



The CLEAN PAPER

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

Hai xung vô tuyến bất thường trên Nam Cực vẫn chưa có lời giải — và giả thuyết “hạt mới” đang mất dần chỗ đứng

Hai xung vô tuyến khác thường được một thí nghiệm khí cầu ở Nam Cực ghi lại nhiều năm trước vẫn chưa có lời giải được đồng thuận; một cuộc tìm kiếm chuyên biệt của Pierre Auger không thấy dấu vết của các trận mưa hạt mà cách giải thích ấy đòi hỏi, khiến kịch bản “hạt mới” kỳ lạ kém khả dĩ hơn nhiều trong khi dị thường vẫn chưa được giải quyết.

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: 10.1103/PhysRevLett.134.121003



48 ăng-ten của ANITA hướng xuống lớp băng Nam Cực, được treo trên một gondola cao khoảng 7,6 mét.

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

Khí cầu, lớp băng và hai xung tín hiệu từ phía dưới

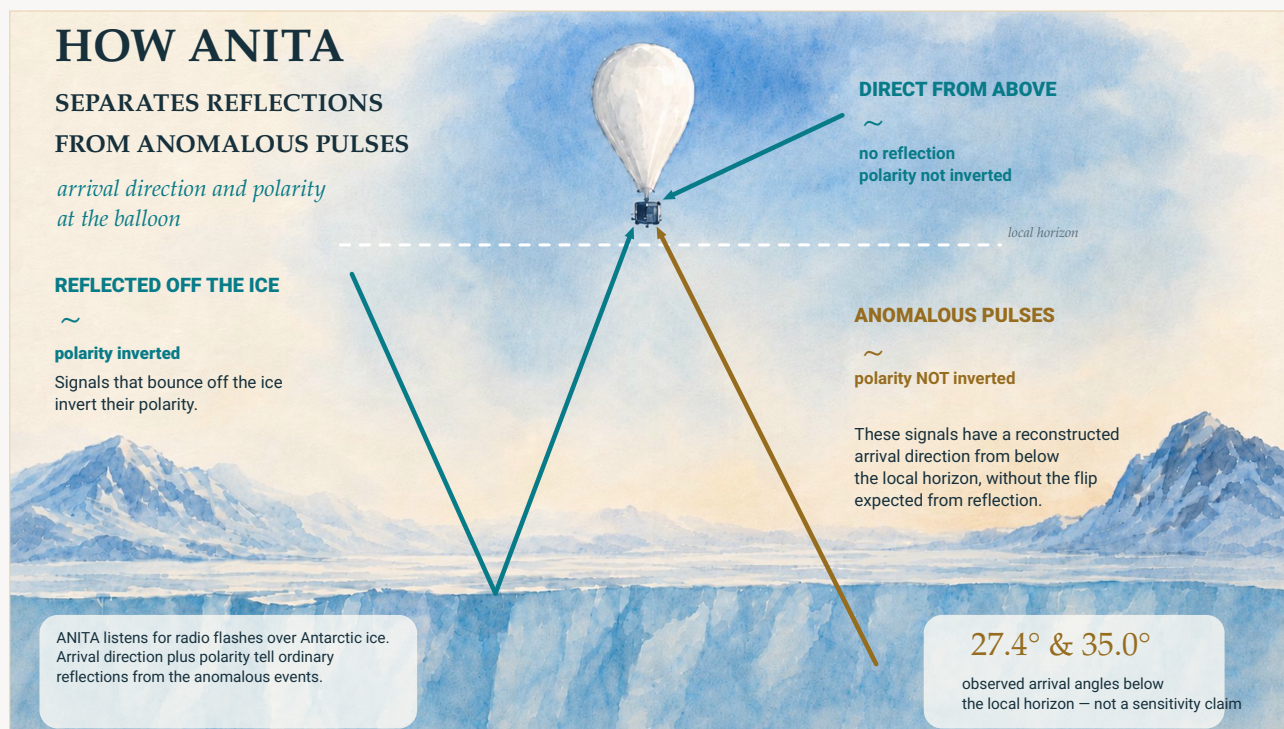
Trong phần lớn thời gian hoạt động, Antarctic Impulsive Transient Antenna — ANITA — lơ lửng dưới một khí cầu của NASA ở độ cao hơn ba mươi kilômét, trôi hàng tuần trên vùng hoang vắng nhất Trái Đất và lắng nghe.

Thứ nó tìm kiếm là các tín hiệu vô tuyến từ không gian. Khi một hạt có năng lượng cực cao — tia vũ trụ hoặc neutrino — va vào khí quyển hay lớp băng, nó tạo ra một trận mưa các hạt nhỏ hơn, và trận mưa đó phát ra một chớp vô tuyến ngắn. Nam Cực gần như là nơi lý tưởng để bắt chúng: hàng kilômét băng sạch và lạnh mà sóng vô tuyến truyền qua gần như qua kính, cùng hàng trăm kilômét hầu như không có gì gây nhiễu. Nhiệm vụ của ANITA là bắt các chớp ấy và suy ra, từ hình dạng và thời điểm của chúng, điều gì đã tạo ra chúng.

Phần lớn những gì ANITA nghe thấy đều rất “ngaoan”. Một số chớp đi thẳng từ phía trên xuống.

Nhiều chớp khác đập vào băng rồi phản xạ ngược lên ăng-ten — và chúng mang một dấu hiệu đặc trưng: sự phản xạ làm sóng bị đảo ngược (đảo *cực tính* của tín hiệu), một đặc điểm mà các nhà vật lý có thể nhận ra ngay. Đó là cách phân biệt tín hiệu phản xạ với tín hiệu đến trực tiếp.

Hai lần, có thứ gì đó phá vỡ quy luật này.



Tại khí cầu, một xung đi thẳng từ phía trên đến mà không bị đảo cực tính, còn một xung phản xạ đến sau khi bị đảo cực tính — dấu hiệu thông thường của việc bật khỏi băng. Hai xung bất thường thì lại đến từ một hướng được tái dựng nằm rất sâu dưới đường chân trời địa phương, nhưng không hề bị đảo như một phản xạ lẽ ra phải bị. “Từ phía dưới” mô tả hướng đến của tín hiệu — không có nghĩa là một hạt đang leo lên từ bên trong Trái Đất.

Original hybrid diagram — The Clean Paper CC BY 4.0

Trong một chuyến bay năm 2006 và một chuyến khác năm 2014, ANITA ghi được một xung đến từ rất sâu *bên dưới* đường chân trời — lần lượt 27,4° và 35,0° — như thể nó đi lên từ lục địa, nhưng *không* bị đảo cực tính. Như vậy, nếu cách tái dựng là đúng, đó không giống một phản xạ. Tín hiệu trông như thể đã thực sự đi lên từ lớp băng về phía khí cầu.

Đây là lý do điều đó gần như gây sốc. Để tới ăng-ten theo một góc đi lên dốc như vậy, thứ tạo ra xung phải đi xuyên qua phần thân của hành tinh — sáu hoặc bảy nghìn kilômét đá rắn. Hầu như không gì làm được điều đó. Hạt đã biết có khả năng đi qua vật chất thường như thể gần như không có gì cản đường là neutrino; vì vậy ý tưởng tự nhiên là một neutrino đã đi xuyên qua Trái Đất, tương tác với một nguyên tử ngay dưới lớp băng và tạo ra một trận mưa hạt lao lên trên, phát ra chớp vô tuyến mà ANITA bắt được. Vấn đề nằm ở một nghịch lý: neutrino đủ năng lượng để tạo ra *tín hiệu này* lại không còn xuyên vật chất dễ dàng như vậy. Qua lượng đá lớn đến thế, nó lẽ ra phải bị hấp thụ nhiều lần. Và một dòng neutrino đủ mạnh để vẫn còn hai hạt lọt qua lẽ ra cũng phải xuất hiện trong các máy dò khổng lồ được xây chính để tìm chúng. Không lời giải gọn gàng nào khép được câu chuyện.

Vì thế hai xung cứ nằm đó, không chịu cử xử theo dự kiến. Không phải một khám phá — hai sự kiện không bao giờ đủ để gọi là khám phá — nhưng cũng không phải không có gì. Đó là một dị thường thực sự: thú vị chính vì chưa ai biết nó là vết nứt trong Mô hình Chuẩn của vật lý hay chỉ là một đặc tính lạ của băng, thiết bị hoặc phép phân tích.

Đây là lúc một kiểu bài báo nào đó sẽ chớp lấy chữ *bí ẩn*, hạ ánh sáng xuống và hỏi thứ gì có thể đang sống dưới Nam Cực. Đừng đi theo hướng đó. Câu hỏi khoa học chưa bao giờ là *con quái vật nào ở trong băng*. Câu hỏi là câu chậm rãi, không hào nhoáng nhưng thực sự đẩy khoa học tiến lên: **làm thế nào để kiểm tra?**

Các tác giả đã làm gì

Có một cách khá sạch để thử các lời giải thích hấp dẫn nhất. Nếu các xung ANITA đến từ một thông lượng thật và lặp lại của các trận mưa hạt đi lên — dù do neutrino tau thông thường hay một hạt mới được đề xuất — thì một máy dò đủ lớn, chuyên quan sát đúng loại sự kiện đó, cũng phải thấy một phần trong số chúng.

Đài quan sát Pierre Auger ở Argentina — máy dò tia vũ trụ lớn nhất từng được xây — rất phù hợp để kiểm tra. Dùng Fluorescence Detector, nhóm hợp tác đã tìm các trận mưa khí quyển đi lên (đến từ phía dưới, với góc thiên đỉnh trên 110° và năng lượng trên 0,1 EeV) trong dữ liệu từ năm 2004 đến 2018. Quan trọng là toàn bộ tiêu chí lựa chọn được ấn định *trước khi* bộ dữ liệu đầy đủ được xem xét — một phân tích “mù”, để kết quả không thể bị điều chỉnh theo hướng mà người ta mong muốn.

Họ tìm thấy gì

Sau khi mở mù, **một** sự kiện ứng viên còn lại — hoàn toàn phù hợp với 0.27 ± 0.12 sự kiện dự kiến do tia vũ trụ thông thường đôi khi bị tái dựng nhầm thành đi lên. Nói cách khác, không có tín hiệu đi lên chân thực; chỉ có lượng nền nhỏ đúng như dự kiến.

Sức nặng của kết quả nằm ở phép so sánh. Nếu các xung ANITA đến từ một thông lượng ổn định của các trận mưa đi lên, Auger lẽ ra phải ghi được **nhều** sự kiện — khoảng 34 đến 69 với một phổ năng lượng hợp lý, và ít nhất khoảng 8 ngay cả dưới những giả định cố ý bảo thủ. Nó thấy một sự kiện, phù hợp với nền. Các tác giả mô tả điều này là “bất đồng mạnh” với cách diễn giải rằng các xung là những trận mưa đi lên.

Điều này có thể có ý nghĩa gì

Một kết quả không phát hiện ở quy mô này vẫn rất giàu thông tin. Nếu các sự kiện ANITA đến từ một quần thể hạt thật đi đến từ các hướng đó — neutrino tau thông thường hoặc các hạt mới giả thuyết — thời gian quan sát dài của Auger lẽ ra phải bắt được một số lượng đáng kể. Điều đó không xảy ra. Kết quả này về thực chất loại trừ lời giải thích “thông lượng khuếch tán của các trận mưa đi lên” — nhóm mà phần lớn các ý tưởng vượt Mô hình Chuẩn thuộc vào — trừ khi viện đến những điều kiện đặc biệt rất gượng ép.

Những lời giải thích còn sống sót là những thứ *không* phải một thông lượng hạt tạo mưa: được bàn nhiều nhất là hiệu ứng phản xạ hoặc truyền sóng đặc thù của băng và hình học gần đường chân trời, hay một giả ảnh do thiết bị hoặc phân tích. Chưa có lời giải nào được xác nhận. Vì vậy tóm tắt trung thực là: cách diễn giải hấp dẫn nhất vừa chịu một đòn mạnh, còn nguyên nhân thật sự vẫn chưa biết.

Điều này *không* chứng minh gì

- Nó **không** xác định hai xung là gì. “Làm vật lý mới trở nên rất khó tin” không có nghĩa là “đã giải xong”.
- Nó **không** xác nhận một nguyên nhân bình thường. Một ứng viên hàng đầu — phản xạ từ dưới bề mặt Nam Cực — vẫn là giả thuyết, không phải kết quả.
- Nó **không** phát hiện thứ gì “từ dưới lớp băng” theo nghĩa đen. Ăng-ten ANITA treo trên khí cầu *phía trên* Nam Cực; “từ phía dưới” mô tả hướng đến được tái dựng của xung vô tuyến — không phải âm thanh, giọng nói hay thứ gì phát ra từ bên trong băng.
- Nó **không** ủng hộ tuyên bố rằng một hạt mới đã được xác nhận. Phiên bản câu chuyện lan truyền rộng nhất thực ra đi ngược với bằng chứng hiện có.

Bằng chứng mạnh đến đâu?

Vừa phải, và nên được nói đúng như vậy.

- Mỗi quan tâm về vật lý vượt Mô hình Chuẩn dựa về cơ bản trên **hai** sự kiện, từ hai chuyển bay ANITA.
- Bài báo này là một **kết quả rỗng (null result)**: mạnh trong việc loại trừ khả năng, nhưng không thể nói các sự kiện *là* gì.
- Sự loại trừ có tính định lượng và khá mạnh (dự kiến hàng chục sự kiện, chỉ thấy một sự kiện giống nền) — nhưng nó nhắm vào cách diễn giải “thông lượng các trận mưa đi lên”, không phải mọi nguyên nhân có thể tưởng tượng.
- Một lời giải bình thường hàng đầu (phản xạ gần bề mặt) hợp lý nhưng chưa được chứng minh; một số phương án khác (chẳng hạn một số mô hình bức xạ chuyển tiếp) đã bị các

ngiên cứu khác làm suy yếu.

- Chưa có thí nghiệm nào độc lập tái tạo dị thường ban đầu.

Đây là một ràng buộc sắc bén đặt lên một câu đố nhỏ nhưng dai dẳng — không phải một khám phá.

Vì sao điều này quan trọng

Các lời giải từng được đề xuất trải dài tới những hạt mới kỳ lạ. Thay vì chạy theo khả năng hấp dẫn nhất, lĩnh vực này đã làm điều ít hào nhoáng hơn: thử ý tưởng bằng một máy dò độc lập và lớn hơn nhiều — và dữ liệu trả lời là không. Một thiết bị kế nhiệm lớn và nhạy hơn, PUEO, đang được xây để quan sát lại.

Dị thường cuối cùng có thể hóa ra hoàn toàn bình thường. Điều đó không biến nó thành thất bại. Thu hẹp một phép đo chưa giải thích được cho đến khi nó tan biến hoặc buộc ta phải thừa nhận một khám phá thật *chính* là công việc khoa học — và câu chuyện đáng theo dõi chính vì câu trả lời trung thực lúc này vẫn là “chúng ta chưa biết”.

Tóm tắt gọn

Hai xung vô tuyến từ các chuyến bay khí cầu ANITA năm 2006 và 2014 ở Nam Cực dường như đến từ các góc rất sâu dưới đường chân trời, điều mà Mô hình Chuẩn khó giải thích. Một cuộc tìm kiếm chuyên biệt năm 2025 bằng Đài quan sát Pierre Auger chỉ tìm thấy một sự kiện ứng viên, phù hợp với nền, trong khi nếu các xung đến từ một thông lượng trận mưa đi lên thì lẽ ra phải thấy hàng chục sự kiện. Điều này làm cách diễn giải “hạt mới” kỳ lạ trở nên rất khó tin và hướng sự chú ý về một hiệu ứng phản xạ, truyền sóng hoặc thiết bị đặc thù của ANITA — nhưng nguyên nhân vẫn thực sự chưa biết. Không có hạt mới nào được xác nhận, và cũng không có tín hiệu bí ẩn nào từ bên trong lớp băng.

Đánh giá thẳng thắn

Bài báo cho thấy gì: Một cuộc tìm kiếm mù của Pierre Auger (2004–2018) đối với các trận mưa khí quyển đi lên tìm thấy một ứng viên, phù hợp với nền tia vũ trụ dự kiến 0,27 sự kiện. Nếu các dị thường ANITA đến từ một thông lượng các trận mưa như vậy, Auger lẽ ra phải thấy khoảng 34–69 (hoặc ít nhất ~8 dưới các giả định bảo thủ). Điều này làm cách diễn giải trận mưa đi lên — bao gồm các kịch bản “hạt mới” vượt Mô hình Chuẩn — trở nên rất khó tin.

Điều hợp lý nhưng chưa được chứng minh: Hiệu ứng phản xạ hoặc truyền sóng vô tuyến gần lớp băng và đường chân trời, hay một giả ảnh do thiết bị/phân tích đặc thù của ANITA.

Điều nó không cho thấy: Các sự kiện do một hạt mới gây ra; chúng là tín hiệu từ dưới lớp băng; có thứ gì siêu nhiên, nhân tạo hay nghe được liên quan; hoặc nguyên nhân đã được biết.

Hạn chế chính: Mọi quan tâm về vật lý vượt Mô hình Chuẩn dựa trên khoảng hai sự kiện; đây là một kết quả lỏng chỉ có thể ràng buộc chứ không thể nhận dạng nguyên nhân; phép loại trừ nhắm cụ thể vào cách diễn giải “thông lượng trận mưa”; dị thường ban đầu chưa được tái tạo độc lập.

Một độc giả phổ thông nên tự tin đến mức nào? Có thể tự tin cao rằng đây *không* phải một hạt mới đã được xác nhận và *không* phải tín hiệu phát ra từ bên trong băng, đồng thời cách diễn giải thông lượng hạt kỳ lạ giờ đã bị làm suy yếu mạnh. Nhưng nên có mức tin thấp về nguyên nhân thật sự, vì câu hỏi đó vẫn mở. Thái độ phù hợp: tò mò về một dị thường chưa giải quyết, nhiều khả năng cuối cùng có nguyên nhân bình thường.

Nguồn

Phys. Rev. Lett. 134, 121003 (2025)

<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.134.121003>

Original ANITA-I event (Gorham et al. 2016)

<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.117.071101>

Original ANITA-III event (Gorham et al. 2018)

<https://arxiv.org/abs/1803.05088>

Subsurface-reflection explanation (Shoemaker et al. 2020)

<https://arxiv.org/abs/1905.02846>

PUEO successor instrument — white paper (2021)

<https://arxiv.org/abs/2010.02892>