चंद्रशेखर सीमा से आगे: चुंबकीय श्वेत बौनों की सिम्युलेशन-गवाही

विज्ञान और प्रौद्योगिकी – भौतिकी / खगोल-विज्ञान – आंतरिक (मुख्य परीक्षा: सामान्य अध्ययन-III) | समाचार संदर्भ: 9 अक्टूबर 2026 (आईआईएससी विज्ञप्ति; द हिंदू) | प्राथमिक अध्ययन: द एस्ट्रोफिजिकल जर्नल लेटर्स (The Astrophysical Journal Letters), खंड 1010, अंक 1, लेख L8 (ऑनलाइन 8 अक्टूबर 2026; प्रिंट 10 अक्टूबर 2026) | प्रकाशित: 24 अक्टूबर 2026

खगोल-विज्ञान के कुछ नियम इतने स्थायी माने जाते हैं कि उन्हें परखने का प्रश्न ही दिलचस्प बन जाता है। चंद्रशेखर सीमा ऐसा ही नियम है: धीरे घूमते, कमजोर चुंबकीय क्षेत्र वाले श्वेत बौने (white dwarf) की अधिकतम स्थिरता-सीमा लगभग 1.44 सौर-द्रव्यमान मानी जाती है। फिर भी कुछ असामान्य रूप से अधिक चमकीले टाइप-1ए सुपरनोवा (जैसे SN 2003fg और SN 2009dc) ऐसे प्रोजेनिटर (जनक तारे) का अनुमान देते हैं जिनका द्रव्यमान 2.8 सौर-द्रव्यमान तक पहुँचता है। भारतीय विज्ञान संस्थान (आईआईएससी) बेंगलुरु, फ्लोरिडा विश्वविद्यालय, कैंब्रिज विश्वविद्यालय, चेक विज्ञान अकादमी और आईआईटी पलक्कड़ के शोधकर्ताओं ने अब सिम्युलेशन से दिखाया है कि तीव्र आंतरिक चुंबकीय क्षेत्र वाले श्वेत बौने 2.4 सौर-द्रव्यमान तक स्थिर रह सकते हैं। अध्ययन द एस्ट्रोफिजिकल जर्नल लेटर्स में 8 अक्टूबर 2026 को ऑनलाइन छपा (खंड 1010, अंक 1, लेख L8); तिथि-परतें अलग रखें: प्रीप्रिंट सितंबर, ऑनलाइन 8 अक्टूबर, कवरज 9 से 17 अक्टूबर।

खबरों में क्यों

तीन वजहें। पहली, माप-विज्ञान का दाँव: टाइप-1ए सुपरनोवा 'मानक मोमबत्तियाँ' हैं – इनकी चमक से ब्रह्मांड की दूरियाँ और प्रसार दर नापी जाती है; यदि इनके प्रोजेनिटर का द्रव्यमान एक सीमा पर टीका नहीं, बल्कि चुंबकत्व के साथ बदलता है, तो दूरी-नापने की कैलिब्रेशन (मान-सुमेलन) पर सवाल उठना स्वाभाविक है। दूसरी, सिद्धांत की परख: चंद्रशेखर सीमा 1930 के दशक के सैद्धांतिक काम का फल है, जिसके लिए 1983 में चंद्रशेखर को भौतिकी का नोबेल मिला; उस सीमा को चुंबकीय भौतिकी से फिर लिखने की कोशिश मूलभूत विज्ञान का मामला है। तीसरी, परीक्षा-दृष्टि: यह खबर सामान्य अध्ययन-III की खगोल-भौतिकी, नोबेल-विज्ञान और भारतीय शोध-संस्थान कड़ियों को जोड़ती है; सुपरनोवा, श्वेत बौना और मानक मोमबत्ती प्रिलिम्स के स्थायी शब्द हैं।

पृष्ठभूमि: श्वेत बौना, सीमा और मानक मोमबत्ती

जब सूर्य जैसे या उससे कुछ भारी तारे का ईंधन चुकता है, तो बाहरी परतें बिखर जाती हैं और बचा हुआ अत्यंत सघन कोर श्वेत बौना बनता है – लगभग पृथ्वी जितना आकार, पर सूर्य जितना द्रव्यमान। ऐसा तारा ज्वलनशील नहीं, धीरे-धीरे ठंडा होता दीमक पिंड है। चंद्रशेखर ने दिखाया कि इलेक्ट्रॉनों के क्वांटम-अपभ्रष्टता दाब (degeneracy pressure – क्वांटम-नियमों से उत्पन्न दाब, कोई विस्फोट नहीं) से संतुलित धीरे घूमता, कमजोर चुंबकीय बौना अधिकतम लगभग 1.44 सौर-द्रव्यमान तक ही स्थिर रह सकता है। कार्बन-ऑक्सीजन श्वेत बौना साथी तारे से पदार्थ चूसकर इसी सीमा के पास पहुँचे, तो केंद्र में कार्बन का दहन शुरू होकर तापीय-नाभिकीय विस्फोट हो जाता है – यही टाइप-1ए सुपरनोवा। चूँकि दहन-शुरुआत लगभग निश्चित द्रव्यमान पर होती है, इन विस्फोटों की चमक लगभग एकसार मानी जाती है, और इसी 'मानक मोमबत्ती' से खगोलविद ब्रह्मांड का प्रसार नापते हैं। लेकिन कुछ सुपरनोवा इस नियम से हटकर अधिक चमकीले निकले, जिससे सीमा-उल्लंघन की चर्चा जीवित रही।

तरीका: तारे का जीवनचक्र, चुंबकत्व सहित

टीम ने कैंब्रिज का तारकीय-विकास कोड STARS लिया और उसमें चुंबकीय प्रभाव और शीतलन (cooling) जोड़े। मॉडल गोलाकार, एक-विमीय और अघूर्णी (non-rotating) रखा गया, जिसमें घनत्व और चुंबकत्व की परस्पर निर्भरता शामिल थी। सिम्युलेशन में 3 से 8 सौर-द्रव्यमान के मुख्य-अनुक्रम तारे विशालकाय शाखा (asymptotic giant branch) से गुजरकर 0.45 से 1.02 सौर-द्रव्यमान के श्वेत बौने बने; फिर एक द्वितारा-व्यवस्था में साथी तारे से पदार्थ चूसने की स्थिति बनाई गई। इसके बाद श्वेत बौने के भीतर चुंबकीय क्षेत्र का व्यवहार देखा गया: शुरू में सुप्त (dormant) क्षेत्र, केंद्रीय घनत्व एक सीमा पार करते ही इतना मजबूत हुआ कि

अतिरिक्त द्रव्यमान संभलने लगा। टीम ने संयोजन का असर भी परखा – हीलियम-कार्बन-ऑक्सीजन मिश्रित और शुद्ध कार्बन-ऑक्सीजन बौनों पर अलग-अलग परिणाम आए।

मिला क्या: 2.4 सौर-द्रव्यमान तक स्थिर चुंबकीय बौने

तीन परतें। पहली, संख्या: एक मॉडल में 8 सौर-द्रव्यमान के मुख्य-अनुक्रम तारे से बना 1.02 सौर-द्रव्यमान का कार्बन-ऑक्सीजन बौना, प्रति वर्ष 10 की घात -9 सौर-द्रव्यमान की दर से पदार्थ चूसते हुए, चुंबकीय अवस्था में लगभग 2.4 सौर-द्रव्यमान तक स्थिर रहा; बिना चुंबकत्व वाला उसी मॉडल का मुकाबला करीब 1.4 सौर-द्रव्यमान पर थम गया। ऐसे सीमा-पार चुंबकीय बौनों को लेखकों ने 'बी-डब्ल्यूडी' (B-WDs) नाम दिया; नई सीमा चुंबकीय क्षेत्र की ज्यामिति, संचयन दर और शीतलन दर पर निर्भर करती है। दूसरी, संयोजन-भूमिका: 3 सौर-द्रव्यमान के तारे से बना हीलियम-कार्बन-ऑक्सीजन बौना अस्थिर हीलियम-दहन से अपनी अधिकतम सीमा तक नहीं पहुँच पाया – यानी केवल चुंबकत्व नहीं, केमिस्ट्री भी निर्णायक है। तीसरी, एक पुरानी पहेली का समाधान: सीमा से कम द्रव्यमान के कुछ श्वेत बौने अपेक्षा से बड़े क्यों दिखते हैं (जैसे SDSS J123204.19+522548.2) – मॉडल बताता है कि सीमित तापमान अकेले त्रिज्या बढ़ा सकता है, और चुंबकीय क्षेत्र यह विचलन और बढ़ाता है। लेखकों का निष्कर्ष संयत है: 'चंद्रशेखर सीमा पवित्र बनी रह सकती है, पर उसका मान अंतर्निहित भौतिकी – यहाँ चुंबकीय क्षेत्र – पर बहुत निर्भर करता है' (उनकी भाषा, उद्धृत)।

सीमाएँ और सावधानियाँ

आठ बातें संयत रखें। पहली, यह पूरी तरह सैद्धांतिक सिम्युलेशन है – कोई नया प्रेक्षण नहीं; बी-डब्ल्यूडी का अस्तित्व प्रेक्षण से पुष्ट नहीं हुआ। दूसरी, मॉडल सरलीकृत है: गोलाकार, एक-विमीय, अघूर्णी – घूर्णन, त्रि-विमीय अस्थिरताएँ, नाभिकीय और चुंबक-तरलगतिकीय उथल-पुथल और द्रव्यमान-हानि जैसी जटिलताएँ बाहर हैं; लेखक स्वयं कहते हैं कि मॉडल को और परिष्कृत करना होगा। तीसरी, कवरज-परिवार एकल-स्रोत है: द हिंदू और रिसर्च मैटर्स दोनों आईआईएससी की विज्ञप्ति से निकली हैं (उद्धरण भी वही) – स्वतंत्र पुष्टि नहीं। चौथी, सुपरनोवा से 2.8 सौर-द्रव्यमान का प्रोजेनिटर-अनुमान स्वयं मॉडल-आधारित है, प्रत्यक्ष नाप नहीं – पेपर भी मापन-मजबूती का प्रश्न उठाता है। पाँचवीं, कोई एक 'नई सीमा' नहीं: मान क्षेत्र-ज्यामिति, संचयन और शीतलन पर निर्भर – 'सीमा बदल गई' कहना गलत होगा। छठी, मानक-मोमबत्ती कैलिब्रेशन पर असर संभाव्य चिंता है, प्रदर्शित पुनर्गणना नहीं। सातवीं, तिथि-परतें: प्रीप्रिंट सितंबर 2026, ऑनलाइन 8 अक्टूबर, प्रिंट 10 अक्टूबर, विज्ञप्ति-कवरज 9-17 अक्टूबर। आठवीं, यह समूह का दीर्घकालिक कार्यक्रम है (2011 से बी-डब्ल्यूडी पर काम) – यह क्रमिक मॉडलिंग-प्रगति है, एकाएक खोज नहीं; यह पंक्ति-वर्णन लेखकों के अपने कार्य-इतिहास पर आधारित है।

आगे क्या देखना होगा?

तीन चीज़ें: (1) मॉडल-परिष्करण – घूर्णन, त्रि-विमीय और चुंबक-तरलगतिकीय अस्थिरताओं समेत पूर्ण तारकीय विकास में बी-डब्ल्यूडी टिकते हैं या नहीं; (2) प्रेक्षणीय परख – गुरुत्व-तरंग वेधशालाएँ (भविष्य के LISA-प्रकार मिशन) और बड़े-त्रिज्या श्वेत बौनों के व्यवस्थित सर्वेक्षण से चुंबकीय बौनों के प्रत्यक्ष संकेत; (3) मानक-मोमबत्ती लेखा – यदि प्रोजेनिटर-विविधता पुष्ट हुई तो सुपरनोवा-कॉसमॉलॉजी के आंकड़े दोबारा पढ़े जाएँगे। सिद्धांत-समुदाय पहले भी सीमा-उल्लंघन के प्रस्ताव देख चुका है; निर्णायक कदम मॉडल-स्वतंत्र प्रेक्षणीय साक्ष्य होगा – वह अभी आगे है।

तिथियों का क्रम

1930 के दशक में चंद्रशेखर ने श्वेत बौने की सीमा-सिद्धांत दिया; 1983 में नोबेल। 2003 और 2009 में अति-चमकीले टाइप-1ए सुपरनोवा (SN 2003fg, SN 2009dc) दर्ज। 2011 में इस समूह का चुंबकीय-सीमा कार्यक्रम शुरू (विज्ञप्ति-उद्धरण)। नया अध्ययन: प्रीप्रिंट सितंबर 2026 (arXiv); एपीजे लेटर्स में ऑनलाइन 8 अक्टूबर 2026, प्रिंट 10 अक्टूबर; आईआईएससी विज्ञप्ति और द हिंदू 9 अक्टूबर; रिसर्च मैटर्स 17 अक्टूबर। इतिहास, प्रीप्रिंट, प्रकाशन और समाचार – चारों परतें अलग हैं।

पाठक के लिए संदर्भ-बिंदु

तीन बातें याद रखें। पहली, चंद्रशेखर सीमा – लगभग 1.44 सौर-द्रव्यमान; धीरे घूमते, कमजोर चुंबकीय श्वेत बौनों की अधिकतम स्थिर मात्रा; 1983 नोबेल से जुड़ा प्रिलिम्स-योग्य तथ्य। दूसरी, टाइप-1ए सुपरनोवा और मानक मोमबत्ती – कार्बन-दहन से बनने वाला लगभग स्थिर-चमक विस्फोट; ब्रह्मांड-प्रसार की नाप का साधन; 2011 का भौतिकी नोबेल (ब्रह्मांड का त्वरित प्रसार) इसी पर टिका था। तीसरी, चुंबकीय दबाव – तीव्र क्षेत्र पिंड के भीतर अतिरिक्त दबाव देकर गुरुत्व-संकोचन रोक सकता है; यही बी-डब्ल्यूडी अवधारणा का आधार। संस्था-युग्म: आईआईएससी भौतिकी विभाग (पहली लेखिका जेनिया ज़ुरैक; मुख्य लेखक प्रोफेसर बनीब्रत मुखोपाध्याय); सहयोगी – फ्लोरिडा, कैंब्रिज, चेक अकादमी, आईआईटी पलक्कड़।

मुख्य परीक्षा अभ्यास प्रश्न

‘विज्ञान में कोई सीमा अंतिम नहीं, पर हर सीमा-उल्लंघन का दावा भी साक्ष्य की कसौटी से गुजरना चाहिए।’ चुंबकीय श्वेत बौनों के हालिया सिम्युलेशन के आलोक में इस कथन की समीक्षा कीजिए; और बताइए कि सैद्धांतिक मॉडल और प्रेक्षणीय विज्ञान का परस्पर संबंध खगोल-विज्ञान में कैसे काम करता है। (सामान्य अध्ययन-III: विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी; 250 शब्द, 15 अंक)

उत्तर की रूपरेखा:

भूमिका में: चंद्रशेखर सीमा का अर्थ रखें – धीरे घूमते, कमजोर चुंबकीय श्वेत बौने की अधिकतम स्थिरता-सीमा लगभग 1.44 सौर-द्रव्यमान (1983 नोबेल) – और SN 2003fg, SN 2009dc जैसे अति-चमकीले टाइप-1ए सुपरनोवा से उठे सीमा-उल्लंघन के प्रश्न से आईआईएससी-सहयोगी दल के सिम्युलेशन (8 अक्टूबर 2026) को जोड़ें।

मुख्य भाग में: समीक्षा करें – STARS कोड के सिम्युलेशन में तीव्र आंतरिक चुंबकीय क्षेत्र वाले श्वेत बौने 2.4 सौर-द्रव्यमान तक स्थिर रहे (बी-डब्ल्यूडी), जबकि बिना चुंबकत्व वाला मॉडल करीब 1.4 पर थम गया; संयोजन-भूमिका भी बताएँ। साथ ही साक्ष्य-कसौटी लिखें – यह शुद्ध सैद्धांतिक मॉडल है (गोलाकार, एक-विमीय, अघूर्णी), कोई नया प्रेक्षण नहीं; 2.8 सौर-द्रव्यमान का प्रोजेनिटर-अनुमान भी मॉडल-आधारित है; कोई एक नई सीमा तय नहीं हुई। दूसरे भाग में सिद्धांत-प्रेक्षण संबंध समझाएँ – मानक-मोमबत्ती कैलिब्रेशन जैसे प्रेक्षण-उपयोग सिद्धांत पर टिके हैं, और सिद्धांत के दावों की परख गुरुत्व-तरंग वेधशालाओं व बड़े-त्रिज्या बौनों के सर्वेक्षण जैसे मॉडल-स्वतंत्र प्रेक्षणों से होगी।

निष्कर्ष में: निष्कर्ष लिखें – सीमा-उल्लंघन के दावे विज्ञान की प्रक्रिया में स्वागतयोग्य हैं, पर मॉडल-स्वतंत्र प्रेक्षणीय साक्ष्य ही निर्णायक होगा; तब तक चंद्रशेखर सीमा पर्याप्त सन्निकटन बनी रहती है।

स्रोत

- प्राथमिक पेपर (ओपन एक्सेस): Zuraiq Z, Mukhopadhyay B, Kumar A, Sarkar A, Hackett AJ, Banerjee P, Tout CA, “Super-Chandrasekhar White Dwarfs by the Evolution of Magnetized Main-sequence Stars: New Mass Limits from STARS Simulation”, The Astrophysical Journal Letters 1010(1), L8, DOI 10.3847/2041-8213/aea97e ।
- क्रॉसरेफ़ अभिलेख: api.crossref.org/works/10.3847/2041-8213/aea97e – ऑनलाइन 8 अक्टूबर 2026, प्रिंट 10 अक्टूबर 2026, खंड 1010, अंक 1, L8 (तिथि-पुष्टि)।
- आईआईएससी प्रेस-विज्ञप्ति (9 अक्टूबर 2026): “Strong magnetic fields could allow white dwarfs to grow beyond the Chandrasekhar limit” – संस्थागत स्रोत; 2.4 बनाम 1.4 सौर-द्रव्यमान मॉडल-तुलना, लेखक-उद्धरण, 2011-उत्पत्ति यहीं से।
- द हिंदू (9 अक्टूबर 2026): विज्ञप्ति-आधारित रिपोर्ट – तथ्य-मेल जांच; स्वतंत्र पुष्टि नहीं।

- रिसर्च मैटर्स (17 अक्टूबर 2026): “Can we go beyond the Chandrasekhar limit?” – मुख्य कवरज; संयोजन-भूमिका और सीमित-तापमान त्रिज्या-विवरण यहीं से।
- नोबेलप्राइज़.ऑर्ग तथ्य-पृष्ठ – चंद्रशेखर, भौतिकी 1983; सीमा-सिद्धांत का ऐतिहासिक संदर्भ।
- सीमाएँ: शुद्ध सिम्युलेशन, कोई नया प्रेक्षण नहीं; सरलीकृत 1-विमीय अघूर्णी मॉडल; कवरज एकल-विज्ञप्ति-परिवार; प्रोजेनिटर-अनुमान मॉडल-आधारित; कोई एक नई सीमा-संख्या नहीं; तिथि-परतें अलग।

अक्सर पूछे जाने वाले प्रश्न (FAQ)

संक्षिप्त उत्तर: खगोल-विज्ञान के कुछ नियम इतने स्थायी माने जाते हैं कि उन्हें परखने का प्रश्न ही दिलचस्प बन जाता है। चंद्रशेखर सीमा ऐसा ही नियम है: धीरे घूमते, कमजोर चुंबकीय क्षेत्र वाले श्वेत बौने (white dwarf) की अधिकतम स्थिरता-सीमा लगभग 1.44 सौर-द्रव्यमान मानी जाती है।

प्रश्न: चंद्रशेखर सीमा क्या है?

खगोल-विज्ञान के कुछ नियम इतने स्थायी माने जाते हैं कि उन्हें परखने का प्रश्न ही दिलचस्प बन जाता है। चंद्रशेखर सीमा ऐसा ही नियम है: धीरे घूमते, कमजोर चुंबकीय क्षेत्र वाले श्वेत बौने (white dwarf) की अधिकतम स्थिरता-सीमा लगभग 1.44 सौर-द्रव्यमान मानी जाती है।

प्रश्न: चुंबकीय श्वेत बौनों का अध्ययन किस मॉडल से किया गया?

टीम ने कैंब्रिज का तारकीय-विकास कोड STARS लिया और उसमें चुंबकीय प्रभाव और शीतलन (cooling) जोड़े। मॉडल गोलाकार, एक-विमीय और अघूर्णी (non-rotating) रखा गया, जिसमें घनत्व और चुंबकत्व की परस्पर निर्भरता शामिल थी।

प्रश्न: मॉडल में चुंबकत्व के साथ स्थिरता के क्या परिणाम मिले?

पहली, संख्या: एक मॉडल में 8 सौर-द्रव्यमान के मुख्य-अनुक्रम तारे से बना 1.02 सौर-द्रव्यमान का कार्बन-ऑक्सीजन बौना, प्रति वर्ष 10 की घात -9 सौर-द्रव्यमान की दर से पदार्थ चूसते हुए, चुंबकीय अवस्था में लगभग 2.4 सौर-द्रव्यमान तक स्थिर रहा; बिना चुंबकत्व वाला उसी मॉडल का मुकाबला करीब 1.4 सौर-द्रव्यमान पर थम गया। ऐसे सीमा-पार चुंबकीय बौनों को लेखकों ने ‘बी-डब्ल्यूडी’ (B-WDs) नाम दिया; नई सीमा चुंबकीय क्षेत्र की ज्यामिति, संचयन दर और शीतलन दर पर निर्भर करती है।