

रेडियो ब्रह्मांड में एक फीनिक्स ब्रह्मांड
एक विशाल रेडियो गैलेक्सी ... बार-बार, बार-बार और बार-बार पुनर्जन्म

J023721.13-010528.5: जेट गतिविधि के चार चरणों को दर्शाने वाली एक विशाल एस-आकार (S-shaped) की रेडियो गैलेक्सी

- पवन विजय खाडेकर, भारतीय विज्ञान शिक्षा एवं अनुसंधान संस्थान (IISER) पुणे
- धर्म वीर लाल, नेशनल सेंटर फॉर रेडियो एस्ट्रोफिजिक्स, टाटा फंडामेंटल रिसर्च इंस्टीट्यूट (NCRA-TIFR), पुणे (राष्ट्रीय रेडियो खगोलभौतिकी केंद्र, टाटा मूलभूत अनुसंधान केंद्र, पुणे)
- रमना अत्रेय, भारतीय विज्ञान शिक्षा एवं अनुसंधान संस्थान (IISER) पुणे

द एस्ट्रोफिजिकल जर्नल में प्रकाशित (अमेरिकन एस्ट्रोनॉमिकल सोसाइटी के लिए इंस्टीट्यूट ऑफ फिजिक्स (IOP) पब्लिशिंग द्वारा प्रकाशित) DOI: 10.3847/1538-4357/aea20c

- **IISER** पुणे: भारत सरकार के शिक्षा मंत्रालय के तहत उत्कृष्टता संस्थान (Institution of Excellence)
- **NCRA:** टाटा मूलभूत अनुसंधान केंद्र, परमाणु ऊर्जा विभाग, भारत सरकार का एक केंद्र।

IISER पुणे और NCRA-TIFR के खगोलविदों ने पहली ऐसी रेडियो दीर्घिका (गैलेक्सी - हमारी अपनी गैलेक्सी को आकाशगंगा कहा जाता है और अन्य गैलेक्सीओं को दीर्घिका कहा जाता है) की खोज की है जो जेट गतिविधि के 4 अलग-अलग चरणों के प्रमाण दिखाती है। इसके विपरीत, आज तक ज्ञात हजारों रेडियो गैलेक्सी में से अधिकांश केवल एक बार ही सक्रिय प्रतीत होती हैं। पीएचडी के छात्र श्री पवन खाडेकर, प्रो. धर्म वीर लाल और प्रो. रमना अत्रेय की टीम ने 'द एस्ट्रोफिजिकल जर्नल' में प्रकाशित हुए एक शोध पत्र में इस खोज की जानकारी दी है।

अत्रेय, जो खाडेकर के पीएचडी शोध के मार्गदर्शक हैं, ने बताया कि वह (खाडेकर) असामान्य संरचना वाली रेडियो दीर्घिका का अध्ययन कर रहे थे, लेकिन यह विशेष खोज पूरी तरह से अप्रत्याशित थी। *"शुरुआत में, धर्म के जोर देने के बावजूद, मुझे विश्वास नहीं हुआ था कि यह दीर्घिका अपने चौथे जीवन में है! इसके पुख्ता सबूत जुटाने में थोड़ा समय लगा। स्पष्ट रूप से, धर्म के पास अच्छे वैज्ञानिक संकेत हैं।"*

पवन ने भारत में स्थित जायंट मीटरवेव रेडियो टेलीस्कोप (GMRT) के अपने उच्च-गुणवत्ता वाले डेटा और अमेरिका में वेरी लार्ज एरे (VLA) तथा दक्षिण अफ्रीका में मीरकट (MeerKAT) के अभिलेखीय (archival) डेटा का उपयोग किया। पवन ने कहा, *"कई रेडियो टेलीस्कोप दुनिया भर के शोधकर्ताओं को अपना डेटा स्वतंत्र रूप से प्रदान करते हैं। वेधशालाओं का यह सहयोगात्मक दृष्टिकोण अधिक व्यापक जांच और डेटा के कुशल उपयोग को संभव बनाता है - अलग-अलग वैज्ञानिक अलग-अलग विचारों की खोज के लिए एक ही डेटा का उपयोग कर सकते हैं।"*

टीम द्वारा तैयार की गई रेडियो छवियों में गतिविधि के विभिन्न चरण एक दूसरे के ऊपर आरोपित (superposed) दिखाई दिए, ठीक वैसे ही जैसे कई सभ्यताओं के अवशेष एक ही जगह पर मौजूद हों। यह दिखाने के लिए कई आवृत्तियों (frequencies) के डेटा को संयोजित किया गया कि वर्तमान यानी चौथा जीवन कुछ मिलियन वर्ष पहले शुरू हुआ था, जबकि पहला जीवन लगभग 2.1 करोड़ वर्ष पहले समाप्त हुआ था। धर्म वीर लाल, जो खाडेकर के सह-मार्गदर्शक भी हैं, ने समझाया कि रेडियो उत्सर्जन की घटना को जन्म देने वाली प्रक्रियाओं के विकास को समझने के लिए बहु-जीवन (multiple lives) वाली रेडियो गैलेक्सी की आवश्यकता होती है - जितनी अधिक हों, उतना बेहतर। इस खोज से पहले, तीन जीवन वाली

केवल छह रेडियो गैलेक्सी ज्ञात थीं। वर्तमान खोज, चार जीवन वाली पहली गैलेक्सी, इस सूची में एक महत्वपूर्ण जोड़ है। बहुत ही दिलचस्प बात यह है कि वर्तमान शोध ऐसी वस्तुओं की अधिक कुशल खोज के लिए एक रणनीति सुझाता है, संभवतः इनमें 4 से भी ज्यादा जीवनों वाली दीर्घिकाएँ भी हो सकती हैं।

GMRT एक विश्व स्तरीय, कम आवृत्ति (low frequency) वाला रेडियो टेलीस्कोप है जिसे टाटा फंडामेंटल रिसर्च इंस्टीट्यूट (TIFR) की एक इकाई, नेशनल सेंटर फॉर रेडियो एस्ट्रोफिजिक्स (NCRA) द्वारा बनाया और संचालित किया जाता है। NCRA-TIFR के प्रो. ओबेरोई ने टिप्पणी की, "रेडियो गैलेक्सी से जुड़ी घटनाएं अपने आप में दिलचस्प हैं; वे ब्रह्मांड की उत्पत्ति के कुछ मौलिक प्रश्नों की जांच करने के लिए जांच-पड़ताल के साधन भी हैं। GMRT की कल्पना भारतीय खगोलविदों को उच्चतम स्तर पर प्रतिस्पर्धा करने में मदद करने के लिए और ब्रह्मांड को समझने की वैश्विक खोज में भारत के योगदान के रूप में की गई थी।"

इस शोध को भारत सरकार द्वारा IISER पुणे और NCRA-TIFR (DAE) को दिए गए अनुदान के माध्यम से समर्थन मिला था।

GMRT की कुछ छवियां यहां उपलब्ध हैं: <https://www.ncra.tifr.res.in/ncra/picture-gallery>

<https://wm1.ncra.tifr.res.in/index.php/s/tBWLCdCLX6efBxB>

शोधकर्ताओं के स्पष्टीकरण नोट्स

रेडियो दीर्घिका ब्रह्मांड में किसी एक घटना द्वारा बनाई गई सबसे बड़ी संरचनाएं हैं। वे एक दीर्घिका के दोनों ओर स्थित उन्नत उत्सर्जन (जिसे हॉटस्पॉट कहा जाता है) के दो बड़े गुब्बारों जैसी दिखती हैं। कुछ में, इन हॉटस्पॉट को एक पतले धागे द्वारा केंद्रीय दीर्घिका से जुड़ा हुआ देखा जा सकता है - अत्यधिक ऊर्जावान आयनों के बहुत पतले जेट की एक जोड़ी। सबसे बड़ी रेडियो दीर्घिका 80 लाख पारसेक में फैली हुई है, एक ऐसी लंबाई जिसे पार करने में प्रकाश को 260 लाख वर्ष लगेंगे - उस दीर्घिका से कई सौ गुना बड़ी जिसने इसे जन्म दिया था।

विरोधाभासी रूप से, रेडियो दीर्घिका की घटना किसी दीर्घिका के केंद्र में एक नन्हीं सी जगह (क्षेत्र) से उत्पन्न होती है। आकाशगंगा जैसी एक बड़ी दीर्घिका में सौ अरब तारे होते हैं और यह 100,000 प्रकाश वर्ष में फैली है। सक्रिय दीर्घिका (Active Galaxies) कही जाने वाली दीर्घिका के एक छोटे से हिस्से में - शायद सौर मंडल से भी छोटा - उसके केंद्र का क्षेत्र उतना ही विकिरण (radiation) उत्सर्जित करता है जितना कि दीर्घिका के बाकी हिस्सों के सभी तारे मिलकर करते हैं।

माना जाता है कि इस विकिरण का स्रोत एक विशाल केंद्रीय ब्लैक होल है जिसका वजन एक अरब सूर्यों तक हो सकता है। दीर्घिका के बाकी हिस्सों से गैस, धूल और यहां तक कि तारे भी इसके अत्यधिक गुरुत्वाकर्षण क्षेत्र द्वारा इस ब्लैक होल की ओर खींचे जाते हैं। जैसे-जैसे वे अंदर की ओर तेजी से चक्कर लगाते हैं, वे भारी ऊर्जा प्राप्त करते हैं और लाखों डिग्री सेल्सियस के तापमान तक पहुंच जाते हैं।

कुछ सक्रिय दीर्घिका में यह ऊर्जा अत्यधिक संकेंद्रित (collimated), विपरीत दिशा में निर्देशित, आयनों के जेट के जोड़े के रूप में प्रकाश की गति के 99.5% तक की गति से बाहर की ओर निर्देशित होती है। ये जेट दीर्घिका के आसपास की सामग्री के साथ इस तरह टकराते हैं जैसे रेत के टीले पर पानी का जेट टकरा रहा हो: वे दीर्घिका के आसपास की सामग्री में एक सुरंग बनाते हैं। जेट के सिर और आसपास के माध्यम के बीच की टक्कर के परिणामस्वरूप तीव्र उत्सर्जन के हॉटस्पॉट की एक जोड़ी बनती है, जो अत्यधिक ऊर्जावान इलेक्ट्रॉनों के अशांत प्रवाह और मुड़े हुए चुंबकीय क्षेत्रों और रेडियो तरंगों के एक प्रज्वलन का एक आकर्षक नजारा पेश करती है।

रेडियो खगोलविदों ने आज तक हजारों रेडियो दीर्घिका का अध्ययन किया है। उनमें से अधिकांश में ऐसा प्रतीत होता है कि दीर्घिका के जीवन के दौरान किसी समय जेट चालू हो जाते हैं जिसके परिणामस्वरूप युग्मित हॉटस्पॉट बनते हैं (इसलिए इन्हें डबल रेडियो दीर्घिका कहा जाता है), लाखों वर्षों तक चालू रहते हैं और फिर बंद हो जाते हैं। जेट की ताकत, उनकी बाहरी गति में बाधा डालने वाली आसपास की सामग्री की मात्रा और वे कितने समय तक चालू रहते हैं, इसके आधार पर रेडियो दीर्घिका विभिन्न आकारों में आती हैं - कुछ पारसेक (सूरज और सबसे पास के तारे के बीच की दूरी) से लेकर पहले उल्लेखित विशालकाय दीर्घिका तक।

हालांकि, 2000 में, यूरोपीय खगोलविदों ने एक ऐसी रेडियो दीर्घिका की रिपोर्ट करके एक आश्चर्यचकित कर देने वाली खोज की, जिसमें इन रेडियो जेट के दो चरण थे - जेट की एक पुरानी जोड़ी जो खुद जल चुकी थी लेकिन अपने हॉटस्पॉट के बिखरते अवशेषों को पीछे छोड़ गई थी, और अभी भी सक्रिय जेट की एक छोटी जोड़ी जिसने हॉटस्पॉट की एक नई जोड़ी बनाई थी जो पहली जोड़ी द्वारा पहले ही खोदी गई गुहा (cavity) के माध्यम से अपना रास्ता बना रही थी। स्पष्ट रूप से, एक रेडियो गैलेक्सी, एक फीनिक्स की तरह, राख से उठ सकती है! खगोलविदों द्वारा आज तक ऐसी लगभग 200 डबल-डबल रेडियो दीर्घिका (संक्षेप में DDRG) खोजी जा चुकी हैं: पहला डबल दो चरणों के लिए है, और दूसरा डबल दो हॉटस्पॉट संरचनाओं को संदर्भित करता है।

पिछले दशक में अन्य शोधकर्ताओं, जिनमें से कुछ भारतीय हैं, ने जेट गतिविधि के तीन चरणों वाली 6 डबल रेडियो दीर्घिका की पहचान की है - इसलिए इन्हें ट्रिपल-डबल रेडियो स्रोत कहा जाता है।

IISER-पुणे और NCRA के खगोलविदों का यह काम रेडियो दीर्घिका J023721.13-010528.5 में जेट गतिविधि के 4 चरणों वाली पहली डबल रेडियो दीर्घिका - एक क्वाड्रपल-डबल रेडियो दीर्घिका (quadruple-double radio galaxy) की खोज की रिपोर्ट करता है। उन्होंने स्रोत में हॉटस्पॉट के 4 जोड़े की पहचान करने के लिए दुनिया भर के कई टेलीस्कोपों से कई रेडियो आवृत्तियों पर उच्च-गुणवत्ता वाले डेटा का उपयोग किया, जिसमें जायंट मीटरवेव रेडियो टेलीस्कोप (भारत), मीरकट (दक्षिण अफ्रीका), और वेरी लार्ज एरे (अमेरिका) शामिल हैं। सवाल यह था कि क्या हॉटस्पॉट के ये 4 जोड़े सभी जेट गतिविधि के एक ही चरण से थे या वे 4 अलग-अलग चरणों से थे। उन्होंने हॉटस्पॉट की उम्र की गणना करके अपनी इस आशंका की पुष्टि की कि ये वास्तव में जेट गतिविधि के विभिन्न युगों के हॉटस्पॉट थे - उम्र 60 से 210 लाख वर्ष के बीच थी। उन्होंने यह निर्धारित करने के लिए हॉटस्पॉट के सममित (symmetrical) स्थानों का भी उपयोग किया कि दूसरा मॉडल (कई चरण) पहले मॉडल (एकल चरण) की तुलना में 30 लाख से अधिक के कारक से अधिक संभावित था।

डबल-डबल रेडियो दीर्घिका की खोज एक प्रतिमान बदलाव (paradigm shift) थी, लेकिन एक मृत और दूसरे सक्रिय जेट के संयोजन से कई सवालों के जवाब देना मुश्किल हो जाता है। तीन और अब चार चरणों के साथ - यानी कई जेट जो अपने जीवन के अंत तक पहुंच गए हैं - वैज्ञानिक इस घटना की अधिक विस्तार से जांच कर सकते हैं: क्या प्रत्येक क्रमिक चरण के साथ जेट की शक्ति कम हो जाती है? क्या उम्र के साथ जेट का चालू रहने का समय (on-time) कम हो जाता है? सक्रिय जेट के बीच शांत अवधि क्या है? नवनिर्मित वस्तु J023721.13-010528.5 का डेटा यह सुझाव देता है कि या तो जेट की शक्ति या जीवनकाल, या दोनों, प्रत्येक चरण के साथ घटते हैं। क्या यह इंगित करता है कि ब्लैक-होल में गिरने वाली ऊर्जा समय के साथ कम हो रही है? या, क्या जेट बनाने में ब्लैक-होल की दक्षता कम हो रही है? ये ऐसे प्रश्न हैं जिनका उत्तर तभी दिया जा सकता है जब ऐसी और वस्तुएं खोजी जाएंगी।

रेडियो उत्सर्जन के अपने चतुर्गुण (quadruple) चरणों के अलावा भी, J023721.13-010528.5 एक बहुत ही असामान्य वस्तु है। 42 लाख प्रकाश वर्ष के आकार के साथ यह ज्ञात सबसे बड़े रेडियो स्रोतों में से एक है, जो विशाल रेडियो दीर्घिका की पहचान करने के लिए खगोलविदों द्वारा उपयोग की जाने वाली सीमा से लगभग दोगुना है। यह रेडियो दीर्घिका के उस छोटे से हिस्से से भी संबंधित है जो पूरी तरह से रेखीय (linear) होने के बजाय, एक मुड़े हुए एस-आकार (S-shape) का होता है। खगोलविदों का मानना है कि यह एस-आकार देखे गए विस्तारित रेडियो जेट को शक्ति देने वाले केंद्रीय ब्लैक-होल की धुरी के पूर्ववर्ती (precession) से उत्पन्न होता है।