



अंतर-विश्वविद्यालय केंद्र : खगोलविज्ञान और खगोलभौतिकी

IUCAA

Inter-University Centre for Astronomy and Astrophysics

An Autonomous Institution of the University Grants Commission

## एक वैश्विक खगोलीय सहयोग ने ब्रह्मांड की स्थानीय विस्तार दर का 1% परिशुद्धता मापन प्राप्त किया।

*समुदाय ने दूरी नेटवर्क का निर्माण किया जिसने हबल नियतांक को तेज किया और "हबल तनाव" के पीछे के सबूत को विश्वसनीय बनाने की संभावना का निर्माण किया।*

आयुका के संकाय प्रो. अनुपम भारद्वाज समेत खगोलविदों के अंतर्राष्ट्रीय सहयोग ने आज के समय तक ब्रह्मांड का विस्तार किस प्रकार तेज गति से हो रहा है यह बताने वाला अत्यधिक सटीक प्रत्यक्ष मापन तैयार किया है।  $H_0$  दूरी नेटवर्क (H0DN) सहयोग ने हबल नियतांक का मान बताया है- यह वो संख्या है जो ब्रह्मांड के वर्तमान विस्तार दर को वर्णित करती है- जो केवल 1% से थोड़ी अधिक सटीक है।

*खगोलविज्ञान और खगोलभौतिकी में प्रकाशित किए जाने वाले अध्ययन में हबल नियतांक का मान निम्नानुसार बताया गया है:*

**$H_0 = 73.50 \pm 0.81$  किलोमीटर प्रति सेकंड प्रति मेगापारसेक**

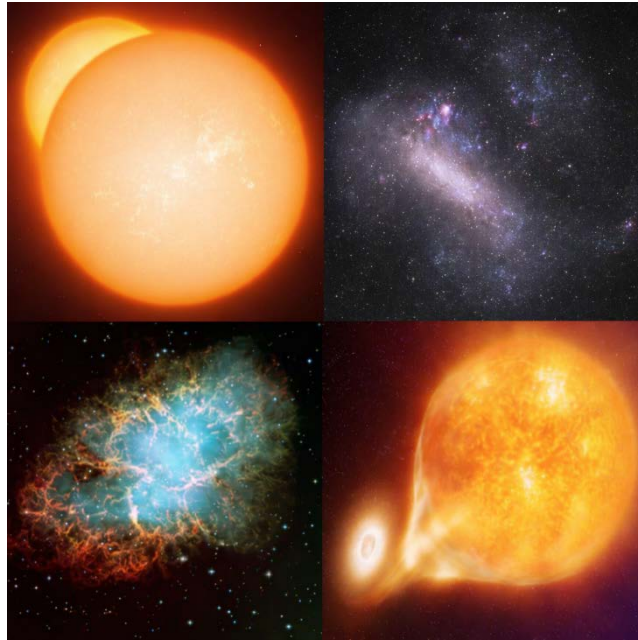
मेगापारसेक एक ईकाई है जिसका उपयोग खगोलविद अत्यधिक बड़ी ब्रह्मांडीय दूरी का मापन करने के लिए करते हैं और यह ईकाई 3.26 मिलियन प्रकाश-वर्ष (1 प्रकाश वर्ष ~ 9.5 ट्रिलियन किलोमीटर) के समान होती है। नया  $H_0$  मापन दर्शाता है कि दूरी के प्रत्येक मेगापारसेक के लिए आकाशगंगाएँ हमसे लगभग 73.5 किलोमीटर प्रति सेकंड की रफ्तार से दूरी जाती है। हमारे विस्तारित ब्रह्मांड में, अधिक दूरस्थ आकाशगंगाएँ निकटवर्ती आकाशगंगाओं की तुलना में तेज गति से दूर जाती है। इस प्रतिशत-स्तर की परिशुद्धता के  $H_0$  की प्राप्ति से खगोलविदों को ब्रह्मांड की आयु, आकार एवं भविष्य काल के विकास का अधिक अच्छी तरह से अनुमान लगाने में सहायता मिलती है और अदीप्त ऊर्जा के बारे में हमारी समझ को अधिक सुधारती है- ये अदीप्त ऊर्जा ब्रह्मांड विस्तार का वेगवर्धक पहेलीनुमा बल है।

समुदाय के व्यापक प्रयासों के कारण इस कार्य से परिणाम प्राप्त हुए। इसका आरंभ मार्च 2025 में बर्न, स्विट्ज़रलैंड में अंतर्राष्ट्रीय अंतरिक्ष विज्ञान संस्थान (आईएसएसआई) में कार्यशाला के दौरान किया गया था।

### प्रबल, पारदर्शी नेटवर्क न कि एकल मार्ग

लगभग एक दशक से खगोलविद ब्रह्मांड की दूरी के दर का मापन करने के लिए तथाकथित "दूरी के पैमानों" पर निर्भर रहे हैं। यह पारंपारिक पद्धति परस्पर संबद्ध चरणों का क्रम है जहाँ नजदीक के दूरी अन्वेषक अत्यधिक दूरस्थ ब्रह्मांडीय वस्तुओं से जुड़े हुए होते हैं। इस पद्धति ने अत्यधिक प्रगति की किंतु वो मापनों की श्रृंखला पर निर्भर रही। यदि किसी एक कड़ी में अदृश्य त्रुटियाँ हो तो उसका परिणाम हबल नियतांक के अंतिम मान पर हो सकता है।

इसलिए H0DN सहयोग ने **स्थानीय दूरी नेटवर्क** को अपनाया जो कई दूरी संकेतों को एक ही समय पर जोड़ती है। केवल एक ही कड़ी अथवा मापन पर निर्भर रहने के बजाय, यह नेटवर्क **स्वतंत्र एवं परस्परव्याप्त दूरी संकेतों** की व्यापक श्रृंखला को जोड़ता है- जिसमें सिफीड एवं मीरा परिवर्तनशील तारे, टीप ऑफ द रेड जांट ब्रान्च (TRGB) तारे, विस्फोटित तारे (सुपरनोवा), ज्यामितीय मेगा मेजर दूरियाँ, आकाशगंगाओं में सतह के चमक में उतार-चढ़ाव, ट्युली-फिशर एवं मूलभूत समतल संबंध शामिल हैं। यह दूरी नेटवर्क मेट्रो/सबवे मानचित्र की तरह है, जिसमें एक ही स्थान तक पहुँचने के लिए कई मार्ग होते हैं।



*चित्र: स्थानीय दूरी नेटवर्क में उपयोग किए जाने वाले कुछ दूरी संकेतकों (पृथक ग्रहणशील बाइनरी, लार्ज मैगेलैनिक क्लाउड में सेफिड/मिरास/टीआरजीबी, और टाइप II और Ia सुपरनोवा) के प्रतिनिधि ग्राफिक्स (अधिक विवरण नीचे दिए गए वेबलिंग पर दिए गए विज्ञान पत्र के चित्र 2 में उपलब्ध हैं)।*

इन सभी पद्धतियों को एक पद्धति में जोड़कर सुसंगत विश्लेषण द्वारा सहयोग ने यह सुनिश्चित किया कि कोई भी एक तकनीक अंतिम उत्तर को नियंत्रित नहीं करेगी। यहाँ तक कि मुख्य पद्धतियों को हटाने अथवा उन्हें बदलने पर भी  $H_0$  के अनुमानित मान में केवल छोटे परिवर्तन दिखाई दिए हैं।

*सहयोग द्वारा बताया जाता है कि  $H_0$  के लिए यह केवल नई संख्या नहीं है। यह समुदाय द्वारा निर्मित रूपरेखा है जो सदियों के स्वतंत्र दूरी मापनों को एकसाथ लाती है, वो भी पारदर्शक तरीके से और सहजता से।"*

विभिन्न संस्थानों एवं सैद्धांतिकी पृष्ठभूमि का प्रतिनिधित्व करने वाले दूरी मापनों एवं ब्रह्मांडविज्ञान के **लगभग 40 विशेषज्ञों** ने आईएसएसआई कार्यशाला में सहभागिता दर्शायी और इस अध्ययन में योगदान दिया। सूक्ष्म परीक्षण एवं पुनर्उपयोग को प्रोत्साहित करने के लिए सहयोगी दल ने सार्वजनिक रूप से **ओपन-सोर्स सॉफ्टवेयर एंड डेटा प्रोडक्ट्स** को जारी किया है ताकि कोई भी विश्लेषण की जाँच कर सके अथवा उसमें सुधार कर सके।



चित्र: स्थानीय दूरी नेटवर्क, हमारे ब्रह्मांड में हबल नियतांक निकालने के लिए बहु-मार्गीय दृष्टिकोण का संकल्पनात्मक संक्षिप्त विवरण (ए सबसे मानचित्र) (पीआर-ग्राफीक पर विस्तृत जानकारी निम्न वेबलिंक्स पर दी गई है।)

## हबल नियतांक के निहितार्थ

अभूतपूर्व परिशुद्धता एवं आंतरिक संगतता के साथ नए मापन ने आधुनिक ब्रह्मांडविज्ञान की बड़ी पहेलियों में से एक **हबल तनाव** नामक पहेली को अधिक गहन बनाया है। हबल नियतांक के मापनों पर आधारित प्रत्यक्ष दूरी के पैमाने निरंतर रूप से प्रारंभिक ब्रह्मांड के प्रेक्षणों से अनुमानित मान की तुलना में कई अधिक पाए जा रहे हैं। HODN सहयोग ने, मानक  $\Lambda$ CDM ब्रह्मांडीय प्रतिमान के आधार पर ब्रह्मांडीय माइक्रोवेव पृष्ठभूमि से हाल ही में निर्धारित मान की तुलना में **लगभग 10% (7 मानक विचलन) से अधिक** होने वाले मान के बारे में बताया।

इस नए परिणाम में कई स्वतंत्र पद्धतियाँ एकत्रित जुड़ी होने के कारण तनाव को साधारण मापन त्रुटि के रूप में स्पष्ट करना अत्यधिक कठिन है। लेखक के मतानुसार, यह कार्य

प्रभावात्मक रूप से हबल तनाव के स्पष्टिकरण को खारिज करता है, जो स्थानीय दूरी मापनों में एक अनदेखी त्रुटि पर निर्भर होती है।

## भविष्य की परिशुद्धता ब्रह्मांडविज्ञान की नींव

अब तक के हबल नियतांक के अत्यधिक सटीक प्रत्यक्ष मापन प्रदान के बाद स्थानीय दूरी नेटवर्क भविष्य के लिए लचीला एवं विस्तारणीय ढाँचा स्थापित करता है। जैसे-जैसे नई वेधशालाएँ एवं सुधारित मापन उपलब्ध होते जाएंगे, वे नेटवर्क में आसानी से एकीकृत हो सकेंगे। यह दृष्टिकोण ब्रह्मांड विस्तार की हमारी समझ को अधिक परिष्कृत करेगा और हबल तनाव के समाधान के बारे में संकेत प्रदान करेगा।

लेखक कहते हैं कि यदि तनाव सच में है- जैसे कि बढ़े सबूत दर्शाते हैं तो यह मानक ब्रह्मांडीय प्रतिमान से परे नए भौतिकी की ओर संकेत कर सकता है।

आयुका के वैज्ञानिक एवं HODN सहयोग के सदस्य प्रो. अनुपम भारद्वाज स्पष्ट करते हैं कि सिफीड एवं मीरा जैसे तारे दूरी नेटवर्क के विभिन्न चरणों को जोड़ने में अहम भूमिका अदा करते हैं। आयुका में हम सभी प्रकार के तारों के अचूक ज्योति पैमानों को निर्धारित करने का कार्य करते हैं जिनका उपयोग दूरी संकेतों के रूप में किया जाता है। ये तारकीय ज्योति पैमाने स्थानीय दूरी नेटवर्क के लिए महत्वपूर्ण होते हैं जो प्रतिशत स्तर की सटीकता के साथ हबल नियतांक मान का कारण बनती है। प्रो. भारद्वाज "EXPANDING Universe" विषय पर कार्यरत आईएसएसआई के अंतर्राष्ट्रीय दल का भी नेतृत्व करते हैं, इस दल का उद्देश्य हबल नियतांक के अचूक एवं सटीक स्वतंत्र मान को निर्धारित करना है।


## प्रकाशन विवरण:

संपूर्ण शोधपत्र " द लोकल डिस्टन्स नेटवर्क: ए कम्युनिटी सेन्सस रिपोर्ट ऑन द मेशर्मन्ट ऑफ द हबल कॉन्स्टेंट अट~ 1% प्रिसिशन, " खगोलविज्ञान और खगोलभौतिकी में प्रदर्शित होगा। विश्लेषण कोड GitHub और एस्ट्रोफिजिक्स सोर्स कोड लाइब्ररी के द्वारा सार्वजनिक रूप से उपलब्ध होगा।

लुंकस:

- Science paper: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202557993>
- ISSI Workshop: <https://workshops.issibern.ch/hubble-constant/>
- PR-graphic (in various formats): <https://s-ink.org/local-distance-network>
- Original ISSI press release: <https://www.issibern.ch/hubble-constant-press-release/>

अनुसंधानकर्ताओं से संपर्क:

	<p><b>प्रो. अनुपम भारद्वाज</b> आयुका, पुणे</p> <p>ई मेल: <a href="mailto:anupam.bhardwaj_at_iucaa.in">anupam.bhardwaj_at_iucaa.in</a></p>
--	---