ब्लैक होल्स को सुनना

परमेश्वरन अजीत

हाल ही में हुई गुरुत्वाकर्षी तरंगों (ग्रेविटेशनल वेव्स) की खोज ने न केवल आइंस्टीन की एक सदी पुरानी भविष्यवाणी की पुष्टि की है, बल्कि उसने ब्रह्माण्ड को देखने के एक बिलकुल नए मार्ग को खोल दिया है। यह लेख इस खोज की रोमांचक कथा को बयान करता है, तथा यह भी बताता है कि उसकी पृष्ठभूमि में क्या-क्या हुआ था और उसमें आगे क्या होने की सम्भावनाएँ हैं।

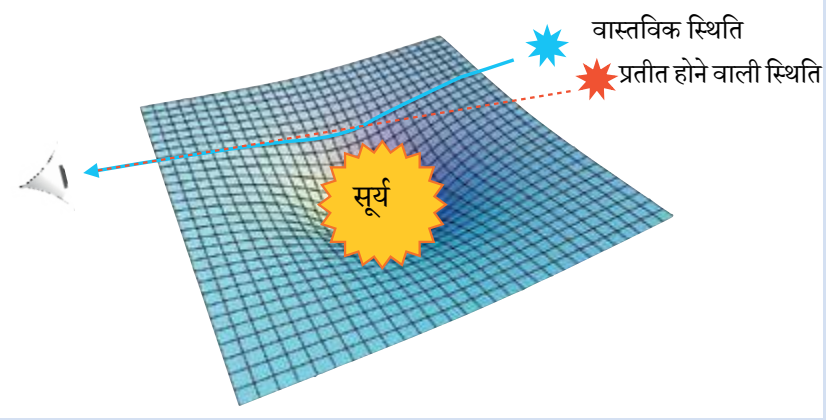
एक सुदूर आकाशगंगा (गैलेक्सी) में लगभग 1.3 अरब वर्ष पहले, दो विराट ब्लैक होल, क़रीब-क़रीब प्रकाश की चाल जितनी तेज़ चाल से गति करते हुए एक-दूसरे में मिल गए और इस तरह एक और अति विराट ब्लैक होल का जन्म हुआ। इस शक्तिशाली घटना ने एक सैकेण्ड के भी एक अंश में लगभग तीन सूर्यों के द्रव्यमान के बराबर ऊर्जा उत्सर्जित की। यदि इस ऊर्जा को प्रकाश में परिवर्तित किया गया होता, तो इसकी चमक के आगे दिखाई देने वाले समस्त ब्रह्माण्ड की चमक (अर्थात ब्रह्माण्ड के समस्त तारों की चमक) एक क्षणांश के लिए बुझ-सी गई होती। परन्तु, ब्लैक होल्स के इस मिलाप ने कोई प्रकाश पैदा नहीं किया। इसकी बजाय इसने आकाश-समय (स्पेसटाइम) में शक्तिशाली तरंगें पैदा कीं, जो गुरुत्वाकर्षी तरंगें कहलाती हैं।

पृथ्वी पर ये तरंगें 14 सितम्बर 2015 को, 1.3 अरब प्रकाश वर्षों की यात्रा करने के बाद पहुँचीं। अमेरिका में लेज़र इंटरफेरोमीट्रिक ग्रेविटेशनल वेव्स ऑब्जर्वेटरी (लीगो) में लगे दो शानदार उपकरणों ने आकाश-समय में उठी इन लघु तरंगों को पकड़ा। जब वैज्ञानिकों ने 12 फरवरी 2016 को इस खोज की घोषणा की तो इसने जनसामान्य की कल्पनाओं में और बड़ी तरंगों को पैदा किया। न्यूयॉर्क टाइम्स ने इसका वर्णन "ब्रह्माण्ड के पार से सुनी गई चहचहाहट" के रूप में किया। वैज्ञानिकों ने लीगो में जिस परिघटना को घटते हुए पकड़ा था वह वही व्यापक सापेक्षता सिद्धान्त (जनरल थ्योरी ऑफ रिलेटिविटी) थी जिसकी भविष्यवाणी अल्बर्ट आइंस्टीन ने सैद्धान्तिक रूप से लगभग एक सदी पहले, उनके गुरुत्वाकर्षण सम्बन्धी सिद्धान्त के एक परिणाम के रूप में कर दी थी।

गुरुत्वाकर्षी तरंगें

गुरुत्वाकर्षी तरंगों का अस्तित्व होना आइंस्टीन के व्यापक सापेक्षता सिद्धान्त (1915) के कुछ सबसे रहस्यमय निष्कर्षों में से एक है। आधुनिक भौतिकशास्त्र के स्तम्भों में से एक माने जाने वाला व्यापक सापेक्षता का सिद्धान्त, गुरुत्वाकर्षण का

बॉक्स-1 : गुरुत्वाकर्षण के कारण प्रकाश का झुकाव

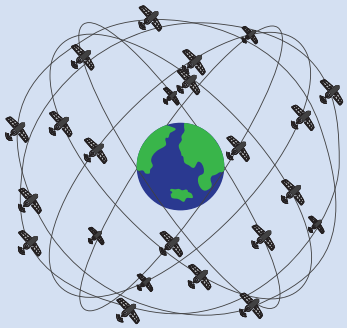


यह चित्र आकाश-समय के वितान को युक्तिपूर्वक आड़ी और खड़ी समानान्तर रेखाओं के काटने से बने एक दो आयामी तल के रूप में दर्शाता है। सूर्य अपने आस-पास के इस आकाश-समय के वितान को थोड़ा वक्र बना देता है जिससे किसी तारे और प्रेक्षक के बीच की सबसे छोटी दूरी एक सीधी रेखा नहीं रह जाती। चूँकि तारे का प्रकाश, प्रेक्षक और स्रोत के बीच की सबसे छोटी दूरी वाला मार्ग चुनता है, इसलिए वह आकाश-समय के वितान में झुक जाता है, जिसके फलस्वरूप तारे की प्रतीत होने वाली स्थिति थोड़ी खिसक जाती है। किसी तारे का जो प्रकाश सूर्य के अंग के पास से गुज़रेगा उसमें सबसे ज़्यादा विचलन (लगभग 1.75/3600 डिग्री का) होगा। इसलिए, सूर्य के सबसे नज़दीक स्थित तारों की प्रतीत होने वाली स्थिति में सबसे ज़्यादा विचलन होता है।

वह सबसे सटीक वर्णन है जो आज हमें उपलब्ध है। इस सिद्धान्त के अनुसार, कोई भी विशालकाय पिण्ड (या ऊर्जा के अन्य रूप, जैसे कि विद्युत चुम्बकीय विकिरण) उसके आस-पास के आकाश-समय में वक्रता पैदा कर देता है। आकाश-समय की इस वक्रता का अनुसरण करता हुआ प्रकाश, जो किसी सपाट आकाश-समय में सीधी रेखा में गति करता है, किसी विशालकाय पिण्ड के निकट झुकने लगता है।

इस प्रभाव का सबसे पहला प्रेक्षण ब्रिटिश खगोल वैज्ञानिक, आर्थर एडिंग्टन के द्वारा, 1919 के पूर्ण सूर्यग्रहण के दौरान किया गया था। तारों के प्रकाश के झुकाव के कारण सूर्य के नज़दीक स्थित तारों की प्रतीत होने वाली स्थिति, उनकी वास्तविक मूल स्थिति की तुलना

बॉक्स-2 : वैश्विक स्थिति निर्धारण प्रणाली (ग्लोबल पोजीशनिंग सिस्टम) तथा गुरुत्वाकर्षण के कारण होने वाला समय का विस्तारण



ग्लोबल पोजीशनिंग सिस्टम (जीपीएस) पृथ्वी की परिक्रमा करने वाले उपग्रहों की एक व्यवस्था पर आधारित होता है, जिसके लिए पृथ्वी एक सन्दर्भ बिन्दु का काम करती है। इन उपग्रहों में बहुत बारीक़ी से समय निर्धारित करने वाली परमाणु घड़ियाँ होती हैं, और ये उपग्रह निरन्तर अपनी स्थिति और समय का प्रसारण करते रहते हैं। यदि हमें एक ही समय पर कम-से-कम चार उपग्रहों से संकेत प्राप्त हों, तो हम प्रकाश की ज्ञात नियत चाल का उपयोग करते हुए, पृथ्वी पर अपनी त्रिआयामी स्थिति की गणना कर सकते हैं। समय का मापन किसी सन्दर्भ घड़ी द्वारा किया जा सकता है। जीपीएस की मदद से हम 10 मीटर तक की शुद्धता की सीमा तक पृथ्वी पर अपनी स्थिति का निर्धारण कर सकते हैं।

परन्तु, व्यापक सापेक्षता के अनुसार गुरुत्वाकर्षण समय को धीमा कर देता है। इसके परिणामस्वरूप, उपग्रह के भीतर स्थित घड़ी की तुलना में, पृथ्वी की सतह पर स्थित वैसी ही घड़ी प्रतिदिन लगभग 3 माइक्रोसैकेण्ड पिछड़ जाएगी। ग़ौर करें कि यह समय उससे काफ़ी ज़्यादा है जितना समय प्रकाश को 10 मीटर की दूरी तय करने में लगेगा। इस तरह जीपीएस के संकेत ग्रहण करने वाले उपकरणों को अपनी स्थिति का सही निर्धारण करने के लिए इस सूक्ष्म प्रभाव को अपनी गणना में शामिल करना पड़ता है।

इस एक तरीके के द्वारा व्यापक सापेक्षता के सिद्धान्त ने हमारे दैनिक जीवन में प्रवेश कर लिया है।

में बदल गई थी, और एडिंग्टन ने पाया कि यह बदलाव आइंस्टीन की भविष्यवाणी के अनुरूप था (**बॉक्स-1** देखें)। आइंस्टीन का सिद्धान्त यह निष्कर्ष भी व्यक्त करता है कि गुरुत्वाकर्षण समय को वक्र बना देता है, अर्थात किसी विशालकाय पिण्ड के निकट समय अपेक्षाकृत धीमी गति से चलता है। इस प्रभाव का प्रेक्षण न केवल अनेक खगोलीय घटनाओं और प्रयोगशाला के परीक्षणों में किया जाता है, बल्कि वैश्विक स्थिति निर्धारण प्रणाली (ग्लोबल पोजीशनिंग सिस्टम) या जीपीएस को भी ठीक से काम करने के लिए इस प्रभाव को समाहित करने की ज़रूरत होती है (**बॉक्स-2** देखें)।

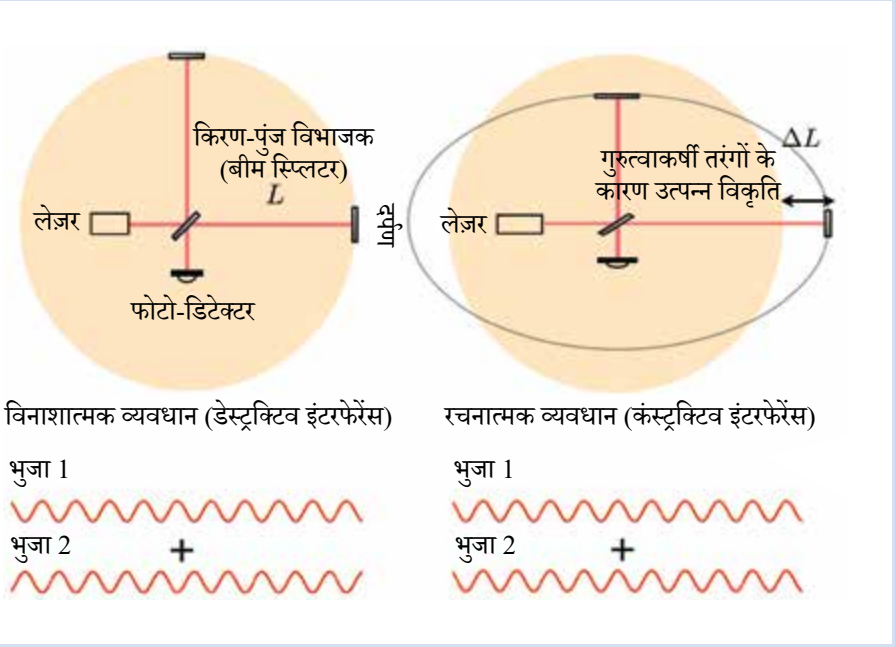
किसी गुरुत्वाकर्षी पिण्ड के बाहर के आकाश-समय में होने वाली वक्रता की मात्रा उस पिण्ड के द्रव्यमान (या ऊर्जा) तथा उससे दूरी पर निर्भर करती है। उदाहरण के लिए, पृथ्वी के द्रव्यमान के कारण होने वाली आकाश-समय की वक्रता अत्यन्त कम होती है, लेकिन फिर भी बारीक़ी से काम करने वाले उपकरणों, जैसे कि जीपीएस, को इन प्रभावों को अपनी गणना में शामिल करना पड़ता है। इसके विपरीत, अत्यन्त विराट और सघन खगोल पिण्डों, जैसे कि ब्लैक होल और न्यूट्रॉन तारों के आस-पास बहुत बड़ी मात्रा में होने वाली वक्रता को देखा जा सकता है। विशालकाय तारों के जीवनकाल का अन्त होने पर (जब उनका नाभिकीय ईंधन चुक जाता है) गुरुत्वाकर्षण के कारण उनके सिमट जाने से ब्लैक होल के निर्मित होने की अपेक्षा की जाती है। उदाहरण के लिए, अपने सूर्य के बराबर द्रव्यमान वाले एक ब्लैक होल की त्रिज्या सिर्फ़ कुछ किलोमीटर की होती है (जबकि याद करें कि सूर्य की त्रिज्या लगभग 700,000 किलोमीटर है)।

जब एक अत्यधिक द्रव्यमान वाले सघन पिण्ड के वेग में त्वरण होता है, तब वह न केवल आकाश-समय की वक्रता को उसकी गति का अनुसरण करने पर मजबूर करता है, बल्कि इस वक्रता में ऐसे कम्पन पैदा करता है जो अपने स्रोत से अलग होकर बाहर की ओर सम्प्रेषित होते हैं। इस तरह से गुरुत्वाकर्षी तरंगों के पैदा होने की प्रक्रिया आवेशित कणों के त्वरण के फलस्वरूप विद्युत चुम्बकीय तरंगों के उत्पन्न होने के समान ही होती है। फ़र्क़ बस यह है कि गुरुत्वाकर्षी तरंगों के मामले में यह कम्पन स्वयं आकाश-समय की ज्यामितीय संरचना में ही होते हैं।

व्यापक सापेक्षता के क्षेत्र समीकरणों की जाँच-पड़ताल करने के दौरान 1916 में आइंस्टीन ने पाया कि उनके ऐसे गणितीय हलों की सम्भावना थी जो प्रकाश की चाल से संचरण करने वाली गुरुत्वाकर्षी तरंगों को निरूपित करते थे। परन्तु, गणितीय रूप से सम्भव इन घटनाओं का वास्तविक भौतिक संसार में कोई अस्तित्व है या नहीं, यह बात

बॉक्स-3 : लेज़र इंटरफेरोमीटर का उपयोग करते हुए गुरुत्वाकर्षी तरंगों को पकड़ना

एक माइकेल्सन इंटरफेरोमीटर में, एक लेज़र किरण-पुंज को विभाजित करके उसे दो आयतीय (ओरथोगोनल) भुजाओं में भेज दिया जाता है, जिन्हें फिर दो दर्पणों के द्वारा परावर्तित करके फिर से संयोजित होने दिया जाता है।



आरम्भ में, दोनों भुजाओं की लम्बाई को इस तरह व्यवस्थित किया जाता है कि दोनों किरण पुंज एक-दूसरे के लिए विनाशात्मक व्यवधान का काम करते हैं (चित्र में बाईं ओर)। पर जब एक गुरुत्वाकर्षी तरंग इंटरफेरोमीटर के तल के लम्बवत गुज़रेगी, तो वह एक भुजा की लम्बाई को बढ़ा देगी, और दूसरी भुजा की लम्बाई को कम कर देगी। चूँकि प्रकाश की चाल एक सार्वभौमिक स्थिरांक है, इसलिए यह परिवर्तन दोनों भुजाओं में प्रकाश के जाने-लौटने की यात्रा में लगने वाले समय में एक सापेक्षिक अन्तर पैदा कर देगा। फिर दोनों प्रकाश पुंजों के बीच होने वाला इंटरफेरेंस परिणामी प्रकाश की शक्ति में परिवर्तन कर देगा जिसे एक फोटो-डिटेक्टर का इस्तेमाल करके पढ़ा जा सकता है।

1950 के दशक तक विवादास्पद बनी रही। ऐसे भी दौर आए जब स्वयं आइंस्टीन को उनके अस्तित्व पर सन्देह होने लगा। पर फिर, 1950 और 1960 के दशकों में हुए बहुत-से सैद्धान्तिक शोध कार्यों ने यह स्थापित किया कि गुरुत्वाकर्षी तरंगों का वास्तव में भौतिक अस्तित्व होता है। उदाहरण के लिए, बहुत कुछ विद्युत चुम्बकीय तरंगों की तरह वे भी उनके स्रोत से ऊर्जा को दूर ले जा सकती हैं। फिर, 1975 में, रसेल हल्स तथा जोसेफ टेलर ने रेडियो प्रेक्षणों के द्वारा एक बाइनरी पल्सार सिस्टम की खोज की। यह तंत्र ऐसे दो न्यूट्रॉन तारों से बना है जो लगभग 8 घण्टों के अन्तराल से एक-दूसरे की परिक्रमा कर रहे हैं। यदि यह तंत्र गुरुत्वाकर्षी तरंगों का विकिरण कर रहा है, तो ऊर्जा के क्षय के कारण उनकी परिक्रमा की कक्षीय दूरी घटना चाहिए। कुछ वर्षों तक किए गए रेडियो प्रेक्षणों का उपयोग करते हुए जो मापन किए गए उन्होंने परिक्रमा काल में एक सुसंगत कमी दर्शाई जो व्यापक सापेक्षता की अपेक्षित भविष्यवाणी से एकदम सटीक रूप से मेल खाती थी। यह इस सिद्धान्त की एक उल्लेखनीय विजय थी, जिसने किसी भी सन्देह के परे इस तथ्य को स्थापित कर दिया कि गुरुत्वाकर्षी तरंगें वास्तविक हैं। इस बाइनरी पल्सार की खोज के लिए हल्स तथा टेलर को 1993 का भौतिकशास्त्र का नोबेल पुरस्कार प्रदान किया गया।

तरंग को पकड़ना

हालाँकि बाइनरी पल्सार तंत्र हमें गुरुत्वाकर्षी तरंगों के प्रभाव का प्रेक्षण करने की सुविधा प्रदान करते हैं, परन्तु हमने उनसे उत्पन्न होने वाली गुरुत्वाकर्षी तरंगों का वास्तव में प्रेक्षण नहीं किया है। बाइनरी पल्सारों के प्रेक्षणों से मिली सफलता ने वैज्ञानिकों को प्रत्यक्ष रूप से गुरुत्वाकर्षी तरंगों का प्रेक्षण कर पाने की सम्भावना पर गम्भीर रूप से विचार करने के लिए प्रेरित किया।

सैद्धान्तिक गणनाओं ने दर्शाया कि

व्यापक सापेक्षता के क्षेत्र समीकरणों की जाँच-पड़ताल करने के दौरान 1916 में आइंस्टीन ने पाया कि उनके ऐसे गणितीय हलों की सम्भावना थी जो प्रकाश की चाल से संचरण करने वाली गुरुत्वाकर्षी तरंगों को निरूपित करते थे। परन्तु, गणितीय रूप से सम्भव इन घटनाओं का वास्तविक भौतिक संसार में कोई अस्तित्व है या नहीं, यह बात 1950 के दशक तक विवादास्पद बनी रही। ऐसे भी दौर आए जब स्वयं आइंस्टीन को उनके अस्तित्व पर सन्देह होने लगा। पर फिर, 1950 और 1960 के दशकों में हुए बहुत-से सैद्धान्तिक शोध कार्य ने यह स्थापित किया कि गुरुत्वाकर्षी तरंगों का वास्तव में भौतिक अस्तित्व होता है।

अत्यधिक तीव्र वेग से विचरण करने वाले विराट द्रव्यमान वाले सघन पिण्डों के साथ घटने वाली खगोलीय भौतिक घटनाएँ गुरुत्वाकर्षी तरंगों को पैदा करती हैं जिन्हें सम्भावित रूप से पृथ्वी पर से किए गए प्रेक्षणों में पकड़ा जा सकता है। विराट द्रव्यमान वाले तारों का उनके जीवनकाल का अन्त होने पर ध्वस्त होना, ब्लैक होल्स के बाइनरी सिस्टम या न्यूट्रॉन तारे, तेज़ी-से घूमते हुए विकृत न्यूट्रॉन तारे, और स्वयं बिग बैंग (महाविस्फोट) इत्यादि ऐसी घटनाओं के उदाहरणों में शामिल हैं। इसके अलावा, इन तरंगों जैसी घटनाओं का अस्तित्व होने के पक्ष में और भी मज़बूत प्रेक्षणीय साक्ष्य थे। गुरुत्वाकर्षी तरंगों को पकड़ने के प्रायोगिक प्रयास 1960 के दशक में ही आरम्भ हो गए थे, जिनमें जोसेफ वेबर ने रेजोनेंट बार डिटेक्टरों का उपयोग किया था। पर, बड़े पैमाने वाले लेज़र इंटरफेरोमीटर का उपयोग गुरुत्वाकर्षी तरंगों को पकड़ने वाले एंटीना के रूप में करने के विचार ने इस प्रयास को क्रान्तिकारी मोड़ दिया।

अपने स्रोत से बहुत दूर जाने वाली गुरुत्वाकर्षी तरंगों को आकाश की वक्रता में आई समय पर निर्भर विकृतियों की तरह समझा जा सकता है। ये उस तरह से आकाश को विकृत करती हैं जो कि ज्वार-भाटे के बलों की विशेषता होती है। जिस प्रकार चन्द्रमा ज्वार-भाटे की लहरों को पैदा करके पृथ्वी की गोलाकार आकृति को बिगाड़ता है, उसी प्रकार गुरुत्वाकर्षी तरंगें "परीक्षण कणों" के एक गोलाकार वलय को अण्डाकार वृत्तों (इलिप्स) के रूप में विकृत कर देंगी (सिवाय इसके कि गुरुत्वाकर्षी तरंगों के द्वारा पैदा की गई ज्वार-भाटे जैसी विकृति विशुद्ध रूप से अनुप्रस्थ, अर्थात तरंगों के संचरण की दिशा के लम्बवत होती है)। यही वह प्रमुख बात है जो गुरुत्वाकर्षी तरंगों को पकड़ने के लिए लेज़र इंटरफेरोमीटर को एक आदर्श उपकरण बनाती है (**बॉक्स-3** देखें)।

इंटरफेरोमीटरी एक सुस्थापित तकनीक है जिसका आविष्कार उन्नीसवीं सदी के अन्तिम दौर में अल्बर्ट माइकेल्सन ने किया था। गुरुत्वाकर्षी तरंगों को पकड़ने के उपकरण की तरह इसका इस्तेमाल करने में समस्या यह आती है कि गुरुत्वाकर्षी तरंगों के गुज़रने के फलस्वरूप भुजाओं की लम्बाई में पैदा होने वाली विकृतियाँ सूक्ष्म स्तर की होती हैं। उदाहरण के लिए, हमारे पड़ोस के एक आकाशगंगा समूह (क्लस्टर) वर्गो (कन्या) में दो न्यूट्रॉन तारों के विलय के कारण इंटरफेरोमीटर की भुजाओं की लम्बाई में लगभग 10^{-21} मीटर का बहुत ही सूक्ष्म परिवर्तन होगा! इसका मतलब है कि इस घटना को पकड़ने के लिए हमें लम्बाई में 10^{-21} मीटर जितने सूक्ष्म परिवर्तनों को नापने की आवश्यकता होगी। इसलिए, यह कोई आश्चर्य की बात नहीं है कि गुरुत्वाकर्षी तरंगों को पकड़ना एक कठिन कार्य है। इस समस्या के समाधान का एक तरीक़ा ऐसे इंटरफेरोमीटर का इस्तेमाल करना है जिसकी भुजाओं की लम्बाई, सामान्य मेज़ पर स्थापित होने वाले 1 मीटर के उपकरण की अपेक्षा बहुत ज़्यादा हो, तब गुरुत्वाकर्षी

तरंगों के कारण भुजाओं की लम्बाई में पैदा होने वाला चरम परिवर्तन भी ज़्यादा होगा। इसीलिए, गुरुत्वाकर्षी तरंगों को पकड़ने वाले आधुनिक माइकेल्सन इंटरफेरोमीटर किलोमीटर के पैमाने वाले होते हैं। परन्तु, हमें फिर भी उनकी भुजाओं की लम्बाई में 10^{-18} मीटर जितने सूक्ष्म परिवर्तनों को नापना पड़ता है - जो कि आकार में एक परमाणु नाभिक से भी बहुत छोटा है। सामान्यतया इंटरफेरोमीटर को प्रकाश की 'स्याह' और 'चमकदार' किनारियों के बीच की दूरी को नापने के लिए निर्मित किया जाता है, जिसका मतलब है कि उनमें लम्बाई के पैमाने उपयोग की जाने वाली प्रकाश की तरंगों की लम्बाई (तरंगदैर्ध्य) के अनुरूप होते हैं। पर, पिछले तीन दशकों में हुई प्रगति के फलस्वरूप, गुरुत्वाकर्षी तरंगों को पकड़ने वाले आधुनिक उपकरण, इंटरफेरोमीटर से निकलने वाले प्रकाश की चमक में होने वाले सूक्ष्म परिवर्तनों को पकड़कर, इस तरंगदैर्ध्य के काफ़ी सूक्ष्म अंशों (लगभग 10^{-12} मीटर) को भी नाप लेते हैं।

हालाँकि एक इंटरफेरोमीटर उसके तल के लम्बवत आने वाली गुरुत्वाकर्षी तरंगों के प्रति सबसे अधिक संवेदनशील होता है, परन्तु वह लगभग सभी अन्य दिशाओं से आने वाले संकेतों के लिए भी संवेदनशील होता है। यह ऐसा ऐंटीना होता है जो कि वास्तव में पूरे आकाश से आने वाले संकेतों को पकड़ सकता है। यह एक दूरदर्शी यंत्र (टेलिस्कोप) से भिन्न होता है जिसकी दिशा किसी तारे या आकाशगंगा को देखने के लिए आकाश के एक छोटे-से भाग की ओर ही रखी जा सकती है। एक ओर, इसकी यह विशेषता हमें कुछ ही ऐंटीना का उपयोग करके पूरे आकाश का प्रेक्षण करने की सुविधा देती है। परन्तु दूसरी ओर, इसके कारण, एक ही ऐंटीना का उपयोग करने पर, संकेतों के स्रोत की स्थिति का पता लगाना कठिन हो जाता है। इसके बजाय, भौगोलिक रूप से अलग-अलग स्थानों पर लगे संकेतों को पकड़ने वाले उपकरणों से प्राप्त जानकारियों को संयोजित करके स्रोत की स्थिति का पता लगाया जाता है। चूँकि गुरुत्वाकर्षी तरंगें प्रकाश की चाल से संचरण करती हैं, इसलिए भूमण्डल के विभिन्न स्थानों पर लगे डिटेक्टरों तक संकेतों के पहुँचने में लगने वाले अलग-अलग समयों के बीच का अन्तर हमें आकाश में स्रोत की स्थिति को फिर से निर्मित करने की सुविधा देता है। यह वैसा ही है जैसे कि एक उल्लू अपने शिकार का पता उसकी ध्वनि के अपने कानों तक पहुँचने में लगने वाले समय के आधार पर लगाता है। इससे यह स्पष्ट हो जाता है कि विभिन्न डिटेक्टरों के बीच की दूरी जितनी अधिक होगी उतनी ही ज़्यादा शुद्धता से किसी गुरुत्वाकर्षी तरंग के स्रोत की स्थिति को निर्धारित किया जा सकता है। इस सन्दर्भ में, भारत में एक लीगो वेधशाला (ऑब्जर्वेटरी) को स्थापित करने की वर्तमान योजना, गुरुत्वाकर्षी तरंगों के डिटेक्टरों के मौजूदा अन्तर्राष्ट्रीय संजाल में एक महत्त्वपूर्ण योगदान देगी। चूँकि लीगो इण्डिया के लिए चुना गया स्थान, यूएसए और यूरोप में स्थित वर्तमान डिटेक्टरों से काफ़ी दूरी पर स्थित है, इसलिए वह गुरुत्वाकर्षी तरंगों के स्रोतों की आकाश में स्थिति को निर्धारित करने की सटीकता में बहुत सुधार कर देगी।

ब्रह्माण्ड को देखने की एक नई "इन्द्रिय"

गुरुत्वाकर्षी तरंगों को पकड़ने वाले विशाल इंटरफेरोमीट्रिक डिटेक्टर्स भूमण्डल के कई अलग-अलग स्थानों पर निर्मित किए गए हैं।

यूएसए में लगे ऐसे दो डिटेक्टरों में पिछले कुछ वर्षों में किए गए बड़े उन्नतिशील परिवर्तनों के फलस्वरूप सितम्बर 2015 से उन्होंने काफ़ी बेहतर संवेदनशीलता के साथ काम करना आरम्भ कर दिया है। एक-दूसरे से लगभग 3000 किलोमीटर की दूरी पर स्थित इन दोनों अत्याधुनिक लीगो डिटेक्टरों ने 14 सितम्बर 2015 को उन पर एक साथ पहुँचने वाला गुरुत्वाकर्षी तरंगों का संकेत पकड़ा। उनसे प्राप्त आँकड़ों के सावधानीपूर्वक किए गए विश्लेषण से ज्ञात हुआ कि वह संकेत ऐसे दो विराट ब्लैक होल्स के आपस में विलय से उत्पन्न हुआ था जो यहाँ से लगभग 1.3 अरब प्रकाश वर्ष दूर थे। गुरुत्वाकर्षी तरंगों को प्रत्यक्ष रूप से पकड़ने का पहला उदाहरण होने के अलावा, यह दो ब्लैक होल्स वाले बाइनरी तंत्र की भी पहली खोज है। ये ब्लैक होल खगोलवैज्ञानिकों के द्वारा अभी तक देखे गए तारीय-द्रव्यमान वाले ब्लैक होल्स की तुलना में उल्लेखनीय रूप से अधिक विशालकाय थे - वास्तव में, इनमें से प्रत्येक ब्लैक होल हमारे सूर्य की तुलना में लगभग 30 गुना अधिक द्रव्यमान वाला था! उनके विलय ने तीन सूर्यों के द्रव्यमान के समतुल्य ऊर्जा ($E = 3\ Mc^2$) पैदा की जो एक क्षणांश में गुरुत्वाकर्षी तरंगों के विकिरण के रूप में उत्सर्जित हो गई, जिसके उत्सर्जन के दौरान उसका चरम शक्ति स्तर 10^{49} वॉट का था! यह मानव जाति के द्वारा कभी भी देखी गई सबसे शक्तिशाली खगोल घटना थी। इसके बाद 26 दिसम्बर 2015 को फिर, ब्लैक होल्स के एक अन्य विलय से प्राप्त एक, दूसरा संकेत पकड़ा गया। इन देखे गए संकेतों की दर के आधार पर वैज्ञानिकों ने यह अनुमान लगाया है कि आने वाले वर्षों में ब्लैक होल्स के बाइनरी तंत्रों के द्वारा उत्सर्जित गुरुत्वाकर्षी तरंगों का प्रेक्षण अक्सर किया जा सकेगा।

खगोलविज्ञान का इतिहास, विस्मयकारी घटनाओं से भरी हुई कथा प्रस्तुत करता है। आकाशीय संसार को अपने दूरदर्शी से देखते हुए, गैलीलियो ने देखा कि प्राचीन लोगों की चन्द्रमा के एक पारदर्शी और एकदम गोलाकार पिण्ड होने की धारणा से बहुत भिन्न (वास्तव में वह बड़े पर्वतों और गहरे विशाल गड्ढों से भरा हुआ

था) शुक्र (वीनस) की भी चन्द्रमा की तरह विभिन्न कलाएँ (फेज़) होती हैं, और बृहस्पति (जुपीटर) के चारों ओर उसके उपग्रह परिक्रमा कर रहे थे। तब से, रेडियो, माइक्रोवेव, इंफ्रारैड, अल्ट्रावायलेट, एक्स-रे, तथा गामा-रे पर आधारित दूरदर्शियों ने खगोलविज्ञान का विस्तार विद्युत चुम्बकीय वर्णक्रम की अदृश्य रहने वाली तरंगदैर्ध्यों तक कर दिया है, और इस प्रकार ब्रह्माण्ड को देखने के लिए विभिन्न खिड़कियाँ खोल दी हैं। ब्रह्माण्ड किरणें (कॉस्मिक रे) तथा न्यूट्रिनों प्रेक्षणों ने खगोलविज्ञान को ऐसे सन्देश वाहकों तक फैला दिया है जो विद्युत चुम्बकीय तरंगों से पूर्णतया भिन्न हैं। और, लीगो ने प्रेक्षणों पर आधारित खगोलविज्ञान की सबसे नई शाखा को खोल दिया है - गुरुत्वाकर्षी तरंगों के इसके प्रेक्षण से प्राप्त संकेतों की आवृत्तियाँ सुने जाने वाले दायरे (ऑडियो बैण्ड) में आती हैं। इस तरह, गुरुत्वाकर्षी तरंगों का खगोलविज्ञान एक प्रकार से ब्रह्माण्ड को देखने की अपेक्षा ब्रह्माण्ड को सुनने जैसा ज़्यादा है। हम कह सकते हैं कि गुरुत्वाकर्षी तरंगों के प्रेक्षणों ने खगोलविज्ञान को एक और ऐसी "इन्द्रिय" प्रदान की है जिसके द्वारा ब्रह्माण्ड को देखा जा सकता है।

नोट: लेख के शीर्षक की पृष्ठभूमि में इस्तेमाल किए गए चित्र के लिए आभार : Caltech/MIT/LIGO Lab. URL: https://www.ligo.caltech.edu/image/ligo20150731c. License: Available for public use.

Further reading

1. Bernard F Schutz, Gravity from the Ground Up: An Introductory Guide to Gravity and General Relativity, Cambridge University Press (2003). URL: http://www.gravityfromthegroundup.org/
2. Kip S Thorne, Black Holes & Time Warps - Einstein's Outrageous Legacy, W. W. Norton & Company (1995).
3. Web resources on gravitational waves https://www.ligo.caltech.edu/page/learn-more.
4. Resources for students, teachers and the public: http://ligo.org/public.php.
5. Web portal on General Relativity and its applications: http://www.einstein-online.info/

परमेश्वरन अजीत टाटा मूलभूत अनुसंधान संस्थान, बेंगलूरु के अन्तर्राष्ट्रीय सैद्धान्तिक विज्ञान केन्द्र में भौतिकशास्त्री के रूप में कार्यरत हैं। वे लीगो साइंटिफिक गठबन्धन के सदस्य भी हैं। उनसे ajjith@icts.res.in पर सम्पर्क किया जा सकता है। **अनुवाद :** भरत त्रिपाठी