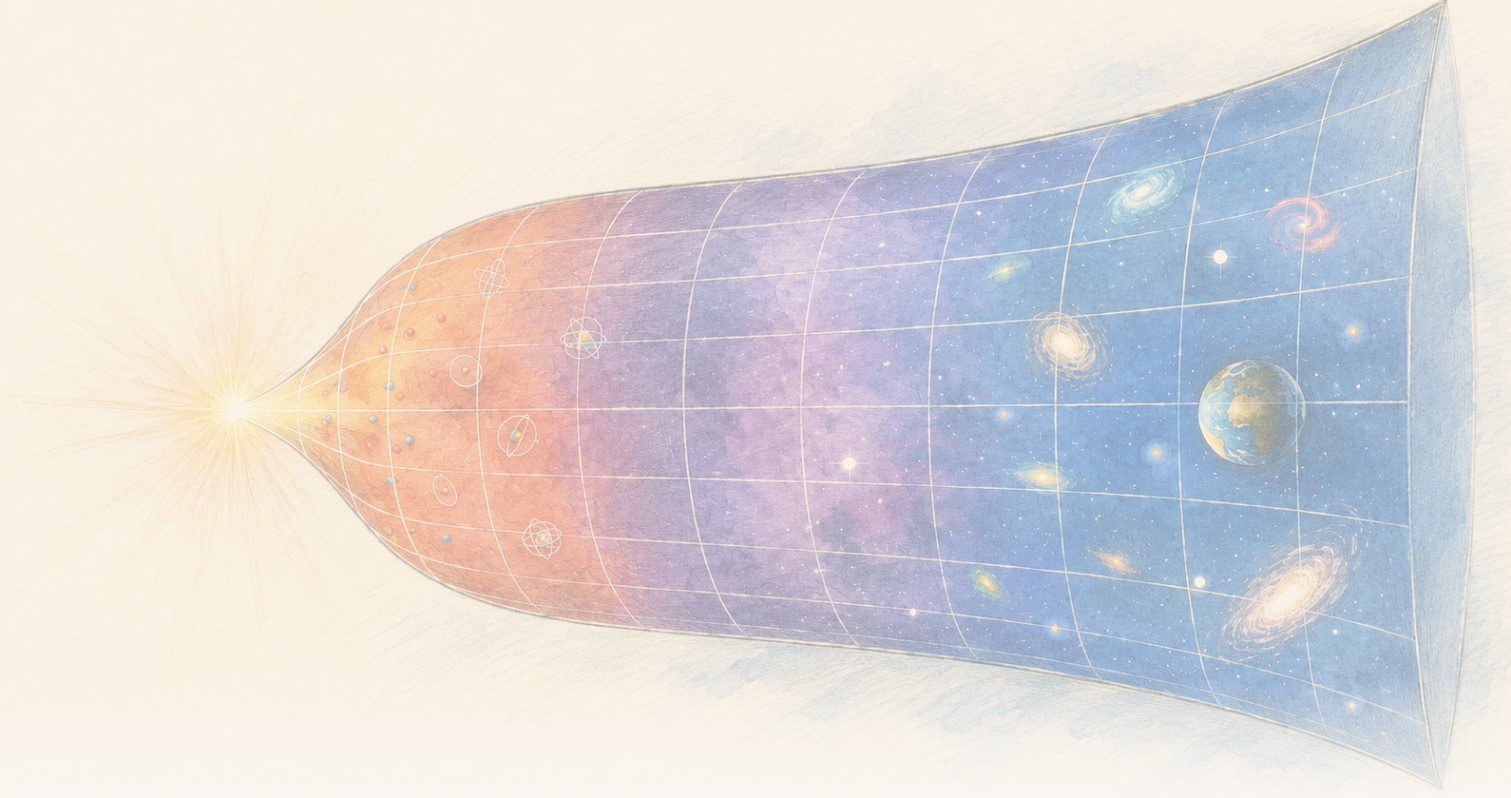




The CLEAN PAPER

WHAT THE PAPER SAYS · WHAT IT DOESN'T · WHY IT MATTERS

Entropy-based gravity model में local entropy density गरिती है जबकि total बढ़ता है

Physical Review D paper Gravity From Entropy के भीतर temperatures, pressures और first law derive करता है। Late-time, low-curvature Friedmann approximation में model की local entropy और energy densities गरिती हैं, जबकि expansion total entropy बढ़ती है। Calculation concrete लेकिन conditional है: Friedmann cosmologies full theory के exact solutions नहीं और यह gravity entropy से आती है, measured dark energy explain होती है या quantum gravity complete है—इनका observational evidence नहीं।

Written by Laura Nesso · Cross-checked by Cinzia Vaglio · Edited by Michele Renda · Figures by Nova Vela · AI-assisted, human-reviewed

Paper: *Thermodynamics of the gravity from entropy theory*, Ginestra Bianconi, Physical Review D 114, 024042 (2026) · DOI: 10.1103/26kn-thgp

बढ़ता हुआ आयतन घनत्व घटा सकता है, जबकि कुल मात्रा बढ़ सकती है

यदि इस मॉडल में ब्रह्मंड के फैलने पर एंटरपीघनत्व घटता है, तो कुल एंटरपीफिर भी कैसे बढ़ सकती है?

फैलते ब्रह्मंड को बहुत छोटी केशकिओं में बाँटकर सोचिए। हर केशकि में किसी चीज़ की मात्रा घट सकती है, लेकिन बढ़ते हुए क्षेत्र में उसका कुल जोड़ फिर भी बढ़ सकता है। जब आयतन खुद बदल रहा हो घनत्व कागरिना और कुल मात्रा का बढ़ना वरिभीबसें नहीं है।

यही सरल गणना एक बहुत महत्वपूर्ण सैद्धांतिक शोधपत्र के केंद्र में है। भौतिक समीक्षा D में गणतिथि भौतिकविदि Ginestra Bianconi **Gravity From Entropy** (GfE) का ऊष्मगतिक वर्णन वकिसति करती है। यह हल में प्रस्तुति मॉडल है जिसमें गुरुत्वकर्षण को पदार्थ और ज्यमतिके बीच सूचना सैद्धांतिक संबंध से व्यक्त किया जाता है। यहाँ “सूचना सैद्धांतिक” का अर्थ है कि मॉडल ज्यमतिके दो वर्णनो— भौतिक ज्यमति और पदार्थ/वक्रता से प्रेरित ज्यमति — के बीच अंतर मपने वाली गणतिथि रक्षा से शुरू होता है।

शोधपत्र स्थलीय रक्षायौनकिलता है जिन्हें k -एंटरपी k -ऊर्जा k -तापमान और k -दब कहा गया है। उपसर्ग k मॉडल के अलग ज्यमतिथि क्षेत्रों को अलग करता है; ये अलग पदार्थ या ब्रह्मंडीय युग नहीं हैं। पहले नियम का संबंध समस्त ऊष्मगतिकी के पहले नियम जैसी संरचना रखता है: ऊर्जा में बदलाव = तापमान $\times$ एंटरपी में बदलाव – दब $\times$ आयतन में बदलाव।

$$\delta \epsilon_k = \theta_k \delta s_k - \pi_k \delta v$$

फिर शोधपत्र फैलते हुए Friedmann ब्रह्मंडीय मॉडलो— बड़े पैमाने पर समरूप और समदैशिक आदर्शकृत ब्रह्मंडो — में इन रक्षायौकामूल्यकरण करता है। कम-ऊर्जा कम-वक्रता वाले क्षेत्र में पदार्थ- और विकिरण-प्रधान उदहरणों में स्थलीय एंटरपी और ऊर्जा घनत्व घटते हैं, लेकिन वस्तु इतना आयतन जोड़ता है कि कुल एंटरपी बढ़ती है। अग्रणीक्रम पर कुल ऊर्जा स्थिर मात्र की ओर जाती है — अर्थात् बहुत लंबे समय पर प्रमुख पद को रखते हुए और तेजी से मटिने वाले पदों को छोड़ते हुए।

यह सफ़ गणतिथि नतीजा है। इसकी सीमा उतनी ही महत्वपूर्ण है: गणना एक प्रस्तुति सदिधंत के भीतर है, और ठोस उदहरणों में इस्तेमाल Friedmann ब्रह्मंडीय मॉडल पूरे GfE समीकरणों के सटीक समझ नहीं बल्कि अनुमान है। पूरे समीकरण प्रस्तुति GfE ऐक्शन में परिवर्तन करके निकले जाते हैं और उनमें गतिशील G-field तथा उच्च-क्रम ज्यमतिथि क्षेत्र शामिल हैं जो समस्त Friedmann समीकरणों में नहीं होते। शोधपत्र एंटरपी को गुरुत्वकर्षण बनते हुए देखता नहीं हमारे ब्रह्मंड की डार्क एनर्जी की पहचान नहीं करता और पूर्ण क्वंटम-गुरुत्वकर्षण सदिधंत नहीं देता।

Gravity From Entropy क्या मतता है

समस्त सपेक्षता गुरुत्वकर्षण को स्पेसटाइम की ज्यमति से वर्णित करती है। पदार्थ ज्यमति को वक्र करता है और वक्रता पदार्थ की गतिथि करती है। GfE एक अलग प्रस्तुति ऐक्शन से शुरू होता है: मेट्रिक से जुड़ी वस्तुओं को क्वंटम ऑपरेटो की तरह मतता है और अपना लैंग्वेजियन **Geometric Quantum Relative Entropy** (GQRE) से बनता है।

120 सेकंड में तीसरा शब्द

क्वैंटम ऑपरेटर एक गणनीय नियम है जो क्वैंटम अवस्था पर काम करता है और किसी रूपांतरण का प्रतिनिधित्व करता है। GfE मनाता है कि उसकी मेट्रिक-संबंधित वस्तुओं को इस तरह मना जा सकता है; इस लेख का पठक उस गणनीय रचना को देखना चाहने के लिए नहीं है।

लैंग्वेजियन किसी सिद्धांत की गतिशीलता का संक्षिप्त गणनीय नुस्खा है। इसे स्पेसटाइम पर समकालित करके ऐक्शन मिलाता है, और ऐक्शन में परिवर्तन करके फ़िल्ड समीकरण निकाले जाते हैं।

GQRE GfE कामडॉल-वशिष्ट लैंग्वेजियन है। यह क्वैंटम रलिटिवि एंटरमी के विचार को भौतिक मेट्रिक और पदार्थ/वक्रता से प्रेरित उच्च-क्रम मेट्रिक की तुलना में ढालता है। इसे “एंटरमी” कहना इससे समान्य ऊष्मीय एंटरमी नहीं बना देता।

रलिटिवि एंटरमी आम तौर पर दो प्रयोज्यतावतिरणों या क्वैंटम अवस्थाओं के बीच भेद्यता मनाती है। GfE में तुलनाभौतिक मेट्रिक और पदार्थ/वक्रता से प्रेरित उच्च-क्रम मेट्रिक के बीच है। “उच्च-क्रम” का अर्थ अतिरिक्त स्पेसटाइम वमिण नहीं है। मॉडल स्केलर, वेक्टर-जैसे और बड़े वेक्टर-जैसे ज्यमितीय क्षेत्रों को एक बड़ी वस्तु में समेटता है। गतिशील **G-field** इन घटकों को जोड़ता है और गुरुत्वकर्षण तथा पदार्थ वाले हिससों में इससे मिला मेट्रिक को प्रभावी रूप देता है। ढाँचा इस तरह बनाया गया है कि कम-ऊर्जा कम-वक्रता सीमा में उसका ऐक्शन समान्य सन्निकषता के Einstein-Hilbert ऐक्शन और पदार्थ-ऐक्शन में घट जाए।

इस वक्र्य से जरूरत से ज्यादा निष्कर्ष नहीं निकलना चाहिए। किसी सीमा में Einstein समीकरण वमस पता प्रस्तुत के लिए संगति की कसौटी है; इससे यह सन्नति नहीं होता कि उस सीमा के बहर प्रकृति बड़े सिद्धांत का इस्तेमाल करती है।

GfE फ़िल्ड समीकरणों में एक गतिशील पद भी है जिसे ढाँचा उभरता प्रभावी डार्क-एनर्जी पद कहता है। इस शोधपत्र में Bianconi मॉडल के आंतरिक-ऊर्जा घनत्व को उससे जोड़ती है। “प्रभावी डार्क एनर्जी” समीकरण में उसकी भूमिका बतती है; यह प्रेक्षणत्मक ब्रह्मंड-वज्जिम से निकली गई डार्क एनर्जी के साथ कई प्रयोगिक पहचान नहीं है।

“Entropy” शब्द के तीसरे अलग इस्तेमाल

समान्य ऊष्मगतिक एंटरमी बतती है कि कतिनी सूक्ष्म व्यवस्थाएँ एक स्थूल अवस्था दे सकती हैं। क्वैंटम रलिटिवि एंटरमी दो क्वैंटम अवस्थाओं की भेद्यता मनाती है। इस शोधपत्र की GQRE रलिटिवि एंटरमी से प्रेरित मॉडल-वशिष्ट ज्यमितीय रचना है और गुरुत्वीय लैंग्वेजियन के रूप में इस्तेमाल होती है। नम मलिते-जुलते हैं, रखायाँ एक-दूसरे की जगह नहीं रखी जा सकती, GfE के भीतर जनि संबंधों की जरूरत है, शोधपत्र उन्हें निकलता है।

मॉडल के भीतर सटीक ऊष्मगतिक नतीजा

शोधपत्र पहले GfE ढाँचे के अपने स्तर पर काम करता है। हर क्रम और ज्यमितीय स्वतंत्रताडिग्री के प्रकार के लिए, index k के साथ, यह परिभाषित करता है:

- GQRE से स्थानीय k -एंटरमी
- मॉडल की आंतरिक-ऊर्जा घनत्व से स्थानीय k -ऊर्जा
- संयुग्मी k -तन्मम;
- और k -दब।

ये रशायिँस्थमिय पहले नयिम कापलन करतीहैं। शेषपत्र के संकेत-लेखन में,

$$\delta\epsilon_k = \theta_k \delta s_k - \pi_k \delta v$$

सूचकंक k अलग पदार्थोयाब्रह्मंडीय युगोकीसूचीनहीहै। समरूप/समदैशिक गणनामें यह पँच प्रवर्षिटियोकोचनिहति करताहै: एक स्केलर प्रवर्षिटि; वेक्टर-जैसे क्षेत्र से अलग समय-जैसीऔर स्थान-जैसीप्रवर्षिटियाँ और बह्वेक्टर-जैसे क्षेत्र से अलग समय-स्थान तथास्थान-स्थान प्रवर्षिटियाँ। स्केलर काकोई दशित्मक सूचकंक नहीं वेक्टर-जैसा क्षेत्र समय और स्थान कीदशिक्षों कोअलग करताहै; बह्वेक्टर दशिक्षों कीजोड़ियोसे बनताहै। हर क्षेत्र अपनातममम और दम रख सकताहै। संबंधित G-field घटक के अनुसार k-तममम धनत्मक याऋणत्मक भीहोसकताहै।

ये तममम ब्रह्मंडीय क्षतिजि के पस थर्ममिटर रखकर ममे गए तममम नहींहैं। ममक de Sitter क्वंटम-फील्ड तममम H के सग बदलताहै: Gibbons-Hawking तममम ब्रह्मंडीय क्षतिजि कोदयिजताहै, जबकि Bunch-Davies vacuum ममक de Sitter-अपरवर्तीक्वंटम अवस्थाहै जिसके फील्ड सहसंबंध उससे जुड़ीऊष्मिय प्रतक्रियादेते हैं। शेषपत्र इन्हें अपने ज्यमतिथि k-तमममोसे सफ़ अलग करताहै, जोde Sitter उदहरण में H^2 के सग बदलते हैं। यहाँ“तममम” एंटरमीऔर ऊर्जाकीपरभिषाओं से नकिले ऊष्मगतिक सहचर चर कानम है।

इसलिए पहले नयिम जैसीयह संरचनासचमुच व्युत्पन्न कीगई है, लेकिन नषिकर्ष GfE के भीतर काहै: GfE ऐक्शन और उसकीपरभिषाएँ मम लें, तोयह ऊष्मगतिक संबंध नकिलताहै।

Friedmann गणनाएक सन्नकिटन क्योंहै

औपचारिक ढँचे कोब्रह्मंडीय उदहरण में लगने के लिए शेषपत्र समरूप और समदैशिक Friedmann-Robertson-Walker (FRW) स्पेसटाइम इस्तेमाल करताहै। “समरूप” कामतलब बड़े पैममे के मॉडल कीऔसत विशेषताएँ हर स्थान पर समम; “समदैशिक” कामतलब हर दशिमें समम। एक स्केल-फैक्टर बतताहै किदूरियाँसमय के सग कैसे बढ़तीहैं; पदार्थ कोचकिना परपूरण द्रव ममाजताहै; Hubble पैरमिटर H वसितर कीदर कोसंक्षेप में बतताहै। यह अलग-अलग आकाशगंगाओं का नक्शानही एक आदर्शकृत पृष्ठभूमिहै।

लेकिन यहाँसंरचनत्मक अंतर है। Friedmann ब्रह्मंड Einstein समीकरणोकोहल करते हैं। वे समम्य रूप से पूरे उच्च-क्रम GfE समीकरणोकोहल नहींकरते, जोस्केलर, वेक्टर-जैसे, बह्वेक्टर-जैसे क्षेत्रोऔर G-field के अवकलजोपर भी नजर रखते हैं। Einstein समीकरण प्रस्तम कीप्रथम-क्रम, कम-ऊर्जा कम-वक्रतासीमामें हीवपस आते हैं।

शेषपत्र यह बत सीधे कहताहै और Friedmann समममोकोसन्नकिटन कीतरह इस्तेमाल करताहै — कुछ वैसाजैसे किसी अधिक पूरण सद्धित में मीम-फील्ड सममम डलकर जाँचाजाए कि सन्नकिटन कहाँभरोसेमंद रहताहै। इस क्षेत्र में कम ऊर्जाऔर कम वक्रताचहिए, जसि $l_P H \ll 1$ से संक्षेपति कयिागयाहै, जहाँ l_P Planck लंबई है। दूसरीशरत प्रेरति उच्च-क्रम मेट्रिक और व्युत्क्रम भैतिक उच्च-क्रम मेट्रिक के गुणनफल कोधनत्मक-नश्चिति रहने देतीहै।

इसलिए नतीजा“GfE हमारे ब्रह्मंड काइतिहास भवषियवणीकरताहै” नहींहै। अधिक सहीपढ़ई है: यदि GfE ब्रह्मंड कोपरचिति Friedmann ब्रह्मंड-वज्जम से पर्यप्त अच्छीतरह सन्नकिट कयिाजासकताहै, तोपूरे GfE कीरशायिँये ऊष्मगतिक स्केलिंग देतीहैं।

स्थलीय ब्रह्म कुल परणिस

इस अवस्थामें अग्रणीस्थलीय रणियाँ सरल स्केलिंग दिखती हैं:

- मॉडल का एंटरमीघनत्व H^2 के साथ बदलता है;
- मॉडल का ऊर्जाघनत्व H^4 के साथ बदलता है;
- देर-समय वाले गैर-de Sitter Friedmann उदहरणोंमें ये लगभग t^{-2} और t^{-4} बनते हैं।

इसलिए वस्तु के साथ दमोघनत्व गरिते हैं। लेकिन घनत्व कुल मत्तानही है।

शेषपत्र फैलते स्पेसटाइम क्षेत्र पर समकलन करता है तो बढता आयतन उत्तर बदल देता है। परचिति पदार्थ-प्रधम और वकिरण-प्रधम उदहरणोंमें प्रतदि कई आयतन एंटरमीघटने के बज्जूद कुल एंटरमीसमय के साथ बढती है। कुल ऊर्जालगत नही बढती अग्रणीक्रम पर वह स्थरि मत्त के पस पहुँचती है।

यह शेषपत्र का सबसे उपयोगी वैचारिक नतीजा है। स्थलीय पतलपन या क्रमबद्धता अपने आप वैश्विक दूसरे नियम से नहीं टकराती। यदि स्पेसटाइम का आयतन तेजीसे बढ रहा हो तो एंटरमीघनत्व घट सकता है और समकलति एंटरमीफरि भी बढ सकती है।

गणना यह सन्नति नहीं करती कि वस्तु कि ब्रह्मंड में समय के ऊष्मगतिक तीर की सूक्ष्म व्याख्या है। वह दिखती है कि प्रस्तमति ढँचा अपने Friedmann सन्नकिटन में स्थलीय और वैश्विक परणिसोको बनावरिधमस के साथ रख सकता है।

de Sitter तुलना लेकिन अलग तपमत्त के साथ

शेषपत्र de Sitter स्पेस भी देखता है — स्थरि H वला आदर्शकृत, घतंकीय रूप से फैलता स्पेसटाइम। एक पर्यवेक्षक के लिए केवल सीमिति कारणत्मक डयमंड पर समकलन किया जाता है: पहले की घटना के भविष्य प्रकाश-शंकु और बढ की घटना के अतीत प्रकाश-शंकु का अतवियमन, यमीवह स्पेसटाइम क्षेत्र जो उन दमोघटनओं के बीच अवलोकन में भाग ले सकता है। इस डयमंड में कुल GfE एंटरमी H^{-2} के साथ बदलती है, वही H -स्केलिंग जो परचिति Gibbons-Hawking एंटरमी की है। कुल GfE ऊर्जामॉडल की इकाइयोंमें लगभग एक के क्रम की है।

ब्रह्मंडीय पृष्ठभूमियो का एक परिवार

FRW समरूप/समदैशिक ज्यमति योका परिवार है, कई अलग जगह नहीं। पदार्थ-प्रधम और वकिरण-प्रधम ब्रह्मंड उसी परिवार के मत्तले हैं, उनमें क्या भरा है इसके आधार पर अलग। de Sitter स्पेस भी FRW रूप में लिखा जा सकता है, लेकिन स्थरि H और घतंकीय वस्तु वलानरिवत-प्रधम मत्तला है। कारणत्मक डयमंड उसी स्पेसटाइम में पर्यवेक्षक के लिए चुना सीमिति क्षेत्र है; कई अलग ब्रह्मंड नहीं।

स्केलिंग कामेल उसी भौतिक वस्तु को निकल देना नहीं है। संबंधित GfE k -तपमत्त H^2 के साथ बदलता है, जबकि मत्तक de Sitter तपमत्त H के साथ। शेषपत्र इस अंतर को इस संकेत के रूप में देखता है कि k -तपमत्त स्पेसटाइम की ज्यमति से जुड़ा है, पृष्ठभूमि पर क्वंटम फील्ड से नहीं।

फरि यह सुझाव देता है कि ऐसा तपमत्त समस्त कण-उत्सर्जन की जगह ग्रैविटि वकिरण से जुड़ा हो सकता है। यह भविष्य का प्रश्न है, इस शेषपत्र कानती जान नहीं। सदिधत का पहले क्वंटिकरण करना होगा तभी पता चलेगा कि उसके तपमत्त किसी

वकिरण से मेल खते हैं यानही।

यह क्यासमिति नहीकरता

- यह प्रेक्षणत्मक रूप से नहीदखिताकि गुरुत्वकर्षण एंटरमीसे उभरताहै।
- यह स्थापति नहीकरताकि मॉडल काप्रभवीपद ब्रह्मंड-वज्जित में ममीगई डाक एनर्जीहै।
- यह समम्य समेकताकोकिसीसद्धि रूप से बेहतर सद्धिंत से प्रतस्थिति नहीकरता GR प्रस्तम कीकम-ऊर्जा कम-वक्रतासीमाहै।
- यह Friedmann ब्रह्मंडीय मॉडलोकोसटिक GfE समम्य नहीबनता वे ऊष्मगतिक व्यवहार काअनुमत लगाने वाले सन्नकिटन हैं।
- यह स्पेसटाइम कीस्वतंत्रताडिग्रियोकीपूरीसूक्ष्म गणनानहीनकिलता।
- यह पूर्ण क्वंटम-गुरुत्वकर्षण सद्धिंत याग्रैवटिमें कीपहचन नहीदेता।
- यह नहीदखिताकि ऋणत्मक k -तप्तम समम्य थर्ममीटर कीऋणत्मक रीडिंग हैं।

नतीजाकतिनामजबूत है?

यह सहकर्मिसमिति सैद्धंतिक शोधपत्र है, इसलिए यहाँ“सम्क्ष्य” काअर्थ प्रयोग से अलग है। सहीसवाल हैं: क्या परिभाषा संगत हैं? क्याव्युत्पत्तियाँउनसे नकिलतीहैं? क्यासन्नकिटन सफ़ और नियंत्रित हैं?

उस स्तर पर शोधपत्र GfE के लिए ठोस ऊष्मगतिक शब्दमलीदेताहै और केवल उपमापर निर्भर रहने के बजाय पहले नियम कीसंरचनानकिलताहै। सन्नकिटन कीसीमाभीअसमम्य रूप से स्पष्ट है: Friedmann समम्य GR से लिए जाते हैं, उनमें GfE रखायाइलीजतीहै और नतीजे उस क्षेत्र तक सीमित हैं जहाँप्रेरित मेट्रिक अच्छीतरह व्यवहार करतीहै।

बड़े भौतिक दम खले हैं। ढँसानयाहै, शोधपत्र ब्रह्मंड-वज्जित कीडेटासे तुलनानहीकरता और क्वंटिकरण, कम्पैक्ट-ज्यमिति गतशीलतातथासंभवति ग्रैवटिमें वकिरण जैसीदलिचस्प परिणतियाँभवष्य के कम के रूप में दीगई हैं। आंतरिक संगति किसीनए गुरुत्वकर्षण सद्धिंत के लिए जरूरीहै; प्रकृति कावरणन करने के लिए पर्याप्त नहीं।

यह क्योंमयने रखताहै

गुरुत्वकर्षण और ऊष्मगतिकीकासंबंध पुरानाऔर गहराहै — ब्लैक-होल एंटरमीसे de Sitter तप्तम तक। इनमें से कई नतीजे क्षतिजोके आसपास संगठित हैं। GfE इसके बजाय पदार्थ और ज्यमिति के संबंध से स्थानीय, आयतन-आधारित सूचनमम बनने कीकोशिश करताहै।

यह प्रस्तम टकिंगायानही खुलाप्रश्न है। लेकिन यह ऊष्मगतिक अभ्यास किसीभीएसे सद्धिंत के लिए उपयोगीलक्ष्य उज्जगर करताहै: फैलते ब्रह्मंड में स्थानीय संरचनाऔर घटतास्थानीय एंटरमीघनत्व बढ़तीकुल एंटरमीके सथ कैसे रह सकते हैं?

यह शोधपत्र एक गणतिरूप से स्पष्ट तरीकादखिताहै। इसकाअर्थ यह नहीकि गुरुत्वकर्षण-एंटरमीकीसमस्याबंद हो गई; महत्व यह है कि समस्याकाएक हस्साएसे समीकरणोंमें बदलताहै जनिकीधराएँ, सीमाएँ और अगलीजँघे सफ़ कही जासकतीहैं।

संक्षेप में

Bianconi Gravity From Entropy के भीतर एक ऊष्मगतिक वर्णन नकिलती है — Geometric Quantum Relative Entropy पर आधारित एक प्रस्तुति संश्लेषित-गुरुत्व ढँचा मॉडल की स्थलीय एंटरपी ऊर्जा तन्मम और दब की रशियाँ पहले नयिम कापलन करती है। पूरे GfE की रशियों को कम-ऊर्जा कम-वक्रता वाले Friedmann सन्निकटनो पर आँकने पर स्थलीय एंटरपी और ऊर्जा घनत्व वस्तु के साथ गरिते हैं, जबकि बिदता स्पेस टाइम आयतन कुल एंटरपी को बढ़ता है; पदार्थ- और विकिरण-प्रधान उदहरणों में अग्रणी क्रम पर कुल ऊर्जा स्थिर मम के पास पहुँचती है। de Sitter कारणत्मक डायमंड की एंटरपी H^{-2} स्केलिंग देती है, लेकिन मॉडल का तन्मम ममक क्षतिजि-तन्मम से अलग है। ये GfE के भीतर सशर्त गणित नतीजे हैं — गुरुत्व क्लर्षण एंटरपी से आता है इसका प्रेक्षणत्मक सम्प्य, ममीगई डार्क एनर्जी की वयख्या या पूर्ण क्वंटम-गुरुत्व क्लर्षण सिद्धि नहीं।

स्रोत

Ginestra Bianconi, Thermodynamics of the gravity from entropy theory, Physical Review D 114, 024042 (2026)
<https://doi.org/10.1103/26kn-thgp>