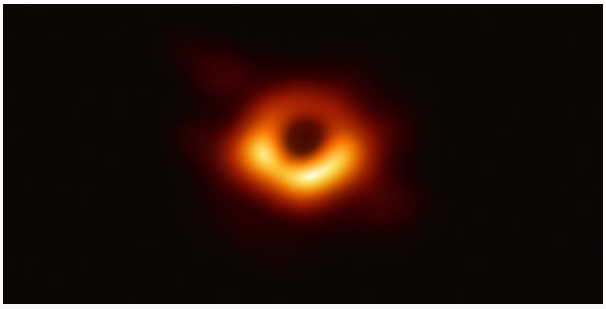
فرمول سیاه‌چاله هاوکینگ احتمالاً اثبات شد



یک سیاه‌چاله یک شیء مادی نیست – بلکه میدان گرانشی است که پس از فروپاشی یک ستاره‌ی عظیم باقی می‌ماند. در فاصله‌ی مشخصی از آن نقطه، گرانش آن‌قدر قوی می‌شود که حتی نور هم نمی‌تواند فرار کند.

نویسنده: Leah Crane

ترجمه و توضیح: علی شاکر

۵۰ سال پیش، استیون هاوکینگ، فیزیکدان مشهور، معادله‌ای نوشت که پیش‌بینی می‌کند سیاه‌چاله دارای آنتروپی است. آنتروپی ویژگی‌ای است که معمولاً با به‌هم‌ریختگیِ بی‌نظم اتم‌ها و مولکول‌ها در مواد مرتبط است.

با این حال، استدلال‌ها برای آنتروپی سیاه‌چاله غیرمستقیم بوده‌اند و هیچ‌کس، حداقل برای سیاه‌چاله‌های واقعی، نتوانسته است این معادله‌ی مشهور را از تعریف بنیادیِ آنتروپی استخراج کند. اکنون، یک گروه از نظریه‌پردازان ادعا می‌کنند که به این مهم دست یافته‌اند، هرچند برخی از متخصصان بدبین هستند.

این کار که در مقاله‌ای در حال چاپ در(Physical Review Letters۲۲۱۲.۰۸۶۲۳https://arxiv.org/abs/) گزارش شده است، مشکلی را حل می‌کند که برخی از نظریه‌پردازان برای چند دهه روی آن کار کرده‌اند.

دون مارولف، نظریه‌پرداز گرانشی در دانشگاه کالیفرنیا، سانتا باربارا که البته در این تحقیق مشارکت نداشته است، می‌گوید: «انجام این کار خوب است. این به ما نشان می‌دهد که چگونه باید پیش برویم، این عالی است.»

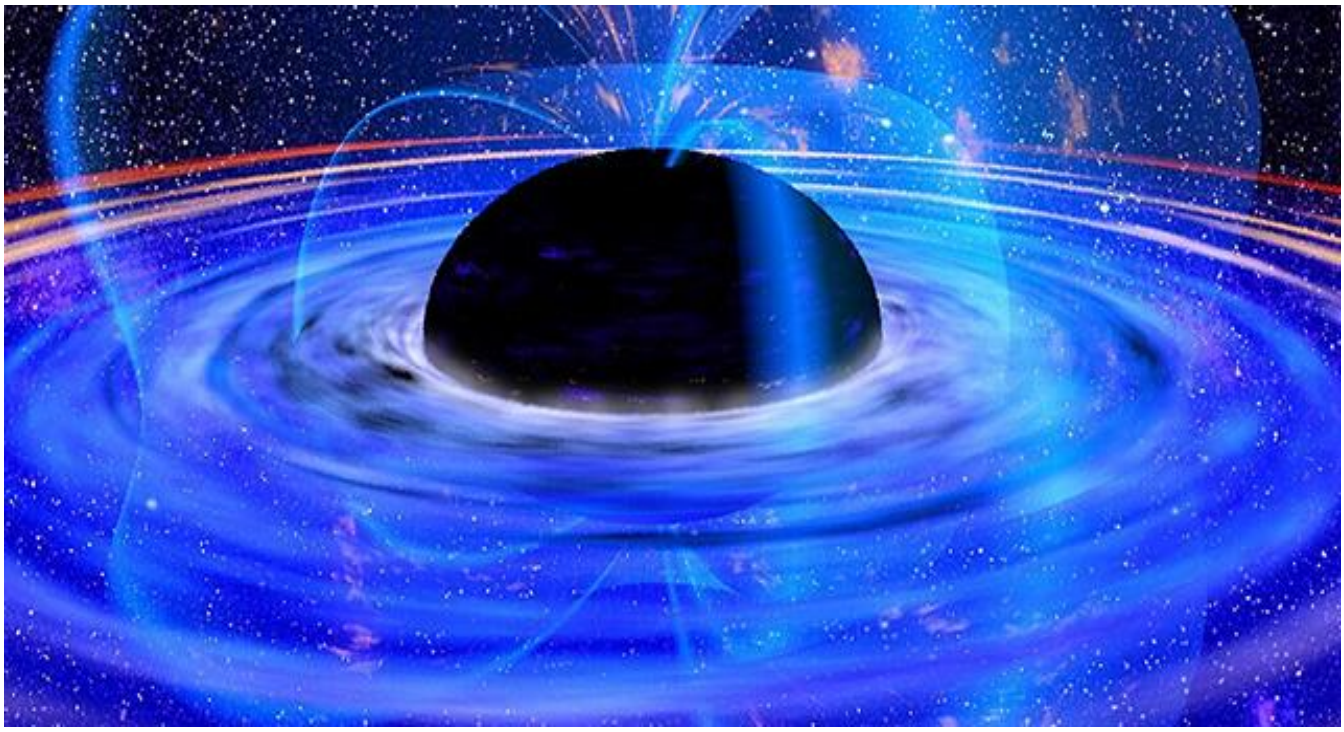
توضیح: آنتروپی، معیاری برای بی‌نظمی و آشفتگی در یک سیستم است. هر چه تعداد حالت‌های ممکن برای یک سیستم بیشتر باشد، آنتروپی آن سیستم بیشتر است. آنتروپی یکی از لغزنده‌ترین مفاهیم در ترمودینامیک است. چرا نمک باعث آب شدن یخ روی پیاده‌رو می‌شود؟

نمک انرژی‌ای به یخ برای گرم شدن اضافه نمی‌کند. بلکه به سادگی، روش‌های بسیار بیشتری برای چینش اتم‌ها و مولکول‌ها وجود دارد که منجر به تشکیل گودالی از آب شور می‌شود تا این‌که این دو ماده در بلورهای جداگانه‌ی خود باقی بمانند.

این بدان معناست که گودال آب شور آنتروپی بیشتری نسبت به بلورها دارد و سیستم به سمت حالت کلان‌مقیاسی با بیشترین آنتروپی پیشرفت می‌کند.

با این حال، یک سیاه‌چاله یک شیء مادی نیست – بلکه میدان گرانشی است که پس از فروپاشی یک ستاره‌ی عظیم باقی می‌ماند. در فاصله‌ی مشخصی از آن نقطه، گرانش آن‌قدر قوی می‌شود که حتی نور هم نمی‌تواند فرار کند.

افق رویداد مثل لبه‌ی یک آبشار است. هر چیزی که از لبه‌ی آبشار عبور کند، می‌افتد پایین و دیگر نمی‌تواند به بالا برگردد.



این فاصله، افق رویداد کروی سیاه‌چاله را تعریف می‌کند. در اواسط دهه‌ی ۱۹۷۰، هاوکینگ و نظریه‌پرداز دیگری به نام جیکوب بکنشتاین به‌طور مستقل استدلال کردند که یک سیاه‌چاله باید دارای آنتروپیِ متناسب با مساحت افق رویداد خود باشد.

آن زمان بکنشتاین داشت درباره‌ی چگونگی بزرگ‌تر شدن یک سیاه‌چاله با سقوط جرم به درون خودش، فکر می‌کرد که به این نتیجه رسید.

اما روش اساسی‌تری برای تعریف آنتروپی وجود دارد.

در دهه‌ی ۱۸۷۰، لودویگ بولتزمن متوجه شد که برای گازی با ویژگی‌های کلان‌مقیاسیِ ثابت مانند دما، فشار و حجم، مولکول‌های درون آن می‌توانند در هر یک از تعداد بسیار زیادی از چینش‌های موقعیت و سرعت، یا میکرو-حالت‌ها، باشند. او استنتاج کرد که آنتروپی اساساً تعداد چنین میکرو-حالت‌هایی است که با همان متغیرهای کلان‌مقیاسی سازگار هستند.

توضیح:

میکرو-حالت چیست؟

میکرو-حالت، یکی از حالت‌های ممکن برای یک سیستم است. برای مثال، اگر یک سکه را پرتاب کنید، دو میکرو-حالت ممکن وجود دارد: شیر یا خط.

ارتباط بین آنتروپی و میکرو-حالت:

هر چه تعداد میکرو-حالت‌های ممکن برای یک سیستم بیشتر باشد، آنتروپی آن سیستم بیشتر است.

فرض کنید یک لیوان آب را روی زمین می‌ریزید. قبل از ریختن آب، تمام مولکول‌های آب در لیوان به طور مرتب کنار هم قرار گرفته‌اند. پس از ریختن آب، مولکول‌ها به طور تصادفی در همه جا پخش می‌شوند. در این حالت، آنتروپی آب افزایش یافته است، زیرا مولکول‌ها در حالت‌های بسیار بیشتری می‌توانند باشند.

به‌طور ایده‌آل، فیزیکدانان باید بتوانند با تعریف بولتزمن از آنتروپی شروع کنند، میکرو-حالت‌های یک سیاه‌چاله را بشمارند و به فرمول بکنشتاین-هاوکینگ برسند.

تا کنون، آن‌ها تنها توانسته‌اند این کار را برای سیاه‌چاله‌های غیر واقعی با استفاده از نظریه‌ی ریسمانِ فرضی که فرض می‌کند هر ذره‌ی بنیادی یک

رشته‌ی ریز یا «برین» چندبعدی است، انجام دهند.

اما فرمول تازه کشف‌شده چیست؟

اکنون، ویجی بالاسوبرامانیان، نظریه‌پرداز گرانشی در دانشگاه پنسیلوانیا، و همکارانش می‌گویند که به روشی رسیده‌اند که برای سیاه‌چاله‌های واقعی کاربرد دارد.

در ابتدا، شاید فکر کردن به این‌که یک سیاه‌چاله میکرو-حالت دارد، بی‌معنی به نظر برسد. با این حال، طبق نظریه‌ی نسبیت عام انیشتین، انرژی و جرم، فضا-زمان را خم می‌کنند. علاوه بر این، عدم قطعیت کوانتومی بیان می‌کند که فضا-زمان باید دائماً در نوسان باشد. بنابراین، میکرو-حالت‌های یک سیاه‌چاله، انبوه پیچش‌های خاص فضا-زمان هستند که از دور هنوز مانند سیاه‌چاله به نظر می‌رسند.

بالاسوبرامانیان و همکارانش می‌گویند که راهی شگفت‌آورانه ساده برای شمارش آن‌ها پیدا کرده‌اند. آن‌ها یک پوسته‌ی کروی از غبار با شعاع و جرم معین را تصور می‌کنند که در پشت افق رویداد پنهان شده و در آن‌جا فضا-زمان را خم می‌کند. گرانش آن یک میکرو-حالت برای سیاه‌چاله ایجاد می‌کند. سپس دانشمندان می‌توانند با تغییر جرم و شعاع پوسته، بی‌نهایت میکرو-حالت ایجاد کنند.

توضیح:

پوسته‌های کروی غبار در واقع کره‌هایی پر از غبار و بسیار سنگین هستند. این پوسته‌ها فقط یک مدل ساده برای نشان دادن خمیدگی فضا-زمان توسط جرم هستند. در واقعیت، هیچ غباری در سیاه‌چاله وجود ندارد و از این مدل فقط برای محاسبه‌ی آنتروپی سیاه‌چاله استفاده می‌شود.

با این حال، همه‌ی این میکرو-حالت‌ها مستقل نیستند. در عوض، فضا-زمان‌های خمیده از پوسته‌های مختلف می‌توانند به‌طور جزئی همپوشانی داشته باشند و از این مقادیر می‌توان برای تعیین حداکثر تعداد فضا-زمان‌های واقعاً مستقل استفاده کرد.

محققان با اضافه کردن پوسته‌ها و سپس استفاده از ابزارهای ریاضی استاندارد، دریافتند که تعداد میکرو-حالت‌های مستقل در یک مقدار خاص به حداکثر می‌رسد. بالاسوبرامانیان و همکارانش گزارش می‌دهند که با قرار دادن این حداکثر در تعریف بولتزمن از آنتروپی، به معادله‌ی بکنشتاین-هاوکینگ می‌رسند.

بالاسوبرامانیان می‌گوید که این محاسبه به این دلیل کار می‌کند که حالت‌های ایجاد شده توسط پوسته‌های ساده‌ی غبار برای پیمایش تمام حالات داخلیِ ممکنِ سیاه‌چاله کافی هستند.

این امر شگفتی‌انگیز است چون پژوهشگران حتی نیازی به مشخص کردن نظریه‌ای که آن ماده را توصیف می‌کند، ندارند.

بالاسوبرامانیان می‌گوید: «شما می‌توانید پایه‌ای برای تمام میکرو-حالت‌های سیاه‌چاله از پوسته‌های هر نوع ماده‌ای که در آن وجود دارد، بسازید.»

مارولف از جمله پژوهشگرانی است این روش را متقاعد کننده می‌داند. سال ۲۰۱۵ مارولف و همکارانش محاسبه‌ی مشابهی را انجام دادند تا نشان دهند با تبخیر نهایی سیاه‌چاله اساساً هر اطلاعاتی را که در ماده‌ای که به درون آن سقوط کرده است، رمزگذاری می‌شود.

این اتفاق از طریق فرآیندی کوانتومی به نام «تابش هاوکینگ» به وجود می‌آید. در این فرایند ذراتی درست در خارج از افق رویداد آن به وجود می‌آیند.

او می‌گوید این مطالعات با نشان دادن اینکه سیاه‌چاله‌ها اطلاعات را به‌طور دائمی نابود نمی‌کنند، پارادوکس اطلاعات سیاه‌چاله را حل کردند.

توضیح: احتمالا می‌پرسید پارادوکس اطلاعات سیاه‌چاله چیست؟

همان‌طور که می‌دانیم در جهان هستی این ماده نیست که انتقال پیدا می‌کند، بلکه اطلاعات مربوط به آن است که جابه‌جا می‌شود. فرض کنید یک کتاب را داخل سیاه‌چاله بیندازیم.

در واقع ما مجموعه‌ای از اطلاعات مرتبط با جنس اتم‌های جلد، کاغذ، و اطلاعات نوشتاری داخل کتاب را داخل سیاه‌چاله انداخته‌ایم.

برای اینکه بتوانیم این کتاب را دوباره ببینیم، می‌بایست اطلاعاتش را بازیابی کنیم که نیازمند پیوند میان فیزیک نسبیت و مکانیک کوانتوم است. اگر بخواهم دقیق‌تر بگویم این اطلاعات در دو وضعیت تناقض‌نما قرار دارد.

- طبق مکانیک کوانتومی، اطلاعات نمی‌تواند به طور کامل از بین برود.
- طبق نسبیت عام، سیاه‌چاله‌ها به طور کامل از جهان جدا می‌شوند.

تناقض:

- اگر اطلاعاتی به داخل سیاه‌چاله سقوط کند، طبق مکانیک کوانتومی، این اطلاعات باید برای همیشه حفظ شود.
- اما طبق نسبیت عام، سیاه‌چاله‌ها به طور کامل از جهان جدا می‌شوند، به این معنی که اطلاعاتی که به داخل سیاه‌چاله سقوط می‌کند، برای همیشه از دست می‌رود.

مارولف و همکارانش سال ۲۰۱۵ سعی کردند این تناقض را حل کنند. این مقاله‌ای هم که داریم می‌خوانیم در همین زمینه دارد تلاش می‌کند. اگر طی زمان یافته‌های این روش تأیید شود، گامی مهم در حل پارادوکس اطلاعات سیاه‌چاله خواهد بود.

تردیدها هنوز باقی است : برخی از متخصصان در مورد این روش تردید دارند و می‌گویند که حالت‌های ایجاد شده غیر فیزیکی هستند.

ایوسیف بنا، نظریه‌پرداز گرانشی در دانشگاه پاریس-ساکله، متقاعد نشده است. او می‌گوید که حالت‌هایی که بالاسوبرامانیان ایجاد می‌کند بسیار «عجیب» و غیر فیزیکی‌اند، چون ناگهان به هیچ چیز تبدیل می‌شوند.

به گفته‌ی بنا ممکن است روش بالاسوبرامانیان و همکارانش به دلیل نقصی در نحوه‌ی محاسبه، به پاسخ درست رسیده باشد. این طور که بنا می‌گوید این نقص می‌تواند شامل تبدیل مسئله به یک نظریه‌ی «دوگانه» با یک بعد کمتر و بدون گرانش باشد.

توضیح:

هر نظریه فیزیکی می‌تواند به عنوان یک نظریه‌ی «دوگانه» با یک بُعد کمتر و بدون گرانش فرموله شود.

به عبارت دیگر، هر نظریه فیزیکی را می‌توان به گونه‌ای بازنویسی کرد که در آن، به جای ذرات و نیروها در یک فضای چهاربعدی، با ذرات و رشته‌ها در یک فضای سه‌بعدی کار کنیم.

یک توپ در حال حرکت را در دنیای سه بعدی (طول، عرض و ارتفاع) در نظر بگیرید. می‌خواهیم این توپ را در یک فضای دوبعدی (مانند یک صفحه کاغذ) رسم کنیم. اول یک دایره می‌بایست رسم کنیم. این دایره در فضای دوبعدی می‌تواند حرکت کند و تمام ویژگی‌های توپ را هم در دنیای واقعی داشته باشد.

حالا جایِ توپ بگذارید، ذرات و نیروها. اگر فضای دو بعُدی را سه بعدی فرض کنیم، دایره تبدیل به «رشته» می‌شود. رشته‌های بی‌نهایت ریز. اینجاست که نظریه‌ی ریسمان برای‌مان دست تکان می‌دهد.

این همان نکته‌ای است که ایوسیف بنا روی آن انگشت گذاشته است و تاکید می‌کند دلیل اینکه آنان به جواب رسیده‌اند این است که دارند از نظریه‌ی ریسمان برای توضیح کار خود استفاده می‌کنند.

او می‌گوید: «نظریه دوگانه خیلی هوشمند است. اطلاعات زیادی در مورد سیستم‌های برین و همه چیز دارد.»

توضیح:

مقاله‌ی نیوساینتیست همین‌جا به پایان می‌رسد و البته دقیق متوجه نمی‌شویم که تردید منتقدان نسبت به این دستاورد علمی چیست.

حتما می‌پرسید سیستم‌های برین چیست که بنا می‌گوید در حل پارادوکس اطلاعات سیاه‌چاله کمک می‌کند؟

سیستم‌های برین (brane systems) نوعی سیستم فیزیکی هستند که از نظریه ریسمان (String Theory) نشأت می‌گیرند. در نظریه ریسمان، اشیاء بنیادی جهان رشته‌هایی کوچکی و در حال ارتعاش‌اند. ارتعاشات مختلف رشته‌ها، ذرات مختلفی را ایجاد می‌کنند که در جهان اطراف‌مان می‌بینیم. پس سیستم‌های برین نوعی سیستم فیزیکی هستند که از رشته‌های در حال ارتعاش تشکیل شده‌اند.

البته من به عنوان خواننده این مقاله‌ی نیوساینتیست دقیق متوجه نشدم که این استاد دانشگاه پاریس با این یافته‌ها موافق بود یا نه. اگر می‌گفت

اشتباه است پس چرا از آن تمجید کرد سر آخر؟

اما آنچه از کلیت مطلب می‌فهمم این است که به نظر می‌رسد این مقاله به راه‌حل جذابی برای یافتن میزان آنتروپی سیاه‌چاله دارد.

اگر تا اینجای ترجمه با من همراه شده‌اید احتمالا از خود می‌پرسید خب که چه؟

چرا این یافته برای ما انسان‌ها مهم است؟

حل پارادوکس اطلاعات سیاه‌چاله:

یکی از بزرگترین مسائل حل نشده در فیزیک، پارادوکس اطلاعات سیاه‌چاله است. پیدا کردن میزان آنتروپی سیاه‌چاله می‌تواند به حل این پارادوکس کمک کند.

که چه؟

اول اینکه درک عمیق‌تری نسبت به قوانین فیزیک کوآنتوم و ترمودینامیک کوآنتومی می‌رسیم و این امر می‌تواند منجر به توسعه‌ی فناوری‌های نوینی شود که آینده‌ی بشر را متاثر می‌کند. فناوری‌هایی مثل موتورهای فضایی نوین که با روش‌های جدید تولید انرژی می‌کنند. بعد هم اینکه ما هنوز نمی‌دانیم ماهیت اطلاعات، فضا زمان و واقعیت چیست. حل این تناقض می‌تواند منجر به کشف‌های جدید و غیرمنتظره‌ی دیگر شود.

منابع:

- We finally know why Stephen Hawking's black hole equation works -we-finally-know-why-stephen-hawkings-black-hole-equation-۲۴۲۵۷۰۰https://www.newscientist.com/article/ /works
- The Black Hole Information Paradox: https://en.wikipedia.org/wiki/Black_hole_information_paradox
- String Theory: https://en.wikipedia.org/wiki/String_theory