



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

ایٹم Cold- تجربہ کوانٹم کششِ ثقل کے 'مسئلہ of وقت' کو آزماتا ہے — تجربہ گاہ analog کے طور پر، جواب کے طور پر نہیں

Canonical کوانٹم کششِ ثقل میں Wheeler-DeWitt مساوات کے پاس واقعات کو ترتیب دینے کے لیے external گھڑی نہیں: یہی "مسئلہ of وقت" ہے۔ ایک واحد-مصنف تجربہ condensate Bose-Einstein کو isolate کرتا ہے، باریک optical barrier سے مشاہدہ شدہ اور unobserved شعبے میں تقسیم کرتا ہے، اور دونوں کے درمیان اینٹروپی بہاؤ سے داخلی گھڑی بناتا ہے۔ یہ "entropic" وقت "مشاہدہ شدہ شعبہ کے expansion اور recollapse کو ترتیب کرتی ہے، اور مؤثر مساوات آزمائے گئے کم-barrier صورت میں ناپی گئی اعداد و شمار reproduce کرتی ہے۔ یہ وقت-relational ideas کا کنٹرول شدہ testbed ہے: "bang"، "crunch" اور "gas trapped miniuniverse" کے analog labels ہیں، حقیقی cosmology نہیں، اور کام مسئلہ of وقت یا کوانٹم کششِ ثقل حل کرنے کا دعویٰ نہیں کرتا۔

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: -1103/1h9j.10df4k

ایک trap کے اندر، اینٹروپی سے بنی گھڑی

معیاری کوانٹم کشش ثقل میں ایک عجیب اور دیرینہ مسئلہ ہے: اس کی مرکزی مساوات میں وقت موجود ہی نہیں۔ Wheeler-DeWitt مساوات، جسے پورے کائنات کے لیے Schrodinger مساوات کی قریب ترین چیز کہا جا سکا ہے، بس یہ کہتی ہے کہ ایک خاص آپریٹر حالت پر عمل کرے تو نتیجہ صفر ہوتا ہے۔ کوئی بیرونی پیرامیٹر نہیں جو چیچڑ کرے، کوئی چیز نہیں جو ”پہلے“ اور ”بعد“ کو ترتیب دے — پھر بھی ہم وقت گزرتا ہوا صاف محسوس کرتے ہیں۔ یہی مسئلہ وقت کا ہے، اور نصف صدی سے زیادہ عرصے سے اس کا حل نہیں ملا۔

طبعی جائزہ تحقیق میں ایک مصنف کا یہ مقالہ اس مسئلے کو حل نہیں کرتا۔ اس کا کام زیادہ محدود اور، اپنے انداز میں، زیادہ کارآمد ہے: یہ تجربہ گاہ میں ایک چھوٹا، اچھی طرح کنٹرول شدہ نظام بناتا ہے جس میں مجوزہ جوابات کے ایک خاندان کو حقیقی اعداد و شمار کے مقابلے میں آزمایا جا سکا ہے۔ Birmingham of University کے Barontini Giovanni ایک Bose-Einstein منجمد مادہ — انتہائی سرد ایٹم کا بادل جو ایک کوانٹم جسم کی طرح برتاؤ کرتا ہے — لیتے ہیں اور اسے ایسے مثالی ہم شکل میں بدلتے ہیں جہاں ”داخلی“ یا تعلق وقت کے تصور پر صرف بحث نہیں بلکہ پیمائش کی جا سکے۔ ترکیب یہ ہے کہ گھڑی باہر کی stopwatch سے نہیں، بلکہ اس اینٹروپی سے بنائی جائے جسے نظام اپنے اندر ایک حصے سے دوسرے حصے تک منتقل کرتا ہے۔

”مسئلہ وقت کا کنٹرول شدہ مثالی ہم شکل“ اور ”طبیعیات دان نے وقت حل کر لیا“ کے درمیان جو فاصلہ ہے، وہی اس کہانی کا اہم حصہ ہے — اور یہ فاصلہ بہت بڑا ہے۔

محقق نے کیا کیا

آلہ تقریباً ^{87}Rb 24,000 ایٹم کے منجمد مادہ پر مشتمل ہے، جسے conservative بصری trap dipole میں رکھا گیا اور oscillate کرایا گیا — پورا atomic بادل trap کے اندر آگے پیچھے جھولتا ہے۔ ایک باریک بصری رکاوٹ — تقریباً 8 microns چوڑی، 675 nm روشنی سے device micromirror digital کے ذریعے بنائی گئی — trap کو دو حصوں میں تقسیم کرتی ہے۔ ایک حصہ دیکھا جاتا ہے (”روشن شعبہ“)؛ دوسرا نہیں (”dark شعبہ“)۔ تقریباً 100-millisecond کی تجرباتی مدت میں ذرہ نقصان یا dissipation قابل پیمائش نہیں تھا، اس لیے اچھی تقریب میں یہ ایک closed نظام ہے جس کا Hamiltonian خود وقت پر منحصر نہیں۔

[figure_pair pending]

بائیں طرف بصری-trap magneto کے خلیہ کے اندر ^{87}Rb ایٹم کا سرد بادل بناتا ہے: منجمد مادہ تیار کرنے کے راستے میں cooling کا ابتدائی مرحلہ۔ دائیں طرف Barontini Giovanni بصری آلاتی نظام کے پاس کھڑے ہیں۔ یہ تجربہ کے پیچھے تجربہ گاہ نظام کی تصاویر ہیں، کسی حقیقی miniature کائنات کی نہیں۔

عام تجربہ گاہ گھڑی سے دیکھا جائے — ہر 2 ms پر ایک جذب تصویر — تو روشن شعبہ ایک دلچسپ حرکت کرتا ہے۔ ایٹم رکاوٹ عبور کرتے ہیں اور شعبہ صفر سے بڑھتا ہے (Barontini) اس لمحے کو ”بڑا بینگ“ کہتے ہیں، زیادہ سے زیادہ پھیلاؤ تک پہنچتا ہے، پھر سکتا ہے اور واپس dark جانب میں خالی ہو جاتا ہے (”bunch“). رکاوٹ کی اونچائی کے مطابق یہ چکر بار بار ہو سکتی ہے۔

پھر اصل نکتہ آتا ہے۔ تجربہ گاہ گھڑی نظام کے باہر ہے — بالکل وہی قسم کی چیز جس کی Wheeler-DeWitt ترتیب اجازت نہیں دیتی۔ اس لیے Barontini پوچھتے ہیں: کیا روشن شعبہ کی تاریخ کو صرف نظام کے اندر موجود مقادیر سے ترتیب دیا جا سکتا ہے؟ ان کا جواب ایک گھڑی ہے جسے وہ اینٹروپی پر مبنی وقت کہتے ہیں، اور جسے انہی تصاویر سے تین سیدھے مرحلوں میں نکالا جاتا

ہے۔ پہلے، ہر جذب تصویر سے روشن شعبہ کے لیے چار اعداد لیے جاتے ہیں: ایٹم عدد، کثافت خاکہ کا مرکز کیت (جو مثالی ہم شکل scalar میدان کا کردار ادا کرتا ہے)، چوڑائی، اور اینٹروپی — فی ایٹم اینٹروپی کو ایٹم عدد سے ضرب دے کر، ایک معیاری طریقہ سے۔ دوسرا، جب ایٹم رکاوٹ عبور کرتے ہیں تو یہ اینٹروپی بڑھتی اور گھٹتی ہے۔ تیسرا، گھڑی ناپی گئی مرکز-of-کیت راستہ کے ساتھ اینٹروپی ڈھلوان کو پیروی کرتی ہے، ہر منتقلی کی سمت کے بجائے اس کی مقدار گنتی ہے۔ جب اینٹروپی اور مرکز کیت دونوں ایک ساتھ بڑھتے یا گھٹتے ہیں تو ہر قدم گھڑی کو آگے لے جاتا ہے، حتیٰ کہ بادل سمت الٹی کر دے۔ اعداد و شمار میں اس طرح شعبہ کے ”بڑا بینگ“ سے ”بڑا crunch“ تک تقریباً ہر جگہ ایک ہی ترتیب بنتی ہے، صرف چند چھوٹے چھوٹے اتار چڑھاؤ کے ساتھ جہاں کم باریک نمونہ گیری کی وجہ سے دونوں تبدیلیاں آپس میں ہم آہنگ نہ ہونا کرتی ہیں۔

آخر میں وہ ایک مؤثر ”اینٹروپی پر مبنی-وقت Schrodinger مساوات“ اخذ کرتے ہیں — روشن شعبہ کے لیے evolution مساوات جو external وقت کے بجائے اس داخلی گھڑی میں لکھی گئی ہے — اور اسے عددی طور پر حل کرتے ہیں تاکہ دیکھا جاسکے کہ کیا یہ کیمرا میں ریکارڈ ہونے والی حرکت کو دوبارہ پیدا کرتی ہے۔

کیا ملا

تین نتائج، کم سے زیادہ ambitious ترتیب میں۔

- داخلی گھڑی ترتیب دینے کے لیے کام کرتی ہے۔ اینٹروپی پر مبنی وقت تقریباً ہر جگہ monotonically بڑھتی ہے، اور اس کی رفتار اس بات سے طے ہوتی ہے کہ اینٹروپی رکاوٹ کے پار کتنی تیزی سے تبادلہ ہو رہی ہے: تبادلہ زیادہ ہو تو گھڑی تیز چلتی ہے، اور جب تبادلہ بالکل نہ ہو تو مکمل رک جاتی ہے۔، reversible کم-رکاوٹ دائرہ حالات میں ایک بڑا crunch اور اگلے بڑا بینگ کے درمیان کوئی داخلی وقت نہیں گزرتا — کیونکہ وہاں اینٹروپی تبادلہ نہیں ہوتی — اگرچہ تجربہ گاہ گھڑی چلتی رہتی ہے۔ پورے ڈیٹا سیٹ میں دونوں شعبے کی کل اینٹروپی غلطی سلاخیں کے اندر مستقل رہی، جیسا کہ closed نظام میں ہونا چاہیے۔
- مختلف دائرے مختلف ”اوقات“ دیتے ہیں۔ رکاوٹ بڑھائیں تو اینٹروپی تبادلہ کم ہوتی ہے، اس لیے داخلی گھڑی آہستہ چلتی ہے۔ اسے وہاں تک لے جائیں جہاں دونوں شعبے تقریباً الگ ہو جائیں، تو روشن شعبہ اس حالت کی طرف جاتا ہے جسے مقالہ ”حرارت موت“ کہتا ہے: stationary حالت جہاں اینٹروپی پر مبنی وقت بس رک جاتی ہے۔
- ایک مؤثر مساوات اعداد و شمار کو دوبارہ پیدا کرتی ہے۔ تجرباتی پیرامیٹرز کے ساتھ اینٹروپی پر مبنی-وقت Schrodinger مساوات بادل کی ناپی گئی چوڑائی evolution کو عددی طور پر دوبارہ پیدا کرتی ہے؛ مقالہ کم-رکاوٹ صورت میں excellent مطابقت رپورٹ کرتا ہے، جہاں اینٹروپی-driven اصطلاح غالب ہے۔ واضح عددی موازنہ اسی صورت کے لیے کیا گیا ہے۔

”مسئلہ وقت کا“ کیا ہے، اور یہاں entropic وقت کیا ہے

وقت external کوئی میں (Wheeler-DeWitt) مساوات master کی ثقل کشش کوانٹم معیاری کہ ہے یہ کا وقت مسئلہ نسبی کے اس کچھ سب باقی اور دیں، بنا ”گھڑی“ کو مقدار طبیعی کسی اندر کے نظام ہے: تعلق ردعمل عام ایک نہیں۔ متغیر recollapsing — ہوتیں نہیں monotonic ہمیشہ choices گھڑی قدرتی کہ ہے یہ مشکل والی آنے سامنے بار بار کریں۔ بیان لیبل سمت واحد صاف ایک تک انجام سے آغاز وہ لیے اس — ہے سکا چلا پیچھے پھر اور آگے پہلے کو گھڑی امکانی نظام باقی۔ دے نہیں اینٹروپی پر مبنی وقت Barontini کا اس مسئلے سے نمٹنے کا طریقہ ہے۔ مقام-like متغیر پڑھنے کے بجائے وہ مشاہدہ شدہ اور غیر مشاہدہ شدہ شعبے کے درمیان تبادلہ ہونے والی اینٹروپی سے گھڑی بناتے ہیں، اس طرح کہ وہ الٹی نہ ہو۔ تصوراً

یہ پرانی "thermal" وقت "خیالات کے قریب ہے، لیکن یہاں اسے abstract ریاضیاتی ساخت کے بجائے قابلِ پیمائش اینٹروپی بہاؤ سے operational طور پر متعین کیا گیا ہے — اور یہی اسے حقیقی آلاتی نظام پر testable بناتا ہے۔ اہم بات یہ ہے کہ کونیاتی الفاظ — "بڑا بینگ"، "بڑا"، "crunch"، "پیمانہ عامل"، "scalar" میدان"، "چھوٹی کائنات" — مثالی ہم شکل لیبلز ہیں۔ یہ قید گیس of ایٹم کی ایسی خصوصیات کے نام ہیں جو سادہ کیا گیا کونیاتی ماڈلز کی مساوات سے ساختی مماثلت رکھتی ہیں۔ یہ حقیقی کائنات کے بارے میں statements نہیں۔

یہ کیا ثابت نہیں کرتا

یہاں سب سے زیادہ احتیاط ضروری ہے، کیونکہ vocabulary آسانی سے مبالغے کی طرف لے جاتی ہے۔

- یہ مسئلہ وقت کا حل نہیں کرتا، اور اس کا دعویٰ بھی نہیں کرتا۔ مقالے کا اپنا framing یہ ہے کہ یہ "ایک کنٹرول شدہ تجرباتی ترتیب قائم کرتا ہے جس میں تعلق-وقت constructions کو quantitatively جانچ کیا جا سکتا ہے"۔ آزمائشی نظام قضیہ نہیں ہوتا۔ کوانٹم کششِ ثقل میں تعلق یا اینٹروپی پر مبنی وقت درست وضاحت ہے یا نہیں، یہ سوال بالکل کھلا رہتا ہے۔
- یہ مثالی ہم شکل ہے، کائنات نہیں۔ کوئی observe cosmology نہیں کی جا رہی۔ Bose-Einstein trap میں منجمد مادہ observe کیا جا رہا ہے، اور اس کی کم کیا وضاحت سادہ کیا گیا ("minisuperspace") کونیاتی ماڈل سے ریاضیاتی طور پر مشابہ ہے۔ یہی مماثلت تجربہ کا مقصد بھی ہے اور حد بھی۔ یہاں سے یہ نتیجہ نہیں نکلتا کہ ابتدائی کائنات کا بڑا بینگ ایسا تھا، اسپیس ٹائم ایٹم سے بنا ہے، یا "وقت exists نہیں کرتا"۔
- یہ نہیں دکھاتا کہ وقت 'اصل میں' اینٹروپی ہے۔ اینٹروپی پر مبنی گھڑی ایک ordering constructed ہے جو اس نظام میں اچھی طرح کام کرتی ہے۔ مقالہ وقت-thermal مفروضہ کے ساتھ kinship conceptual نوٹ کرتا ہے مگر یہ بھی کھلا چھوڑتا ہے کہ دونوں ایک ہی چیز ہیں یا نہیں۔ "اینٹروپی سے بنی داخلی گھڑی اس تجربہ کو ترتیب کر سکتی ہے"، "وقت اینٹروپی ہے" سے کہیں زیادہ محدود دعویٰ ہے۔
- مؤثر مساوات ماڈلنگ نتیجہ ہے، کوانٹم میکانیات کی نئی بنیادی مساوات نہیں۔ derived اینٹروپی پر مبنی-وقت Schrodinger مساوات اینٹروپی بہاؤ سست ہو تو عام کوانٹم میکانیات کی طرف جاتی ہے، اور strictly معمول کا unitary نظریہ صرف تب بنتی ہے جب اینٹروپی بہاؤ بالکل نہ ہو۔ مقالہ اسے معیاری مساوات سے زیادہ عمومی خاص طور پر اس صورت میں قرار دیتا ہے جب مشاہدہ شدہ نظام thermodynamically غیر مشاہدہ شدہ نظام کے لیے کھلا ہو — یہ اس قسم کے setup میں کھلا subsystems کے بارے میں statement ہے، fundamental طبیعیات کو اسی طرح دوبارہ لکھنے کا دعویٰ نہیں۔
- یہ ایک تجربہ، ایک مصنف اور ایک گھڑی choice ہے۔ نتائج میں تقریباً 5% فی-نقطہ شماریاتی غیر یقینی ہے اور میدان-mean اور کثافت-averaged approximations استعمال ہوتی ہیں۔ منتخب گھڑی اور کم باریک-deliberate graining ماڈلنگ فیصلے ہیں، ساختی نتائج سے پہلے دوسرے گروہ انہیں آزمانا چاہیں گے۔

شواہد کتنی مضبوط ہے

جو محدود بات مقالہ حقیقت میں دعویٰ کرتا ہے، اس کے لیے شواہد صاف ہے۔ متعلق timescale پر نظام واقعی اچھی طرح isolated ہے، اینٹروپی حسابی زبان قریب ہوتی ہے (کل اینٹروپی غلطی کے اندر مستقل)، داخلی گھڑی اعداد و شمار کو تقریباً ہر جگہ monotonically ترتیب کرتی ہے، اور اسی ماڈل سے مصنف کی derived مؤثر مساوات، اعداد و شمار سے inferred پیرامیٹرز کے

ساتھ، کم-رکاؤٹ صورت میں ناپی گئی حرکیات دوبارہ پیدا کرتی ہے۔ اعداد و شمار openly دستیاب ہیں۔ یہ حقیقی، controllable نظام کی حقیقی پیمائش ہے، thought تجربہ نہیں۔

لیکن اس شواہد پر جتنا وزن رکھا جا سکا ہے وہ بھی اتنا ہی محدود ہے۔ سب کچھ کم کیا منجمد مادہ ماڈل اور minisuperspace cosmology کی تشبیہ پر کھڑا ہے، اور analogies روشنی ڈالتی ہیں، ثابت نہیں کرتیں۔ ایک platform ایک مصنف اور ایک داخلی-وقت نسخہ کا کام کرنا مضبوط of proof اصول ہے مگر نیچر میں وقت کے رویہ کے بارے میں بڑے دعوے کی کمزور بنیاد۔ درست reading یہ ہے: اب یہ طریقہ تجربہ گاہ میں چکا جا سکا ہے، اور check کیا جا سکا ہے۔

یہ کیوں اہم ہے

مسئلہ وقت کا پر بحث طویل عرصے سے ریاضیاتی قالب کی سطح پر پھنسی ہوئی ہے، جہاں مختلف proposals کو falsify کرنا مشکل ہے کیونکہ وہ کم واضح، قابلِ پیمائش پیش گوئیاں دیتی ہیں۔ اس بحث کے ایک چھوٹے حصے کو بھی runnable تجربہ میں بدل دینا — جہاں داخلی گھڑی یا تو اعداد و شمار ترتیب کرتی ہے یا نہیں، مؤثر مساوات مطابق کرتی ہے یا نہیں — بحث کی نوعیت بدل دیتا ہے۔ theorists کو اپنی machinery جانچ کرنے کے لیے bench مل جاتی ہے۔

حقیقی کردار یہی ہے: وقت کا جواب نہیں، بلکہ سوال کو quantitative طور پر پوچھنے کی جگہ۔ ایٹم Cold-platforms پہلے ہی Hawking تابکاری، expanding کائناتیں اور decay false-vacuum کے analogs controllable بن چکے ہیں؛ یہ تعلق وقت اور arrow وقت کا کو بھی toolbox میں شامل کرتا ہے۔ اہمیت ان پیروی-ups میں ہے جنہیں یہ ممکن کرتا ہے — مختلف گھڑی، bouncing choices بمقابلہ singular رویہ، reversibility کے جانچیں — جن میں ہر چیز اب صرف حساب نہیں، پیمائش بھی ہو سکتی ہے۔

صاف خلاصہ

ایک طبیعیات دان نے Bose-Einstein condensate بنایا، اسے باریک بصری رکاؤٹ کے ذریعے مشاہدہ شدہ اور غیر مشاہدہ شدہ حصوں میں تقسیم کیا، اور دونوں کے درمیان پہننے والی اینٹروپی سے ایک اندرونی "اینٹروپی پر مبنی وقت" بنایا۔ یہ گھڑی مشاہدہ شدہ نصف کے پھیلنے اور دوبارہ سکرنے کے چکر کو ترتیب دیتی ہے، اینٹروپی کا تبادلہ ہو تو تیز چلتی ہے اور تبادلہ رک جائے تو رک جاتی ہے۔

بلا مبالغہ جائزہ

مقالے کا دکھانا ہے: ایک اچھی طرح isolated ایٹم cold نظام میں اینٹروپی تبادلہ سے متعین کی گئی داخلی گھڑی مشاہدہ شدہ حرکیات کو monotonically ترتیب کر سکتی ہے، اور مؤثر "اینٹروپی پر مبنی-وقت" مساوات آزمائے گئے کم-رکاؤٹ صورت میں ناپی گئی evolution دوبارہ پیدا کرتی ہے۔

کیا قرین قیاس ہے مگر دکھایا نہیں گیا: یہ کہ اینٹروپی پر مبنی یا تعلق وقت حقیقی کوانٹم کششِ ثقل میں وقت کی اچھی وضاحت ہے۔ تجربہ ان constructions کو سنجیدگی سے لینے کے مطابق ہے؛ نیچر کے لیے انہیں تصدیق کرنا نہیں کرتا۔

یہ کیا نہیں دکھاتا: مسئلہ وقت کا حل ہو گیا؛ کوانٹم کششِ ثقل حل ہو گئی؛ کائنات نے اسی طرح بڑا بینگ سے آغاز کیا؛ اسپیس

ٹائم ایٹم سے emerge ہوتا ہے؛ یا "وقت exists نہیں کرتا"۔

اہم حدود: ایک platform، ایک مصنف اور ایک گھڑی؛ choice تقریباً 5% فی-نقطہ غیر یقینی؛ میدان-mean اور ٹکافت-averaged approximations؛ اور سب سے بڑھ کر قید منجمد مادہ اور سادہ کیا گیا کونیاتی ماڈل کے درمیان تشبیہ پر انحصار۔ عام قاری کو کتنا اعتماد رکھنا چاہیے؟ اس بات پر زیادہ کہ تجربہ نے اپنے نظام میں وہی کیا جو رپورٹ کیا گیا ہے۔ اس مثالی ہم شکل سے حقیقی کائنات میں وقت کے بارے میں کسی بڑے دعویٰ تک چھلانگ پر کم اعتماد۔

ماخذ

(2026) L022047 ,8 Research Review Physical atoms, cold with time of problem the Testing Barontini,
<https://doi.org/10.1103/1h9j-df4k>