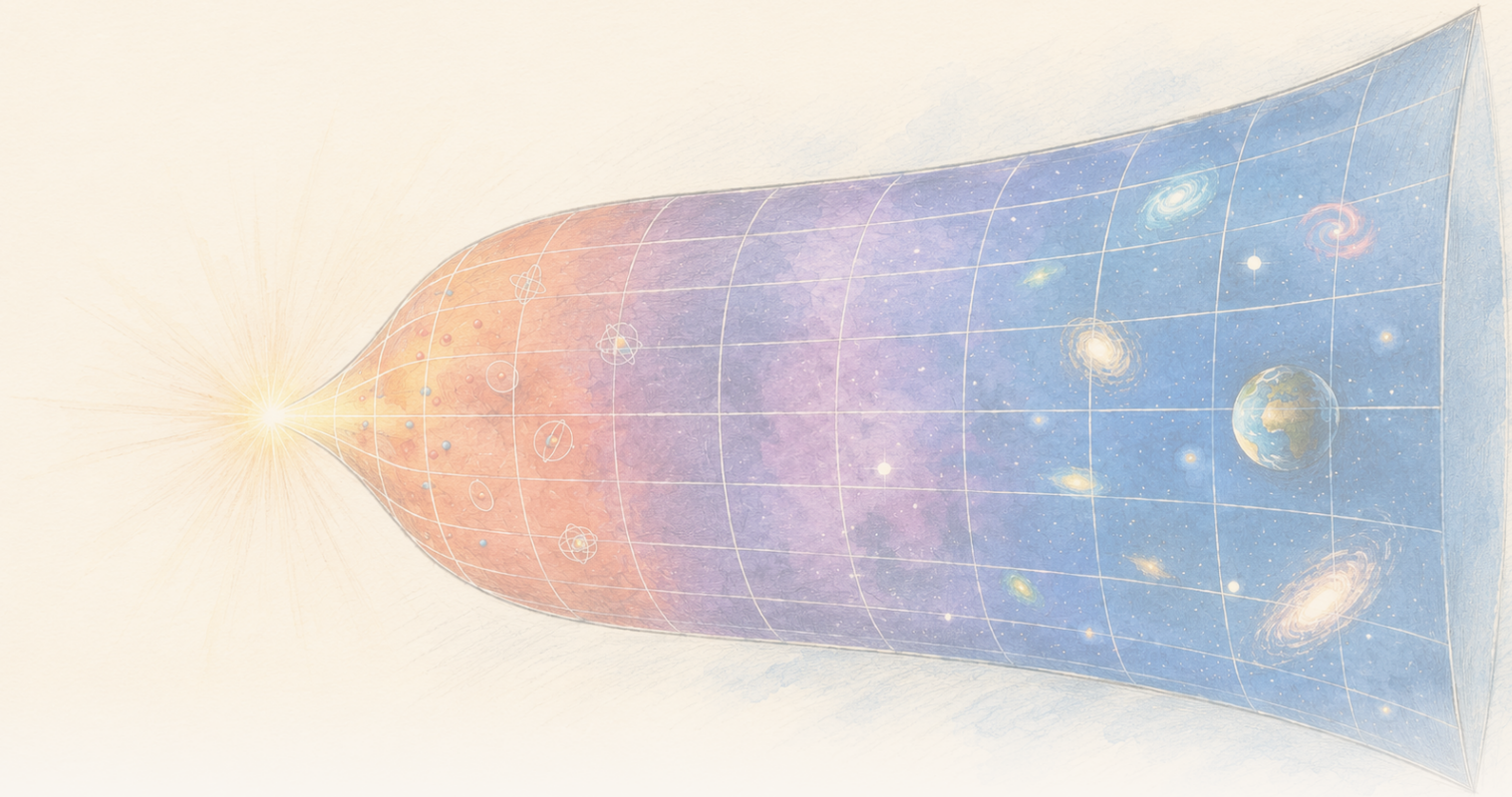

The Clean Paper

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

Entropy-ভিত্তিক মহাকর্ষ মডেলে-এ স্থানীয় এন্ট্রপি ঘনত্ব কমে, কিন্তু মোট এন্ট্রপি বাড়তে পারে

Physical Review D-এর একটি গবেষণাপত্র Gravity From Entropy নামের প্রস্তাবিত modified-মহাকর্ষ কাঠামো-এর ভেতরে তাপমাত্রা, চাপ ও প্রথম সূত্র নির্ণয় করেছে। দীর্ঘ-সময়ের, কম-বক্রতার Friedmann approximation-এ মডেলের স্থানীয় এন্ট্রপি ও energy ঘনত্ব কমে, অথচ প্রসারণ মোট এন্ট্রপি বাড়ায়। হিসাবটি স্পষ্ট, কিন্তু শর্তসাপেক্ষ: Friedmann cosmology পূর্ণ তত্ত্বের exact সমাধান নয়, এবং এটি মহাকর্ষ এন্ট্রপি থেকে আসে—এমন পর্যবেক্ষণমূলক প্রমাণ, পরিমাপ করা dark energy-র ব্যাখ্যা বা পূর্ণ quantum-মহাকর্ষ theory নয়।

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

প্রসারিত আয়তনে ঘনত্ব কমলেও মোট পরিমাণ বাড়তে পারে

এই মডেলে মহাবিশ্ব প্রসারিত হওয়ার সঙ্গে এন্ট্রপির ঘনত্ব কমে। তাহলে মোট এন্ট্রপি কীভাবে বাড়ে?

একটি প্রসারিত মহাবিশ্বকে অসংখ্য ছোট কোষে ভাগ করে ভাবুন। প্রতিটি কোষে কোনো কিছুর পরিমাণ কমতে পারে, অথচ ক্রমে বড় হতে থাকা পুরো অঞ্চলে তার মোট পরিমাণ বাড়তে পারে। আয়তন নিজেই বদলালে ঘনত্ব কমা আর মোট পরিমাণ বাড়া পরস্পরবিরোধী নয়।

এই সহজ হিসাবের প্রশ্নটিই অনেক বেশি উচ্চাকাঙ্ক্ষী একটি তাত্ত্বিক গবেষণাপত্রের কেন্দ্রে। Physical Review D-তে গাণিতিক পদার্থবিদ Ginestra Bianconi **মহাকর্ষ থেকে এন্ট্রপি** (GfE)-এর একটি তাপগতবিদ্যাগত বর্ণনা তৈরি করেছেন। GfE সাম্প্রতিক একটি প্রস্তাবিত মডেল, যেখানে পদার্থ ও জ্যামিতির মধ্যকার তথ্যতাত্ত্বিক সম্পর্ক দিয়ে মহাকর্ষকে প্রকাশ করা হয়। এখানে "তথ্যতাত্ত্বিক" বলতে বোঝানো হচ্ছে—মডেলটি জ্যামিতির দুটি বর্ণনা, ভৌত জ্যামিতি এবং পদার্থ ও বক্রতা থেকে প্রবাহিত জ্যামিতি, কতটা আলাদা তার একটি গাণিতিক মাপ দিয়ে শুরু করে।

গবেষণাপত্রটি k-এন্ট্রপি, k-শক্তি, k-তাপমাত্রা এবং k-চাপ নামে স্থানীয় রাশি নির্ণয় করে। এখানে k উপসর্গটি মডেলের বিভিন্ন জ্যামিতিক খাত আলাদা করে; এগুলো আলাদা পদার্থ বা মহাজাগতিক যুগ নয়। তাদের প্রথম-সূত্র সম্পর্ক তাপগতবিদ্যার পরিচিত হিসাবের একই রূপ অনুসরণ করে: শক্তির পরিবর্তন = তাপমাত্রা $\times$ এন্ট্রপির পরিবর্তন $-$ চাপ $\times$ আয়তনের পরিবর্তন।

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

এরপর প্রসারিত Friedmann মহাবিশ্ব—বড় স্কেলে সমসত্ত্ব ও সমদিকীয় একটি আদর্শায়িত মহাবিশ্ব—ব্যবহার করে রাশিগুলো মূল্যায়ন করা হয়। কম শক্তি ও সামান্য বক্রতার সীমায়, পদার্থ-প্রধান ও বিকিরণ-প্রধান উদাহরণে স্থানীয় এন্ট্রপি ও শক্তি-ঘনত্ব কমে, কিন্তু প্রসারণ এত বেশি আয়তন যোগ করে যে মোট এন্ট্রপি বাড়ে। প্রধান ক্রমে মোট শক্তি ধ্রুবকের দিকে যায়—অর্থাৎ দীর্ঘ সময়ে প্রধান পদগুলো রেখে দ্রুত মিলিয়ে যাওয়া পদগুলো বাদ দিলে।

এটি একটি পরিষ্কার গাণিতিক ফল। এর সীমানাটিও সমান গুরুত্বপূর্ণ: হিসাবটি **একটি প্রস্তাবিত তত্ত্বের ভেতরে**, আর নির্দিষ্ট উদাহরণ হিসেবে ব্যবহৃত Friedmann মহাজাগতিকতত্ত্ব পূর্ণ GfE সমীকরণের **আনুমানিক**, সুনির্দিষ্ট সমাধান নয়। GfE ক্রিয়ার পরিবর্তন থেকে যে গতিসমীকরণ পাওয়া যায়, তাতে গতিশীল G ক্ষেত্রের ও উচ্চতর-ক্রমের জ্যামিতিক খাত আছে, যা সাধারণ Friedmann সমীকরণে নেই। গবেষণাপত্রটি মহাকর্ষ এন্ট্রপি থেকে তৈরি হয়—এটি পর্যবেক্ষণ করেনি, আমাদের মহাবিশ্বের ডার্ক শক্তি শনাক্ত করেনি এবং কোনো পূর্ণাঙ্গ কোয়ান্টাম-মহাকর্ষ তত্ত্ব তৈরি করেনি।

মহাকর্ষ থেকে এন্ট্রপি কী ধরে নেয়

সাধারণ আপেক্ষিকতা স্থানকালের জ্যামিতি দিয়ে মহাকর্ষ বর্ণনা করে। পদার্থ স্থানকালকে কীভাবে বাঁকতে হবে তা নির্ধারণ করে, আর সেই বক্রতা পদার্থকে কীভাবে চলতে হবে তা বলে। GfE শুরু করে ভিন্ন একটি প্রস্তাবিত ক্রিয়া থেকে: মেট্রিক-সম্পর্কিত একটি বিস্তৃকে কোয়ান্টাম অপারেটর হিসেবে ধরে এবং **জ্যামিতিক কোয়ান্টাম আত্মীয় এন্ট্রপি** (GQRE) থেকে ল্যাগ্রাঞ্জিয়ান তৈরি করে।

> **120 সেকেন্ডে তিনটি শব্দ**
>
> **কোয়ান্টাম অপারেটর** হলো কোয়ান্টাম অবস্থার ওপর কাজ করা একটি গাণিতিক নিয়ম, যা কোনো রাশি বা রূপান্তরকে প্রকাশ করে। GfE ধরে মেট্রিক-সম্পর্কিত বস্তুকে এভাবে বিবেচনা করা যায়; এই নিবন্ধে পাঠককে সেই নির্মাণ নিজে পুনরাবৃত্তি করতে হবে না। **ল্যাগ্রাঞ্জিয়ান** হলো কোনো তত্ত্বের গতিবিদ্যার সংক্ষিপ্ত গাণিতিক পদ্ধতি। স্থানকাল জুড়ে এটিকে সমাকলন করলে ক্রিয়া পাওয়া যায়; ক্রিয়া পরিবর্তন করে ক্ষেত্রের সমীকরণ নির্ণয় করা হয়।

> **GQRE** হলো GfE-তে বেছে নেওয়া মডেল-নির্দিষ্ট লাগ্রাঞ্জিয়ান। এটি কোয়ান্টাম আত্মীয় এন্ট্রপির ধারণা ব্যবহার করে ভৌত মেট্রিকের সঙ্গে পদার্থ ও বক্রতা থেকে প্রেরোচিত উচ্চতর-ক্রম মেট্রিক তুলনা করে। নামের মধ্যে "এন্ট্রপি" থাকলেই এটি সাধারণ তাপগতবিদ্যাগত এন্ট্রপি হয়ে যায় না।

আত্মীয় এন্ট্রপি সাধারণত দুটি সম্ভাবনা বণ্টন বা কোয়ান্টাম অবস্থা কতটা পৃথক করে চেনা যায় তার মাপ। GfE-তে তুলনাটি ভৌত মেট্রিক এবং পদার্থ ও বক্রতা থেকে প্রেরোচিত উচ্চতর-ক্রম মেট্রিকের মধ্যে। "উচ্চতর-ক্রম" মানে অতিরিক্ত স্থানকাল মাত্রা নয়। মডেলটি স্কেলার, ভেক্টর-ধরনের এবং দ্বিভেক্টর-ধরনের জ্যামিতিক খাতকে একটি বড় বস্তুর মধ্যে একত্র করে। গতিশীল **G ক্ষেত্রের** এই উপাদানগুলোর সম্পর্ক নির্ধারণ করে এবং মহাকর্ষ ও পদার্থের অংশে ব্যবহৃত মেট্রিককে কার্যকরভাবে রূপান্তরিত করে। কাঠামোটি এমনভাবে বানানো যে কম শক্তি ও সামান্য বক্রতার সীমায় ক্রিয়া সাধারণ আপেক্ষিকতার Einstein-হিলবার্ট ক্রিয়া + পদার্থ ক্রিয়ায় নেমে আসে।

শেষ কথাটিকে বেশি অর্থ দেওয়া সহজ। সীমায় Einstein সমীকরণ ফিরে পাওয়া প্রস্তাবটির সামঞ্জস্যের লক্ষ্য। প্রকৃতি ওই সীমার বাইরে এই বৃহত্তর তত্ত্বই ব্যবহার করে—তা এতে দেখানো হয় না।

GfE ক্ষেত্রের সমীকরণে এমন গতিশীল পরিভাষাও আছে, যাকে কাঠামোটি **উদ্ভূত কার্যকর ডার্ক-শক্তি পদ** বলে। এই গবেষণাপত্রে Bianconi মডেলের অভ্যন্তরীণ-শক্তি ঘনত্বকে ওই পদের সঙ্গে শনাক্ত করেন। "কার্যকর ডার্ক শক্তি" বলার অর্থ সমীকরণে তার ভূমিকা। মহাজাগতিক পর্যবেক্ষণ থেকে অনুমিত ডার্ক শক্তির সঙ্গে এটি পর্যবেক্ষণভিত্তিকভাবে একই জিনিস—এমন প্রমাণ নয়।

> **"এন্ট্রপি" শব্দটির তিনটি আলাদা ব্যবহার**
>
> **সাধারণ তাপগতবিদ্যাগত এন্ট্রপি** গোনে কত অণুস্তরীয় বিন্যাস একই বৃহৎ-স্তরের অবস্থা তৈরি করতে পারে। **কোয়ান্টাম আত্মীয় এন্ট্রপি** মাপে দুটি কোয়ান্টাম অবস্থা কতটা পৃথক করে চেনা যায়। এই গবেষণাপত্রের **GQRE** হলো আত্মীয় এন্ট্রপি থেকে অনুপ্রাণিত একটি মডেল-নির্দিষ্ট জ্যামিতিক নির্মাণ, যেটিকে মহাকর্ষীয় লাগ্রাঞ্জিয়ান হিসেবে ব্যবহার করা হয়েছে। নামের মিল থাকলেই রাশিগুলো একে অন্যের সমান হয়ে যায় না; GfE-র ভেতরে ব্যবহৃত সংযোগটি গবেষণাপত্রে নির্ণয় করা হয়েছে।

মডেলের ভেতরের সুনির্দিষ্ট তাপগতবিদ্যাগত ফল

গবেষণাপত্রটি প্রথমে GfE কাঠামোর নিজস্ব স্তরে কাজ করে। k দিয়ে চিহ্নিত প্রতিটি ক্রম এবং জ্যামিতিক স্বাধীনতার মাত্রার ধরনের জন্য সংজ্ঞায়িত করা হয়:

- GQRE থেকে স্থানীয় k-এন্ট্রপি;
- মডেলের অভ্যন্তরীণ-শক্তি ঘনত্ব থেকে স্থানীয় k-শক্তি;
- তার সহযুগ্ম k-তাপমাত্রা;
- এবং k-চাপ।

এই রাশিগুলো স্থানীয় প্রথম সূত্র মেনে চলে:

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

সূচক k আলাদা পদার্থ বা মহাবিশ্বের আলাদা যুগ নয়। সমসত্ত্ব-সমদিকীয় হিসাবটিতে পাঁচটি উপাদান থাকে: একটি স্কেলার; ভেক্টর-ধরনের খাতের কালসদৃশ ও স্থানসদৃশ প্রবেশ; এবং দ্বিভেক্টর-ধরনের খাতের সময়-মহাকাশ ও মহাকাশ-মহাকাশ প্রবেশ। স্কেলারের দিকসংক্রান্ত সূচক নেই; ভেক্টর-ধরনের সময়গত ও স্থানগত দিক আলাদা করে; দ্বিভেক্টর তৈরি হয় দুই দিকের জোড়া থেকে। প্রতিটি খাতের নিজস্ব তাপমাত্রা

ও চাপ থাকতে পারে। সংশ্লিষ্ট G ক্ষেত্রের উপাদানের ওপর নির্ভর করে k-তাপমাত্রা ধনাত্মক বা ঋণাত্মকও হতে পারে।

এগুলো মহাজাগতিক দিগন্তের কাছে তাপমাপক রেখে মাপা তাপমাত্রা নয়। মানক de Sitter কোয়ান্টাম-ক্ষেত্রের তাপমাত্রা H-এর সঙ্গে স্কেল করে: **Gibbons–Hawking তাপমাত্রা** মহাজাগতিক দিগন্তের জন্য নির্ধারিত, আর **Bunch–Davies শূন্যাবস্থা** মানক de Sitter-অপরিবর্তনীয় কোয়ান্টাম অবস্থা, যার ক্ষেত্র-সহসম্পর্ক সংশ্লিষ্ট তাপীয় প্রতিক্রিয়া দেয়। গবেষণাপত্রটি দুটিকেই তার জ্যামিতিক k-তাপমাত্রা থেকে আলাদা করে; de Sitter উদাহরণে k-তাপমাত্রা H^2-এর সঙ্গে স্কেল করে। এখানে "তাপমাত্রা" বলতে মডেলের এন্ট্রপি ও শক্তির সংজ্ঞা থেকে পাওয়া তাপগতবিদ্যাগত সহযুগ্ম চলক বোঝানো হচ্ছে।

তাই প্রথম-সূত্রের অভেদটি সত্যই নির্ণয় থেকে এসেছে, তবে এটি **তত্ত্বের অভ্যন্তরীণ ফল**: GfE ক্রিয়া ও সংজ্ঞা মেনে নিলে এই তাপগতবিদ্যাগত কাঠামো অনুসরণ করে।

Friedmann হিসাবটি কেন আনুমানিক

ফরমালজিমটিকে মহাজাগতিক উদাহরণে নিতে গবেষণাপত্র সমসত্ত্ব ও সমদিকীয় Friedmann-Robertson-Walker (FRW) স্থানকাল ব্যবহার করে। সমসত্ত্ব মানে বড় স্কেলে প্রতিটি স্থানের গড় বৈশিষ্ট্য একই; সমদিকীয় মানে প্রতিটি দিকে একই রকম। একটি স্কেল ফ্যাক্টর সময়ের সঙ্গে দূরত্ব বৃদ্ধিকে বর্ণনা করে, পদার্থকে মসৃণ নখুঁত তরল হিসেবে ধরা হয়, আর Hubble প্যারামিটার H প্রসারণের হারকে সংক্ষেপে প্রকাশ করে। এটি আদর্শায়িত পটভূমি, আলাদা গ্যালাক্সির মানচিত্র নয়।

কিন্তু এখানে গঠনগত অমিল আছে। Friedmann মহাবিশ্ব Einstein সমীকরণের সমাধান। সাধারণভাবে এটি পূর্ণ উচ্চতর-ক্রম GfE সমীকরণের সমাধান নয়; GfE স্কেলার, ভেক্টর-ধরনের, দ্বিভেক্টর-ধরনের খাত এবং G ক্ষেত্রের অন্তরকও অন্তর্ভুক্ত করে। Einstein সমীকরণ প্রস্তাবটির প্রথম-ক্রম, কম-শক্তির, সামান্য-বক্রতার সীমায় ফিরে আসে।

গবেষণাপত্রটি এই সীমাবদ্ধতা সরাসরি বলে এবং Friedmann সমাধানকে আসন্নীকরণ হিসেবে ব্যবহার করে—যেন পূর্ণ তত্ত্বের রাশির মধ্যে গড়-ক্ষেত্রের সমাধান বসিয়ে দেখা হচ্ছে কোথায় আসন্নীকরণ নির্ভরযোগ্য। এই পরিসরে কম শক্তি ও সামান্য বক্রতা দরকার, $l_P H \ll 1$, যেখানে l_P হলো প্ল্যাঙ্ক দৈর্ঘ্য। দ্বিতীয় শর্ত হলো প্রেক্ষিত উচ্চতর-ক্রম মেট্রিক $\times$ বিপরীত ভৌত উচ্চতর-ক্রম মেট্রিক ধনাত্মক-নির্দিষ্ট থাকা।

তাই ফলটি "GfE আমাদের মহাবিশ্বের ইতিহাস পূর্বাভাস করে" নয়। বরং: **যদি GfE মহাবিশ্বকে পরিচিত Friedmann মহাজাগতিকতত্ত্ব দিয়ে যথেষ্ট ভালোভাবে আনুমানিক করা যায়, তবে পূর্ণ GfE রাশিগুলো এই তাপগতবিদ্যাগত স্কেলিং দেয়।**

স্থানীয় ফল বনাম মোট ফল

এই পরিসরে প্রধান ক্রমে স্থানীয় রাশিগুলোর সহজ স্কেলিং পাওয়া যায়:

- মডেলের এন্ট্রপি ঘনত্ব H^2-এর মতো স্কেল করে;
- মডেল শক্তি ঘনত্ব H^4-এর মতো;
- দীর্ঘসময়ের non-de Sitter Friedmann উদাহরণে এগুলো আনুমানিক t^{-2} ও t^{-4}।

মহাবিশ্ব প্রসারিত হলে দুই ঘনত্বই কমে। কিন্তু ঘনত্ব মোট পরিমাণ নয়।

প্রসারিত স্থানকাল অঞ্চলের ওপর সমাকলন করলে বাড়তে থাকা আয়তন ফল বদলে দেয়। পরিচিত পদার্থ-প্রধান ও বিকিরণ-প্রধান উদাহরণে প্রতি একক আয়তনে এন্ট্রপি কমলেও মোট এন্ট্রপি সময়ের সঙ্গে বাড়ে। মোট শক্তি বাড়তেই থাকে না; প্রধান ক্রমে একটি ধ্রুবকের দিকে যায়।

এটাই গবেষণাপত্রের সবচেয়ে উপযোগী ধারণাগত ফল। স্থানীয় ঘনত্বহ্রাস বা স্থানীয় এন্ট্রপি ঘনত্ব কমে যাওয়া সামগ্রিক দ্বিতীয় সূত্রের সঙ্গে স্বয়ংক্রিয় বিরোধ নয়। স্থানকাল আয়তন আরও দ্রুত বাড়লে প্রতি একক আয়তনে এন্ট্রপি কমলেও সমন্বিত এন্ট্রপি বাড়তে পারে।

এই হিসাব বাস্তব মহাবিশ্বের তাপগতিবিদ্যাগত সময়ের দিকের সঠিক অণুস্তরীয় ব্যাখ্যা প্রমাণ করে না। এটি দেখায় যে GfE-র Friedmann আসন্নীকরণে স্থানীয়-সামগ্রিক পার্থক্যটি বিরোধ ছাড়াই রাখা যায়।

de Sitter তুলনা, কিন্তু তাপমাত্রা আলাদা

গবেষণাপত্র de Sitter মহাকাশও বিবেচনা করে—ধ্রুবক H-সহ আদর্শায়িত, সূচকীয়ভাবে প্রসারিত স্থানকাল। একজন পর্যবেক্ষকের জন্য কেবল একটি সসীম **কারণগত ডায়মন্ড**-এর ওপর সমাকলন করা হয়: আগের একটি ঘটনার ভবিষ্যৎ আলোক-শঙ্কু ও পরের একটি ঘটনার অতীত আলোক-শঙ্কুর ছেদে, অর্থাৎ ওই দুই ঘটনার মাঝখানে পর্যবেক্ষণে অংশ নিতে পারে এমন স্থানকাল-অঞ্চল। এই ডায়মন্ডে মোট GfE এন্ট্রপি H^{-2}-এর মতো স্কেল করে—পরিচিত Gibbons–Hawking এন্ট্রপির একই H-স্কেলিং। মডেলের একক মোট GfE শক্তি একক্রের ক্রমের।

> **মহাজাগতিক পটভূমির একটি পরিবার**
>
> FRW হলো সমসত্ত্ব-সমদিকীয় জ্যামিতির একটি পরিবার, আলাদা কোনো "জায়গা" নয়। পদার্থ-প্রধান ও বিকিরণ-প্রধান মহাবিশ্ব হলো FRW-এর আলাদা ক্ষেত্র, কী দিয়ে মডেল পূরণ তা দিয়ে পার্থক্য হয়। de Sitter মহাকাশও FRW রূপে লেখা যায়, তবে ধ্রুবক H ও সূচকীয় প্রসারণসহ শূন্যাবস্থা-প্রধান ক্ষেত্রের হিসেবে। কারণগত ডায়মন্ড হলো ওই স্থানকালের একজন পর্যবেক্ষকের জন্য বেছে নেওয়া সসীম অঞ্চল; অন্য কোনো মহাবিশ্ব নয়।

স্কেলিং মিলে যাওয়া মানেই একই ভৌত বস্তু উৎপাদন করা নয়। সংশ্লিষ্ট GfE k-তাপমাত্রা H^2-এর সঙ্গে স্কেল করে, মানক de Sitter তাপমাত্রার H স্কেলিংয়ের সঙ্গে নয়। গবেষণাপত্রটি এই পার্থক্যকে k-তাপমাত্রা কোয়ান্টাম ক্ষেত্রের বদলে স্থানকাল জ্যামিতির বৈশিষ্ট্য হওয়ার ইঙ্গিত হিসেবে ব্যাখ্যা করে।

এরপর একটি ইঙ্গিত আসে: এমন তাপমাত্রা সাধারণ কণা নির্গমনের বদলে গ্র্যাভিটন বিকিরণের সঙ্গে যুক্ত হতে *পারে*। এটি ভবিষ্যৎ প্রশ্ন, বর্তমান ফল নয়। তাপমাত্রা সত্যই বিকিরণের সঙ্গে সামঞ্জস্যপূর্ণ কি না দেখতে তত্ত্বটিকে আগে কোয়ান্টাইজ করতে হবে।

এটি কী প্রমাণ করে না

- মহাকর্ষ এন্ট্রপি থেকে উদ্ভূত হয়—এটি পর্যবেক্ষণে দেখায় **না**।
- মডেলের কার্যকর পরিভাষাটিই মহাজাগতিক পর্যবেক্ষণে মাপা ডার্ক শক্তি—এটি প্রতিষ্ঠা করে **না**।
- সাধারণ আপেক্ষিকতাকে পরীক্ষায় শ্রেষ্ঠ প্রমাণিত অন্য তত্ত্ব দিয়ে প্রতিস্থাপন করে **না**। এখানে GR হলো প্রস্তাবের কম-শক্তির, সামান্য-বক্রতার সীমা।
- Friedmann মহাজাগতিকতত্ত্বকে সুনির্দিষ্ট GfE সমাধান করে **না**; তাপগতিবিদ্যাগত আচরণ অনুমান করতে এটি আসন্নীকরণ হিসেবে ব্যবহৃত।
- স্থানকাল স্বাধীনতার মাত্রার পূর্ণ অণুস্তরীয় গণনা নির্ণয় করে **না**।
- পূর্ণাঙ্গ কোয়ান্টাম-মহাকর্ষ তত্ত্ব দেয় না বা গ্র্যাভিটন সনাক্ত করে না।
- ঋণাত্মক k-তাপমাত্রা সাধারণ তাপমাপকের ঋণাত্মক পাঠ—এটি দেখায় **না**।

ফলটি কতটা শক্তিশালী?

এটি সহকর্মী-পর্যালোচিত তাত্ত্বিক গবেষণাপত্র, তাই এখানে "প্রমাণ" পরীক্ষার তুলনায় ভিন্ন অর্থে ব্যবহৃত। প্রশ্ন হলো সংজ্ঞাগুলো সামঞ্জস্যপূর্ণ কিনা, উৎপাদন সঠিকভাবে অনুসরণ করে কিনা এবং আসন্নীকরণ স্পষ্ট ও নিয়ন্ত্রিত কিনা।

এই স্তরে গবেষণাপত্র GfE-র জন্য একটি নির্দিষ্ট তাপগতবিদ্যাগত অভিধান দেয় এবং কেবল সাদৃশ্যের ওপর নির্ভর না করে প্রথম-সূত্র কাঠামোটি নির্ণয় করে। আসন্নীকরণের সীমাও স্পষ্ট: Friedmann সমাধান সাধারণ আপেক্ষিকতা থেকে নেওয়া, GfE রাশিতে বসানো এবং প্রবোচিত মেট্রিক সুসংগত থাকে এমন পরিসরে সীমাবদ্ধ।

বৃহত্তর ভৌত দাবিগুলো এখনো খোলা। কাঠামোটি নিতুন; গবেষণাপত্রটি তার মহাজাগতিকতত্ত্বকে পর্যবেক্ষণ-তথ্যের সঙ্গে তুলনা করে না; আর কোয়ান্টাইজেশন, যোগাযোগ-জ্যামিতিক গতিবিদ্যা ও সম্ভাব্য গ্র্যাভিটন বিকিরণের মতো আকর্ষণীয় দিকগুলো ভবিষ্যৎ কাজ হিসেবে রাখা হয়েছে। নতুন মহাকর্ষ তত্ত্বের জন্য অভ্যন্তরীণ সামঞ্জস্য প্রয়োজনীয়, কিন্তু প্রকৃতি সত্যিই সেই তত্ত্ব অনুসরণ করে—তা দেখানোর জন্য যথেষ্ট নয়।

কেন এটি গুরুত্বপূর্ণ

মহাকর্ষ ও তাপগতবিদ্যার সম্পর্ক পুরোনো ও গভীর—কৃষ্ণ-গহ্বর এন্ট্রপি থেকে de Sitter তাপমাত্রা পর্যন্ত। অনেক ফল দিগন্তকেন্দ্রিক। GfE তার বদলে পদার্থ ও জ্যামিতির সম্পর্ক থেকে স্থানীয়, আয়তনভিত্তিক তথ্যের মাপ তৈরির চেষ্টা করে।

প্রস্তাব টিকে থাকবে কিনা, তা খোলা প্রশ্ন। কিন্তু তাপগতবিদ্যাগত অনুশীলন যেকোনো এমন তত্ত্বের জন্য একটি উপযোগী লক্ষ্য দেখায়: প্রসারিত মহাবিশ্বে স্থানীয় কাঠামো এবং কমতে থাকা স্থানীয় এন্ট্রপি-ঘনত্ব কীভাবে বাড়তে থাকা মোট এন্ট্রপির সঙ্গে সহাবস্থান করতে পারে, তা ব্যাখ্যা করতে হবে।

গবেষণাপত্রটি গাণিতিকভাবে স্পষ্ট একটি পথ দেখায়। মহাকর্ষ–এন্ট্রপি সমস্যা বন্ধ করে না; বরং অনুমান, সীমা ও পরবর্তী পরীক্ষা স্পষ্টভাবে লেখা যায় এমন সমীকরণে সমস্যার একটি অংশকে পরিণত করে।

সংক্ষিপ্ত সারাংশ

Bianconi মহাকর্ষ থেকে এন্ট্রপির ভেতরে একটি তাপগতবিদ্যাগত বর্ণনা নির্ণয় করেছেন—জ্যামিতিক কোয়ান্টাম আত্মীয় এন্ট্রপি-ভিত্তিক প্রস্তাবিত পরিবর্তিত-মহাকর্ষ কাঠামো। মডেলের স্থানীয় এন্ট্রপি, শক্তি, তাপমাত্রা ও চাপ চলক প্রথম সূত্র মেনে চলে। সম্পূর্ণ GfE রাশিকে কম-শক্তির, সামান্য-বক্রতার Friedmann আসন্নীকরণে মূল্যায়ন করলে মহাবিশ্ব প্রসারিত হওয়ার সঙ্গে স্থানীয় এন্ট্রপি ও শক্তি ঘনত্ব কমে, কিন্তু স্থানকাল আয়তন বাড়ায় মোট এন্ট্রপি বাড়ে; পদার্থ- ও বিকিরণ-প্রধান উদাহরণে প্রধান ক্রমে মোট শক্তি ধ্রুবকের দিকে যায়। de Sitter কারণগত ডায়মন্ডে এন্ট্রপি H^{-2}-এর মতো স্কেল করে, কিন্তু মডেলের তাপমাত্রা মানক স্তর তাপমাত্রা থেকে আলাদা। এগুলো GfE-এর ভেতরের শর্তসাপেক্ষ গাণিতিক ফল; মহাকর্ষ এন্ট্রপি থেকে আসে—এর পর্যবেক্ষণমূলক প্রমাণ নয়, পরিমাপ করা ডার্ক শক্তির ব্যাখ্যা নয়, পূর্ণাঙ্গ কোয়ান্টাম-মহাকর্ষ তত্ত্ব নয়।

উৎস

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