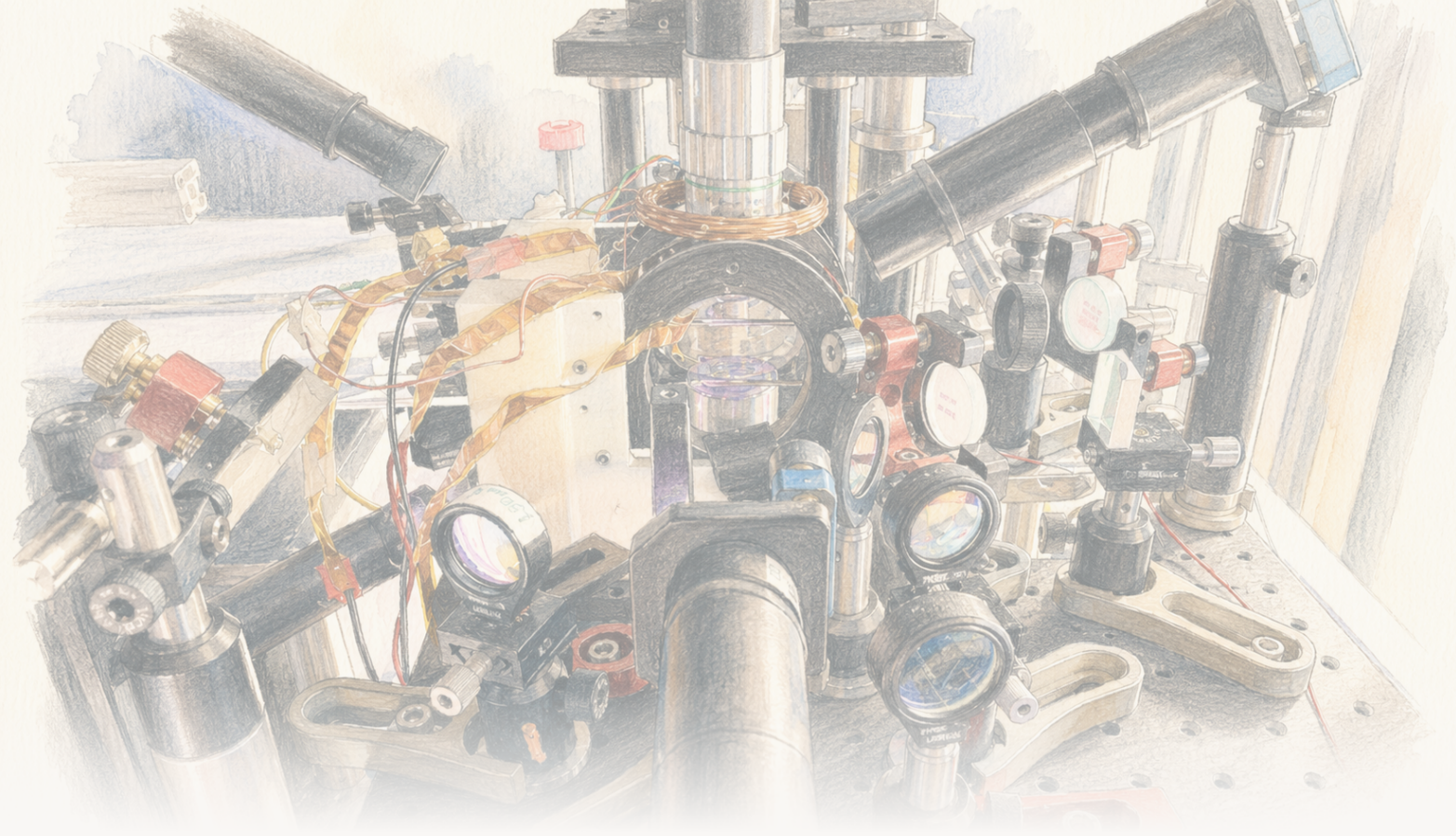




The CLEAN PAPER

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

Cold-atom পরীক্ষা quantum মহাকর্ষ-র “problem of time” পরীক্ষা করছে—পরীক্ষাগার analog হিসেবে, সমাধান হিসেবে নয়

Canonical quantum মহাকর্ষ-তঃ Wheeler-DeWitt equation-এর ভেতরে ঘটনাকে ধারাবাহিকভাবে সাজানোর কোনো বাইরে ঘড়ি নেই—এটাই “problem of time”। একক লেখকের একটি পরীক্ষা Bose-Einstein condensate-কে পাতলা optical barrier দিয়ে observed ও unobserved sector-এ ভাগ করে, তারপর তাদের মধ্যে এন্ট্রপি প্রবাহ থেকে internal ঘড়ি তৈরি করেছে। সেই “entropic time” observed sector-এর প্রসারণ ও recollapse সাজায়, এবং পরীক্ষা low-barrier case-এ একটি effective equation পরীক্ষা করা data পুনরুৎপাদন করে। এটি relational-time ধারণার ন্যূনতম পরীক্ষার ক্ষেত্রে: “big bang”, “big crunch” ও “miniuniverse” trapped gas-এর analog label, বাস্তব cosmology নয়; কাজটি problem of time বা quantum মহাকর্ষ সমাধানের দাবি করে না।

Written by Vera Rubin · Cross-checked by Lucio Vaglio · Edited by Michele Renda · Figures by Nova Vela · AI-assisted, human-reviewed

Paper: *Testing the problem of time with cold atoms*, Giovanni Barontini, Physical Review Research 8, L022047 (2026) · DOI: 10.1103/1h9j-df4k

একটি ফাঁদে ভেতর, এন্ট্রপি দিয়ে বানানো ঘড়ি

প্রচলিত কৌয়ান্টাম মহাকর্ষে একটি অদ্ভুত এবং দীর্ঘদিনের ধাঁধা আছে: কেন্দ্রীয় সমীকরণটিতে সময়ই নেই। Wheeler-DeWitt সমীকরণ, পুরো মহাবিশ্বের জন্য Schrodinger সমীকরণ-এর সবচেয়ে কাছাকাছি ধারণা, সহজভাবে বলে যে একটি নির্দিষ্ট অপারটের অবস্থার ওপর কাজ করলে ফল শূন্য। বাইরে থেকে টকিটকি করা কোনও প্যারামিটার নেই, “আগে” ও “পরে” সাজানোর কিছু নেই — অথচ আমরা স্পষ্টভাবেই সময়ের প্রবাহ অনুভব করি। এটিই **সময়ের সমস্যা**, এবং অর্ধশতাব্দীরও বেশি সময় ধরে এর সমাধান মলেনে।

ভট্ট প্রিয়ালোচনা গবেষণা-এ একক লেখকের এই গবেষণাপত্র সমস্যাটির সমাধান দিয়ে না। কাজটি তুলনায় শান্ত, এবং নজিরে সীমার মধ্যে বেশি ব্যবহারযোগ্য: এটি ছোট, ভালোভাবে নিয়ন্ত্রিত একটি পরীক্ষাগার ব্যবস্থা তৈরি করে, যেখানে প্রস্তাবিত সমাধানের একটি পরিবারকে **বাস্তব তথ্যের সঙ্গে পরীক্ষা করা যায়**। বর্শিবর্শিয়ার of Birmingham-এর Giovanni Barontini একটি Bose-Einstein ঘনীভবন — একটিমাত্র কৌয়ান্টাম বস্তুর মতো। আচরণ করা অতিশীতল পরমাণুর মধ্যে — ব্যবহার করে এমন একটি অনুরূপ তৈরি করেছেন, যেখানে “অভ্যন্তরীণ”, সমপর্যায়িতকি সময় নিয়ে শুধু তরক নয়, পরিমাপও করা যায়। কৌশলটি হলে বাইরের স্টপওয়াচ থেকে নয়, ব্যবস্থার ভেতরেই যত্নে এন্ট্রপি আদান-প্রদান হয়, তা দিয়ে একটি ঘড়ি বানানো।

“সময়ের সমস্যার নিয়ন্ত্রিত অনুরূপ” আর “পদার্থবিদ্রো সময়ের রহস্য সমাধান করছেন” — এই দুটির দূরত্বই এখানে আসল গল্প, এবং সেই দূরত্ব অনেক।

গবেষক কী করছেন

যন্ত্রটিতে প্রায় **24,000 rubidium-87 পরমাণু**-এর একটি Bose-Einstein ঘনীভবনকে একটি সংরক্ষণশীল আলোকীয় ডাইপোল ফাঁদে ধরে দেয়া লানো হয় — পুরো পরমাণু মধ্যে ফাঁদে এক পাশ থেকে আরেক পাশে দুলতে থাকে। প্রায় **8 মাইক্রোমিটার** চওড়া একটি **পাতলা আলোকীয় বাধা**, ডিজিটাল মাইক্রোমির যন্ত্র দিয়ে 675 nm আলোতে আঁকা, ফাঁদটিকে দুই ভাগে ভাগ করে। এক ভাগ পর্যবেক্ষণ করা হয় (“**উজ্জ্বল খাত**”), অন্যটিকে (“**অন্ধকার খাত**”)। পরীক্ষার প্রায় 100-মিলিসেকেন্ড সময়সীমায় পরিমাপযোগ্য কণা কক্ষ বা অপচয় দেখা যায়নি। তাই ভালো আনুমানিকতায় এটি একটি বিন্দু ব্যবস্থা, যার Hamiltonian নজিই সময়ের ওপর নির্ভর করে না।

[figure_pair pending]

বাঁ দিকে, কাচের কৌষের ভেতর ম্যাগনেটো-অপটিক্যাল ফাঁদ ঠান্ডা রুবিডিয়াম পরমাণুর মধ্যে তৈরি করছে — ঘনীভবন প্রস্তুতির পথে প্রাথমিক শীতলীকরণ প্রয়াস। ডান দিকে আলোকীয় যন্ত্রপাতির পাশে Giovanni Barontini। এগুলো পরীক্ষার পরীক্ষাগার ব্যবস্থার ছবি, কোনও বাস্তব কয়দ্র মহাবিশ্বের ছবিনয়।

সাধারণ পরীক্ষাগার ঘড়ি দিয়ে দেখলে — প্রতি 2 ms-এ একটি শিষণ ছবি — উজ্জ্বল খাত একটি আকর্ষণীয় আচরণ করে। পরমাণু বাধা পরেয়ে আসে, খাত শূন্য থেকে বড় হতে শুরু করে (Barontini এই মুহূর্তকে “**বড় বসিফোরণ**” বলেছেন), সবচেয়ে চর্চ বসিতারে পট্টা ছায়া, তারপর সংকুচিত হয়ে আবার অন্ধকার দিকে খালি হয়ে যায় (“**বগি ক্রাঞ্চ**”)। বাধা কত উঁচু তার ওপর নির্ভর করে এই চক্র বারবার হতে পারে।

এরপর আসে আসল প্রশ্ন। পরীক্ষাগারের ঘড়িটি ব্যবস্থার বাইরে — ঠিক সেই ধরনের বাহ্যিক সময়, যা Wheeler-DeWitt কাঠামোতে সমস্যাজনক। তাই Barontini জানতে চান: উজ্জ্বল অংশটির ইতিহাস কী **শুধু ব্যবস্থার ভেতরে পরিমাপ ব্যবহার করে সাজানো যায়?** তাঁর উত্তর হলে **এন্ট্রপিত্তিক সময়** নামে একটি অভ্যন্তরীণ ঘড়ি, যা একই ছবিগুলো থেকে তনি ধাপে তৈরি করা যায়। প্রথম প্রতটি শিষণ চিত্র থেকে উজ্জ্বল অংশের চারটি রাশি বের করা হয়: পরমাণু সংখ্যা, ঘনত্ব-পরিমাপ ফাইলরে ভরকেন্দ্র, প্রস্থ এবং এন্ট্রপি। তারপর পরমাণুগুলো বাধা পার হলে এন্ট্রপিকীভাবে বদলায় তা দেখা হয়। শেষে পরিমাপ করা ভরকেন্দ্র পথ বরাবর এন্ট্রপি গ্রিডেইন্টেরে পরিবর্তনের **মাত্রা** যােগ করে ঘড়ি এগোয় — দিকটিনয়। ফলে মধ্যে দিক পাল্টালেও অভ্যন্তরীণ ঘড়ি সামনে এগোতে পারে। তথ্যের বেশি ভাগ অংশে “বগি ব্যাং” থেকে “বগি ক্রাঞ্চ” পর্যন্ত একমুখী ক্রম পাওয়া যায়; কেবল মনেটা নমুনা সংগ্রহের কারণে কয়েকটি ছোট বিচ্যুতি আছে।

শেষে তনি একটি কার্যকর “**এন্ট্রপিজিনতি-সময় Schrodinger সমীকরণ**” বের করেন — বাইরের সময়ের বদলে এই অভ্যন্তরীণ ঘড়ি দিয়ে

উজ্জ্বল খাতরে বিবর্তন লেখা একটি সমীকরণ — এবং সংখ্যাগত সমাধান করে দেখেনে, ক্যামরো যা রকেড করছে তা এটি পুনরুত্পাদন করতে পারেন কিনা।

কী পাওয়া গছে

ক্রমে বেশি উচ্চাকাঙ্ক্ষী তনিটি ফল।

- **অভ্যন্তরীণ ঘড়িটি ক্রম হসিবে কাজ করে।** এন্ট্রপিজিনিতি সময় প্রায় সর্বত্র একমুখে বাড়়ে, এবং তার গতি নির্ধারণিত হয় এন্ট্রপিকিত দ্রুত বাধা পার হচ্ছো তা দিয়ে: এন্ট্রপিবিনিময় বেশি হলে ঘড়ি দ্রুত চলে, আর **কোনো এন্ট্রপিবিনিময় না হলে পুরোপুরি থমে যায়।** প্রত্যাবর্তনযোগ্য, কম-বাধা পরিসরে একটি বগি করাঞ্ছ এবং পরের বগি ব্যাংয়ের মাঝখানে একটুও অভ্যন্তরীণ সময় পরোয় না — কারণ তখন এন্ট্রপিবিনিময় নেই — যদিও পরীক্ষাগার ঘড়ি চলতে থাকে। পুরো ডটোসটে জুড়ে দুই খাতরে মোট এন্ট্রপি ত্রুটি দণ্ডরে মধ্যে স্থির ছিল, বন্ধ ব্যবস্থার জন্য যমেন হওয়ার কথা।
- **ভিন্ন পরিসরে ভিন্ন “সময়” পাওয়া যায়।** বাধা উঁচু করলে এন্ট্রপিবিনিময় কমে, ফলে অভ্যন্তরীণ ঘড়ি ধীর হয়। দুই খাত প্রায় বিচ্ছিন্ন হয়ে যাওয়ার পর্যায়ে উজ্জ্বল খাত গবেষণাপত্ররে ভাষায় একটি “**তাপ মৃত্যু**”-এর দিকে যায়: স্থির অবস্থা, যেখানে এন্ট্রপিজিনিতি সময় একবোরই থমে যায়।
- **একটি কার্যকর সমীকরণ তথ্য পুনরুত্পাদন করে।** পরীক্ষামূলক প্যারামিটার দিয়ে এন্ট্রপিজিনিতি-সময় Schrodinger সমীকরণ সংখ্যাগতভাবে সমাধান করলে মঘেরে প্রস্থরে মাপা বিবর্তন পুনরুদ্ধার করা যায়। গবেষণাপত্ররে কম-বাধা ক্ষেত্রে জন্য চমৎকার সামঞ্জস্য জানানো হয়েছে, যেখানে এন্ট্রপি-চালিত পদটি প্রাধান্য পায়; স্পষ্ট সংখ্যাগত তুলনাটিও ওই কসেরে জন্যই করা হয়েছে।

“সময়ের সমস্যা” কী, আর এখানে “এন্ট্রপিজিনিতি সময়” বলতে কী বোঝায়

সময়ের সমস্যা হলো প্রচলিত কায়ান্টাম মহাকর্ষরে প্রধান সমীকরণ (Wheeler-DeWitt)-এ বাইরের কোনো সময় চলক না থাকা। একটি সাধারণ প্রতিক্রিয়া হলো সম্প্রকর্তিতিকি পদ্ধতি: ব্যবস্থার ভতেরে কোনো ভৈত পরিমাণকে “ঘড়ি” হিসেবে বেছে নেওয়া এবং বাকিসবকছুকে তার তুলনায় বর্ণনা করা। বারবার দেখো দেওয়া একটি সমস্যা হলো, স্বাভাবিক ঘড়ি পছন্দ সবসময় একমুখী নয় — আবার সংকুচিত হওয়া কোনো ব্যবস্থায় প্রারম্ভী ঘড়ি সামনে গিয়ে পরে পছিয়েও যতে পারে — তাই শুরু থেকে শেষে পর্যন্ত একক দিক স্পষ্টভাবে লেবেল করা যায় না।

এন্ট্রপিজিনিতি সময় হলো Barontini-র এই সমস্যাকে পাশ কাটানোর উপায়। অবস্থানের মতো চলক পড়ার বদলে তিনি পর্যবেক্ষিত এবং অপর্যবেক্ষিত খাতরে মধ্যে আদান-প্রদান হওয়া *এন্ট্রপি* দিয়ে ঘড়ি বানান, এমনভাবে যাতে স্টেট উল্টো দিকে না চলে। ধারণাগতভাবে এটি আগরে “তাপীয় সময়” ভাবনার কাছাকাছি, কনিত্রু এখানে ঘড়িটি বিমূর্ত গাণিতিক গঠন নয়, পরিমাপযোগ্য এন্ট্রপি প্রবাহ থেকে কার্যগতভাবে সংজ্ঞায়িত — আর স্টেটই বাস্তব যন্ত্রপাতিতে পরীক্ষা করা সম্ভব করে।

সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ, মহাজাগতিক শব্দগুলো — “বগি ব্যাং”, “বগি করাঞ্ছ”, “স্কেলে ফ্যাক্টর”, “স্কেলোর ক্ষেত্র”, “মিনি-ইউনিভার্স” — **অনুরূপ লেবেলে**। এগুলো আবদ্ধ পরিমাণবিক গ্যাসরে এমন বৈশিষ্ট্যরে নাম, যগুলো সরলীকৃত মহাজাগতিক মডেলরে সমীকরণরে সঙ্গে *গাঠনিকভাবে সাদৃশ্যপূর্ণ*। এগুলো বাস্তব মহাবিশ্ব সম্প্রকে কোনো বক্তব্য নয়।

এই গবেষণা কী প্রমাণ করে না

এখানেই সবচেয়ে বেশি সতর্ক হওয়া দরকার, কারণ ব্যবহৃত শব্দগুলো সহজেই বাড়ি বাড়ি ব্যাখ্যা ডেকে আনতে পারে।

- **এটি সময়রে সমস্যা সমাধান করেনা, এবং এমন দাবিও করেনা।** গবেষণাপত্ররে নিজস্ব উপস্থাপনভঙ্গি হলো, এটি “এমন একটি নিয়ন্ত্রিত পরীক্ষামূলক বনিয়াস প্রতিষ্ঠা করে যেখানে সম্প্রকর্তিতিকি-সময় নির্মাণকে পরিমাণগতভাবে পরীক্ষা করা যায়।” পরীক্ষামঞ্ছ কোনো

উপপাদ্য নয়। কয়েকটি মহাকর্ষে সম্পর্কভিত্তিক বা এন্ট্রপজিনিতি সময়-ই সময়ের সঠিক ব্যাখ্যা ক'না, সেই প্রশ্ন আগের মতোই খোঁলা।

- **এটি অনুরূপ, মহাবিশ্ব নয়।** এখানে মহাজাগতিকতত্ত্ব পর্যবেক্ষণ করা হচ্ছে না। ফাঁদে রাখা Bose-Einstein ঘনীভবন পর্যবেক্ষণ করা হচ্ছে, যার হ্রাসপ্রাপ্ত বর্ণনা একটি সরলীকৃত (“মিনিসিপারস্পেস”) মহাজাগতিক মডেলে সঙ্গতিপূর্ণ। এই সাদৃশ্যই পরীক্ষার মূল কথা, আবার সীমাও। এখান থেকে বোঝা যায় না যে প্রাথমিক মহাবিশ্বে এমন বড় বসিফোারণ হয়েছিল, স্থানকাল পরমাণু দিয়ে তৈরি, বা “সময়ের অস্তিত্ব নেই”।
- **এটি দেখায় না যে সময় আসলে এন্ট্রপি।** এন্ট্রপজিনিতি ঘড়ি হলেও একটি নির্মিত ক্রম, যা এই ব্যবস্থায় ভালো কাজ করে। গবেষণাপত্র তাপীয়-সময় অনুমানের সঙ্গতি ধারণাগত আত্মীয়তার কথা বলে, কিন্তু দুটো আদর্শ একই ক'না স্টেটিং খোঁলা রাখতে। “এন্ট্রপি দিয়ে বানানো একটি অভ্যন্তরীণ ঘড়ি এই পরীক্ষাকে সাজাতে পারে” — এই দাবি “সময় হলো এন্ট্রপি”-র চেয়ে অনেক সংকীর্ণ।
- **কার্যকর সমীকরণটি মডেলিং ফল, কয়েকটি মহাকর্ষ বলবিদ্যা নতুন করে লেখা নয়।** এন্ট্রপজিনিতি-সময় Schrodinger সমীকরণ এন্ট্রপি প্রবাহ ধীরে ধীরে সাধারণ কয়েকটি মহাকর্ষ বলবিদ্যার দিকে নমে আসে, আর এন্ট্রপি প্রবাহ একবোরোই না থাকলে তবুই কঠোর অর্থ প্রচলিত ইউনিটারি তত্ত্ব হয়। গবেষণাপত্রটি একে মানক সমীকরণের চেয়ে বেশি সাধারণ হিসেবে অবস্থান দিয়ে বিশ্লেষণ করে যখন পর্যবেক্ষিত ব্যবস্থা তাপগতিবিদ্যাগতভাবে অপ্যবেক্ষিত ব্যবস্থার প্রতিউন্মুক্ত — এটি এই ধরনের বিন্যাসের উন্মুক্ত উপব্যবস্থা সম্পর্কে বক্তব্য, মৌলিক পদার্থবিদ্যা অবশ্যই এভাবে লিখতে হবে এমন দাবি নয়।
- **এটি একটি পরীক্ষা, একজন লেখক, একটি ঘড়ি পছন্দ।** প্রতিটি তথ্যবিন্দুতে প্রায় 5% পরিসংখ্যানগত অনিশ্চয়তা আছে, এবং বিশ্লেষণ গড়-ক্ষেত্র ও গড়-করা-ঘনত্ব আসন্নীকরণের ওপর নির্ভর করে। বহু নেওয়া ঘড়ি এবং মোটা-দানা বিশ্লেষণ ইচ্ছাকৃত মডেলিং সিদ্ধান্ত; গাঠনিক সিদ্ধান্তে যাওয়ার আগে অন্য দল এগুলো পরীক্ষা করতে চাইবে।

প্রমাণ কতটা শক্তিশালী

গবেষণাপত্র যে সীমিত দাবি আসলে করে, তার জন্য প্রমাণ পরীক্ষার। প্রাসঙ্গিক সময়সীমায় ব্যবস্থা সত্যিই ভালোভাবে বিচ্ছিন্ন, এন্ট্রপি হিসাব মলে (তবুও দৃষ্টান্তে মধ্যমে মোট এন্ট্রপিস্থিতি), অভ্যন্তরীণ ঘড়ি প্রায় সর্বত্র তথ্যকে একমুখে সাজায়, এবং একই মডেল থেকে লেখকের নির্ণয় করা, তথ্য থেকে অনুমতি প্যারামিটারসহ কার্যকর সমীকরণ কম-বাধা কসে মাথা গতিবিদ্যা পুনরুত্পাদন করে। তথ্য উন্মুক্ত। এটি বাস্তব, নিয়ন্ত্রণযোগ্য ব্যবস্থার বাস্তব পরিমাপ; চিন্তা পরীক্ষা নয়।

কিন্তু এটি যে ভার বহন করতে পারে, স্টেটিং সেই অনুযায়ী সীমিত। সবকিছু হ্রাসপ্রাপ্ত ঘনীভূত পদার্থ মডেল এবং মিনিসিপারস্পেস মহাজাগতিকতত্ত্বের উপমার ওপর দাঁড়ানো, আর উপমা আলো দখোতে পারে, প্রমাণ করতে পারে না। একটি প্ল্যাটফর্মে একজন লেখক দখোলনে একটি অভ্যন্তরীণ-সময় পদ্ধতি কাজ করে — ধারণার প্রমাণ হিসেবে এটি শক্তিশালী, কিন্তু প্রকৃতিতে সময় কীভাবে আচরণ করে সে দাবি করার ভিত্তি হিসেবে দুর্বল। সঠিক পাঠ হলো: পদ্ধতিটি এখন পরীক্ষাগারে করা যায়, এবং পরীক্ষা করা যায়।

কেন এটি গুরুত্বপূর্ণ

সময়ের সমস্যা নিয়ে আলোচনা দীর্ঘদিন ফরমালজিমে স্তরেই আটকে আছে। প্রতিদিনের প্রস্তুতিগুলোকে খণ্ডন করা কঠিন, কারণ সেগুলো খুব কম নির্দিষ্ট, পরিমাপযোগ্য পূর্বাভাস দেয়। সেই বতিরক্রে অন্তত একটি অংশকে এমন পরীক্ষায় রূপান্তর করা, যেখানে অভ্যন্তরীণ ঘড়ি হয় তথ্যকে সাজায়, নয় সাজায় না; কার্যকর সমীকরণ হয় মানানসই করে, নয় করে না — যুক্তির প্রকৃতিই বদলে দেয়। তাৎক্ষণিকভাবে নজিদের অনুষ্ঠানিক যন্ত্রপাতি পরীক্ষা করার একটি পরীক্ষার ক্ষেত্র দেয়।

এটাই আসল অবদান: সময়ের সমস্যার উত্তর নয়, বরং প্রশ্নটিকে পরিমাপগতভাবে পরীক্ষা করার একটি জায়গা। শীতল-পরিমাণ প্ল্যাটফর্ম আগে Hawking বকিরণ, প্রসারিত মহাবিশ্ব এবং মধ্য-শূন্যাবস্থা ক্ষেত্রে নিয়ন্ত্রণযোগ্য অনুরূপ হিসেবে ব্যবহৃত হয়েছে; এখন সেই সরঞ্জামসম্ভারে সম্পর্কভিত্তিক সময় এবং সময়ের তীরও যোগ্য হলো। মূল্য ভবিষ্যৎ পরীক্ষায় — ভিন্ন ঘড়ি পছন্দ, প্রত্যাবর্তনশীল

বনাম একমুখী আচরণ, প্রত্যাবর্তনযোগ্যতা পরীক্ষা—যেগুলো এখন শুধু সমীকরণ নয়, পরমাপরে বসিয়েও হতে পারে।

পর্যায় সারাংশ

একজন পদার্থবিদ Bose-Einstein ঘনীভবন তৈরি করে একটি পাতলা আলো কীবাণু বাধা দিয়ে তাকে পর্যবেক্ষণ ও অপব্যবহার দুই ভাগে ভাগ করেন, এবং দুই ভাগের মধ্যে প্রবাহিত এন্ট্রপি থেকে একটি অভ্যন্তরীণ “এন্ট্রপিতিক সময়” বানান। এই ঘড়ি পর্যবেক্ষণ অংশের প্রসারণ ও পুনঃসংকোচনের চক্র সাজায়: এন্ট্রপি আদান-প্রদান হলে দ্রুত এগোয়, না হলে থেমে যায়। লেখক যত কম-বাধা ক্ষেত্রের পরীক্ষা করছেন, সেখানে এই অভ্যন্তরীণ সময়ে লেখা কার্যকর সমীকরণ মাপা তথ্যের সঙ্গে ভালোভাবে মিলে। এটি মহাবিশ্বের জন্য চূড়ান্ত সমাধান নয়; বরং সময়ের সমস্যা পরীক্ষা করার জন্য একটি কিসুদ্র, নিয়ন্ত্রণযোগ্য পরীক্ষাগার পরীক্ষামঞ্চ।

সেজা সাপটা যাচাই

গবেষণাপত্র যা দেখায়: ভালোভাবে বোঝানো একটি ঠান্ডা-পরমাণু ব্যবস্থায় এন্ট্রপি বিনিময় দিয়ে সংজ্ঞায়িত অভ্যন্তরীণ ঘড়ি পর্যবেক্ষণ গতিবিদ্যাকে প্রায় একমুখী সাজাতে পারে, এবং পরীক্ষিত কম-বাধা কেসে কার্যকর “এন্ট্রপিজিনি-সময়” সমীকরণ মাপা ববির্তন পুনরুত্পাদন করে।

যা সম্ভবপর, কনিষ্ঠ দেখানো হয়নি: বাস্তব কায়ান্টাম মহাকর্ষে এন্ট্রপিজিনি বা সম্প্রকৃতিতকি সময় সময়ের ভালো ব্যাখ্যা। পরীক্ষা এমন নির্মাণকে গুরুত্ব দিয়ে দেখা যুক্তিযুক্ত করে; প্রকৃতির জন্য সেগুলো নিশ্চিত করে না।

যা এটি দেখায় না: “সময়ের সমস্যা” সমাধান হয়ে গেছে, কায়ান্টাম মহাকর্ষ সমাধান হয়েছে, মহাবিশ্ব সত্যিই এমন একটি বিগ ব্যাং থেকে শুরু হয়েছে, স্থানকাল পরমাণু থেকে উদ্ভূত, অথবা “সময়ের অস্তিত্ব নেই”—এর কোনো টিহি এই পরীক্ষার ফল নয়।

প্রধান সীমাবদ্ধতা: একটি প্ল্যাটফর্ম, একজন লেখক এবং একটি ঘড়ি পছন্দ; তথ্যবিন্দু-পঙ্খি প্রায় 5% অনিশ্চয়তা; গড়-ক্ষেত্র ও গড়-করা-ঘনত্ব আসন্নীকরণ; এবং সর্বোপরি আবদ্ধ ঘনীভূত পদার্থ ও সরল মহাজাগতিক মডেলের উপমার ওপর নির্ভরতা।

সাধারণ পাঠককে কতটা আস্থা রাখা উচিত? নিজের ব্যবস্থায় পরীক্ষা যা রপিতে র্ট করে, তা করেছে — এ বিষয়ে উচ্চ আস্থা। এই অনুরূপ থেকে বাস্তব মহাবিশ্বের সময় সম্প্রকৃতি বড় দাবিকরার ক্ষেত্রে আস্থা কম।

উৎস

Barontini, Testing the problem of time with cold atoms, Physical Review Research 8, L022047 (2026)

<https://doi.org/10.1103/1h9j-df4k>