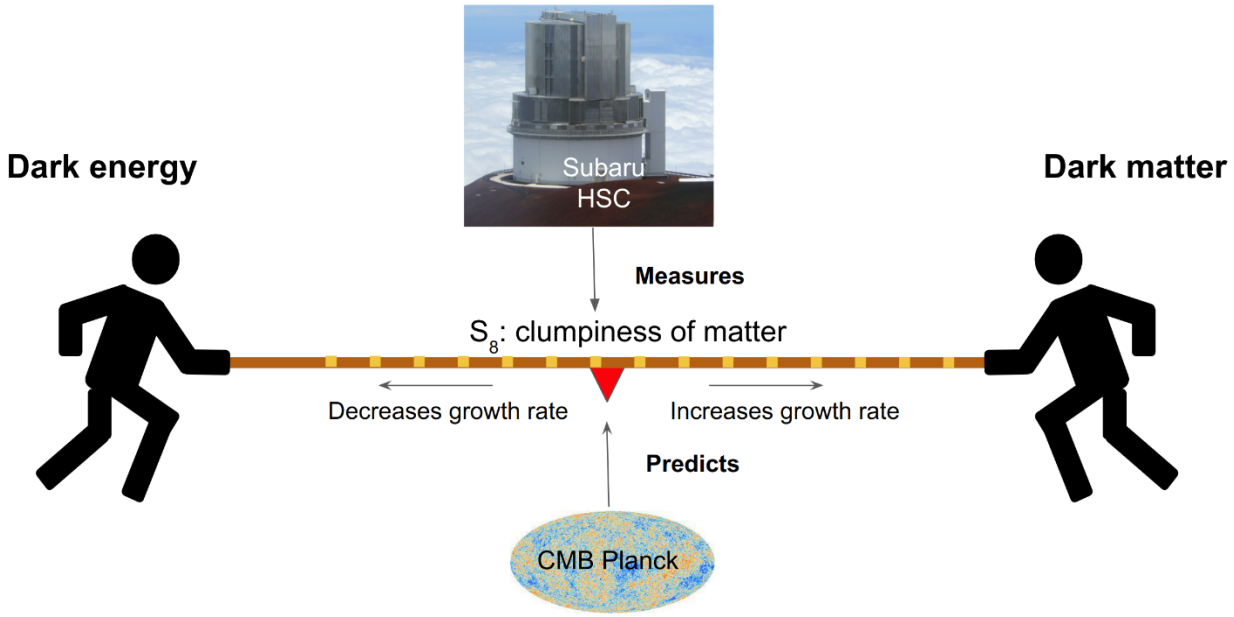
अंतर–विश्वविद्यालय केंद्र : खगोलविज्ञान और खगोलभौतिकी IUCAA
Inter-University Centre for Astronomy and Astrophysics
An Autonomous Institution of the University Grants Commission

गुरूत्वीय लेन्सिंग से अदृश्य अदीप्त पदार्थ (डार्क मैटर) और ब्रह्माण्ड का अवलोकन

अंतर-विश्वविद्यालय केंद्र: खगोलविज्ञान और खगोलभौतिकी (**आयुका**) में कार्यरत डॉ. सुहृद मोरे सहित विभिन्न अंतर्राष्ट्रीय संस्थानों की खगोलभौतिकीविदों एवं ब्रह्मांड विज्ञानियों की टीम ने हवाई में सुबारू दूरबीन से ली गई छवियों का उपयोग करते हुए ब्रह्मांड में अदीप्त पदार्थ (डार्क मैटर) के संरचना का अध्ययन किया है। वैज्ञानिकों ने ब्रह्मांड में अदीप्त पदार्थ और दीर्घिकाओं के आसपास इस पदार्थ के वितरण का अध्ययन करने के लिए गुरुत्वीय लेन्सिंग प्रभाव का उपयोग किया है। उन्होंने ब्रह्मांडीय पदार्थ के असमान वितरण के मूल्य का मापन किया, जिसे वैज्ञानिक S8 कहते हैं। इस अभ्यास से निर्धारित S8 का मूल्य 0.76 है जो की अन्य गुरुत्वीय लेन्सिंग सर्वेक्षणों द्वारा अपेक्षाकृत हाल के ब्रह्मांड को देखते हुए पाए गए मूल्य से सहमत हैं। किंतु ये कॉस्मिक माइक्रोवेव बैकग्राउंड (**सीएमबी**) (CMB), जो ब्रह्मांड की उत्पत्ति के लगभग 380,000 वर्ष के उपरांत के काल से हमें प्राप्त होती है, द्वारा अनुमानित 0.83 के मुल्य से सहमत नहीं है।



चित्र 1: वैज्ञानिकों ने सुबारू हाइपर सुप्रिम-कैम सर्वेक्षण का उपयोग करके ब्रह्मांड में स्थित पदार्थ के असमान वितरण का मापन किया है और इसकी तुलना मानक ब्रह्मांड संबंधी मॉडल में कॉस्मिक माइक्रोववे बैकग्राउंड के निरिक्षणों द्वारा अनुमानित मूल्य से की है। माप अपेक्षा से अधिक छोटे हैं, और इस प्रकार से ये अदीप्त पदार्थ एवं अदीप्त ऊर्जा के संदर्भ में हमें ज्ञान प्रदान कर सकते हैं।

ब्रह्मांड में पदार्थों के असमानता की वृद्धि अदीप्त पदार्थ एवं अदीप्त ऊर्जा के बीच के संघर्ष का परिणाम है। अदीप्त पदार्थ यह असमानता की वृद्धि की मदद करता है, किन्तु अदीप्त ऊर्जा ब्रह्मांड के त्वरीत प्रसरण का कारण है और दीर्घिकाओं को एक दूसरे से दूर कर देता है (चित्र क्र. 1 देखें)। ब्रह्मांड में अदीप्त पदार्थ के वितरण एवं दीर्घिकाओं के

Copyright © 2023 The IUCAA. All rights reserved.

आसपास उसके वितरण को चित्रित करते हुए टीम यह दिखाने में सक्षम रही कि यदि मानक ब्रह्मांड संबंधी मॉडल सही है तो ब्रह्मांड में पदार्थ की असमानता सीएमबी (CMB) की प्रेक्षणों की अपेक्षा से कम है।

चित्र 2: सुबारू एचएससी सर्वेक्षण द्वारा ली गई कई छवियों में से एक है। यह सर्वेक्षण विश्व के तीन सर्वेक्षणों में से सबसे गहन सर्वेक्षण है, जो ब्रह्माण्ड में पदार्थों की असमानता (क्लम्पीनेस) को चित्रित करने की कोशिश कर रहा है । यह सर्वेक्षण हमसे कई दूर की दीर्घिकाओं की छवि बनाकर उनके पास के अदीप्त पदार्थ की अत्यधिक सुस्पष्ट तस्वीर प्राप्त करने में मदद करता हैं।

वर्तमान में दुनिया भर के वैज्ञानिकों द्वारा तीन गुरुत्वीय लेन्सिंग के प्रयोग संचालित किए जा रहे हैं; जिनमें से हाइपर सुप्रीम-कैम (एचएससी) सर्वेक्षण, सबसे गहन सर्वेक्षण है जो इस टीम द्वारा किया गया है (चित्र क्र. 2 देखें)। ये सभी सर्वेक्षण स्वतंत्र रूप से एक दूसरे से सहमत हैं और सीएमबी की अपेक्षा से अधिक आज के ब्रह्मांड में अदीप्त पदार्थ के वितरण में कम असमानता (क्लम्पीनेस) पाते हैं। हालाँकि प्रत्येक सर्वेक्षण द्वारा स्वयं स्वरुप से पाई गयी इस भिन्नता का महत्त्व अभी तक स्वर्णमान 5σ सीमा तक नहीं बढ़ा है। किन्तु इसमें तीनों सर्वेक्षणों में लगातार अपेक्षा से कम असमानता (क्लम्पीनेस) पाई गई। इससे यह संभावना बढ़ जाती है कि इन मापों में अभी तक कुछ अज्ञात त्रुटि है। जब इसे निर्णायक रूप से खारिज कर दिया जाता है तब ऐसी भिन्नता यह संकेत दे सकती है कि मानक ब्रह्मांडीय मॉडल अभी अपूर्ण है।

आइंस्टीन के सामान्य सापेक्षता के अनुसार, प्रकाश जब किसी विशाल वस्तू के पास से गुज़रता है तब वह मुड़ जाता है, इस घटना को गुरुत्वाकर्षण लेन्सिंग के रूप में जाना जाता है। लेन्सिंग के कारण दीर्घिकाओं के आकार बहुत कम मात्रा में विरूपित होते हैं । वैज्ञानिकों को दीर्घिकाओं के आकारों पर अंकित इन छोटे-छोटे बदलावों को मापना पड़ा। आयुका में सहयोगी प्राध्यापक के रूप कार्यरत, और नागोया विश्वविद्यालय में कार्यरत सहयोगी प्राध्यापक डॉ. हिरोनाओ मियाताके के साथ एचएससी सर्वेक्षण के वीक लेन्सिंग वर्किंग ग्रुप की अध्यक्षता कर रहे, डॉ. सुहृद मोरे ने कहा कि "लाखों दीर्घिकाओं की छवियों से सावधानीपूर्वक गुरुत्वाकर्षण लेन्सिंग सिग्नल का पता लगाना काफी चुनौतीपूर्ण था। सिग्नल को मापने और उसे अर्थपूर्ण बनाने के लिए हमारी टीम को कई सालों तक कड़ी मेहनत करनी पड़ी।" उन्होंने आगे ये भी कहा कि "मानक ब्रह्मांडीय मॉडल की सादगी, उसका वर्णन करने के लिए आवश्यक मापदंडों की संख्या में निहित है।" समय के साथ ब्रह्मांड की संरचना किस प्रकार से विकसित होती है, यह जानने के लिए ब्रह्मांड में अदीप्त पदार्थ की घनता और पदार्थ की असमानता की मात्रा अत्यधिक महत्त्वपूर्ण होती हैं । उनके मतानुसार, "ब्रह्मांड में

Copyright © 2023 The IUCAA. All rights reserved.

अदीप्त पदार्थ को टोमोग्राफिक तरीके से त्रिमितीय रूप (3-डी) में चित्रित करके, हम ब्रह्मांडीय मॉडल का गहन परीक्षण करने में सक्षम हैं।

आज हमारे ब्रह्मांड का 95% हिस्सा अदीप्त ऊर्जा एवं अदीप्त पदार्थ से बना है, किंतु वास्तव में वे क्या हैं और वे ब्रह्मांड के इतिहास में किस प्रकार विकसित हुए हैं, इसके बारे में हम बहुत ही कम जानते हैं। ब्रह्मांड विज्ञानी मानक मॉडल का वर्णन करने वाले कुछ मापदंडों को सीमित करने के लिए सीएमबी (CMB) में दिखने वाली असमानता तथा , ब्रह्मांड के विस्तारण का इतिहास एवं अपेक्षाकृत हाल के अतीत में ब्रह्मांड की असमानता का मापन करने के लिए उत्सुक हैं।

डेटा का निष्पक्ष विश्लेषण

जब इस प्रकार के उच्च गुणवत्तापूर्ण डेटा का विश्लेषण किया जाता है ,तब यह बात अत्यधिक महत्त्वपूर्ण होती है कि वैज्ञानिक किसी एक या किसी अन्य तरीके के संदर्भ में पक्षपात न करें। इसलिए टीम ने डेटा को कई अलग-अलग मानदंडों का प्रयोग करते हुए परखा। डेटा के साथ-साथ परिणामों को गोपनीय रखने के लिए उन्होंने एक सावधानीपूर्वक प्रक्रिया तैयार की ताकि यह सुनिश्चित किया जा सके कि विश्लेषण में वे जो विकल्प चुनते हैं, वे इस प्रकार के किसी भी पक्षपात से प्रेरित नहीं है। टीम ने डेटा का विश्लेषण करने के लिए चार अलग-अलग स्वतंत्र किंतु पूरक तरीकों पर काम किया। लगभग एक वर्ष तक विश्लेषण पर काम करने के बाद, विश्लेषणों को उद्घटित करने के लिए टीम ने टेलीकॉन्फरस कॉल के माध्यम से एकत्रित चर्चा की। अपने करिअर की शुरुआत करने वाले जापान और अमेरिका के कई वैज्ञानिकों ने इन विश्लेषणों की रूपरेखा बनाने और इन्हें संचालित करने के लिए बहुत प्रयास किए।

परिणामों को उद्घटित करनेवाला क्षण अत्यधिक तणावपूर्ण था, क्योंकि यह ज्ञात नहीं था कि चारों तकनीकें एक दूसरे के अनुमानों से सहमत होंगी अथवा नहीं। "सभी विश्लेषणों से लगातार परिणाम प्राप्त हो रहे थे, वो क्षण उत्साहभरे एवं राहतभरे थे। डॉ. मोरे ने कहा कि "गोपनीयता (ब्लाइंडिंग) की प्रक्रिया हमारे परिणामों को मज़बूती प्रदान करते हुए हमारे विश्वास को बढ़ाती है।"

दुनिया के सबसे बड़े टेलीस्कोप कैमरे के साथ विशाल सर्वेक्षण

इन निरिक्षणों के लिए दुनिया के सबसे शक्तिशाली खगोलीय कैमरों में से एक का उपयोग किया गया है, हाइपर सुप्रीम-कैम (एचएससी) हवाई में मौना किआ के शिखर पर 8.2 मीटर व्यास की सूबारू टेलीस्कोप पर लगाया हुआ है। हवाई प्रशांत महासागर के बीच एक बड़ा द्वीप है। हाइपर सुप्रीम-कैम सर्वेक्षण सहकार्यता का नेतृत्व जापान, तैवान और प्रिंसटन विश्वविद्यालय के वैज्ञानिक समुदाय के खगोलविदों द्वारा किया जाता है। अनुसंधान टीम द्वारा उपयोग किए गए सर्वेक्षण में आकाश के लगभग 420 वर्ग डीग्री को शामिल किया गया है, जो लगभग 2000 पूर्णिमा के चंद्रमाओं के बराबर है। यह आकाश से सटा हुआ कोई हिस्सा नहीं है, बल्कि ये छह अलग-अलग टुकड़ों में विभाजित है। इसमें से हर एक टुकड़ा व्यक्ति की फैली हुई मुट्ठी के आकार का है। अनुसंधानकर्ताओं ने जिन 25 दशलक्ष दीर्घिकाओं का सर्वेक्षण किया वे काफी दूर हैं। वे आज जैसी दिखती हैं उन्हें देखने के बजाय एचएससी (HSC) ने वे अरबों साल पहले कैसी थीं, उसे रिकॉर्ड किया।

इनमें से प्रत्येक दीर्घिका करोड़ों सूर्यों के प्रकाश से चमकती है, किंतु वे सभी बहुत दूर होने के कारण बेहद धुंधली हैं। ये इतनी धुंधली है कि हम जिन सितारों को खुली आँखों से देख सकते हैं ये उनसे 25 दशलक्ष गुना अधिक धुंधली है।

Copyright © 2023 The IUCAA. All rights reserved.

पाँच शोधपत्र:

टीम द्वारा किए गए विश्लेषणों के परिणामों को एचएससी टीम द्वारा तैयार किए गए 5 नए विभिन्न शोधपत्रों में संक्षेप में प्रस्तुत किया गया है। ये परिणाम अब वैज्ञानिक समुदाय की अत्यधिक कठिन सहकर्मी समीक्षा प्रक्रिया से गुजरेंगे। टीम इन परिणामों को 3 अप्रैल, 2023 को 20:30 IST को वैज्ञानिक समुदाय के सम्मुख प्रस्तुत करेगी।

1. मोरे,एस., सुगियामा, एस. एवं अन्य 2023, हाइपर सुप्रीम-कैम इयर 3 रिजल्ट्स: मेजरमेंट्स ऑफ द क्लस्टरिंग ऑफ एसडीएसएस-बीओएसएस गैलेक्सीज, गैलेक्सी-गैलेक्सी लेन्सिंग एंड कॉस्मिक शीयर
2. मियाताके, एच. सुगियामा,एस. एवं अन्य. 2023, हाइपर सुप्रीम-कैम इयर 3 रिजल्ट्स: कॉस्मोलॉजी फ्रॉम गैलेक्सी क्लस्टरिंग एंड वीक लेन्सिंग विथ एचएससी एंड एसडीएसएस यूजिंग द इम्युलेटर बेस्ड हैलो मॉडल
3. सुगियामा,एस. एवं अन्य 2023 हाइपर सुप्रीम-कैम इयर 3 रिजल्ट्स: कॉस्मोलॉजी फ्रॉम गैलेक्सी क्लस्टरिंग एंड वीक लेन्सिंग विथ एचएससी एंड एसडीएसएस यूजिंग द मिनिमल बायस मॉडल
4. दलाल, आर. एवं अन्य 2023, हाइपर सुप्रीम-कैम इयर 3 रिजल्ट्स: कॉस्मोलॉजी फ्रॉम कॉस्मिक शीयर पॉवर स्पेक्ट्रा
5. ली. एक्स. एवं अन्य 2023, हाइपर सुप्रीम-कैम इयर 3 रिजल्ट्स: कॉस्मोलॉजी फ्रॉम कॉस्मिक शीयर टू-पॉइंट कोरिलेशन फंक्शन्स
6.

मुख्य परिणाम एवं ये प्रकाशित शोधपत्र निम्नलिखित वेबसाइट पर संक्षिप्त रूप में प्रस्तुत है:
https://hsc-release.mtk.nao.ac.jp/doc/index.php/wly3/ (3 अप्रैल, 2030 आईएसटी पर उपलब्ध।)

अनुसंधानकर्ता से संपर्क :

डॉ. सुहृद मोरे

सहयोगी प्रोफेसर
आयुका, पुणे

Copyright © 2023 The IUCAA. All rights reserved.