणों को GR ने पारित कर दिया। ऐसा ही एक परीक्षण था, जिसमें संकेतों के सैद्धांतिक हिस्से को कुंडलित एवं विलयन के अव्ययों का भिन्न -भिन्न विश्लेषण करना और यह जांचना कि वे एक दूसरे के अनुरूप थे या नहीं। गुरुत्वाकर्षण के कुछ वैकल्पिक सिद्धांतों के विद्यमान होने की भविष्यवाणी के संकेत में अतिरिक्त विशेषताओं की खोज के लिए और अन्य परिकल्पनाओं के परीक्षण के लिए इन संकेतों के स्रोतों (यानी दो ब्लैक होल के विलय के विपरीत) का ही प्रयोग किया गया। इन परीक्षणों में से कोई भी इस व्याख्या का खंडन करने में सक्षम नहीं था कि GW190521, GR में वर्णित भौतिकी द्वारा शामिल दो ब्लैक होल के विलय से आया था।

अधिक जानकारी प्राप्त करने हेतु :

हमारी वेबसाइट: www.ligo.org, www.virgo-gw.eu पर जाएँ
GW190521 की खोज के बारे में LIGO और Virgo की प्रेस विज्ञप्ति पढ़ें:
www.ligo.org/detections/GW190521/pr-english.pdf
http://www.virgo-gw.eu/GW190521
GW190521 की खोज का वर्णन करने वाला स्वतंत्र रूप से उपलब्ध पूर्ण वैज्ञानिक लेख पढ़ें:
https://dcc.ligo.org/P2000020/public
GW190521 के खगोल भौतिकीय प्रभाव का वर्णन करने वाले समतुल्य (साँझा) वैज्ञानिक लेख को पढ़ें:
https://dcc.ligo.org/P2000021/public
GW190521 के लिए गुरुत्वाकर्षण-वेव ओपन साइंस सेंटर डेटा रिलीज़: यहां उपलब्ध है।
https://www.gw-openscience.org/eventapi/html/O3_Discovery_Papers/

सारांश

GW190521 एक अभूतपूर्व गुरुत्वाकर्षण तरंगीय निरिक्षण है जो ब्लैक होल के रूप में हमारे ज्ञान की सीमाओं का वर्धन करता है, और इसके सर्वोच्च चरमसीमा पर गुरुत्वाकर्षण का अध्ययन करने की एक नयी युक्ति प्रदान करता है। इस खोज ने ऊन ब्लॅक होल्स कि तरफ इशारा किया जीनकी पहचान भविष्य के अवलोकन अभियानो (यानी LIGO (LIGO-India समेत), Virgo एवं जपानी KAGRA अवलोकन अभियान) के सहयोगी जांच मे की जा सकती है|

तारकीय-द्रव्यमान ब्लैक होल सघनता के उच्च स्तरीय सर्वेक्षण करने से हमें उन प्रक्रियाओं की स्पष्ट तस्वीर बनाने तथा वह वातावरण जिसमें वे रहते हैं, जो ब्लैक होल की उत्पत्ति में सहायक हैं, उनको ज्ञात करने में मदद मिलेगी। तारकीय-द्रव्यमान ब्लैक होल सघनता के उच्च स्तरीय सर्वेक्षण करने से हमें उन प्रक्रियाओं की स्पष्ट तस्वीर बनाने तथा वह वातावरण जिसमें वे रहते हैं, जो ब्लैक होल की उत्पत्ति में सहायक हैं, उनको ज्ञात करने में मदद मिलेगी। GW190521 अपने इस मुकाम जिसके तहत उसने अब तक का सबसे विशालकाय ब्लैक होल युग्मक को खोजा है , उसका आनंद तो ले सकता है किन्तु, शिथिल नहीं हो सकता। LIGO, Virgo और KAGRA आगे की संवेदनशीलता के साथ गुरुत्वाकर्षण तरंगों के लिए अंतरिक्षीय खोज करते रहेंगे, और भविष्य के संसूचकों विशेष रूप से कम आवृत्तियों पर बहुत अधिक प्रभावी सिद्ध होंगे जहां कई और सघन ब्लैक होल के छिपे होने की संभावना हो सकती है। पहले से ही योजना बना रहे नए संसूचकों में पृथ्वी पर आइंस्टीन दूरबीन एवं ब्रह्मांडीय अन्वेषक तथा अंतरिक्ष में LISA शामिल हैं । कीर्तिमान स्थापित ही तोड़ने के लिए किये जाते हैं !