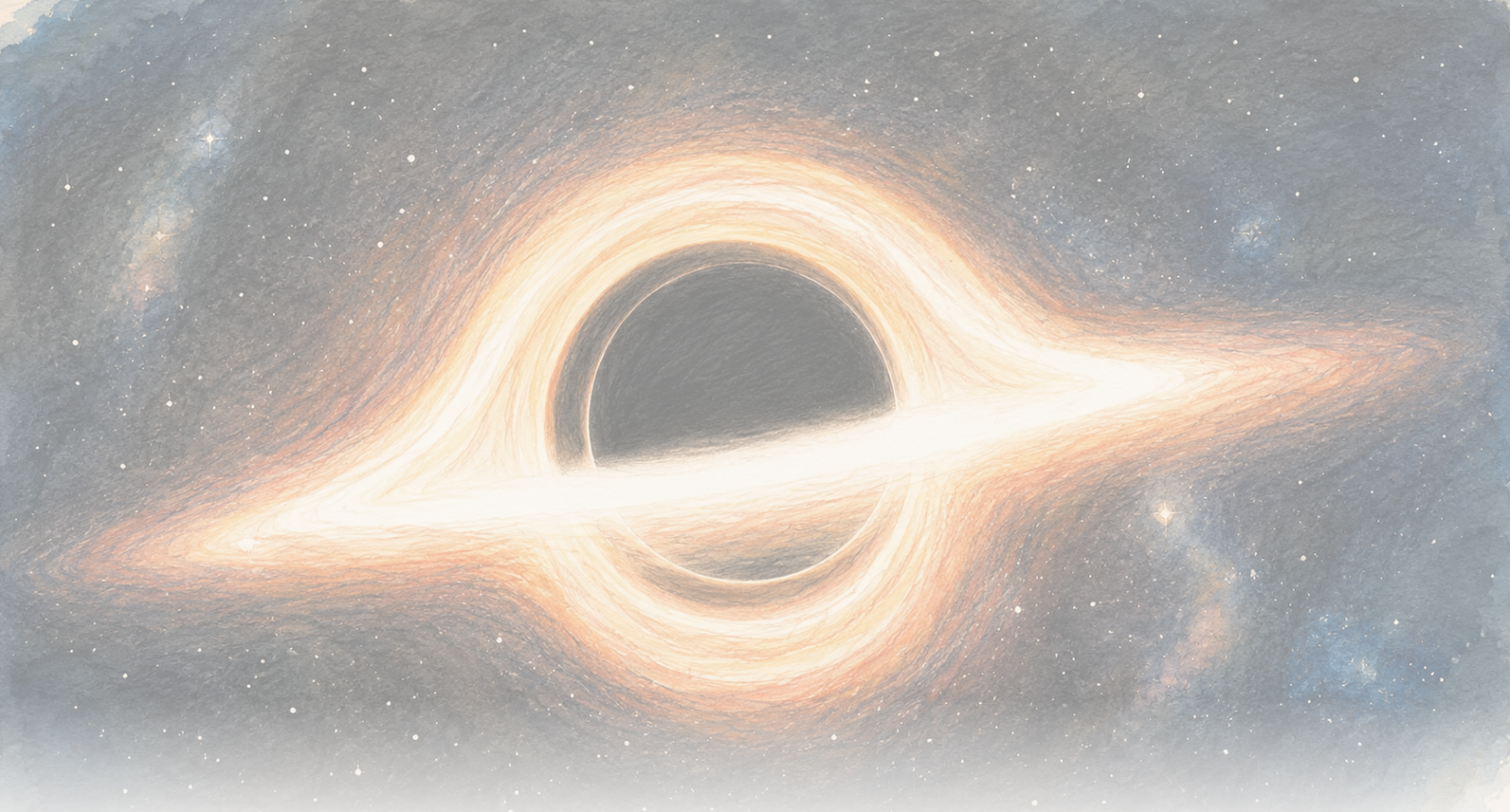




The CLEAN PAPER

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

بلیک ہول کے حراریاتی قوانین اب شدید، توازن سے باہر حالات تک بڑھائے گئے ہیں

1970 کی دہائی سے معلوم ہے کہ بلیک ہولز ایسے قوانین کی پیروی کرتے ہیں جو حراریات سے مماثل ہیں، مگر سب سے واضح صورت صرف خاموشی سے توازن میں موجود بلیک ہولز پر لاگو ہوتی تھی۔ *Letters Review Physical* کا ایک نیا مقالہ پہلے اور دوسرے قوانین کو نیم مقامی افقوں کے ان حصوں تک وسعت دیتا ہے جو حرکی افق کے قطعات کی شرائط پوری کرتے اور توازن سے من مانی حد تک دور ہو سکتے ہیں۔ افزائش، انہدام اور بلیک ہول کے انضمام کے بیشتر مراحل کے دوران۔ سیمولیشنز پورے انضمام میں نیم مقامی افق کی پیروی کرتی ہیں، مگر قوانین ابھی اتصال کے آس پاس کے اس مختصر وقفے کا احاطہ نہیں کرتے جب یہ حرکی افق کا قطعہ نہیں ہوتا۔ بنیادی فریم ورک عمومی اضافیت میں ہے، جبکہ تجزیر پر اطلاق نیم کلاسیکی ہے؛ یہ نہ نئی کوانٹم کششِ ثقل ہے، نہ مشاہدہ اور نہ بلیک ہول کے اطلاعی معے کا حل۔

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

Paper: *Thermodynamics of Black Holes, Far from Equilibrium*, Abhay Ashtekar, Daniel E. Paraizo, Jonathan Shu, *Physical Review Letters*
136 251405 (2026) · DOI: 1103/3c1r-v8f1.10

بلیک ہول کے بھی ایسے ”قوانین“ ہیں جو حراریات جیسے دیکھتے ہیں۔ پرانی صاف صورت تب چلتی تھی جب کچھ ہو ہی نہ رہا ہو۔

طبیعیات کی عجیب ترین باتوں میں سے ایک یہ ہے کہ بلیک ہول گرم اجسام کی طرح برتاؤ کرتے ہیں۔ 1970 کی دہائی کے آغاز میں Bekenstein اور Hawking نے دیکھا کہ بلیک ہولز کو بیان کرنے والی مساوات، ایک ایک جزو کے ساتھ، حراریات کے قوانین سے ملتی ہیں: بلیک ہول کی اینٹروپی اس کے افق کے رقبے کے متناسب ہے، اور اس کا درجہ حرارت اس کی سطح کشش ثقل کے متناسب۔ بعد میں Hawking نے دکھایا کہ یہ درجہ حرارت صرف رسمی مشابہت نہیں؛ بلیک ہول واقعی انتہائی مدہم حرارتی شعاع ریزی خارج کرتا ہے۔

radiation Hawking کیا ہے؟

ہونا کے حرارت درجہ بغیر اور سیاہ پر طور مکمل اسے لیے اس سگنا، نکل نہیں کچھ سے ہول بلیک میں طبیعیات کلاسیکی ہے: جاتی بدل تصویر پر کرنے شامل نظریہ کوانٹم قریب کے افق کہ دکھایا نے Stephen Hawking میں 1974 چاہیے۔ ہوتا ”evaporate“ یا ہے، کھوتا کمیت آہستہ آہستہ طرح اس ہے، کرتا خارج تابکاری حرارتی کمزور نہایت ہول بلیک ہے جاتی بدل تابکاری وہ ہوئے گزرتے سے مکان و زمان خمیدہ جبکہ ہے، ہوتا حرارتی پر حرارت درجہ Hawking طیف کے افق — نہیں derivation اصل کی Hawking یہ — میں تصویر وضاحتی محض مگر مشہور ایک ہے۔ پہنچتی تک دور جو ہے۔ جاتا گر اندر دوسرا اور ہے جاتا نکل میں صورت کی تابکاری ساتھی ایک ہیں؛ بناتے جوڑے fluctuations کوانٹم باہر اہم بات یہ ہے کہ یہ درجہ حرارت بلیک ہول کی کمیت کے الٹ تناسب میں ہے: بلیک ہول جتنا چھوٹا، اتنا گرم۔ کسی بھی ایسے بلیک ہول کے لیے جسے telescope دیکھ سکے، یہ درجہ حرارت ناقابل تصور حد تک کم ہے، اپنے گرد کے تقریباً خالی خلا سے بھی بہت ٹھنڈا۔ اسی لیے عملی طور پر یہ چمک نہایت معمولی ہے اور اسے براہ راست کبھی ناپا نہیں گیا۔ اس کی اہمیت تصوراتی ہے: Hawking تابکاری ہی بلیک ہول میکانیات اور حراریات کی مشابہت کو حقیقی حراریاتی تعلق بناتی ہے۔ چونکہ بلیک ہول واقعی درجہ حرارت رکھتا ہے، ان قوانین میں ”درجہ حرارت“ اور ”اینٹروپی“ حقیقی تھرموڈائنامک quantities ہیں، صرف مساوات کا اتفاق نہیں۔ (یہ موجودہ مقالے کا پس منظر ہے، اس کا نتیجہ نہیں۔)

اس تعلق کی بنیاد بلیک ہول میکانیات کا پہلا قانون ہے، جسے Carter Bardeen اور Hawking نے 1973 میں بیان کیا۔ سادہ الفاظ میں: اگر بلیک ہول کو ایک مستحکم حالت سے بہت قریب دوسری مستحکم حالت تک معمولی سا بدلا جائے، تو اس کی کمیت میں تبدیلی اس کے درجہ حرارت ضرب اینٹروپی کی تبدیلی کے برابر ہوتی ہے، ساتھ spin کا ایک جزو بھی آتا ہے۔ یہ بلیک ہول کی زبان میں ”حرارت کا داخلہ = درجہ حرارت × اینٹروپی کی تبدیلی“ جیسا تعلق ہے۔

مسئلہ عبارت قریب کی مستحکم حالت میں چھپا ہے۔ 1973 کا قانون توازن میں خاموش بیٹھے دو بلیک ہولز کا موازنہ کرتا ہے جن میں فرق نہایت چھوٹا ہو۔ وہ خود کسی عمل کو بیان نہیں کرتا: ستارہ نگلنا بلیک ہول، آپس میں ملتے دو بلیک ہولز، یا شدید پیدائش کے بعد ارتعاش ختم کرتا نیا بلیک ہول۔ یہی وہ حالات ہیں جنہیں ہم سب سے زیادہ سمجھنا چاہتے ہیں، اور یہی ”خاموش توازن“ کے بالکل برعکس ہیں۔ بلیک ہول جیسے ہی دلچسپ ہوتا ہے، پرانا صاف قانون خاموش ہو جاتا ہے۔

بظاہر آسان حل کیوں نہیں چلتا

پہلا خیال یہ ہو سکتا ہے کہ مادہ اندر گرتا جائے اور ہم افق کا بڑھتا ہوا رقبہ دیکھتے رہیں۔ مگر سوال ہے: کون سا افق؟

جس افق کا عام طور پر تصور کیا جاتا ہے — واقعہ افق، یعنی واپس نہ آنے کی حقیقی حد — اس کی ایک باریک مگر پریشان کن

خاصیت ہے: اسے کائنات کے پورے مستقبل سے متعین کیا جاتا ہے۔ یہ جاننے کے لیے کہ واقعہ افق ابھی کہاں ہے، اصولاً یہ جاننا پڑے گا کہ ہمیشہ کے لیے مستقبل میں کیا کچھ بلیک ہول میں گرے گا۔ یہ محض تکنیکی نکتہ نہیں۔ واقعہ افق ایک مکمل خالی اور locally ہموار خطے میں اس مادے کے پہنچنے سے پہلے بڑھنا شروع کر سکتا ہے جو بعد میں بلیک ہول کو خوراک دے گا۔ اس کا رقبہ ایسی جگہ بڑھ سکتا ہے جہاں مقامی طور پر کچھ بھی نہیں ہو رہا۔

مادہ پہنچنے سے پہلے horizon کیسے بڑھ سکتا ہے؟

کا "teleological" یہاں ہے۔ جاتا کہا **global definition** کی اس یا نیچر **teleological** کی افق واقعہ کو الجھن اس ہے۔ بھیجتا پیچھے میں وقت کو اثرات یا ہے، کرتا گوئی پیش کی مستقبل وہ ہے، مقصد کوئی کا افق کہ نہیں یہ مطلب قطعی بغیر جانے تاریخ مستقبل مکمل کی مکان و زمان فیصلہ یہ باہر، یا ہے اندر کے افق واقعہ کوئی کہ ہے یہ صرف مطلب سکتا۔ جا کیا نہیں پر طور

رسمی تعریف یہی بات مختصر کرتی ہے۔ مستقبل **infinity null** - جسے "I-plus" کہا جاتا ہے اور I^+ لکھا جاتا ہے - کو اس منزل کے طور پر سمجھیں جہاں وہ روشنی پہنچتی ہے جو ہمیشہ کے لیے باہر نکل کر لامحدود دور مستقبل تک جا سکے۔ واقعہ افق ان واقعات کی حد ہے جہاں سے باہر کی طرف بھیجا گیا روشنی کا اشارہ کبھی I^+ تک پہنچ سکتا ہے، اور ان واقعات کی جہاں سے کوئی اشارہ کبھی نہیں پہنچ سکتا۔ عمومی اضافیت کی معیاری notation میں یہ مستقبل null infinity کے سببی past کی سرحد ہے: $J^0(I^+)$ - تعریف میں "کبھی" شامل ہونے کی وجہ سے صرف یہاں اور ابھی کی پیمائش واقعہ افق کی جگہ عین طور پر نہیں بتا سکتی۔

گرتا ہوا کروی shell اس عجیب بات کو واضح کرتا ہے۔ shell پہنچنے سے پہلے اس کے اندر کا خطہ خالی اور locally ہموار ہو سکتا ہے۔ مرکز سے یکے بعد دیگرے مختلف اوقات میں باہر کی طرف روشنی کی شعاعیں بھیجیں: پہلے والی نکل جاتی ہیں، جبکہ بعد والی shell collapsing سے ایسی جیومیٹری میں ملتی ہیں جہاں سے نکلنا ممکن نہیں۔ واقعہ افق ان دونوں نتائج کی حد ہے۔ اگر اس حد کو وقت میں پیچھے پیچھا کیا جائے تو وہ مرکز سے شروع ہو کر ابھی تک خالی، ہموار اندرونی حصے میں پھیلی نظر آتی ہے، shell کے وہاں پہنچنے سے پہلے۔ اس وقت بڑھتا ہوا رقبہ کسی مقامی مادے کے بہاؤ کو نہیں دکھا رہا؛ وہ مکمل spacetime میں باقی بچنے والے فرار کے راستوں کو درج کر رہا ہے۔

اس تصویر میں کوئی اثر وقت میں پیچھے نہیں جاتا۔ اگر shell کا راستہ بدل جاتا اور بلیک ہول بنتا ہی نہیں، تو مکمل spacetime مختلف ہوتا اور وہ پہلے والا خطہ واقعہ افق کا حصہ نہ بنتا۔ سبق یہ نہیں کہ مستقبل ماضی کو بدلتا ہے، بلکہ یہ کہ واقعہ افق ایک عالمی سببی حد ہے، ایسی سطح نہیں جسے قریب بیٹھا مبصر ایک لمحے میں detect کر سکے۔ اسی لیے بدلتے بلیک ہول کا پیچھا کرنے کے لیے طبیعیات دان quasi-local یا dynamical افق استعمال کرتے ہیں۔

اسی وجہ سے واقعہ افق بلیک ہول کی بدلتی "حالت" کا لمحہ بہ لمحہ حساب رکھنے کے لیے ناموزوں ہے۔ کمپیوٹر سیمولیشن میں بھی سیمولیشن ختم ہونے سے پہلے اسے عین طور پر متعین نہیں کیا جا سکتا؛ درجہ حرارت یا اینٹروپی کو ہر لمحہ نظر رکھنا تو اور بھی مشکل ہے۔

اصل قدم: ایسا افق جسے مقامی طور پر متعین کیا جا سکے

Shu Jonathan اور Paraizo Daniel Ashtekar، Abhay کا نیا مقالہ اپنا نتیجہ افق کے ایک مختلف تصور پر استوار کرتا ہے۔ ایک نیم مقامی تصور، جس کی تعریف صرف اس کے اپنے پڑوس کی جیومیٹری سے ہوتی ہے اور جس میں لامحدود مستقبل کا کوئی حوالہ نہیں دیا جاتا۔ یہ نیم مقامی افق وہی سطحیں ہیں جنہیں عددی اضافیت کے ماہرین پوری سیمولیشن کے دوران ابتدائی بلیک ہولز کو متعین کرنے، انضمام کی پیروی کرنے اور باقی رہ جانے والے بلیک ہول کو متعین کرنے کے لیے پہلے ہی استعمال کرتے ہیں۔ یہاں وضع کیے گئے حراریاتی قوانین نیم مقامی افق کے ان حصوں پر لاگو ہوتے ہیں جو حرکی افق کے قطعے کی اضافی شرائط پوری کرتے ہیں۔ ایسے ہر قطعے پر رقبہ مستقبل بعید کے واقعات کے بجائے مقامی توانائی کے بہاؤ کے براہ راست ردِ عمل میں بدلتا ہے:

مثبت اندرونی بہاؤ پر یہ بڑھتا ہے، اور منفی توانائی کے بہاؤ والے تبخیر پذیر زمان مانند افق کے لیے گھٹتا ہے۔

پھر مصنفین مسئلے کے زیادہ مشکل حصے کو حل کرتے ہیں۔ عام حراریات میں توازن سے بہت دور نظام کو ایک واحد درجہ حرارت یا دباؤ دینا مشکل ہوتا ہے، کیونکہ یہ مقداریں عموماً نظام کے ٹھہرنے پر صاف معنی رکھتی ہیں۔ بلیک ہول کے ساتھ بھی یہی مسئلہ ہے۔ مصنفین عمومی اضافیت کی ایک خاص خاصیت استعمال کرتے ہیں: توازن میں موجود Kerr بلیک ہول صرف دو اعداد سے متعین ہو جاتا ہے، اس کی جسامت اور اسپن۔ وہ ایک ایسا نقشہ بناتے ہیں جو حرکی افق کے قطعے کے ساتھ ہر حالت کو لیتا ہے اور اس قطعے کے ہر عرضی حصے پر اس متوازن بلیک ہول کے دو اعداد اخذ کرتا ہے جس سے وہ حالت اس لمحے مشابہ ہے۔ یوں شدید طور پر بدلتے بلیک ہول کو قطعے کے ساتھ وقت کے ساتھ بدلتا درجہ حرارت اور اسپن دیا جا سکتا ہے۔

ان اجزا-افق کے پارینے والی مقامی طور پر متعین توانائی اور لحظاتی شدتی مقداروں—کی مدد سے وہ پہلے قانون کو ایسے بلیک ہولز تک وسعت دیتے ہیں جو توازن سے من مانی حد تک دور ہوں۔ نہایت اہم بات یہ ہے کہ نیا قانون دو منجمد حالتوں کے درمیان لامتناہی چھوٹے قدم نہیں بلکہ حقیقی طبیعی عمل سے پیدا ہونے والی محدود تبدیلیاں (مادے اور ثقلی موجوں کا افق سے گزرنا) بیان کرتا ہے۔ وہ اس کے ساتھ ایک ہم آہنگ دوسرا قانون پیش کرتے ہیں، جس کا بیان اب مقداری ہے: افق کے رقبے کی تبدیلی براہ راست مقامی توانائی کے بہاؤ سے منسلک ہے—مثبت اندرونی بہاؤ کے تحت اضافہ، یا منفی بہاؤ کے تحت تبخیر پذیر زمان مانند افق کے لیے کمی۔ دونوں قوانین مل کر ایک واضح نتیجے کی طرف اشارہ کرتے ہیں: حرکی افق کے کسی قطعے سے ظاہر کیے جانے والے ہر مرحلے کے لیے، خواہ وہ کتنا ہی پُرشد ہو، اینٹروپی کی درست پیمائش اب بھی اس کے افق کا رقبہ ہے۔

یہ کیا ثابت نہیں کرتا

- یہ کوانٹم کشش ثقل کو حل نہیں کرتا۔ بنیادی فریم ورک عمومی اضافیت میں وضع کیا گیا ہے؛ بلیک ہول کے تبخیر پر اس کا اطلاق نیم کلاسیکی تقریب استعمال کرتا ہے، جس میں کوانٹم مادی میدان کلاسیکی زمان و مکان پر اثر ڈالتے ہیں۔ یہ اب بھی افق کے رقبے کو اینٹروپی قرار دینے والی معیاری شناخت فرض کرتا ہے، بجائے اس کے کہ اس اینٹروپی کو کسی زیادہ بنیادی شے سے اخذ کرے۔
- یہ microstates نہیں گنتا اور یہ نہیں بتاتا کہ بلیک ہول کی اینٹروپی آخر کس microscopic چیز سے بنتی ہے۔ تھرموڈائنامک حسابی زبان آگے بڑھتی ہے، اندر کے آزادی کے درجات نہیں کھلتے۔
- یہ سیاہ-hole معلومات paradox حل نہیں کرتا۔ وہ مسئلہ کوانٹم نظریے میں ہے؛ یہ مقالہ اسے نہیں چھیڑتا۔
- یہ کوئی مشاہدہ یا پیمائش نہیں ہے۔ اس میں نہ کوئی دوربین، نہ ڈیٹا اور نہ کوئی ثقلی موج کا اشارہ شامل ہے—یہ ریاضی ہے۔ بلیک ہول کے ارتقا کے دوران حرکی افق کو تفویض کیا جانے والا “درجہ حرارت” مساوات میں نہایت واضح طور پر متعین مقدار ہے، کوئی ایسی چیز نہیں جسے آپ تھرمامیٹر سے پڑھ سکیں۔
- یہ ابھی تک دو بلیک ہولز کے پورے اتصال کی مسلسل حراریاتی وضاحت فراہم نہیں کرتا۔ عددی سیمولیشنز پورے ارتقا میں — ابتدائی بلیک ہولز سے انضمام کے ذریعے باقی رہ جانے والے بلیک ہول تک — نیم مقامی افق کی پیروی کرتی ہیں، مگر انضمام کے نہایت قریب ایک مختصر وقفے میں یہ افق ان شرائط پر پورا نہیں اترتا جو حرکی افق کے قطعے کے لیے درکار ہیں۔ ہمراہ مقالے کے مطابق اس وقفے کی حراریاتی تشریح پر کام اب بھی جاری ہے۔
- یہ Bekenstein اور Hawking کی تصویر کو الٹا نہیں؛ اسے اس dynamical حالت تک بڑھاتا ہے جہاں equilibrium والا اصل قانون خاموش تھا۔

شواہد کتنے مضبوط ہیں؟

اپنی نوعیت کے لحاظ سے مضبوط: شعبے کے ایک سرکردہ گروہ کا ریاضیاتی طبیعیات پر محتاط اور داخلی طور پر ہم آہنگ کام، جو Letters Review Physical میں 'Suggestion Editors' کے طور پر شائع ہوا۔ ایک ہم مرتبہ جائزہ شدہ ہمراہ مقالہ زیادہ مفصل اخذ پیش کرتا اور ان صورتوں کا احاطہ کرتا ہے جنہیں مختصر مقالے سے اختصاراً خارج کیا گیا تھا۔

اصل احتیاط معیار کے بارے میں نہیں، نتیجے کی نوعیت کے بارے میں ہے:

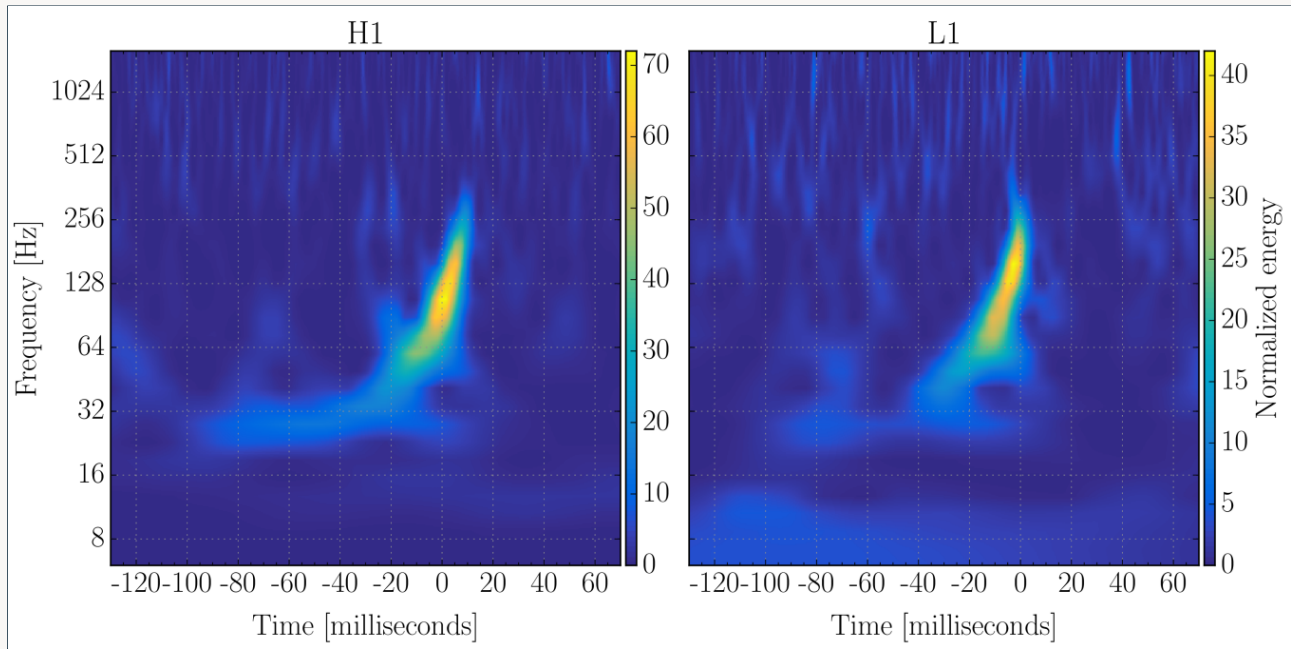
- کام اس روایتی شناخت پر قائم ہے کہ افق علاقہ ہی اینٹروپی ہے، یعنی رقبہ کو Newton اور Planck کے constants کے مناسب مجموعے سے تقسیم کیا جاتا ہے۔ اگر مکمل کوانٹم کششِ ثقل نظریہ کبھی اس شناخت کو بدل دے تو تشریح بھی بدلے گی۔
- اختصار اور سادگی کی خاطر مختصر مقالہ مرکزی اخذ کو محوری تقارن رکھنے والے، مکان مانند حرکی افقوں کے ذریعے پیش کرتا ہے۔ ہم مرتبہ جائزہ شدہ ہمراہ مقالہ زمان مانند حرکی افقوں کا واضح تجزیہ کرتا اور دورانی Killing میدان کے بغیر زاویائی مومینٹم تشکیل دیتا ہے۔ تاہم تجزیہ پذیر زمان مانند افقوں کے لیے پسِ عمل کا صریح تجزیہ کروی تقارن تک محدود ہے۔
- "توازن سے باہر بھی اینٹروپی = افق علاقہ" ایک بہت مضبوط شناخت ہے جسے نئے پہلے اور دوسرے قوانین قدرتی بناتے ہیں؛ یہ microscopic شماریات سے اخذ شدہ theorem نہیں۔

یعنی یہ پچاس سال پرانے فریم ورک کی سخت توسیع ہے، تجرباتی دریافت نہیں اور نہ کوئی نیا قدرتی قانون جسے ابھی telescope سے جانچا گیا ہو۔

یہ کیوں اہم ہے

دو وجوہ ہیں: ایک عملی، ایک تصوراتی۔

عملی طور پر، جن بلیک ہولز کا ہم اب حقیقتاً مطالعہ کرتے ہیں—جن کے انضمام کو LIGO اور Virgo سنتے ہیں—وہ اپنے اہم ترین لمحات توازن سے بہت دور گزارتے ہیں۔ سمبولیشنز ابتدائی بلیک ہولز سے انضمام کے ذریعے باقی رہ جانے والے بلیک ہول تک نیم مقامی افق کی پیروی کرتی ہیں۔ اس مقالے کی مقداریں افق کے ان حصوں پر لاگو ہوتی ہیں جو حرکی افق کے قطعات کی شرائط پوری کرتے ہیں، لہذا یہ صرف سب کچھ پُرسکون ہو جانے کے بعد نہیں بلکہ انضمامی ارتقا کے بیشتر مراحل اور انہدام کے دوران بھی بلیک ہول کی اینٹروپی اور درجہ حرارت پر اصولی انداز میں بات کرنے کا طریقہ فراہم کرتا ہے۔ عین اتصال کے آس پاس کے مختصر وقفے میں نیم مقامی افق کی پیروی جاری رہتی ہے، لیکن وہ موجودہ حراریاتی وضاحت سے باہر ہوتا ہے۔



GW150914، براہ راست دریافت ہونے والا پہلا gravitational-wave اشارہ، دو بلیک ہولز کے merger سے آیا تھا۔ یہ تعدد-time نقشے Hanford LIGO (بائیں) اور Livingston LIGO (دائیں) میں اشارہ دکھاتے ہیں: دونوں آلات شناخت میں روشن لکیر اوپر جاتی ہے کیونکہ merger کے قریب تعدد بڑھتی ہے۔ یہ توازن سے بہت دور بلیک ہول نظام کی حقیقی مثال ہے؛ نئے تھر موڈائٹامک فریم ورک کے لیے پس منظر ہے، اس فریم ورک کا مشاہداتی شواہد نہیں۔

LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration / Classical and Quantum Gravity, Fig. 10 CC BY 0.3

تصویری طور پر، بلیک ہولز کا تھر موڈائٹامک رویہ کوانٹم کشش ثقل کے بارے میں ہمارے چند ٹھوس اشارے میں سے ایک ہے۔ یہی وہ جگہ ہے جہاں کشش ثقل، کوانٹم نظریہ اور حراریات کھل کر ایک دوسرے سے ملتے ہیں۔ تیزی سے بدلتے بلیک ہول کے لیے "اینٹروپی" اور "درجہ حرارت" کا مطلب زیادہ درست بنانا اس ہدف کو واضح کرتا ہے جسے مستقبل کے کسی کوانٹم-کشش ثقل نظریے کو پورا کرنا ہو گا۔ یہ اس گہرے سوال کا جواب نہیں دیتا کہ بلیک ہول اینٹروپی حقیقت میں ہے کیا۔ یہ سوال کو زیادہ ٹھیک انداز میں بیان کرتا ہے۔ اور اس شعبے میں یہ خود اہم پیش رفت ہے۔

صاف خلاصہ

بلیک ہولز ایسے قوانین کی پیروی کرتے ہیں جو حراریات سے مماثل ہیں، مگر 1973 کا واضح "پہلا قانون" صرف توازن میں ساکن بلیک ہولز کا موازنہ کرتا تھا اور کسی حقیقی عمل کو بیان نہیں کر سکتا تھا۔ Paraizo Ashtekar اور Shu نیم مقامی افقوں کو استعمال کر کے، ان کے حرکی افق کے قطعات پر حراریاتی قوانین لاگو کر کے اور ان قطعات کے ساتھ ہر حالت کو فی لمحہ درجہ حرارت اور اسپن تفویض کرنے والا نقشہ بنا کر پہلے اور دوسرے دونوں قوانین کو ایسے بلیک ہولز تک وسعت دیتے ہیں جو توازن سے من مانی حد تک دور ہوں۔ مادہ نکلنے، منہدم ہوتے، ارتعاش ختم کرتے اور انضمام کے بیشتر مراحل سے گزرتے ہوئے۔ حاصل یہ ہے کہ حرکی افق کے کسی قطعے سے ظاہر کیے جانے والے ہر مرحلے کے لیے افق کا رقبہ ہی اینٹروپی کی درست پیمائش رہتا ہے۔ اتصال کے نہایت قریب کا مختصر وقفہ ابھی اس حراریاتی وضاحت میں شامل نہیں، اگرچہ سیمولیشنز نیم مقامی افق کی پیروی جاری رکھتی ہیں۔ بنیادی فریم ورک عمومی اضافیت میں ہے، جبکہ تجزیہ پر اطلاق نیم کلاسیکی ہے؛ یہ نہ کوانٹم کشش ثقل ہے، نہ مشاہدہ، نہ خرد حالتوں کی گنتی اور نہ اطلاعاتی معمے کا حل۔

بلا مبالغہ جائزہ

مقالہ کیا دکھاتا ہے: بلیک ہول میکانیات کے پہلے اور دوسرے قوانین کی مکمل حرکی اور توازن سے دور بلیک ہولز تک ایک ریاضیاتی طور پر ہم آہنگ توسیع، جو نیم مقامی افقوں اور ان حصوں پر قائم ہے جو حرکی افق کے قطعات کی شرائط پوری کرتے ہیں۔ یہ عمل پر مبنی محدود پہلا قانون اور مقداری دوسرا قانون متعین کرتا ہے، اور حرکی بلیک ہول کی اینٹروپی کو افق کے رقبے سے جوڑنا قدرتی بناتا ہے۔

کیا حقیقی نتیجہ ہے مگر تشریح پر منحصر: توازن سے باہر بھی "اینٹروپی = افق علاقہ" کی شناخت۔ نئے قوانین اسے بہت معقول بناتے ہیں، مگر یہ معیاری کلاسیکی علاقہ-اینٹروپی assumption کو استعمال کرتی ہے، اسے microscopic شماریات سے اخذ نہیں کرتی۔

یہ کیا نہیں دکھاتا: کوانٹم کشش ثقل کا نظریہ؛ بلیک ہول اینٹروپی کی microscopic اصل یا اس کی "گنتی"؛ معلومات paradox کا حل؛ کوئی مشاہداتی یا experimental نتیجہ؛ یا ایسا درجہ حرارت جسے عملی thermometer سے پڑھا جا سکے۔

اہم حدود: بنیادی اخذ عمومی اضافیت میں ہے، جبکہ زمان مانند تجزیر کا اطلاق نیم کلاسیکی تقریب استعمال کرتا ہے؛ دو بلیک ہولز کے اتصال کے نہایت قریب کا مختصر وقفہ حرکی افق کے کسی قطعے سے ظاہر نہیں ہوتا اور اس کی حراریاتی وضاحت پر کام جاری ہے، اگرچہ عددی سیمولیشنز نیم مقامی افق کی پیروی جاری رکھتی ہیں؛ تجزیر پذیر زمان مانند افقوں کے پس عمل کا صریح تجزیہ کروی تقارن تک محدود ہے؛ رقبہ-اینٹروپی شناخت فرض کی گئی ہے، شماریاتی میکانیات سے ثابت نہیں کی گئی۔

عام قاری کو کتنا اعتماد رکھنا چاہیے؟ اس بات پر زیادہ اعتماد کہ یہ ایک مضبوط، معتبر نظریاتی پیش رفت ہے جو بلیک ہول حراریات کو واقعی dynamical حالت تک بڑھاتی ہے۔ اتنا ہی زیادہ اعتماد کہ یہ نئی مشاہداتی دریافت، کوانٹم کشش ثقل، یا مشہور معلومات معما کا حل نہیں ہے۔ درست خلاصہ: telescope سے نہیں، ریاضی سے اٹھایا گیا ایک حقیقی قدم۔

اشاعت کے بعد کی تازہ کاریاں

• تصحیح 27-08-2026

مراسلہ نگار مصنف Ashtekar Abhay کی رائے کے بعد ہم نے دو بیانات درست کیے جن میں کہا گیا تھا کہ زمان مانند اور غیر محوری تقارن والی صورتوں کو ہم مرتبہ جائزہ شدہ ہمراہ مقالے میں صراحت سے زیر بحث لانے کے بجائے صرف ان کے حق میں استدلال کیا گیا ہے۔ جائزے کے دوران ہم نے یہ بھی واضح کیا کہ فریم ورک ابھی دو بلیک ہولز کے اتصال کے نہایت قریب کے اس مختصر وقفے کا احاطہ نہیں کرتا جس میں نیم مقامی افق حرکی افق کے قطعے کی شرائط پوری نہیں اترتا۔

• تصحیح 28-08-2026

مراسلت کے ذمہ دار مصنف Ashtekar Abhay کی مزید وضاحت کے بعد ہم نے نیم مقامی افقوں، جن کی عددی سیمولیشنز ابتدائی بلیک ہولز سے انضمام کے ذریعے باقی رہ جانے والے بلیک ہول تک پیروی کرتی ہیں، کو ان حصوں سے الگ کیا جو حرکی افق کے قطعات کی اضافی شرائط پوری کرتے ہیں اور جہاں حراریاتی قوانین لاگو ہوتے ہیں۔

ماخذ

251405 ,136 Lett. Rev. Phys. Equilibrium, from Far Holes, Black of Thermodynamics Shu, & Paraizo Ashtekar,
(2026)
<https://doi.org/10.1103/3c1r-v8f1>

Gravit. Relativ. Gen. theory, perturbation beyond holes black dynamical of Thermodynamics Shu, & Paraizo Ashtekar,
(2026) 91 ,58
<https://doi.org/10.1007/s10714-026-03585-4>