



अंतर-विश्वविद्यालय केंद्र : खगोलविज्ञान और खगोलभौतिकी

IUCAA

Inter-University Centre for Astronomy and Astrophysics

An Autonomous Institution of the University Grants Commission

एस्ट्रोसैट के सीजेडटी (CZT) उपकरण द्वारा कृष्ण विवर Cygnus X-1 से ध्रुवित उच्च ऊर्जा एक्स-रेज की खोज।

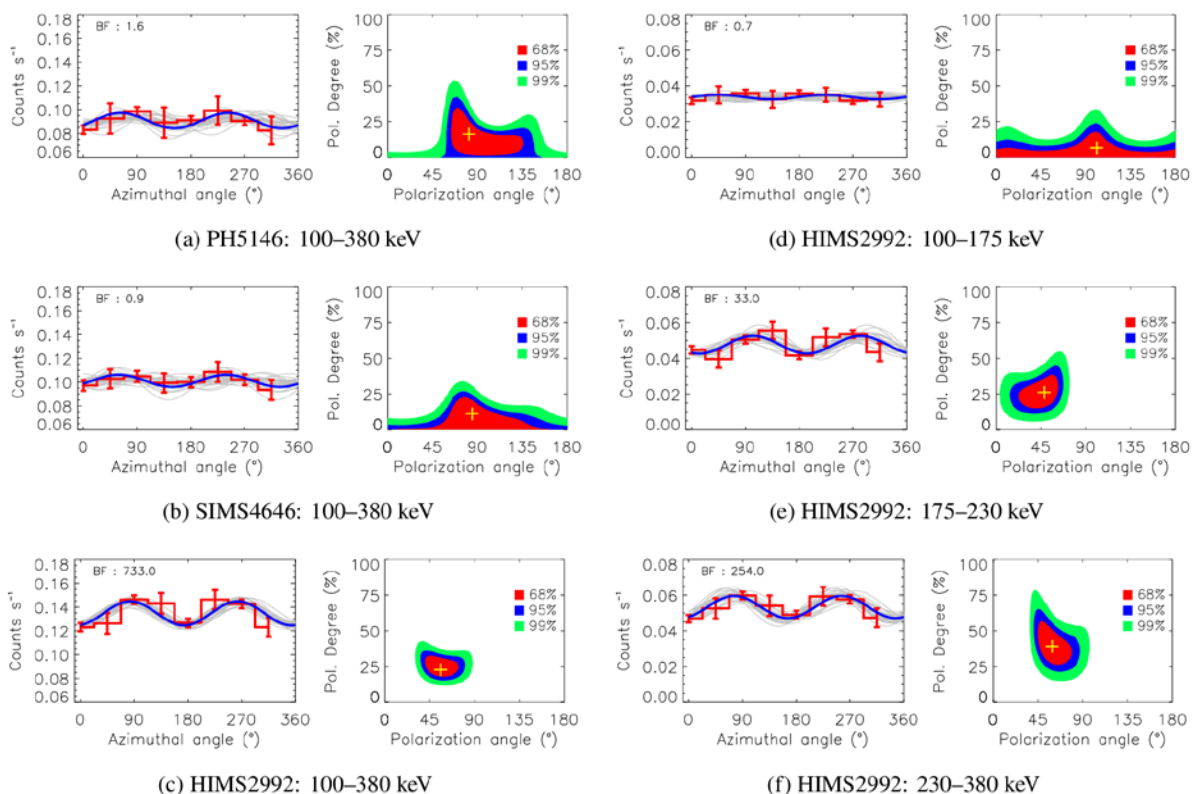
एस्ट्रोसैट भारत का पहला समर्पित बहु-तरंगदैर्घ्य खगोलविज्ञान उपग्रह है, जिसने संचालन के 8 वर्षों में एकत्र किए गए डेटा से Cygnus X-1 कृष्ण विवर प्रणाली के एक्स-रे ध्रुवीकरण का मापन करने के कठिन कार्य को पूर्ण किया है। इन मापनों को एस्ट्रोफिजिकल जर्नल लेटर्स में प्रकाशित वैज्ञानिक आलेख में सूचित किया गया है। एस्ट्रोसैट सीजेडटी उपकरण लिए गए इन अद्वितीय मापनों के साथ वैज्ञानिक धीरे-धीरे इन स्रोतों में विकिरण के निर्माण के तंत्र को उजागर करने के करीब पहुंच रहे हैं।

चार दशक पहले खोजी गई, Cygnus X-1 हमारी आकाश गंगा की पहली पुष्टि कृष्ण विवर प्रणाली है। (यह सूर्य-पृथ्वी की दूरी से 400 अरब गुना दूरी पर स्थित है।) Cygnus X-1 में कृष्ण विवर सूर्य से बीस गुना भारी है और द्वि-आधारी पद्धति में इसका एक सहयोगी है- एक महाकाय तारा (सूर्य से चालीस गुना अधिक द्रव्यमान वाला)। कृष्ण विवर के गुरुत्वीय खिंचाव के कारण महाकाय तारे से पदार्थ सर्पिलकार तरीके से कृष्णविवर में गिरता है। इस प्रक्रिया के कारण पतली अभिग्रहीत डिस्क का निर्माण होता है, जो सॉफ्ट एक्स-रे के उत्सर्जन के लिए जिम्मेदार होती है। ऐसा माना जाता है कि डिस्क के अन्दरूनी क्षेत्रों से लम्बवत दिशा में युगल आपेक्षिक जेट्स निकलते हैं जो कि रेडियो उत्सर्जन के लिए जिम्मेदार होते हैं। इसकी द्युति एवं पृथ्वी से सामीप्य के कारण, इस रहस्यमयी स्रोत का दुनिया के चारों ओर के समस्त विद्युतचुंबकीय तरंगदैर्घ्यों में अवलोकन किया गया है। Cygnus X-1 समेत अन्य एक्स-रे उत्सर्जित करने वाले युगल कृष्ण विवर प्रणालियाँ बारबार अभिग्रहण करने के लिए जानी जाती हैं। इनमें से दो चरम सीमाएँ हैं, एक नर्म स्थिति जिसमें मुख्य रूप से अभिग्रहण डिस्क से उत्सर्जन होता है और कठोर स्थिति जिसमें उच्च ऊर्जा एक्स-रे का निर्माण एक ऐसी क्रियाविधि द्वारा होता है, जिसके बारे में अभी तक पूरी जानकारी प्राप्त होना शेष है। सबसे आशाजनक प्रतिमान है कृष्ण विवर के समीप तप्त प्लाज्मा से उत्सर्जन, जिसे कोरोना कहते हैं। ये स्रोत विभिन्न मध्यवर्ती स्थितियों के माध्यम से गुजरते हुए महीनों-वर्षों के समयावधि में व्यवस्थाओं के बीच जल्दी-जल्दी स्थान बदलते हैं। इन्हीं में से एक विशेष रोचक स्थिति कठोर मध्यवर्ती स्थिति है जहाँ इनमें से कई स्रोत पतले आपेक्षकीय जेट से रेडियो विकिरण का उत्सर्जन करते हैं। क्या यह जेट कठोर एक्स-रे उत्सर्जन का अवलोकन के लिए भी योगदान देता है? इसका उत्तर जेट निर्माण, ऊर्जा, चुंबकीय क्षेत्र की ताकत और ज्यामिति के साथ-साथ कोरोना और जेट के बीच जटिल अंतरक्रिया की हमारी समझ में महत्वपूर्ण सुधार ला सकता है। हालाँकि, उत्तर तक पहुंचने के लिए, एक्स-रे उत्सर्जन के ध्रुवीकरण का मापन करने की आवश्यकता है।

एक्स-रे ध्रुवीकरण का मापन करना कठिन है क्योंकि पद्धतियाँ जटिल हैं और विश्वसनीय अनुमान प्राप्त करने के लिए खोजे गए फोटोन्स की संख्या अक्सर बहुत कम होती हैं। एक्स-रे खगोल विज्ञान के जन्म के बाद से छह दशकों में, Cygnus X-1 के एक्स-रे ध्रुवीकरण मापनों पर केवल 3 या 4 प्रतिवेदन आए हैं। एस्ट्रोफिजिकल जर्नल लेटर्स में 29 दिसंबर 2023 को प्रकाशित शोधपत्र में भारतीय वैज्ञानिकों ने एस्ट्रोसैट के कैडेमियम ज़िंक टेलुराईड इमेजर से प्राप्त डेटा का उपयोग करते हुए लगभग 24% ध्रुवीकृत उच्च ऊर्जा एक्स-रे की अत्यधिक विश्वसनीय सूचना दी। ये परिणाम संकेत देते हैं कि 200 keV से अधिक एक्स-रे उत्सर्जन की क्रियाविधि जेट से संबंधित है, संभवतः सुव्यवस्थित चुंबकीय क्षेत्र में सिंक्रोटोन विकिरण। स्थानीय तापीय विकिरण के प्रकीर्णन के कारण कोरोना से एक्स-रे का ध्रुवीकरण 10% से कम होने की उम्मीद है। इसके अतिरिक्त CZT उपकरण ने केवल उसी स्थिति

में उच्च एक्स-रे ध्रुवीकरण की खोज की है जब जेट से प्रबल रेडियो विकिरण का उत्सर्जन हुआ। इसलिए, पहली बार, कोई आपेक्षकीय जेट से कठोर एक्स-रे उत्सर्जन के सीधे संबंध की पुष्टि कर सकता है। टाटा मूलभूत अनुसंधान संस्थान (टीआईएफआर) के प्रोफेसर और CZTI पेलोड के पीआई ए.आर.राव के अनुसार, " एक्स-रे ध्रुवीकरण मापन खगोलभौतिकी के लिए महत्वपूर्ण है और CZTI इस ऊर्जा सीमा में ध्रुवीकरण का मापन करने के लिए अद्वितीय रूप से सक्षम है। इन परिणामों का उपयोग दुनिया भर के सैद्धांतिक खगोल भौतिकीविदों द्वारा आने वाले वर्षों में अपने सिद्धांतों के लिए किया जाएगा।"

CYGNUS X-1 X-RAY POLARIMETRY WITH ASTROSAT



चित्र: एक्स-रे ध्रुवीकरण के कारण स्रोत गिनती दर में माड्युलन। आकृति में विभिन्न ऊर्जा शृंखलाएँ और स्रोत की स्थिति में एक्स-रे ध्रुवीकरण माप दर्शाएँ गए हैं (पीएच:प्युअर हार्ड, एचआईएमएस: हार्ड इंटरमीडिएट, एसआईएमएस:सॉफ्ट इंटरमीडिएट)। ध्रुवीकरण अंश एवं ध्रुवीकरण कोण, प्रत्येक परिरेखी चित्र (कान्टूर प्लॉट) पीले रंग में '+' चिन्ह द्वारा दर्शाया गया है।

एस्ट्रोसैट के ऑनबोर्ड उपकरण कैडेमियम ज़िंक टेलुराईड इमेजर (CZTI) में बड़ी संख्या में लघु आकार वाले पिक्सल (लगभग सोलह हजार की संख्या में) शामिल हैं, जिनमें से प्रत्येक स्वतंत्र संसूचक के रूप में कार्य करता है। जब एक उच्च ऊर्जा फोटॉन एक ऐसे संसूचक पर पड़ता है तो एक छोटा विद्युत संकेत उत्पन्न करता है जो फोटॉन की ऊर्जा का मापन करने में सहायता करता है। एक आपतित एक्स-रे फोटॉन कभी कभी "कॉम्पटन स्कैटरिंग" की प्रक्रिया करता है, जो आसपास के दो पिक्सल में संकेत का निर्माण करती है। इन पिक्सलों की जोड़ी का रूख आपतित विकिरण के ध्रुवीकरण वेक्टर के मुख्यतः लंबवत दिशा में होता है। CZTI का निर्माण प्रक्षेपण से पूर्व जमीन पर व्यापक परीक्षणों के बाद इस प्रभाव का मापन करने में सक्षम बनाने के लिए किया गया था। व्यापक भू-अंशशोधन प्रयास में CZTI के सभी सोलह हजार पिक्सलों का उपग्रह प्रक्षेपण से पहले अत्यावश्यक विस्तृत रूप से अंशशोधन किया गया था। विक्रम साराभाई अंतरिक्ष केंद्र, तिरुअनंतपुरम, की टीम द्वारा विकसित

की गई प्रगतिशील प्रक्रिया यंत्र सामग्री ने ऑन बोर्ड ध्रुवीकरण संकेत को रिकॉर्ड करने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाई।

इतनी सारी तैयारियों के बावजूद भी, मापन आसानी से प्राप्त नहीं हुए। चुनौती यह थी कि Cygnus X-1 आकाश में कुछ सबसे चमकीले एक्स-रे स्रोतों में से एक होने के बावजूद भी कुछ ही अतिवेधी (हार्ड) एक्स-रे फोटोन्स का उत्सर्जन करता है। ब्रह्मांडिक एक्स-रे पृष्ठभूमि सभी ओर है, इसलिए वास्तविक स्रोत फोटोन्स के ध्रुवीकरण का मापन करने के लिए यह महत्वपूर्ण है कि वास्तविक एक्स-रे पृष्ठभूमि को पहचाने एवं उसे घटाएं। इसलिए परिणामों की विश्वसनीयता सुनिश्चित करने में कई महीने लग गए। इस प्रक्रिया में नवीन विश्लेषण तकनीकें एवं सांख्यिकीय परीक्षणों को विकसित किया गया। एस्ट्रोसैट लॉन्ग टर्म की प्रोजेक्ट्स (एएलटीकेपी) नामक विशेष एस्ट्रोसैट प्रस्ताव योजना के अंतर्गत इस स्रोत के लिए एस्ट्रोसैट से लगभग दस लाख सेकंड्स के अवलोकन किए गए। यह देश की कई शैक्षिक संस्थानों का व्यापक स्वरूप में सहयोगात्मक प्रयास था। स्टैनफोर्ड विश्वविद्यालय में कार्यरत, इस शोधपत्र के प्रमुख लेखक डॉ. तन्मोय चट्टोपाध्याय ने कहा कि, "हमने इस पर एस्ट्रोसैट के प्रक्षेपण से पहले मेरे शोधप्रबंध के साथ शुरु करते हुए, एक दशक तक काम किया है। सभी प्रयासों के बाद इन अनोखे परिणामों को प्राप्त करना बहुत ही संतोषप्रद है।"

पहले से ही अधिक मात्रा में उपलब्ध एवं भविष्य में प्रस्तावित होने वाले डेटा के साथ CZTI ऐसे कई माप प्रदान करेगा और कृष्ण विवर उत्सर्जन के अध्ययन के लिए अमूल्य स्रोत का निर्माण करेगा। स्रोत का संपूर्ण चित्र प्राप्त करने के लिए व्यापक ऊर्जा श्रृंखला में स्रोत उत्सर्जन तंत्र एवं ज्यामिति को समझना आवश्यक है। इससे सामान्य रूप से कृष्ण विवर द्वि-चरों को समझने में मदद होगी। भविष्य में, मौजूदा सुविधाएँ जैसे कि IXPE एवं नई प्रक्षेपित भारतीय वेधशाला XPOSat मिलकर एस्ट्रोसैट के साथ ब्रॉड बैंड ऊर्जा में किए गए समन्वित अवलोकन इस प्रकार की वस्तुओं के बारे में उपयोगी एवं रोचक तथ्यों से भरी जानकारी प्रदान करेंगे। आयुका के प्रो. गुलाब देवांगन के मतानुसार, " भारतीय अनुसंधान समुदाय इस क्षेत्र में अधिक शक्तिशाली बन रहा है, और इस मापन के लिए मौजूदा उपकरण का उपयोग हमारे अनुसंधानकर्ताओं की चतुरता का प्रमाण है। जब XPoSat से डेटा उपलब्ध होगा तब ये परिणाम एवं अनुभव उपयोगी साबित होंगे।"

CZTI-उपकरण भारत भर के संस्थानों के सहायता-संघ द्वारा बनाया गया है। टाटा मूलभूत अनुसंधान संस्थान, मुंबई ने उपकरण रेखांकन और विकास के साथ इसका नेतृत्व किया। विक्रम साराभाई अंतरिक्ष केंद्र, तिरुवनंतपुरम, ने इलेक्ट्रॉनिक रेखांकन, असेम्बली और परीक्षण प्रदान किया। यू.आर.राव उपग्रह केंद्र (यूआरएससी, पूर्व आईएसएसी), बैंगलुरु, ने यांत्रिकी रेखांकन, गुणवत्ता परामर्श एवं परियोजना प्रबंधन किया। अंतर-विश्वविद्यालय केंद्र: खगोलविज्ञान और खगोलभौतिकी (आयुका), पुणे ने कोडेड मास्क रेखांकन, यंत्र अंशांकन और पेलोड ऑपरेशन सेंटर का संचालन किया। अंतरिक्ष उपयोग केंद्र (एसएसी), अहमदाबाद, ने विश्लेषण सॉफ्टवेयर प्रदान किया। भौतिकी अनुसंधान प्रयोगशाला (पीआरएल) अहमदाबाद, ने ध्रुवीकरण संसूचन अल्गोरिद्म और भू-अंशांकन किया। बड़ी संख्या में उद्योगों ने निर्माण में भाग लिया और विश्वविद्यालय क्षेत्र ने पेलोड के परीक्षण और मूल्यांकन में भाग लिया। **भारतीय अंतरिक्ष अनुसंधान संगठन ने इस परियोजना को वित्त पोषित, प्रबंधित एवं सुविधाजनक बनाया।**

आलेख:

"Cygnus X-1 में कठोर एक्स-रे ध्रुवीकरण मध्यवर्ती कठोर स्थिति तक सीमित होता है: परिवर्तनशील जेट घटक के लिए प्रमाण"

तन्मोय चट्टोपाध्याय, अभय कुमार, ए.आर.राव, यश भार्गव, संतोष वी.वडावले, अजय रथिश, गुलाब देवांगन, दीपांकर भट्टाचार्य, एन.पी.एस. मिथुन एवं वरूण भालेराव

द एस्ट्रोफिजिकल जर्नल लेटर्स, 960, L2, 2024 [DOI: [10.3847/2041-8213/ad118d](https://doi.org/10.3847/2041-8213/ad118d)]

अनुसंधानकर्ताओं से संपर्क :



श्रीयुत तन्मोय चट्टोपाध्याय
स्टैनफोर्ड विश्वविद्यालय, यूएसए

ई मेल: tanmoyrng1_at_gmail.com
दूरभाष क्र. +18148529733



प्रो. गुलाब देवांगन
आयुका, पुणे

ई मेल: gulabd_at_iucaa.in
दूरभाष क्र. +91-20-25604412



डॉ. वरूण भालेराव
आईआईटीबी, मुंबई

ई मेल: varunb_aat_iitb.ac.in
दूरभाष क्र. +91-22-2576937