



The CLEAN PAPER

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

دو پالس رادیویی ناهنجار بر فراز جنوبگان هنوز بی توضیح مانده‌اند — و توضیح «ذره تازه» دارد پشتیبانی خود را از دست می‌دهد

دو پالس رادیویی غیرعادی که سال‌ها پیش در یک آزمایش بالن‌برد در جنوبگان ثبت شدند هنوز توضیح پذیرفته شده‌ای ندارند؛ جست‌وجوی اختصاصی *Auger Pierre* اثری از آشکרהایی که باید نشان می‌دادند پیدا نکرد، و همین خوانش عجیب «ذره تازه» را بسیار کمتر محتمل می‌کند، در حالی که خود ناهنجاری هنوز حل نشده است.

Written by Lucio Vaglio · Cross-checked by Laura Nesso · Edited by Michele Renda · Figures by Laura Nesso and Nova Vela · AI-assisted, human-reviewed

Paper: *Search for the Anomalous Events Detected by ANITA Using the Pierre Auger Observatory*, Pierre Auger Collaboration, Physical Review Letters, 134 121003 (2025) · DOI: 121003.134.PhysRevLett/1103.10



۴۸ آنتن ANITA از روی یک گوندولای ۲۵ فوتی رو به پایین، به سوی یخ‌های جنوبگان نشانه رفته‌اند.

Christian Miki / University of Hawai'i at Mānoa fair-use assertion

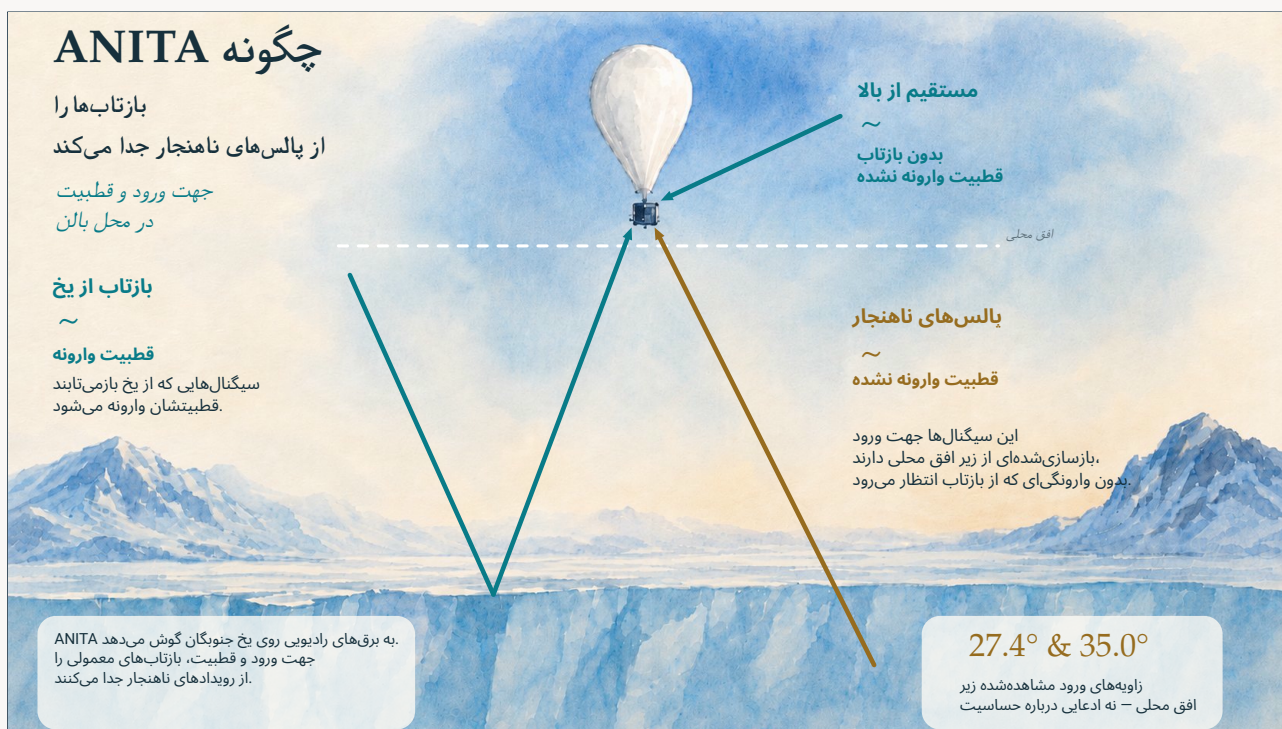
بالن، یخ و دوپالس از پایین

در بیشتر عمر کاری‌اش، Antenna Transient Impulsive Antarctic — یا ANITA — زیر یک بالن NASA آویزان است، کمی بیش از سی کیلومتر بالاتر از زمین، و هفته‌ها بر فراز خلوت‌ترین جای سیاره شناور می‌ماند و گوش می‌دهد.

چیزی که به آن گوش می‌دهد سیگال‌های رادیویی از فضا است. وقتی ذره‌ای با انرژی بسیار بالا — یک پرتو کیهانی یا یک نوترینو — به هوا یا یخ برخورد می‌کند، به آبخاری از ذرات کوچک تر خرد می‌شود، و آن آبخاری یک برق کوتاه رادیویی تولید می‌کند. جنوبگان برای گرفتن چنین سیگال‌هایی تقریباً ایده‌آل است: کیلومترهای یخ پاک و سرد که امواج رادیویی تقریباً مثل شیشه از آن می‌گذرند، و در صدها کیلومتر اطراف چیزی نیست که سیگال را شلوغ کند. کار ANITA این است که این برق‌ها را بگیرد و از شکل و زمان‌بندی آن‌ها بخواند چه چیزی آن‌ها را ساخته است.

بیشتر چیزهایی که می‌شنود رفتار منظمی دارند. بعضی برق‌ها مستقیم از بالا می‌آیند. خیلی‌های دیگر به یخ می‌خورند و دوباره به سمت آنتن برمی‌گردند — و این‌ها یک نشانه لو دهنده دارند: بازتاب، موج را وارونه می‌کند، یعنی قطبیت سیگال را برمی‌گرداند. این نشانه‌ای است که فیزیک‌دان‌ها با یک نگاه می‌خوانند. این گونه بازتاب را از خود رویداد تشخیص می‌دهید.

دو بار چیزی آمد که این الگو را شکست.



در محل بالن، پالسی که مستقیم از بالا می‌آید وارونه نمی‌شود، اما پالس بازتابی با قطبیت وارونه می‌رسد - نشانه معمول برخورد و بازتاب از یخ. دو پالس anomalous به جای آن از جهت بازسازی‌شده‌ای می‌رسند که با زاویه‌ای تند زیر افق محلی است - اما بدون چنین وارونگی‌ای، جایی که بازتاب باید آن‌ها را وارونه می‌کرد. «از پایین» این جهت ورود را توصیف می‌کند - نه ذره‌ای را که از درون زمین بالا آمده باشد.

Original hybrid diagram — The Clean Paper CC BY 0.4

در یک پرواز در سال ۲۰۰۶ و پروازی دیگر در سال ۲۰۱۴، ANITA پالسی را از زاویه‌ای تند زیر افق گرفت - به ترتیب ۴.۲۷° و ۰.۳۵° پایین‌تر از آن - گویی از درون قاره بالا آمده بود، و بدون وارونگی. پس بازتاب نبود. چیزی که واقعا رو به بالا حرکت کرده، از یخ بیرون آمده و به سمت بالن رفته بود.

انجاست که مسئله تقریباً رسوایی برانگیز می‌شود. برای رسیدن به آنتن با چنین زاویه رو به بالای تندی، هرچه پالس را ساخته بود باید از پیکره سیاره گذشته باشد - شش یا هفت هزار کیلومتر سنگ جامد. تقریباً هیچ چیز نمی‌تواند. تنها ذره شناخته‌شده‌ای که از ماده معمولی می‌گذرد انگار که ماده تقریباً آنجا نیست، نوترینو است؛ ذره‌ای که از سراسر زمین عبور می‌کند بی‌آنکه چندان متوجه شود. پس ایده طبیعی این است که یک نوترینو از میان سنگ بالا آمده، درست زیر یخ به اتمی برخورد کرده، و آبشاری از ذرات رو به بالا ساخته که برق رادیویی‌اش را ANITA گرفته است. مشکل در یک پیمایش است: نوترینویی که آن قدر پراورزی باشد که این سیگنال را بسازد، در واقع بیش از حد آسان متوقف می‌شود. در آن همه سنگ باید بارها جذب می‌شد. و جریانی از نوترینوها که آن قدر قوی باشد که دو تا از آن‌ها باز هم عبور کنند باید در آشکارسازهای عظیمی دیده می‌شد که دقیقاً برای گرفتن همین‌ها ساخته شده‌اند. هیچ‌یک از توضیح‌های مرتب کاملاً بسته نشد.

پس آن دو پالس همان‌جا ماندند و از رفتار کردن سر باز زدند. نه یک کشف - دو رویداد هیچ‌وقت کشف نیست - اما هیچ هم نبود. یک ناهنجاری واقعی: از آن نوع که دقیقاً به این دلیل جالب است که هنوز هیچ کس نمی‌تواند بگوید ترک کوچکی در مدل استاندارد فیزیک است یا فقط ویژگی عجیب یخ، آنتن یا محاسبه.

انجاست که نوع خاصی از پوشش رسانه‌ای دست به سوی واژه مرموز می‌برد، چراغ‌ها را کم می‌کند و می‌پرسد چه چیزی ممکن است زیر جنوبگان زندگی کند. مقاومت کنید. پرسش واقعی هرگز این نبود که چه هیولایی در یخ است. پرسش واقعی همان پرسش صبور و بی‌زرق و برق بود که علم را جلو می‌برد: چطور بفهمیم؟

نویسندگان چه کردند

راه پایی برای آزمودن توضیح‌های هیجان‌انگیز وجود دارد. اگر پالس‌های ANITA از یک شار واقعی و تکرارشونده از آشارهای رو به بالا می‌آیند — چه از نوترینوهای تاوی معمولی، چه از ذره تازه‌ای که برای توضیح آن‌ها پیشنهاد شده — آشکارسازی به اندازه کافی بزرگ که دقیقاً دنبال آن رویدادها می‌گردد باید سهمی از آن‌ها را بگیرد.

Observatory Auger Pierre در آرژانتین — بزرگ‌ترین آشکارساز پرتوهای کیهانی که تاکنون ساخته شده — برای جست‌وجو جای مناسبی دارد. این همکاری با استفاده از آشکارساز فلورسانس خود، در داده‌های سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۸ به دنبال آشارهای هوایی رو به بالا گشت؛ رویدادهایی که از پایین می‌آیند، با زاویه‌های سمت‌الرأسی بالاتر از 110° و انرژی‌های بالاتر از 1.0 EeV . نکته مهم این بود که کل انتخاب‌ها پیش از بررسی مجموعه داده کامل ثابت شده بود — تحلیل «کور»، تا پاسخ به سوی نتیجه دلخواه دست کاری نشود.

چه یافتند

پس از باز کردن کورسازی، یک رویداد نامزد باقی ماند — کاملاً سازگار با 0.27 ± 0.12 رویدادی که از پرتوهای کیهانی معمولی انتظار می‌رود، وقتی گاهی به اشتباه به صورت رو به بالا بازسازی می‌شوند. به بیان دیگر: هیچ سیگنال واقعی رو به بالا؛ فقط همان چکه پس‌زمینه‌ای که انتظارش را دارید.

قدرت نتیجه در مقایسه است. اگر پالس‌های ANITA از یک شار پایدار آشارهای رو به بالا آمده بودند، Auger باید رویدادهای زیادی ثبت می‌کرد — حدود ۳۴ تا ۶۹ رویداد برای یک طیف انرژی محتمل، و حتی با فرض‌های عمداً محافظه‌کارانه دست کم حدود ۸ رویداد. یک رویداد دید، سازگار با پس‌زمینه. نویسندگان این را «ناسازگاری قوی» با تفسیر آشار رو به بالا توصیف می‌کنند.

این احتمالاً یعنی چه

نادیدنی با این اندازه اطلاع‌دهنده است. اگر رویدادهای ANITA از یک جمعیت واقعی از ذراتی می‌آمدند که از آن جهت‌ها وارد می‌شوند — نوترینوهای تاوی معمولی، یا ذرات تازه فرضی که برای توضیح آن‌ها پیشنهاد شده — نوردهی طولانی Auger باید شمار قابل توجهی از آن‌ها را می‌گرفت. نگرفت. این عملاً توضیح «شار پخش شده آشارهای رو به بالا» را کنار می‌زند — همان دسته‌ای که بیشتر ایده‌های فراتر از مدل استاندارد در آن قرار می‌گیرند — مگر با شرط‌های ویژه و ساختگی.

آنچه باقی می‌ماند توضیح‌هایی است که شار ذرات آشارساز نیستند: بیش از همه، اثر بازتاب یا انتشار ویژه یخ و هندسه نزدیک افق، یا آرتیفکت ابزار یا تحلیل. هیچ کدام تأیید نشده‌اند. پس خلاصه صادقانه این است: هیجان‌انگیزترین تفسیر ضربه جدی خورده، و علت هنوز ناشناخته است.

این چه چیزی را ثابت نمی‌کند

- این نشان نمی‌دهد دو پالس چه هستند. «فیزیک تازه را به شدت نامحتمل می‌کند» یعنی «حل شد» نیست.
- این یک علت معمولی را تأیید نمی‌کند. نامزد اصلی — بازتاب‌ها از زیر سطح جنوبگان — هنوز فرضیه است، نه نتیجه.
- این چیزی را به معنای واقعی از زیر یخ کشف نمی‌کند. آنتن‌های ANITA از بالنی بالای جنوبگان آویزان‌اند؛ «از پایین» جهت ورود بازسازی شده یک پالس رادیویی را توصیف می‌کند — نه صدا، نه پیام، و نه چیزی که از درون یخ بیرون آمده باشد.

- این از ادعای یک ذره تازه تأیید شده پشتیبانی نمی‌کند. رایج‌ترین نسخه این داستان خلاف جهت شواهد حرکت می‌کند.

شواهد چقدر قوی‌اند؟

متوسط‌اند، و همین‌طور هم بیان شده‌اند.

- علاقه فراتر از مدل استاندارد عملاً بر دو رویداد از دو پرواز ANITA تکیه دارد.
- این مقاله یک نتیجه صفر است: برای حذف امکان‌ها نیرومند است، اما نمی‌تواند بگوید رویدادها چه هستند.
- حذف، کمی و قوی است — ده‌ها رویداد انتظار می‌رفت، یک رویداد شبیه پس‌زمینه دیده شد — اما تفسیر «شار آبشار رو به بالا» را هدف می‌گیرد، نه هر علت قابل تصور را.
- یک توضیح معمولی پیشرو، یعنی بازتاب نزدیک سطح، محتمل اما اثبات نشده است؛ بعضی جایگزین‌ها، مانند برخی مدل‌های تابش گذار، در کارهای دیگر نامحتمل‌تر شده‌اند.
- هیچ آزمایشی به طور مستقل ناهنجاری اصلی را بازتولید نکرده است.

این یک قید تیز روی یک معمای کوچک و سرسخت است — نه یک کشف.

چرا مهم است

توضیح‌های پیشنهادی تا ذرات تازه و عجیب پیش رفتند. میدان، به جای دنبال کردن هیجان‌انگیزترین گزینه، کار بی‌زرق و برق را انجام داد: ایده را در برابر آشکارسازی مستقل و بسیار بزرگ‌تر آزمود — و داده‌ها گفتند نه. ابزار جانشین بزرگ‌تر و حساس‌تری به نام PUEO در حال ساخت است تا دوباره نگاه کند.

ممکن است ناهنجاری در پایان معمولی از آب درآید. این شکست نیست. تنگ کردن یک اندازه‌گیری توضیح داده نشده تا جایی که یا محو شود یا کشفی واقعی را اجبار کند، خود کار علم است — و دقیقاً به این دلیل ارزش دنبال کردن دارد که پاسخ صادقانه، فعلاً، هنوز «نمی‌دانیم» است.

خلاصه پاک

دو پالس رادیویی از پروازهای بالن جنوبگانی ANITA در سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۱۴ ظاهراً از زاویه‌های تند زیر افق می‌آیند، زاویه‌هایی که مدل استاندارد برای توضیحشان مشکل دارد. یک جست‌وجوی اختصاصی در سال ۲۰۲۵ با Observatory Auger Pierre فقط یک رویداد نامزد پیدا کرد، سازگار با پس‌زمینه، در حالی که اگر پالس‌ها از شار آبشارهای رو به بالا آمده بودند ده‌ها رویداد انتظار می‌رفت. این موضوع تفسیر عجیب «ذره تازه» را به شدت نامحتمل می‌کند و به سوی اثر بازتاب، انتشار یا ابزار ویژه ANITA اشاره دارد — اما علت هنوز واقعاً ناشناخته است. نه ذره تازه تأیید شده، و نه سیگالی مرموز از درون یخ.

بررسی بی‌تعارف

مقاله چه نشان می‌دهد: جست‌وجوی کور Auger Pierre در سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۸ برای آبشارهای هوایی رو به بالا یک نامزد پیدا کرد، سازگار با پس‌زمینه مورد انتظار ۲۷.۰ رویداد از پرتوهای کیهانی. اگر ناهنجاری‌های ANITA از شار چنین آبشارهایی آمده بودند، Auger باید حدود ۳۴ تا ۶۹ مورد، یا با فرض‌های محافظه‌کارانه دست کم حدود ۸ مورد، می‌دید. این تفسیر آبشار رو به بالا، از جمله سناریوهای «ذره تازه» فراتر از مدل استاندارد، را به شدت نامحتمل می‌کند.

چه چیزی محتمل اما اثبات نشده است: اثر بازتاب یا انتشار رادیویی نزدیک یخ و افق، یا آرتیفکت ابزار یا تحلیل ویژه ANITA.

چه چیزی را نشان نمی‌دهد: اینکه رویدادها ناشی از ذره‌ای تازه‌اند؛ اینکه سیگال‌هایی از زیر یخ‌اند؛ اینکه چیزی فراطبیعی، مصنوعی یا شنیدنی در کار است؛ یا اینکه علت اکنون شناخته شده است.

محدودیت‌های اصلی: علاقه فراتر از مدل استاندارد بر حدود دو رویداد تکیه دارد؛ این یک نتیجه صفر است که محدود می‌کند اما شناسایی نمی‌کند؛ حذف، به طور خاص تفسیر «شار آبشار» را هدف می‌گیرد؛ بازتولید مستقلی از ناهنجاری اصلی وجود ندارد.

خواننده عمومی چقدر باید اطمینان داشته باشد؟ اطمینان بالا که این نه یک ذره تازه تأیید شده است و نه سیگالی از درون یخ، و اینکه تفسیر شار عجیب اکنون به شدت نامحتمل شده است. اطمینان پایین درباره علت واقعی، که هنوز باز است. موضع مناسب: کنجکاو؛ نسبت به ناهنجاری حل‌نشده‌ای که به احتمال زیاد منشأی معمولی دارد.

منابع

(2025) 121003, 134 Lett. Rev. Phys.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.134.121003>

(2016 al. et (Gorham event ANITA-I Original
<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.117.071101>

(2018 al. et (Gorham event ANITA-III Original
<https://arxiv.org/abs/1803.05088>

(2020 al. et (Shoemaker explanation Subsurface-reflection
<https://arxiv.org/abs/1905.02846>

(2021) paper white — instrument successor PUEO
<https://arxiv.org/abs/2010.02892>