



The CLEAN PAPER

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

Dois impulsos de rádio anómalos sobre a Antártida continuam sem explicação — e a hipótese de uma «nova partícula» está a perder apoio

Dois impulsos de rádio invulgares registados há anos por uma experiência transportada por balão sobre a Antártida continuam sem explicação consensual; uma pesquisa específica do Pierre Auger não encontrou vestígios das cascatas que eles implicariam, tornando muito menos provável a leitura exótica de uma «nova partícula», embora a anomalia permaneça por resolver.

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](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.134.121003)



As 48 antenas da ANITA apontam para o gelo antártico a partir de uma gôndola com cerca de 7,6 metros de altura.

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

O balão, o gelo e dois impulsos vindos de baixo

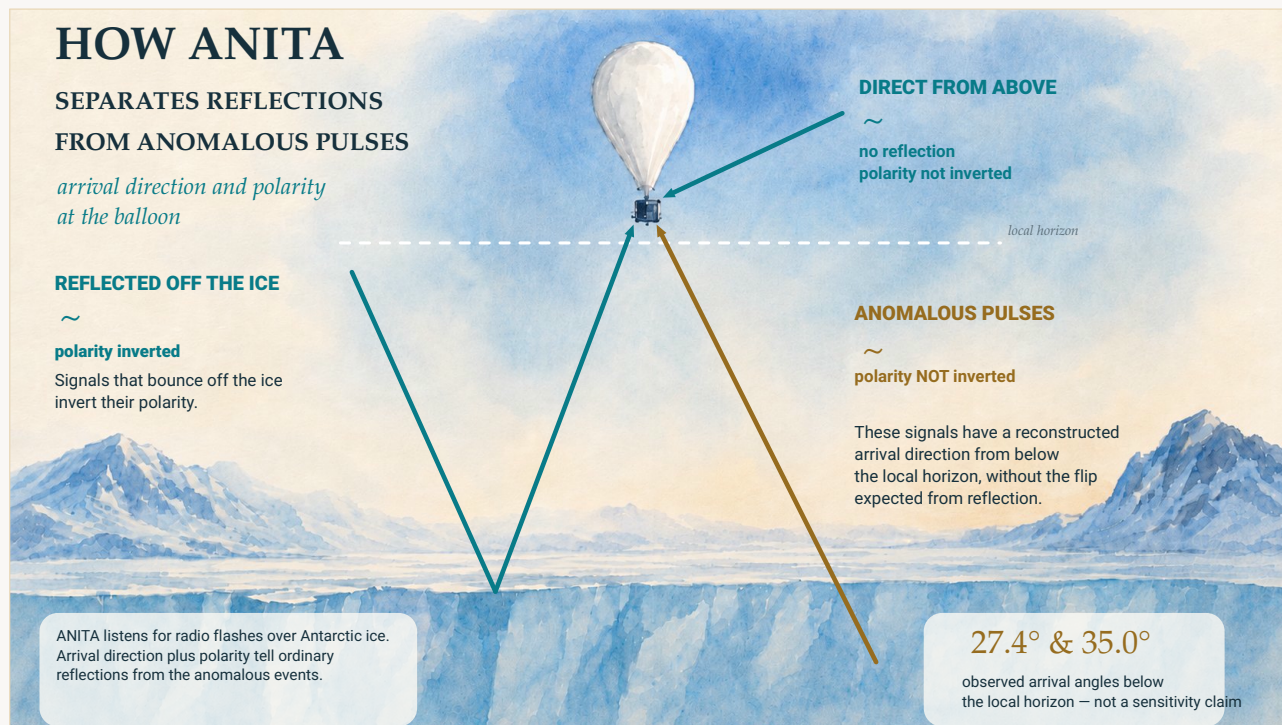
Durante a maior parte da sua vida operacional, a Antarctic Impulsive Transient Antenna — ANITA — fica suspensa sob um balão da NASA, a pouco mais de trinta quilómetros de altitude, e deriva durante semanas sobre o lugar mais vazio da Terra, à escuta.

O que procura são sinais de rádio vindos do espaço. Quando uma partícula de energia muito elevada — um raio cósmico ou um neutrino — atinge o ar ou o gelo, fragmenta-se numa cascata de partículas mais pequenas, e essa cascata emite um breve clarão de rádio. A Antártida é quase ideal para os detetar: quilómetros de gelo limpo e frio, que as ondas de rádio atravessam quase como se fosse vidro, e nada num raio de centenas de quilómetros para poluir o sinal. A função da ANITA é captar esses clarões e inferir, pela sua forma e temporização, o que os produziu.

A maior parte do que ouve comporta-se como esperado. Alguns clarões chegam diretamente de cima. Muitos outros atingem o gelo e refletem-se de volta para a antena — e trazem consigo uma assinatura

reveladora: a reflexão vira a onda ao contrário (uma inversão da *polaridade* do sinal), algo que os físicos reconhecem imediatamente. É assim que se distingue uma reflexão do sinal direto.

Por duas vezes, chegou algo que quebrou esse padrão.



No balão, um impulso que chega diretamente de cima mantém a polaridade, enquanto um impulso refletido chega com a polaridade invertida — o sinal habitual de uma reflexão no gelo. Os dois impulsos anómalos, pelo contrário, chegam de uma direção *reconstruída* muito abaixo do horizonte local — mas sem essa inversão, apesar de uma reflexão a dever produzir. «Vindo de baixo» descreve essa direção de chegada, não uma partícula a sair da Terra.

Original hybrid diagram — The Clean Paper CC BY 4.0

Num voo de 2006 e noutro de 2014, a ANITA registou um impulso proveniente de uma direção muito *abaixo* do horizonte — respetivamente 27,4° e 35,0° abaixo — como se tivesse subido para fora do continente, mas *sem* inversão. Portanto, aparentemente não era uma reflexão. Parecia algo que tinha realmente viajado para cima, saindo do gelo em direção ao balão.

Eis por que razão isso é quase escandaloso. Para alcançar a antena num ângulo ascendente tão acentuado, aquilo que produziu o impulso teria de atravessar o interior do planeta — seis ou sete mil quilómetros de rocha sólida. Quase nada consegue fazê-lo. A única partícula conhecida que atravessa matéria comum como se ela mal existisse é o neutrino, capaz de passar através de toda a Terra quase sem dar por isso — por isso, a ideia natural é que um neutrino tenha atravessado a rocha de baixo para cima, colidido com um átomo pouco abaixo do gelo e produzido uma cascata de partículas em movimento ascendente, cujo clarão de rádio a ANITA captou. O problema está numa reviravolta: um neutrino suficientemente energético para produzir *este* sinal é, na realidade, demasiado fácil de travar. Ao longo de tanta rocha, deveria ter sido absorvido muitas vezes. E um fluxo de neutrinos suficientemente intenso para permitir que dois ainda conseguissem atravessar deveria ter aparecido nos enormes detetores construídos precisamente para os encontrar. Nenhuma

das explicações arrumadas fechava completamente a questão.

Assim, os dois impulsos ficaram ali, a recusar-se a comportar-se. Não eram uma descoberta — dois eventos nunca são uma descoberta — mas também não eram nada. Eram uma anomalia genuína: do tipo que é interessante precisamente porque ainda ninguém conseguia dizer se representava uma fissura no Modelo Padrão da física ou apenas uma peculiaridade do gelo, da antenna ou dos cálculos.

É neste ponto que certo tipo de cobertura jornalística pega na palavra *misterioso*, apaga as luzes e pergunta o que poderá estar a viver sob a Antártida. Resista. A verdadeira pergunta nunca foi *que monstro está no gelo?* Era a pergunta paciente e pouco glamorosa que realmente faz a ciência avançar: **como é que se descobre?**

O que fizeram os autores

Há uma forma limpa de testar as explicações mais entusiasmantes. Se os impulsos da ANITA vierem de um fluxo real e recorrente de cascatas ascendentes — seja de neutrinos tau comuns ou de alguma nova partícula proposta — então um detetor suficientemente grande, à procura exatamente desses eventos, deverá captar uma parte deles.

O Observatório Pierre Auger, na Argentina — o maior detetor de raios cósmicos alguma vez construído — está bem colocado para procurar. Usando o seu Detetor de Fluorescência, a colaboração pesquisou cascatas atmosféricas ascendentes (vindas de baixo, com ângulos zenitais superiores a 110° e energias acima de $0,1 \text{ EeV}$) em dados recolhidos entre 2004 e 2018. Crucialmente, toda a seleção foi definida *antes* de se examinar o conjunto completo de dados — uma análise «cega», para que a resposta não pudesse ser ajustada na direção de um resultado desejado.

O que encontraram

Depois de retirar o cegamento, **um** evento candidato sobreviveu — totalmente compatível com os 0.27 ± 0.12 eventos esperados de raios cósmicos comuns ocasionalmente reconstruídos de forma errada como ascendentes. Por outras palavras, não apareceu qualquer sinal ascendente genuíno; apenas o pequeno gotejo de fundo que seria de esperar.

A força do resultado está na comparação. Se os impulsos da ANITA viessem de um fluxo constante de cascatas ascendentes, Auger deveria ter registado **muitos** — cerca de 34 a 69 eventos para um espectro de energia plausível, e pelo menos cerca de 8 mesmo sob pressupostos deliberadamente conservadores. Encontrou um, compatível com o fundo. Os autores descrevem isto como uma «forte discordância» com a interpretação em termos de cascatas ascendentes.

O que isto provavelmente significa

Uma não deteção desta dimensão contém informação. Se os eventos da ANITA viessem de uma população real de partículas a chegar dessas direções — neutrinos tau comuns ou as hipotéticas novas partículas propostas para os explicar — a longa exposição de Auger deveria ter registado um número considerável. Não registou. Isso exclui, na prática, a explicação de um «fluxo difuso de cascatas ascendentes» — a categoria em que cai a maioria das ideias para além do Modelo Padrão — salvo condições especiais muito artificiais.

O que sobrevive são explicações que *não* consistem num fluxo de partículas produtoras de cascatas: entre as mais discutidas, um efeito de reflexão ou propagação peculiar ao gelo e à geometria próxima do horizonte, ou um artefacto instrumental ou de análise. Nenhuma está confirmada. Portanto, o resumo honesto é: a interpretação mais entusiasmante sofreu um golpe sério, e a causa continua desconhecida.

O que isto *não* prova

- **Não** identifica o que são os dois impulsos. «Desfavorece fortemente nova física» não significa «caso resolvido».
- **Não** confirma uma causa banal. Uma das hipóteses principais — reflexões sob a superfície antártica — continua a ser uma hipótese, não um resultado.
- **Não** deteta nada «debaixo do gelo» em sentido literal. As antenas da ANITA ficam suspensas num balão *acima* da Antártida; «vindo de baixo» descreve a direção reconstruída de chegada de um impulso de rádio — não um som, uma voz ou qualquer coisa emanada do interior do gelo.
- **Não** sustenta alegações de uma nova partícula confirmada. A versão mais partilhada desta história aponta na direção oposta à evidência.

Quão forte é a evidência?

Modesta, e apresentada como tal.

- O interesse em física para além do Modelo Padrão assenta essencialmente em **dois** eventos, de dois voos da ANITA.
- Este artigo apresenta um **resultado nulo**: é poderoso para excluir possibilidades, mas não consegue dizer o que os eventos *são*.
- A exclusão é quantitativa e forte (esperavam-se dezenas de eventos e observou-se um evento semelhante ao fundo) — mas visa a interpretação de um «fluxo de cascatas ascendentes», não todas as causas concebíveis.
- Uma explicação banal importante (reflexão perto da superfície) é plausível, mas não está demonstrada; algumas alternativas (certos modelos de radiação de transição) foram desfavorecidas por outros trabalhos.

- Nenhuma experiência reproduziu de forma independente a anomalia original.

É uma restrição incisiva colocada sobre um pequeno e teimoso enigma — não uma descoberta.

Porque é importante

As explicações propostas chegaram até partículas novas e exóticas. Em vez de perseguir a mais entusiasmante, a área fez o trabalho pouco glamoroso: testou a ideia num detetor independente e muito maior — e os dados disseram não. Está a ser construído um instrumento sucessor, maior e mais sensível, o PUEO, para voltar a procurar.

A anomalia pode ainda revelar-se banal. Isso não faria dela um fracasso. Ir estreitando uma medição inexplicada até ela se dissolver ou obrigar a uma verdadeira descoberta é o trabalho — e vale a pena acompanhá-lo precisamente porque, por agora, a resposta honesta continua a ser «não sabemos».

Resumo claro

Dois impulsos de rádio registados nos voos de balão antárticos da ANITA em 2006 e 2014 parecem chegar de ângulos muito abaixo do horizonte que o Modelo Padrão tem dificuldade em explicar. Uma pesquisa específica de 2025 com o Observatório Pierre Auger encontrou apenas um evento candidato, compatível com o fundo, quando seriam esperadas dezenas se os impulsos viessem de um fluxo de cascatas ascendentes. Isso desfavorece fortemente a interpretação exótica de uma «nova partícula» e aponta antes para um efeito de reflexão, propagação ou instrumentação específico da ANITA — mas a causa continua genuinamente desconhecida. Não é uma nova partícula confirmada nem um sinal misterioso vindo do interior do gelo.

Verificação sem exageros

O que o artigo mostra: Uma pesquisa cega do Pierre Auger (2004–2018) por cascatas atmosféricas ascendentes encontrou um candidato, compatível com o fundo esperado de 0,27 evento de raios cósmicos. Se as anomalias da ANITA viessem de um fluxo dessas cascatas, Auger deveria ter visto cerca de 34–69 (ou pelo menos ~8 sob pressupostos conservadores). Isto desfavorece fortemente a interpretação de cascatas ascendentes, incluindo cenários de «nova partícula» para além do Modelo Padrão.

O que é plausível, mas não está provado: Um efeito de reflexão ou propagação de rádio junto ao gelo e ao horizonte, ou um artefacto instrumental/de análise específico da ANITA.

O que não mostra: Que os eventos sejam causados por uma nova partícula; que sejam sinais vindos debaixo do gelo; que esteja envolvido algo paranormal, artificial ou audível; que a causa seja agora

conhecida.

Principais limitações: O interesse em física para além do Modelo Padrão assenta em ~dois eventos; este é um resultado nulo que impõe restrições, mas não identifica a causa; a exclusão visa especificamente a interpretação de «fluxo de cascatas»; não houve reprodução independente da anomalia original.

Quanta confiança deve ter um leitor geral? Confiança elevada de que isto *não* é uma nova partícula confirmada nem um sinal vindo do interior do gelo, e de que a interpretação em termos de um fluxo exótico está agora fortemente desfavorecida. Confiança baixa quanto à verdadeira causa, que continua em aberto. A atitude adequada: curiosidade perante uma anomalia não resolvida que, muito provavelmente, terá uma explicação banal.

Fontes

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>