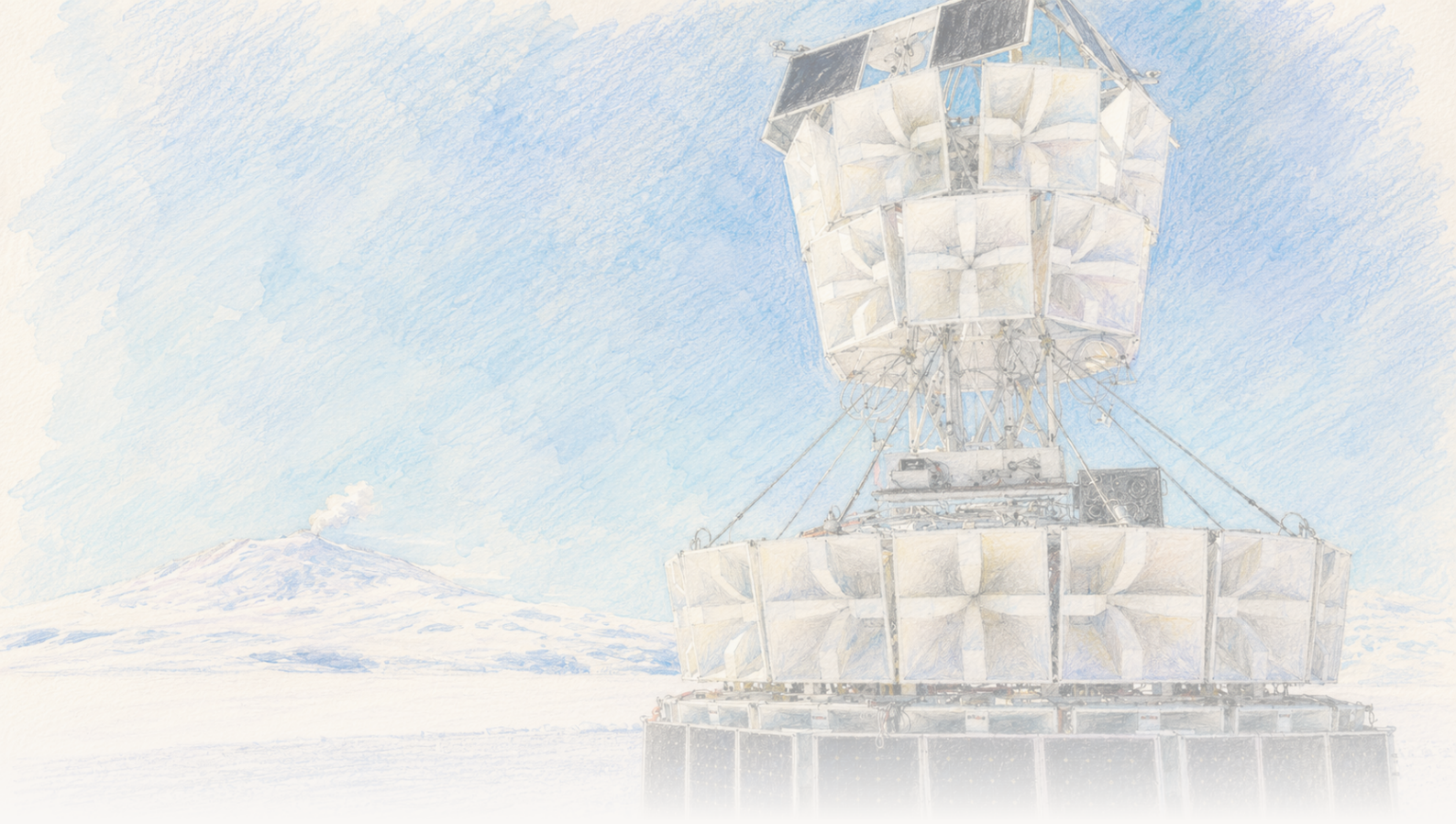




The CLEAN PAPER

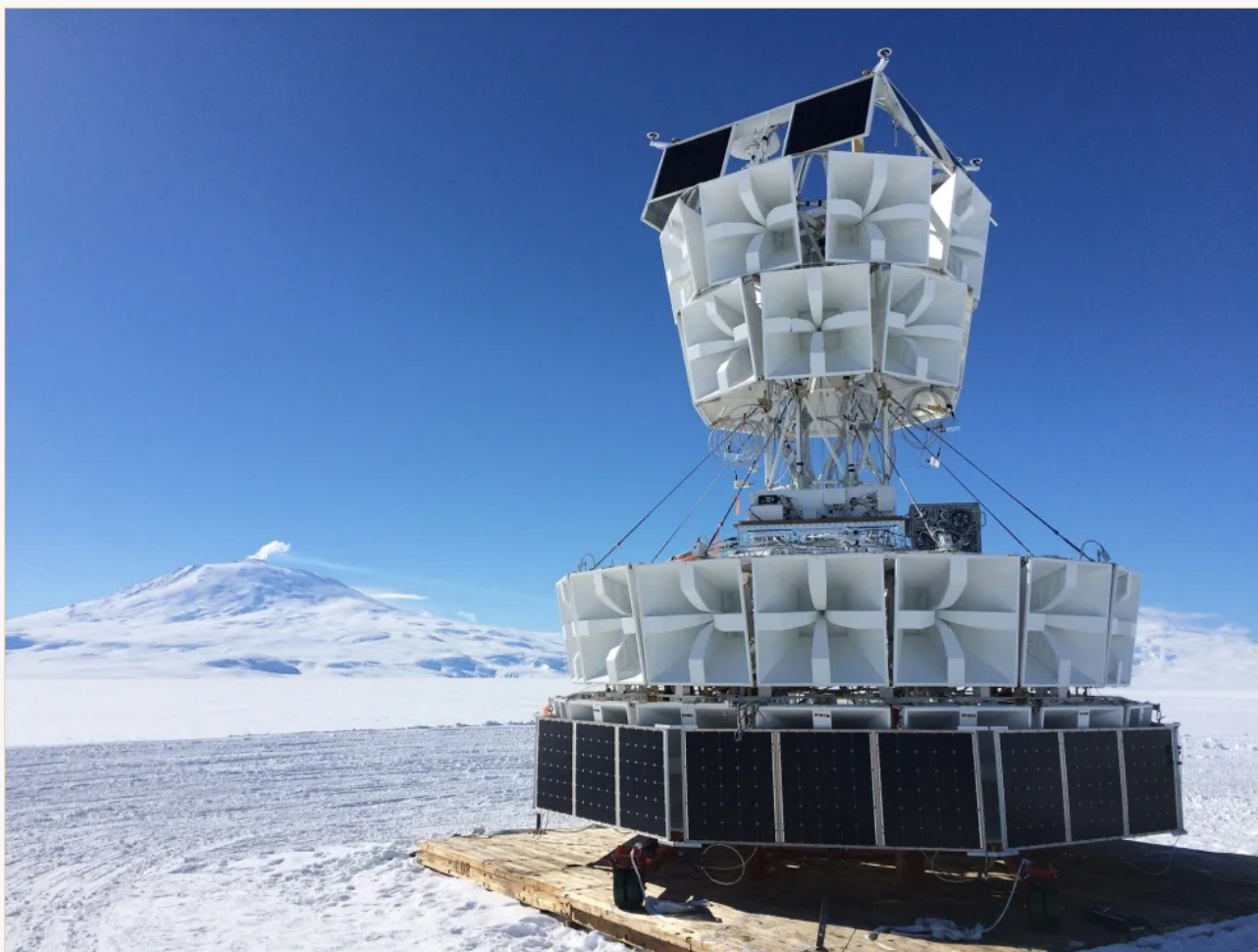
WHAT THE PAPER SAYS · WHAT IT DOESN'T · WHY IT MATTERS

南极上空的两次异常射电脉冲仍未得到解释——“新粒子”解释正失去支持

几年前由气球搭载的南极实验记录的两次异常射电脉冲仍然没有公认的解释；皮埃尔·奥热天文台的一项专门搜索未发现这些脉冲所暗示的粒子暴雨的任何痕迹，使得奇异的“新粒子”解读远不那么可能，同时让异常仍然未解。

Written by Lucio Vaglio · Cross-checked by Laura Nesso · Edited by Michele Renda · Figures by Laura Nesso
· 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



ANITA 的 48 根天线朝下对准南极冰层，安装在一个 25 英尺高的吊舱上。

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

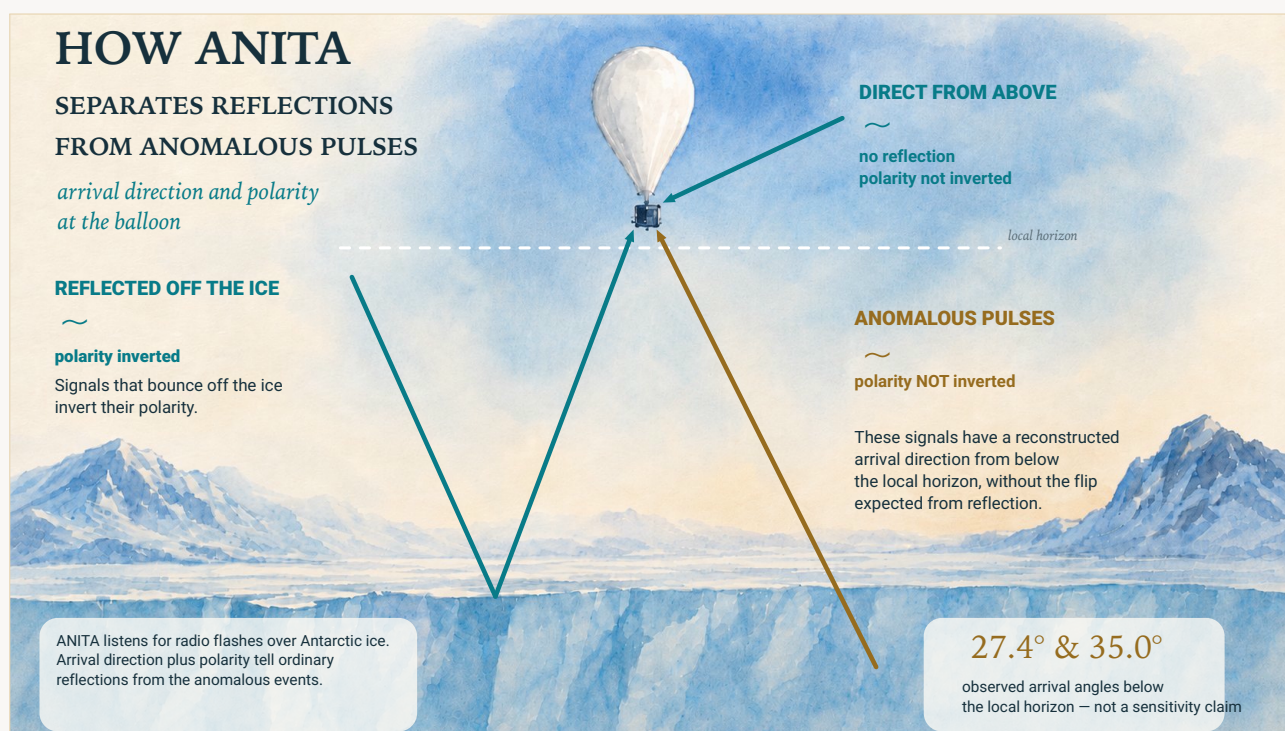
气球、冰层和两个来自地下的脉冲

ANITA——南极脉冲瞬态天线——在其大部分工作寿命中悬挂在 NASA 气球下方，漂浮在地球上最空旷的地方上方三十多公里的高空中，一漂就是几周，倾听。

它倾听的是来自太空的无线电信号。当一颗极高能粒子——宇宙线或中微子——撞击空气或冰层时，它会碎裂成一阵较小的粒子暴雨，这阵暴雨会产生一次短暂的射电闪光。南极几乎是最理想的捕捉地点：数公里纯净、寒冷的冰层，射电波穿过其中几乎像穿过玻璃一样，方圆数百公里内没有任何东西会干扰信号。ANITA 的任务就是捕捉这些闪光，通过它们的形状和时间推断制造它们的是什么。

它听到的大部分信号都循规蹈矩。一些闪光直接从上方抵达。更多的则从冰面上瞥过，反弹回天线——这些带着一个破绽：反弹将信号波形上下颠倒（信号的极性反转），物理学家一眼就能读出这个签名。这就是你区分反射和真实信号的方式。

有两次，某些打破这个模式的东西抵达了。



在气球处，直接从上方来的脉冲抵达时不翻转，而从冰面反射的脉冲带着翻转的极性抵达——这是冰面反射的通常标志。而这两个异常脉冲的重建到达方向来自当地地平线以下大角度处——却没有这种翻转，如果它们是反射信号就会被翻转。“从下方”描述的是那个到达方向——不是粒子从地球内部爬出来。

Original hybrid diagram —The Clean Paper CC BY 4.0

在一次 2006 年和另一次 2014 年的飞行中，ANITA 捕捉到了一个来自地平线下方大角度的脉冲——分别低于地平线 27.4° 和 35.0° ——仿佛从大陆内部向上射出，且没有反转。不是反射。某种真正向上穿过冰层、朝气球而去的东西。

这就是近乎惊世骇俗的地方。以如此陡峭的向上角度抵达天线，制造这个脉冲的东西必须穿过整个行星——六七千公里的固态岩石。几乎没有东西能做到。已知唯一一种穿过普通物质仿佛它们几乎不存在的粒子是中微子，它可以毫无察觉地滑过整个地球——所以自然的想法是中微子向上穿过岩石，在冰层下方击中一个原子，产生一股向上奔涌的粒子暴雨，ANITA 捕捉到了它的射电闪光。问题出在一个转折上：一个能量足够产生这种信号的中微子，事实上太容易阻止了。穿过那么多岩石，它应该被吸收很多次。而强到仍有两个通过的中微子流，本应在专门建造来捕捉它们的巨型探测器中出现。没有一种简洁的解释能完全自圆其说。

于是这两个脉冲搁在那里，拒绝配合。不是发现——两个事件从来构不成发现——但也不是零。一个真正的异常信号：它之所以有趣，恰恰是因为还没有人能说出它是物理标准模型的裂缝还是仅仅是冰层、天线或计算的怪癖。

正是在这里，某种报道伸手去拿神秘这个词，调暗灯光，问冰层下可能住着什么。抵制它。真正的问题从来不是冰层里有什么怪物。它是那个耐心的、不光彩的、实际推动科学前进的问题：**你该如何查清楚？**

作者做了什么

有一种干净的方法来检验那些激动人心的解释。如果 ANITA 脉冲来自真实的、重复的向上大气暴雨通量——无论是来自普通的陶中微子还是某种被提出的新粒子——那么一个足够大、专门监视这些事件的探测器应该捕捉到它们的一部分。

位于阿根廷的皮埃尔·奥热天文台——有史以来最大的宇宙线探测器——处于良好的观测位置。合作组使用其荧光探测器，在 2004 年至 2018 年的数据中搜索了向上大气暴雨（来自下方，天顶角大于 110° ，能量大于 0.1 EeV ）。关键的是，完整的选择标准在检查全部数据集之前就已经固定——这是一项“盲”分析，因此答案不会被人为塑造成希望看到的结果。

他们发现了什么

解盲后，一个候选事件幸存——完全与 0.27 ± 0.12 个预期事件一致，后者来自普通宇宙线偶尔被错误重建为向上事件的本底。换句话说，没有真正的向上信号；只有你预期的本底细流。

这个结果的力量在于比较。如果 ANITA 脉冲来自稳定的向上暴雨通量，奥热应该记录到**很多**——对于一个合理的能量谱，大约 34 到 69 个这样的事件，即使在刻意保守的假设下也至少有约 8 个。它找到了一个，与本底一致。作者将其描述为与向上暴雨解释“强烈不一致”。

这可能意味着什么

这种程度的零探测是有信息量的。如果 ANITA 事件来自从那些方向抵达的真实粒子群体——普通的陶中微子，或为解释它们而假设的新粒子——奥热长时间的曝光应该捕捉到相当可观的数量。它没有。这有效地排除了“扩散向上暴雨通量”的解释——大多数超越标准模型的想法都属于这一类别——除非假设刻意制造的特殊条件。

留存下来的解释是那些不是暴雨粒子通量的：讨论最多的是冰层和近地平几何特有的反射或传播效应，或者仪器或分析瑕疵。没有一种被确认。所以诚实的总结是：最激动人心的解释刚刚遭受了一次重击，而原因仍然未知。

这篇论文没有证明什么

- 它**没有**确定这两个脉冲是什么。“强烈不赞成新物理”不是“已解决”。
- 它**没有**确认一个世俗的原因。一个主要候选——来自南极表面以下的反射——仍然是一个假设，而非结论。
- 它**没有**在任何字面意义上探测到任何“来自冰下的东西”。ANITA 的天线悬挂在南极洲上方的气球上；“从下方”描述的是射电脉冲的重建到达方向——不是一种声音、一个声音，或来自冰层内部的任何东西。

- 它**没有**支持确认新粒子的说法。这个故事流传最广的版本指向的证据恰恰指向相反方向。

证据有多强？

中等，且如此表述。

- 超越标准模型的兴趣本质上建立在两次 ANITA 飞行中的**两个**事件之上。
- 这篇论文是一个**零结果**：在排除可能性方面很有力，但它不能说出这些事件是什么。
- 排除在定量上是强的（预期几十个事件，看到一个本底级别事件）——但它针对的是“向上暴雨通量”解释，而非每一种可设想的原因。
- 一个主要的世俗解释（近表面反射）合理但未经证实；一些替代方案（某些跃迁辐射模型）已被其他工作否定。
- 没有实验独立复现了原始异常。

这是一道尖锐的约束，架设在一个微小而顽固的谜题之上——不是一项发现。

为什么重要

被提出的解释一路延伸到奇异的新粒子。这个领域不是追逐最激动人心的一种，而是做了那件不光彩的事：用一个独立、大得多的探测器检验这个想法——数据说了不。一个更大、更灵敏的后继仪器 PUEO 正在建造，准备再次观测。

这个异常可能最终变成世俗的东西。这不会让它成为失败。将一个未解释的测量收窄，直到它要么消散要么促成真正的发现——这就是科学工作本身——而它值得关注，恰恰是因为诚实的答案目前仍是“我们不知道”。

简洁摘要

来自 ANITA 2006 年和 2014 年南极气球飞行的两次射电脉冲，似乎来自标准模型难以解释的地平线以下大角度。2025 年皮埃尔·奥热天文台的一项专门搜索只找到了一个候选事件，与本底一致，而如果脉冲来自向上暴雨通量，预期应有几十个。这强烈否定了奇异的“新粒子”解释，指向 ANITA 特有的反射、传播或仪器效应——但原因仍然真正未知。不是一个被确认的新粒子，也不是来自冰层内部的神秘信号。

No-BS 检查

论文所展示的：皮埃尔·奥热天文台对向上大气暴雨的一次盲搜索（2004–2018）找到了一个候选事件，与预期的 0.27 个事件宇宙线本底一致。如果 ANITA 异常事件来自一类这样的暴雨通量，奥热应该看到大约 34–69 个（或在保守假设下至少约 8 个）。这强烈否定了向上暴雨解释，包括超越标准模型的“新粒子”场景。

合理但未经证实的：冰层和地平线附近的反射或射电传播效应，或 ANITA 特有的仪器/分析瑕疵。

它没有显示的：这些事件由新粒子引起；它们是来自冰下的信号；涉及任何超自然、人工或可听见的东西；原因是已知的。

主要局限：超越标准模型的兴趣基于约两个事件；这是一个零结果，可以约束但不能确定原因；排除专门针对“暴雨通量”解释；原始异常没有独立复现。

普通读者应该抱有多大信心？ 高度信心：这不是一个被确认的新粒子，不是来自冰层内部的信号，奇异的通量解释现已被强烈否定。低度信心：关于真正的原因，它仍然是开放的。恰当的立场：对一个很可能世俗的未解异常保持好奇心。

来源

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>