

## حفره عظیم فضایی

### ایشخوان ساپدی

### برگردان : امید برومند

یک لکه‌ی سرد عجیب و غریب در نقشه تابش پس زمینه کیهانی نشان دهنده‌ی منطقه‌ی عظیمی در جهان است که تقریباً خالی از ماده است.



ایشخوان ساپدی اخترشناسی از  
موسسه نجوم در دانشگاه هاوایی  
است. او در آنجا ساختار بزرگ  
حجم جهان را بررسی می‌کند.

قدیمی‌ترین تابش در جهان از دوران 380000 سال پس از مه‌بانگ (بیگ بنگ) است که 13.8 میلیارد سال پیش رخ داده است. این تابش با درجه حرارت متوسط 2.7 کلوین بطور یکنواخت از تمام جهات به ما می‌رسد. نقشه‌ی دو بعدی آسمانی از این تابش پس زمینه کیهانی، اغلب توسط محققان به مثابه‌ی تصویری از جهان تازه تولد یافته مطرح می‌شود، زیرا نگاهی به شرایط اولیه‌ای که کیهان امروزی را شکل داده‌اند، ارائه می‌دهد.

اما تصویر جهان جوان به هیچ‌وجه بی‌نقص نیست، استثناءها و موارد خاصی نشان می‌دهند که با مدل استاندارد کیهان‌شناسی سازگار نیستند. بزرگ‌ترین مورد خاص در جریان Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) در آژانس فضایی آمریکا (ناسا) در سال 2004 کشف شد. این منطقه حدود 20 برابر مساحت قرص ماه را در آسمان اشغال می‌کند. فوتون‌های این منطقه بسیار خنک به نظر می‌رسند. برخی از محققان بر این باورند که «لکه‌ی سرد» یک عیب و ایراد است که تقارن شکوهمند تابش پس‌زمینه کیهانی را نقض می‌کند، و برخی دیگر معتقدند که این پدیده به طرز هیجان‌انگیزی خواص کیهان را غنی می‌کند. این مورد خاص و سوالات مربوط به علل اساسی‌اش از همان ابتدا مرا شیفته‌ی خود کرده‌اند.

دانشمندان پیرامون راز لکه‌ی سرد بحث فراوانی می‌کنند. لکه‌ی سرد ممکن است تنها یک پدیده‌ی صرفن تصادفی باشد. چنین چیزی با احتمال حدودی 1 به 200 کم است. البته تلاش‌های توضیح‌گرانه بسیار دیگری نیز وجود دارند: از مشکلات ابزارهای مشاهده‌گر گرفته تا این ایده که موضوع بر سر دروازه‌ای به جهان دیگر یا به ابعاد پنهان است.

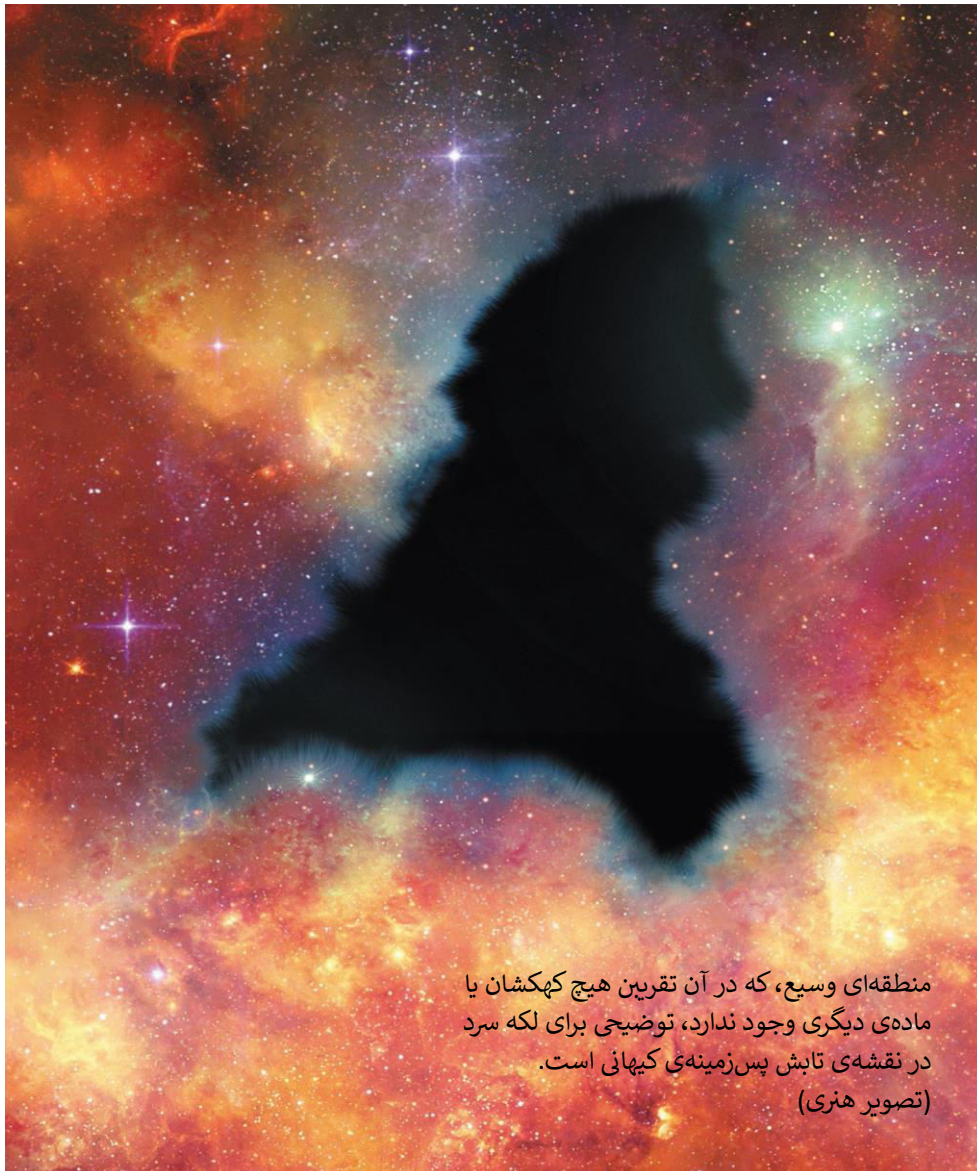
با یک **قیاس‌گیری** (Extrapolation) از ساختارهای شناخته شده در جهان، من و برخی از همکارانم در سال 2007 این نظریه را مطرح کردیم، که این لکه‌ی سرد می‌تواند نشانه‌ای از یک منطقه عظیم اما به صورت غیر عادی کم جرم باشد که به سختی در آن ماده یافت می‌شود. اگر چنین **حفره‌ی عظیمی** واقع وجود داشته باشد و بر طبق تصورات ما لکه‌ی سرد را ایجاد کند، عواقب عظیمی در پی خواهد داشت: **این حفره‌ی عظیم** به ویژه نشانه مستقلی برای انرژی تاریک خواهد بود، که به نوبه‌ی خود علت انبساط شتابدار جهان به حساب می‌آید.

در حقیقت منطقه‌هایی با اندازه‌ی متوسط که دارای تعداد نسبتاً کمی از کهکشان‌ها هستند و همین‌طور نقطه‌ی مقابل آنها یعنی منطقه‌هایی که دربرگیرنده‌ی چندین هزار خوشه‌ی کهکشانی هستند، به هیچ وجه نادر نیستند. احتمالاً هنگام جوانی جهان، فرآیندهای تصادفی مکانیک کوانتومی منجر به نوسان‌های کوچکی در چگالی ماده‌ی اولیه شدند و نطفه‌ی شکل‌گیری خوشه‌های کهکشانی و **حفره‌ها** را گذاشتند. منطقه‌های در ابتدا متراکم‌تر، به علت نیروی جاذبه‌ی بیشترشان، به مرور زمان بیشتر و بیشتر ماده جلب کردند. در عوض، تراکم در منطقه‌های بینابینی به طور مدام کاهش یافت.

## در یک نگاه

## حفره‌ی سرد کیهانی

- 1- نقشه‌ی تابش پس‌زمینه‌ی کیهانی نشانگر یک «لکه‌ی سرد» عجیب و غریبی است که در آن فوتون‌ها بسیار خنک‌تر از حد متوسط هستند.
- 2- علت این امر می‌تواند یک منطقه‌ی عظیم و تقریباً خالی در پیش‌زمینه باشد. اگر نور از چنین «آبر حفره» ای عبور کند، به‌واسطه‌ی «اثر یکپارچه ساکس-ولف» ( Sachs-Wolfe-Effect ) ( شکل شماره 5 ) انرژی از دست داده و خنک‌تر می‌شود.
- 3- در واقع، اخترشناسان اخیراً یک «آبر حفره» به بزرگی 1.8 میلیارد سال نوری در سمت لکه‌ی سرد کشف کرده‌اند. با این حال، اطلاعات بیشتری برای اثبات ارتباط بین این آبر حفره و لکه‌ی سرد لازم است.





شکل 2

در کاوشی توسط تلسکوپ -

Panoramic Survey Telescope and Rapid Response System و Pan-STARRS

در جزیره هاوایی موئی، اخترشناسان منطقه‌ی وسیعی را ردیابی کردند که به سختی ماده‌ای در آن یافت می‌شود.

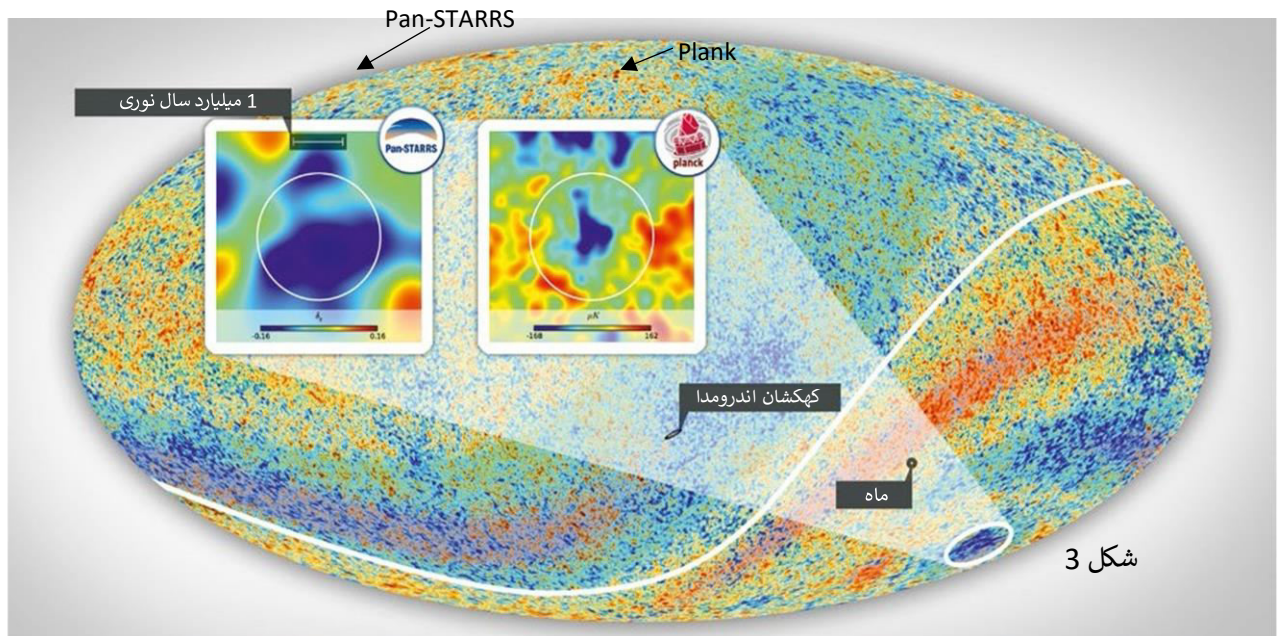
### فراز و نشیب تابش پس‌زمینه به انرژی نیاز دارد

محققان بر روی اثرات چنین حفره‌های کوچک‌تر و خوشه‌های کهکشانی، بر روی ماده یا نور در هنگام عبور از میان‌شان، تأملاتی کرده‌اند. هنگامی که ذره‌ای به درون یک ناحیه‌ی کم چرم حرکت می‌کند، از جانب ماده‌ی متراکم‌تر بیرون از آن ناحیه، خیلی بیشتر از ماده‌ی بسیار ضعیف پراکنده شده در درون خود آن ناحیه جذب می‌شود. بدین طریق ذره، مانند توپی که تپه‌ای را به سمت بالا می‌پیماید، انرژی از دست می‌دهد. هنگام ترک حفره این اثر معکوس می‌شود. ماده‌ی متراکم‌تر در پیش رو، جاذبه‌ی قوی‌تری را اعمال می‌کند و ذره را همانند قل خوردن توپ از تپه‌ای به سمت پایین، شتاب می‌بخشد. اتفاق مشابهی برای فوتون‌های تابش پس‌زمینه‌ی کیهانی اتفاق می‌افتد. آن‌ها سرعت خود را تغییر نمی‌دهند، زیرا سرعت نور در خلأ ثابت است، اما انرژی آن‌ها تغییر می‌یابد و این به نوبه‌ی خود، متناسب با درجه‌ی حرارت است. اگر یک فوتون به درون یک حفره حرکت کند انرژی از دست می‌دهد و خنک‌تر می‌شود. با ترک دوباره‌ی حفره، انرژی بدست آورده و دوباره گرم‌تر می‌شود. بنابراین باید از حفره با همان انرژی که به درون آن داخل شده است، خارج شود. مگر این که جهان انبساط یابد.

در دو دهه‌ی گذشته، اخترشناسان کشف کرده‌اند که کیهان نه تنها انبساط می‌یابد، بلکه انبساط آن نیز سریعتر شده است. اکثر آنها یک **انرژی تاریک** را علت این امر می‌دانند. این نوعی فشار منفی در فضای خالی است که در مقابل نیروی گرانش عمل می‌کند. گرانش به خودی خود انبساط را حتی کند می‌کند.

انبساط شتاب‌یافته بر روی رفتار ماده و نور به هنگام عبور از حفره (void) تأثیر می‌گذارد. از منظر فوتونی که از میان حفره می‌گذرد، زمین پای تپه تا حدی برآمدگی پیدا می‌کند. بنابراین فوتن، هنگام خروج از حفره، انرژی کمتری نسبت به انرژی‌ای که هنگام پرواز

به‌درون آن از دست داده، به دست خواهد آورد. فوتون هنگام عبور از این فضا به‌صورت خالص انرژی از دست می‌دهد. به همین جهت ما باید در مجاورت منطقه‌های کم تراکم ماده، به میزان کمی، شاهد کاهش حرارت تابش پس‌زمینه باشیم. این پدیده را کیهان



این نقشه آسمانی از تابش پس‌زمینه‌ی کیهانی، نوسانات دما به مقدار 0.0002 کلونین را نشان می‌دهد. رنگ سرخ منطقه‌های گرم‌تر و رنگ آبی منطقه‌های خنک‌تر را نشان می‌دهند. این نوسانات کم حجم را می‌توان با مدل استاندارد کیهان‌شناسی توضیح داد. اما نه آن لکه‌ی سرد آشکار سمت راست پایین نقشه را؛ آن لکه بطور قابل ملاحظه‌ای بزرگ‌تر از نوسانات معمولی است.

شناسان اثر جامع ساکس-ولف ISW (شکل 5) می‌نامند. عکس آن برای عبور از آب‌خوشه‌های کپکشانی صدق می‌کند. در این جا فوتون‌ها انرژی خالص به دست می‌آورند، بدین جهت درجه‌ی حرارت تابش پس‌زمینه کمی بیشتر است.

### جستجو بدنبال یک آبرحفره‌ی فضایی با الگو برداری از آسمان کاری پیش‌پا افتاده نیست

**اثر جامع ساکس-ولف ISW** باید ناچیز باشد؛ حتی برای حفره‌های بزرگ، منجر به تغییرات دمایی می‌شود، که پایین‌تر از نوسانات متوسط تابش پس‌زمینه‌ی کیهانی قرار دارند. این نوسانات می‌توانند تا 0.01 درصد باشند و ریشه در انحرافات کوچک چگالی در هنگام جوانی جهان دارند. البته در یک حفره‌ی فضایی عظیم، یک آبرحفره؛ این تفاوت می‌تواند برای تولید لکه‌ی سرد مشاهده شده کافی باشد. و اگر ما بتوانیم نشان دهیم که چنین حفره‌ی عظیمی واقعا وجود دارد و نتیجه‌ی **استثنا** و مورد خاص است، در آن صورت ما فقط توضیحی برای لکه سرد پیدا نکرده‌ایم. بلکه هم زمان سندی مستقل از وجود انرژی تاریک را ارائه خواهیم داد. اگر جهان بصورت شتاب‌یافته‌ای انبساط نمی‌یافت، هر چند که در این حالت نیز اثر **ساکس-ولف ISW** به موجودیت خود ادامه می‌داد، اما این اثر آن‌قدر کوچک می‌شد که دیگر قابل اثبات نبود.

در سال 2007، ستاره‌شناسان در منطقه‌ی فضایی لکه‌ی سرد کاوش به‌دنبال یک آبرحفره را شروع کردند. با این حال، اثبات چنین ساختاری آسان نیست. چرا که بسیاری از الگو برداری‌ها از آسمان، تصویرهایی دو بعدی از جهان ایجاد می‌کنند. از آن‌ها نمی‌شود دریافت که اشیاء ثبت شده چه فاصله‌ای با ما دارند. بنابراین کپکشان‌های ظاهرا همسایه می‌توانند نزدیک و کنار هم‌دیگر و یا بسیار دور از یکدیگر در امتداد راستای دید ما باشند.

## یک تپه سرد و تک افتاده‌ی انرژی در کیهان

در سال 2007 *لوورنس رادنیک* از دانشگاه *مینه‌سوتا* در *مینپولیس* و همکارانش کاتالوگ کهکشان‌ها را که مبتنی بر مشاهدات رادیویی (NVSS) NRAO VLA Sky Survey است، تجزیه و تحلیل کردند. در این هنگام، آنها به منطقه‌ای در جهت لکه‌ی سرد برخوردند، که شمار کهکشان‌های موجود در آن کمتر از شمار متوسط در هر جای دیگر است. اگر چه این کاتالوگ، اطلاعاتی در مورد فاصله‌ی آنها ندارد، اما اخترشناسان می‌دانستند که بیشتر کهکشان‌هایی که در آنجا قرار دارند بسیار دور از ما هستند.

بر اساس این اطلاعات، *رادنیک* و همکارانش فرض را بر این گذاشتند که یک *آبر حفره* که در حال حاضر حدود 11 میلیارد سال نوری از ما دور است، لکه‌ی سرد را از طریق *اثر ISW* تولید کرده است. به علت انبساط جهان، تابشی که امروز از آنجا به ما می‌رسد، 8 میلیارد سال قبل، از *آبر حفره* عبور کرده است. در این دوره‌ی اولیه‌ی کیهانی، انرژی تاریک هنوز به اندازه امروز قوی نبود و بنابراین *اثر ISW* برای تولید لکه‌ی سرد مشاهده شده بسیار ضعیف بوده است.

با وجود این کارهای *رادنیک* علاقه مرا بخود جلب کرد. همراه با *بن گارنت* که در آن زمان دانشجوی دکتری و *مارک نایرینگ* در مرحله پس‌ادکتر از دانشگاه هاوایی بود، بررسی کردیم که چگونه غالبین ساختارهای کوچک تابش پس‌زمینه کیهانی - یعنی منطقه‌های سرد و گرم - در پس *حفره‌ها* و خوشه‌های کوچک کهکشانی، پوشانده می‌شوند. در واقع چنین تطابق و روپوشانی اغلب اتفاق افتاده است. اگر چه هیچ یک از ساختارهای شناخته شده نمی‌توانند ایجاد کننده‌ی لکه‌ی سرد باشند، این نتیجه ما را متقاعد کرد که جستجو برای یک *آبر حفره* در جهت *لکه‌ی سرد* کاملن موجه است.

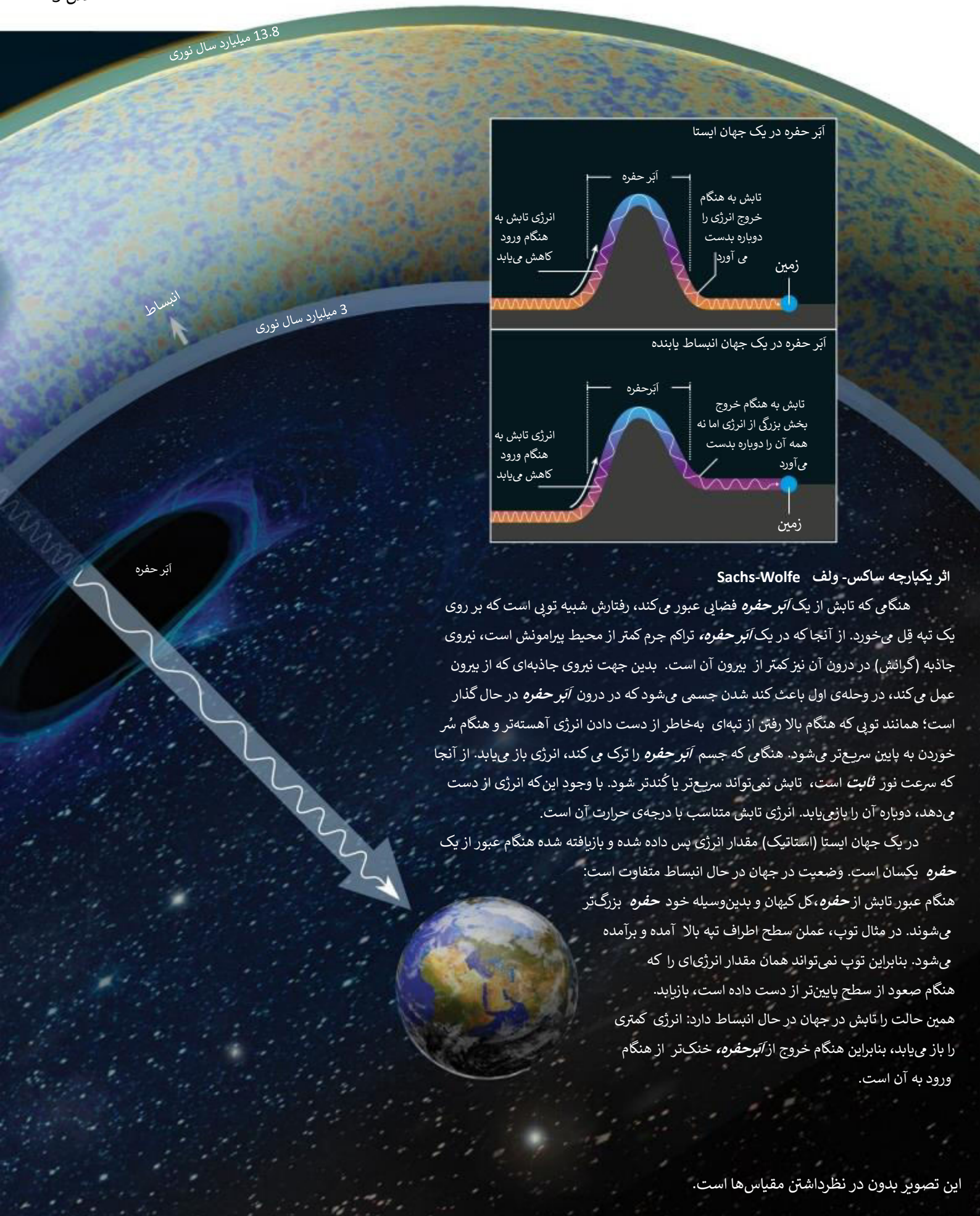
بدینگونه ما در ابتدای سال 2010 با تلسکوپ کانادایی-فرانسوی-هاوایی، چندین بخش انتخاب شده در منطقه‌ی لکه‌ی سرد را مشاهده کرده و تعداد کهکشان‌ها را در آنجا شمردیم. نتیجه ناامید کننده بود:

لکه سرد در تابش پس‌زمینه کیهانی

انبساط

لکه سرد

تابش پس‌زمینه کیهانی 380,000 سال پس از مه‌بانگ انتشار یافت و امروز با دمای 2.7 کلوین به ما می‌رسد. نقشه‌اش نوسانات کم حرارتی را نشان می‌دهد. در منطقه‌های قرمز، تابش پس‌زمینه کمی گرم‌تر است و در منطقه‌های آبی کمی سردتر. اما منطقه خاص بزرگ‌تر و سردتری وجود دارد و به شکل واضحی متفاوت‌تر از نوسانات معمولی است. محققان اخیراً یک *آبر حفره* را کشف کرده‌اند- منطقه‌ای در فضا که در آن به طرز قابل توجهی نسبت به جاهای دیگر، کهکشان‌های کمتری وجود دارند. بنا به عقیده *ایشتوان سایدی* این حفره‌ی عظیم می‌تواند لکه‌ی سرد مرموزی را که توسط ماهواره ناسا WMAP در تابش پس‌زمینه کیهانی کشف شد و ماهواره پلانک از ESA آن را تایید کرد، توضیح دهد.

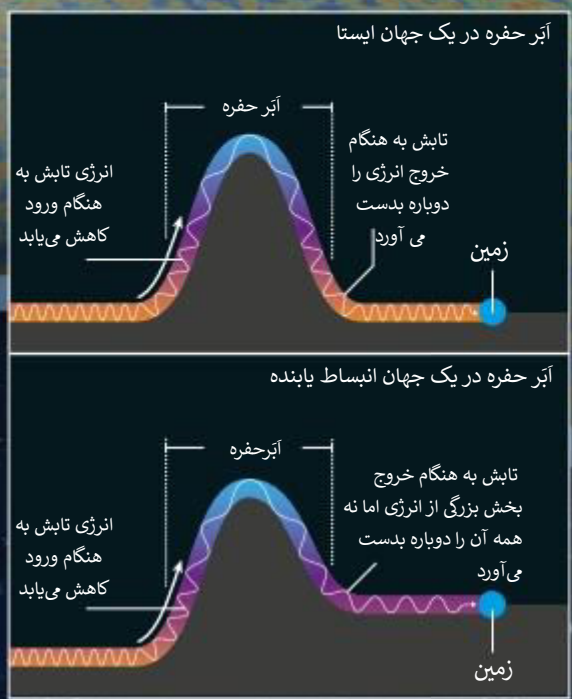


13.8 میلیارد سال نوری

3 میلیارد سال نوری

انبساط

آبر حفره



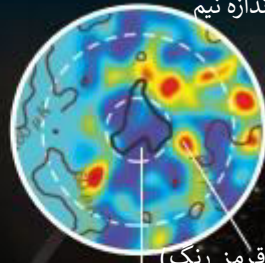
**اثر یکپارچه ساکس-ولف Sachs-Wolfe**

هنگامی که تابش از یک **آبر حفره** فضایی عبور می کند، رفتارش شبیه توپی است که بر روی یک تپه قل می خورد. از آنجا که در یک **آبر حفره** تراکم جرم کمتر از محیط پیرامونش است، نیروی جاذبه (گرانش) در درون آن نیز کمتر از بیرون آن است. بدین جهت نیروی جاذبه ای که از بیرون عمل می کند، در وحله اول باعث کند شدن جسمی می شود که در درون **آبر حفره** در حال گذار است؛ همانند توپی که هنگام بالا رفتن از تپه ای به خاطر از دست دادن انرژی آهسته تر و هنگام سر خوردن به پایین سریع تر می شود. هنگامی که جسم **آبر حفره** را ترک می کند، انرژی باز می یابد. از آنجا که سرعت نور ثابت است، تابش نمی تواند سریع تر یا کندتر شود. با وجود این که انرژی از دست می دهد، دوباره آن را بازیابی یابد. انرژی تابش متناسب با درجهی حرارت آن است.

در یک جهان ایستا (استاتیک) مقدار انرژی پس داده شده و بازیافته شده هنگام عبور از یک **حفره** یکسان است. وضعیت در جهان در حال انبساط متفاوت است: هنگام عبور تابش از **حفره**، کل کیهان و بدین وسیله خود **حفره** بزرگ تر می شوند. در مثال توپ، عملن سطح اطراف تپه بالا آمده و برآمده می شود. بنابراین توپ نمی تواند همان مقدار انرژی ای را که هنگام صعود از سطح پایین تر از دست داده است، بازیابد. همین حالت را تابش در جهان در حال انبساط دارد: انرژی کمتری را باز می یابد، بنابراین هنگام خروج از **آبر حفره** خنک تر از هنگام ورود به آن است.

## جهان در برش‌ها و لایه‌ها

محققان بر اساس موقعیت‌های کهکشان‌ها و فاصله‌های برآورد شده، یک نقشه‌ی تراکم سه بُعدی در سه فاصله‌ی ردیف شده را ایجاد کردند. این نقشه بر روی موقعیت لکه‌ی تاریک متمرکز شده است. تراکم کهکشانی (سمت چپ) با رنگ گدگداری شده است: قرمز متناسبین تراکم بالا و آبی تراکم پایین را نشان می‌دهد. دایره‌های سفید نشانگر شعاع پنج و ده درجه در اطراف مرکز لکه‌ی سرد هستند. برای مقایسه: ماه در آسمان قطری به اندازه نیم درجه دارد. خط حاشیه‌ای سیاه رنگ، تقریبین شکل لکه سرد را نشان می‌دهد. خطوط حاشیه‌ای قرمز رنگ ساختارهای آشکار دیگری در تابش پس‌زمینه کیهانی را نشان می‌دهند.



تراکم بالا (قرمز رنگ)

تراکم پایین (آبی رنگ)

3 میلیارد سال نوری

تابش پس‌زمینه‌ی کیهانی

### یافته

منطقه‌ی فاصله‌ی اول، انتقال به سرخ تا 0.09 را نشان می‌دهد، که مطابق با فاصله‌ای تا 1.24 میلیارد سال نوری است. این منطقه بصورت خارق العاده‌ی کم جرم نیست. منطقه‌ی دوم، انتقال به سرخ از 0/11 تا 0/14 و یا منطقه‌ای از 1.5 تا 1.9 میلیارد سال نوری را پوشش می‌دهد. در آنجا، محققان با یک منطقه‌ی گسترده‌ی خالی یا **آبر حفره‌ای** مواجه شدند، که درست در جلوی لکه‌ی سرد قرار دارد. منطقه‌ی سوم انتقال به سرخ از 0.17 تا 0.22 را نشان می‌دهد و بنابراین شامل فاصله‌ای بین 2.3 تا 2.9 میلیارد سال نوری است. در آنجا احتمال حفره‌ی کوچکی وجود دارد که از مرکز لکه‌ی سرد دور است.

انتقال به سرخ 0.09

0.14-0.11

0.22-0.17

### در جستجوی آبر حفره

برای ردیابی حفره فضایی عظیمی که احتمال لکه‌ی سرد در نقشه تابش پس‌زمینه را ایجاد کرده است، ستاره‌شناسان کاتالوگی از کهکشان‌ها با داده‌هایی از **کاوشگر وسیع (WISE)** و تلسکوپ PanSTARR را ارزیابی کرده‌اند. این کاتالوگ شامل موقعیت‌های آسمانی بسیاری از کهکشان‌هاست، اما شامل فاصله‌ی آنها نیست. با این حال، دومی را می‌توان از رنگ کهکشان‌ها برآورد کرد. چرا که نور آنها به خاطر انبساط کیهانی هنگام عبور در فضا انرژی از دست می‌دهد، طول موج آن کشیده می‌شود و بدین ترتیب قرمزتر به نظر می‌رسد. هر چه جسمی از ما دورتر باشد، این **انتقال به سرخ** کیهانی شدیدتر می‌شود.

شکل 6

در این تصویر مقیاس‌ها رعایت نشده‌اند.

ما هیچ نشانه‌ای از یک **حفره عظیم** در فاصله‌ی داده شده **رودنیک** پیدا نکردیم، حتی وجود یک **آبر حفره‌ی فضایی** در فاصله‌ی بیش از 3 میلیارد سال نوری را کاملن غیر ممکن نشان دادیم. جستجوی مشابهی توسط **مالکوم برمر** و همکارانش از دانشگاه **بریستول** در بریتانیا نتیجه‌ی دیگری به دست ندادند. به موازات مشاهدات ما، محققان مستقل بار دیگر اهمیت آماری نتایج **رودنیک** را کنترل کرده و مقدار کمتری نسبت او به دست آوردند. بنابراین به نظر می‌رسد که ما باید از این ایده، که لکه‌ی سرد می‌تواند توسط **اثر ISW** پدید آمده باشد، دست می‌کشیدیم.

چرا راه دور برویم؟ هدف بسیار نزدیک‌تر از آن چیزی است که فکرش را می‌کنیم

اما یک روزنه‌ی امید وجود داشت. در داده‌ها و اطلاعات ما، یک **آبر حفره** یافت شد، که بسیار نزدیک‌تر به ما است.

با اطلاعاتی که در دست داریم اثبات وجود چنین ساختاری در نزدیکی مشکل‌تر از اثبات ساختاری است که بسیار دورتر قرار دارد. زیرا که بخش مشاهده شده‌ی آسمان در فاصله‌ی زیاد، شامل حجم فضایی بسیار بزرگ‌تری است تا آن بخش آسمان که در مجاورت ما است. به همین نسبت، دقت ما در شمارش کهکشان‌ها با افزایش فاصله، افزایش می‌یابد. احتمال اینکه مقدار کمتر کهکشان‌های پیدا شده در فاصله‌ی نزدیک‌تر واقع نشان‌دهنده‌ی یک **آبر حفره** در محدوده‌ی کیهانی ما است، فقط 75 درصد بود. مطابق استانداردهای معمول در علم، این درصد به اندازه‌ی بارقه‌ی امیدی بیش نیست. بنابراین ما می‌بایست منطقه‌ی بسیار بزرگ‌تری از آسمان را بررسی می‌کردیم، که لکه‌ی سرد را هم کاملن دربرگیرد تا بتوانیم از این طریق اظهارات دقیقی را مطرح کنیم.

چند سال بعد، موسسه‌ی نجوم دانشگاه هاوایی یعنی جایی که من تحقیقاتم را انجام می‌دادم، تلسکوپ جدیدی دریافت کرد: اولین ابزار «تلسکوپ بازرسی پانورامیک و سیستم پاسخ سریع» بصورت مخفف Pan-STARRS PS1، مجهز به بزرگترین دوربین جهان با وضوح 1.4 گیگاپیکسل و در ارتفاع 3000 متری در آتشفشان هالیکالا از جزیره Maui مستقر شد. این دقیقن همان چیزی بود که من برای مطالعات جامع‌تر به آن نیاز داشتم.

در ماه مه 2010 من و همکارانم، در چارچوب پروژه‌ی مشترکی با چندین دانشگاه دیگر، شروع به نقشه برداری از 3/4 کل آسمان کردیم. البته مدیرمسئول علمی پروژه‌ی Pan-STARR، **نیک کایزر**، متقاعد نمی‌شد که اول لکه‌ی سرد باید اسکن شود. در هر حال این منطقه در ناحیه‌ای بوده که تلسکوپ در اولین سال‌های شروع کارش آن را مشاهده کرده است.

هنگامی که ما بی‌صبرانه منتظر این داده‌ها و اطلاعات بودیم، من کار مشترکی را با **آندریاش کوواج** که در آن زمان دانشجو بود، در **بوداپست** شروع کردم. ما از داده‌های رصدخانه‌های ماهواره‌ای WMAP و Planck که در دسترس عموم قرار داشت و همچنین اطلاعات تازه انتشاریافته در مورد کهکشان‌ها از **کاوشگر نقشه‌بردار فروسرخ میدان وسیع (WISE)** از ناسا برای مطالعه‌ی اثر **ISW** و در صورت امکان برای جستجوی **آبر حفره** استفاده کردیم.

**کوواج** می‌بایست بزرگ‌ترین مناطق کم تراکم در **کاتالوگ کهکشان WISE** را شناسایی کند. او بالاخره پس از چند روز از طریق رایانامک (ایمیل) تصویرها و مختصات بزرگ‌ترین **حفره** در **کاتالوگ WISE** را برایم فرستاد. یکی از آنها در همان منطقه‌ی آسمانی بود که لکه‌ی سرد در آنجاست! من به **کوواج** در مورد علاقه‌ام از ارتباط بین یک **آبر حفره** و لکه‌ی سرد صحبتی نکرده بودم، تا از این طریق بر ارزیابی او، با امید دستیابی به نتیجه‌ی مطلوب، تأثیری نگذاشته باشم. به همین دلیل نتیجه‌ی کارش برای من بسیار هیجان‌انگیزتر بود. این امر که **کاتالوگ WISE** شامل کهکشان‌هایی است که به ما نزدیک‌ترند تا کهکشان‌هایی از NVSS (NRAO VLA Sky Survey)، به مثابه‌ی دومین اشاره به وجود یک **آبر حفره** در محدوده‌ی کیهانی ما بود.

از آن زمان به بعد بود که سال‌ها تلاش کردیم تا از این اولین نشانه‌ها، دلیل و گواه بارزی بدست آوریم. ما داده‌های کهکشان‌ها از WISE، Pan-STARRS و Two Micron All Sky Survey را با یکدیگر ترکیب کردیم. اما می‌بایست به طریقی فاصله‌ها را به کهکشان‌ها ربط می‌دادیم. یک راه برای این کار از طریق انبساط جهان است. هرچه یک کهکشان از ما فاصله بیشتری داشته باشد ظاهرن سریع‌تر از ما دور می‌شود. بر طبق قانون هابل (1) می‌توان از مقدار **انتقال به سرخ** اندازه گرفته شده شیء، فاصله‌ی آن را تعیین کرد. اگر چه ما از **انتقال به سرخ** کهکشان‌ها اندازه‌گیری‌های مستقیمی نداشتیم، اما آن را به واسطه‌ی رنگ کهکشان‌ها برآورد کردیم. برای این منظور ما روشنایی‌های مشاهده شده در محدوده‌ی فرکانس‌های مختلف را با روشنایی‌های پایه‌ای بدون **انتقال به سرخ** این کهکشان‌ها، که از جانب ما مورد قبول واقع شده‌اند را مقایسه کردیم.

بدینگونه ما توانستیم به هر کهکشان در منطقه‌ی آسمانی در اطراف لکه‌ی سرد، فاصله‌ای نسبت دهیم. بر این اساس، ما مجموعه‌ای از برش‌های توموگرافیک (2) را برای نشان دادن توزیع فضایی ماده ایجاد کردیم. در عین حال در محدوده‌ی فضایی نزدیک ما یک **آبر حفره‌ی** کروی شکل هویدا شد. منطقه‌ی عظیمی که تقریبین بدون کهکشان است. فاصله‌ی نسبتن کوتاه آن که در حدود 3 میلیارد سال نوری است مشکل بسیاری در ردیابی آن ایجاد کرد.

## آبر حفره پیدا شد، اما معما در نهایت هنوز حل نشده است

در طی ماه‌های بعد، ما دقت و اهمیت آماری داده‌های مان را بررسی کردیم. وجود آبر حفره ثابت شد که فوق العاده با اهمیت است. وانگهی با قطر 1.8 میلیارد سال نوری، این منطقه بسیار عظیم است. شاید این بزرگ‌ترین ساختار تا به حال کشف شده در کیهان بوده و احتمالاً شیء نادری است. نظریه‌های کیهان‌شناسی تنها وجود تعداد کمی از چنین مکان‌های خالی در جهان قابل مشاهده را پیش‌بینی می‌کنند.

بنابراین ما آبر حفره مان را پیدا کردیم و معما به نظر می‌رسید که حل شده باشد. با این حال، حضور آن درست مقابل لکه‌ی سرد هنوز گواه کافی از یک رابطه علت و معلولی بین آن دو نیست. آنها می‌توانند به طور کامل تصادفی در آن منطقه از آسمان باشند. اما معلوم شد، احتمال آن که آبر حفره لکه‌ی سرد را ایجاد کرده باشد، حداقل 20 هزار بار بیشتر از تصادفی بودن آن واقعه است.

برای توضیح انحراف مشاهده شده‌ی لکه‌ی سرد از میانگین دمای تابش پس‌زمینه، آبر حفره می‌بایستی 2 تا 4 برابر بزرگ‌تر باشد. بدین جهت، بعضی از همکاران احتمال بیشتری به تطابق اتفاقی موقعیت دو شیء را می‌دهند و یا اینکه پیشنهاد می‌کنند که به دنبال توضیحات دیگری باید بود. شاید در این منطقه بر خلاف انتظار ما، کهکشان‌ها تابش انرژی کم‌تری دارند. به عبارتی این نکته می‌تواند تا حدی اختلال ISW را به ما تلقین کند.

حتی با وجود اینکه آبر حفره در مشاهدات ما به وضوح برجسته می‌شود، نمی‌توانیم بزرگی، شکل و موقعیت آن را با اطمینان زیاد مشخص کنیم. متناسب تأثیر آن بر روی تابش پس‌زمینه فعلی به سختی قابل محاسبه است. مثلاً اگر حفره در جهت دید، بیش از آنچه که ما در حال حاضر احتمال می‌دهیم، از هم کشیده می‌شد یا اینکه موضوع بر سر چندین منطقه خالی پشت سر هم ردیف شده می‌بود، حفره می‌توانست توضیح بهتری برای لکه‌ی سرد باشد. این که آیا اندازه‌ی آبر حفره واقعاً مطابق نظریه‌ی ما است یا خیر، هنوز روشن نیست.

ما برای اظهار نظرهای دقیق‌تر در این رابطه نیازمند داده‌ها و اطلاعات بیشتری هستیم. ما در آینده در نظر داریم مطالعات مان را از تمام آن قسمت از آسمان که توسط Pan-STARRS PS1 بررسی شده است، تکرار کنیم. در این بین، نتایج مشاهدات عرضه شده حکایت از کاهش نادقیقی‌های اولیه توسط دانشمندان دارد. بدین وسیله ما می‌توانیم تفاوت‌های بین اندازه‌گیری‌های مان و نظریه را دقیق‌تر معین کرده و این‌گونه مشخص کنیم که آیا تصورات ما درباره حفره‌ها و اثر ISW احتیاجی به یک بازنگری دارند یا نه.

احتمالاً تفاوت دما در مساحتی کلان در تابش پس‌زمینه کیهانی نکته‌ی جالب دیگری را با ما در میان می‌گذارد. بدین ترتیب تعدادی از نظریه‌های گرانشی جایگزین (آلترناتیو) که با نظریه‌ی نسبیت عام تفاوت‌هایی دارند، اثرهایی دارند که تنها در حفره‌ها ظاهر می‌شوند. اگر یکی از این مدل‌ها درست باشد، باعث تغییر اثر ISW می‌شود.

اما بالاخره مانند همیشه نتیجه این می‌شود: آبر حفره اطلاعات فیزیکی مهمی و شاید اثباتی برای وجود انرژی تاریک یا حقایق غیر منتظره درباره‌ی گرانش را به ما عرضه خواهد کرد. در سال‌های آینده ما درباره‌ی این حفره‌ی عظیم فضایی و بدینوسیله در مورد جهانی که در آن زندگی می‌کنیم بیشتر خواهیم آموخت.

**Stefan Rahmstorf** leitet die Abteilung Erdsystemanalyse am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) und lehrt an der Universität Potsdam.

#### QUELLEN

**Lenton, T. M. et al.:** Tipping Elements in the Earth's Climate System.

In: Proceedings of the National Academy of Sciences 105, S.

1786–1793, 2008

**Liu, W. et al.:** Overlooked Possibility of a Collapsed Atlantic Meridional

Overturning Circulation in Warming Climate. In: Science Advances

3, e1601666, 4. Januar 2017

**Rahmstorf, S. et al.:** Exceptional Twentieth-century Slowdown in

Atlantic Ocean Overturning Circulation. In: Nature Climate Change

5, S. 475– 480, 2015

پی‌نوشت‌ها:

## 1-قانون هابل

از ویکی‌پدیا، دانشنامه آزاد

قانون هابل (Hubble's law)، قانونی در اختر فیزیک و کیهان‌شناسی است که فرض می‌کند که جهان با سرعتی ثابت که برای تمام زمان‌ها ثابت است، در حال گسترش است. این اندیشه از شناخت دو پدیده به دست آمده. یکی اینکه: آن دسته از جرم‌های آسمانی که در ژرفای بیرون از کهکشان راه شیری (کهکشان بیرونی) هستند؛ و بیشتر آنها بیش از ۱۰ مگا پارسک از زمین دورند، همگی از پدیده انتقال به سرخ نشان دارند؛ این خود به معنی داشتن شتاب نسبی، در دور شدن از زمین است.

دیگر اینکه اندازه‌گیری این شتاب دور شدن از زمین، نشان داده که برای ستارگانی که در فاصله‌های کمتر از چند مگا پارسک در کهکشان درونی جا دارند این شتاب متناسب با فاصله آنها از زمین است. از این دو گواه خردپذیر و دیدنی (قابل رؤیت) باورهای گسترش جهان؛ انبساط جهان و جهان قابل مشاهده را می‌توان پذیرفت.

## 2-برش‌نگاری

از ویکی‌پدیا، دانشنامه آزاد

برش‌نگاری (Tomography) تصویربرداری سه‌بعدی است. در برش‌نگاری، تصویری که به دست می‌آید تنها سایه دو بعدی از حجمی سه‌بعدی نیست، بلکه عکس برشی از حجم است که ممکن است در هر یک از سه جهت فضا باشد. شناخته‌شده‌ترین برش‌نگاری، برش‌نگاری رایانه‌ای یا سی‌تی‌اسکن است که فیزیکدان انگلیسی، گودفری هاونسفیلد، در سال ۱۹۷۲ آن را برای کاربرد در پزشکی پیشنهاد کرد و در سال ۱۹۷۹ جایزه نوبل پزشکی را برای او به ارمغان آورد.

مسئله بُعد همواره در تاریخ پرتونگاری (رادیولوژی) مطرح بوده‌است. نخستین تجربه برای کنار گذاشتن این کاستی، روش برش‌نگاری بود که تا حد زیادی، تصویر جمعی را به تصویر توموگرافیک ([برش‌نگاشتی]) تبدیل کرد.