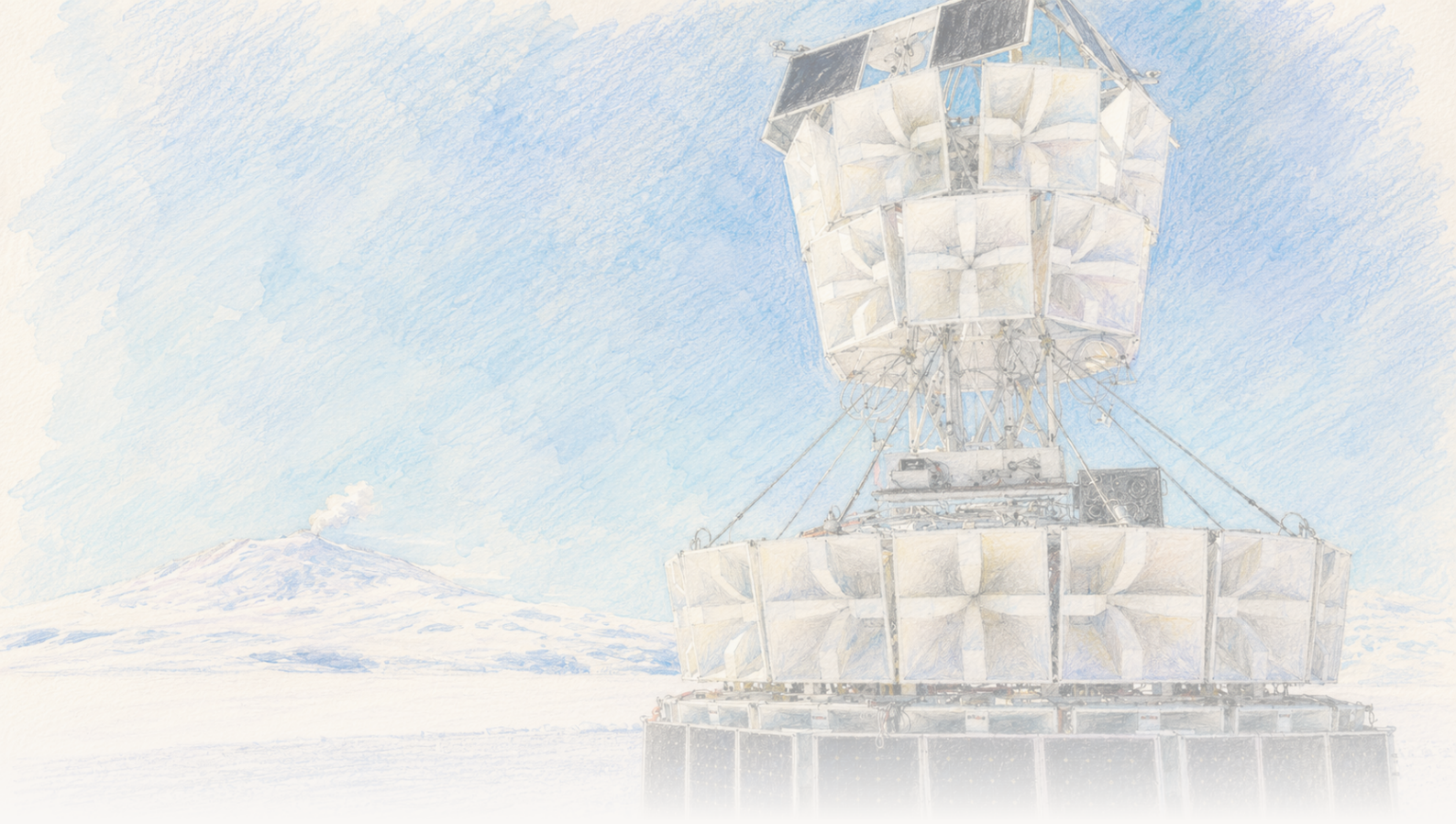




The CLEAN PAPER

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

南極上空的兩次異常射電脈衝仍未得到解釋—— 「新粒子」解釋正失去支持

幾年前由氣球搭載的南極實驗記錄的兩次異常射電脈衝仍然沒有公認的解釋；皮埃爾·奧熱天文台的一項專門搜尋未發現這些脈衝所暗示的粒子暴雨的任何痕跡，使得奇異的「新粒子」解讀遠不那麼可能，同時讓異常仍然未解。

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 根天線朝下對準南極冰層，安裝在一個 25 英尺高的吊艙上。

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

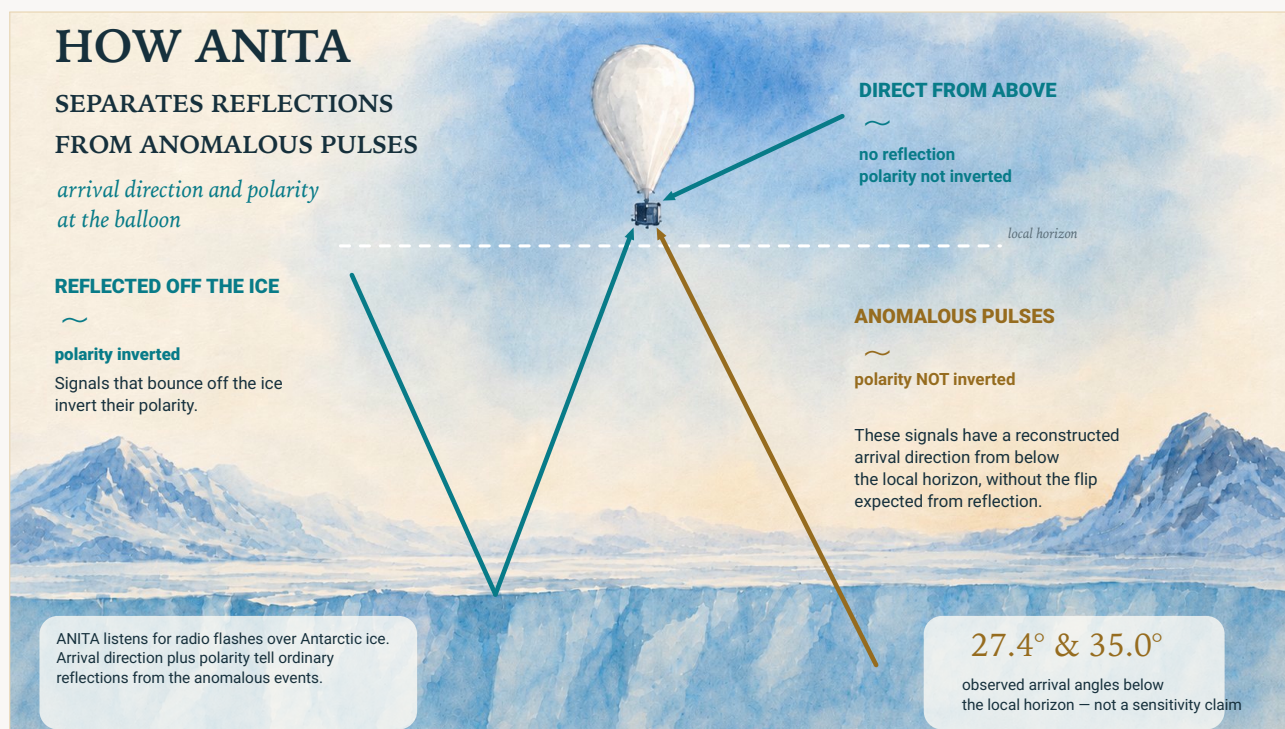
氣球、冰層和兩個來自地下的脈衝

ANITA——南極脈衝瞬態天線——在其大部分工作壽命中懸掛在 NASA 氣球下方，漂浮在地球上最空曠的地方上方三十多公里的高空中，一漂就是幾週，傾聽。

它傾聽的是來自太空的無線電信號。當一顆極高能粒子——宇宙線或微中子——撞擊空氣或冰層時，它會碎裂成一陣較小的粒子暴雨，這陣暴雨會產生一次短暫的射電閃光。南極幾乎是最理想的捕捉地點：數公里純淨、寒冷的冰層，射電波穿過其中幾乎像穿過玻璃一樣，方圓數百公里內沒有任何東西會干擾信號。ANITA 的任務就是捕捉這些閃光，通過它們的形狀和時間推斷製造它們的是什麼。

它聽到的大部分信號都循規蹈矩。一些閃光直接從上方抵達。更多的則從冰面上瞥過，反彈回天線——這些帶著一個破綻：反彈將信號波形上下顛倒（信號的極性反轉），物理學家一眼就能讀出這個簽名。這就是你區分反射和真實信號的方式。

有兩次，某些打破這個模式的東西抵達了。



在氣球處，直接從上方來的脈衝抵達時不翻轉，而從冰面反射的脈衝帶著翻轉的極性抵達——這是冰面反射的通常標誌。而這兩個異常脈衝的重建到達方向來自當地地平線以下大角度處——卻沒有這種翻轉，如果它們是反射信號就會被翻轉。“從下方”描述的是那個到達方向——不是粒子從地球內部爬出來。

Original hybrid diagram — The Clean Paper CC BY 4.0

在一次 2006 年和另一次 2014 年的飛行中，ANITA 捕捉到了一個來自地平線下方大角度的脈衝——分別低於地平線 27.4° 和 35.0°——彷彿從大陸內部向上射出，且沒有反轉。不是反射。某種真正向上穿過冰層、朝氣球而去的東西。

這就是近乎驚世駭俗的地方。以如此陡峭的向上角度抵達天線，製造這個脈衝的東西必須穿過整個行星——六七千公里的固態岩石。幾乎沒有東西能做到。已知唯一一種穿過普通物質彷彿它們幾乎不存在的粒子是微中子，它可以毫無察覺地滑過整個地球——所以自然的想法是微中子向上穿過岩石，在冰層下方擊中一個原子，產生一股向上奔湧的粒子暴雨，ANITA 捕捉到了它的射電閃光。問題出在一個轉折上：一個能量足夠產生這種信號的微中子，事實上太容易阻止了。穿過那麼多岩石，它應該被吸收很多次。而強到仍有兩個通過的微中子流，本應在專門建造來捕捉它們的巨型探測器中出現。沒有一種簡潔的解釋能完全自圓其說。

於是這兩個脈衝擱在那裡，拒絕配合。不是發現——兩個事件從來構不成發現——但也不是零。一個真正的異常信號：它之所以有趣，恰恰是因為還沒有人能說出它是物理標準模型的裂縫還是僅僅是冰層、天線或計算的怪癖。

正是在這裡，某種報導伸手去拿神秘這個詞，調暗燈光，問冰層下可能住著什麼。抵制它。真正的問題從來不是冰層裡有什麼怪物。它是那個耐心的、不光彩的、實際推動科學前進的問題：**你該如何查清楚？**

作者做了什麼

有一種乾淨的方法來檢驗那些激動人心的解釋。如果 ANITA 脈衝來自真實的、重複的向上大氣暴雨通量——無論是來自普通的陶微中子還是某種被提出的新粒子——那麼一個足夠大、專門監視這些事件的探測器應該捕捉到它們的一部分。

位於阿根廷的皮埃爾·奧熱天文台——有史以來最大的宇宙線探測器——處於良好的觀測位置。合作組使用其螢光探測器，在 2004 年至 2018 年的數據中搜尋了向上大氣暴雨（來自下方，天頂角大於 110° ，能量大於 0.1 EeV ）。關鍵的是，完整的選擇標準在檢查全部數據集之前就已經固定——這是一項“盲”分析，因此答案不會被人為塑造成希望看到的結果。

他們發現了什麼

解盲後，一個候選事件倖存——完全與 0.27 ± 0.12 個預期事件一致，後者來自普通宇宙線偶爾被錯誤重建為向上事件的本底。換句話說，沒有真正的向上信號；只有你預期的本底細流。

這個結果的力量在於比較。如果 ANITA 脈衝來自穩定的向上暴雨通量，奧熱應該記錄到**很多**——對於一個合理的能量譜，大約 34 到 69 個這樣的事件，即使在刻意保守的假設下也至少有約 8 個。它找到了一個，與本底一致。作者將其描述為與向上暴雨解釋“強烈不一致”。

這可能意味著什麼

這種程度的零探測是有信息量的。如果 ANITA 事件來自從那些方向抵達的真實粒子群體——普通的陶微中子，或為解釋它們而假設的新粒子——奧熱長時間的曝光應該捕捉到相當可觀的數量。它沒有。這有效地排除了“擴散向上暴雨通量”的解釋——大多數超越標準模型的想法都屬於這一類別——除非假設刻意製造的特殊條件。

留存下來的解釋是那些不是暴雨粒子通量的：討論最多的是冰層和近地平幾何特有的反射或傳播效應，或者儀器或分析瑕疵。沒有一種被確認。所以誠實的總結是：最激動人心的解釋剛剛遭受了一次重擊，而原因仍然未知。

這篇論文沒有證明什麼

- 它**沒有**確定這兩個脈衝是什麼。“強烈不贊成新物理”不是“已解決”。
- 它**沒有**確認一個世俗的原因。一個主要候選——來自南極表面以下的反射——仍然是一個假設，而非結論。
- 它**沒有**在任何字面意義上探測到任何“來自冰下的東西”。ANITA 的天線懸掛在南極洲上方的氣球上；“從下方”描述的是射電脈衝的重建到達方向——不是一種聲音、一個聲音，或來自冰層內部的任何東西。

- 它**沒有**支持確認新粒子的說法。這個故事流傳最廣的版本指向的證據恰恰指向相反方向。

證據有多強？

中等，且如此表述。

- 超越標準模型的興趣本質上建立在兩次 ANITA 飛行中的**兩個**事件之上。
- 這篇論文是一個**零結果**：在排除可能性方面很有力，但它不能說出這些事件是什麼。
- 排除在定量上是強的（預期幾十個事件，看到一個本底級別事件）——但它針對的是“向上暴雨通量”解釋，而非每一種可設想的原因。
- 一個主要的世俗解釋（近表面反射）合理但未經證實；一些替代方案（某些躍遷輻射模型）已被其他工作否定。
- 沒有實驗獨立復現了原始異常。

這是一道尖銳的約束，架設在一個微小而頑固的謎題之上——不是一項發現。

為什麼重要

被提出的解釋一路延伸到奇異的新粒子。這個領域不是追逐最激動人心的一種，而是做了那件不光彩的事：用一個獨立、大得多的探測器檢驗這個想法——數據說了不。一個更大、更靈敏的後繼儀器 PUEO 正在建造，準備再次觀測。

這個異常可能最終變成世俗的東西。這不會讓它成為失敗。將一個未解釋的測量收窄，直到它要麼消散要麼促成真正的發現——這就是科學工作本身——而它值得關注，恰恰是因為誠實的答案目前仍是“我們不知道”。

簡潔摘要

來自 ANITA 2006 年和 2014 年南極氣球飛行的兩次射電脈衝，似乎來自標準模型難以解釋的地平線以下大角度。2025 年皮埃爾·奧熱天文台的一項專門搜尋只找到了一個候選事件，與本底一致，而如果脈衝來自向上暴雨通量，預期應有幾十個。這強烈否定了奇異的“新粒子”解釋，指向 ANITA 特有的反射、傳播或儀器效應——但原因仍然真正未知。不是一個被確認的新粒子，也不是來自冰層內部的神秘信號。

No-BS 檢查

論文所展示的：皮埃爾·奧熱天文台對向上大氣暴雨的一次盲搜尋（2004–2018）找到了一個候選事件，與預期的 0.27 個事件宇宙線本底一致。如果 ANITA 異常事件來自一類這樣的暴雨通量，奧熱應該看到大約 34–69 個（或在保守假設下至少約 8 個）。這強烈否定了向上暴雨解釋，包括超越標準模型的“新粒子”場景。

合理但未經證實的：冰層和地平線附近的反射或射電傳播效應，或 ANITA 特有的儀器/分析瑕疵。

它沒有顯示的：這些事件由新粒子引起；它們是來自冰下的信號；涉及任何超自然、人工或可聽見的東西；原因是已知的。

主要侷限：超越標準模型的興趣基於約兩個事件；這是一個零結果，可以約束但不能確定原因；排除專門針對“暴雨通量”解釋；原始異常沒有獨立復現。

普通讀者應該抱有多大信心？ 高度信心：這不是一個被確認的新粒子，不是來自冰層內部的信號，奇異的通量解釋現已被強烈否定。低度信心：關於真正的原因，它仍然是開放的。恰當的立場：對一個很可能世俗的未解異常保持好奇心。

來源

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>