



The CLEAN PAPER

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

Dwa anomalne impulsy radiowe nad Antarktydą nadal pozostają niewyjaśnione — a hipoteza „nowej cząstki” traci poparcie

Dwa niezwykle impulsy radiowe zarejestrowane przed laty przez eksperyment balonowy nad Antarktydą wciąż nie mają uzgodnionego wyjaśnienia. Ukierunkowane poszukiwanie w Obserwatorium Pierre’a Augera nie znalazło śladów kaskad, których należałoby oczekiwać, przez co egzotyczna interpretacja z „nową cząstką” stała się znacznie mniej prawdopodobna, choć sama anomalia pozostaje nierozwiązana.

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)



48 anten ANITA jest skierowanych w dół, ku antarktycznemu lodowi, z gondoli wysokiej na 25 stóp.

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

Balon, lód i dwa impulsy dobiegające z dołu

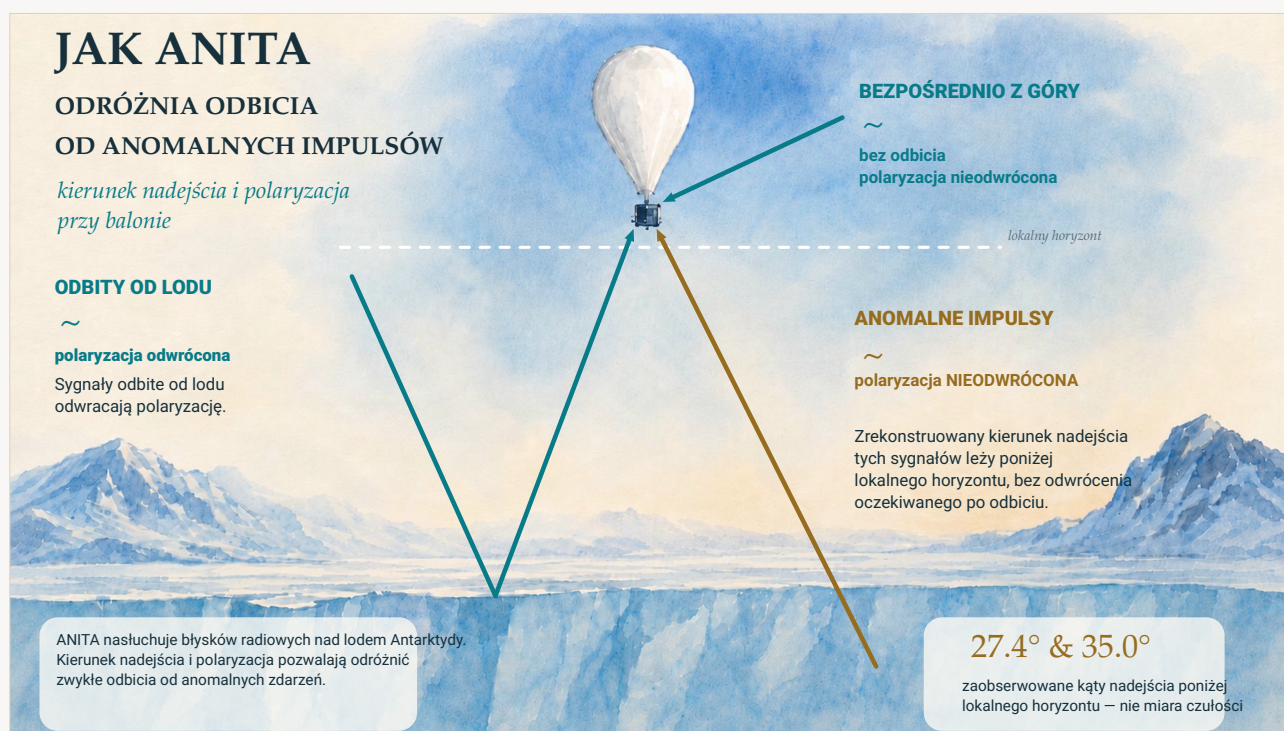
Przez większość czasu pracy Antarctic Impulsive Transient Antenna — ANITA — wisi pod balonem NASA na wysokości ponad trzydziestu kilometrów i przez całe tygodnie dryfuje nad najbardziej bezludnym miejscem na Ziemi, nasłuchując.

Nasłuchuje sygnałów radiowych z kosmosu. Kiedy cząstka o bardzo wysokiej energii — promień kosmiczny albo neutrino — uderza w atmosferę lub lód, rozpada się na kaskadę mniejszych cząstek, a ta emituje krótki błysk radiowy. Antarktyda nadaje się do ich wykrywania niemal idealnie: kilometry czystego, zimnego lodu, przez który fale radiowe przechodzą prawie jak przez szkło, i setki kilometrów bez niczego, co zakłócałoby sygnał. Zadaniem ANITA jest wychwytywanie tych błysków i odczytywanie z ich kształtu oraz czasu nadejścia, co je wywołało.

Większość rejestrowanych sygnałów zachowuje się zgodnie z oczekiwaniami. Niektóre błyski nadchodzą bezpośrednio z góry. Znacznie więcej odbija się od lodu i wraca ku antenie — a takie sygnały mają charakterystyczną cechę: odbicie odwraca falę (zmienia *polaryzację* sygnału), co fizycy potrafią

rozpoznać od razu. W ten sposób odróżnia się odbicie od sygnału bezpośredniego.

Dwa razy pojawiło się jednak coś, co nie pasowało do tego wzorca.



Przy balonie impuls biegnący bezpośrednio z góry dociera bez odwrócenia, natomiast impuls odbity ma odwróconą polaryzację — zwykły ślad odbicia od lodu. Dwa anomalne impulsy nadchodzą zaś z *zrekonstruowanego* kierunku stromo poniżej lokalnego horyzontu, lecz bez odwrócenia, którego należałoby oczekiwać po odbiciu. „Z dołu” opisuje kierunek nadejścia sygnału, a nie cząstkę wydostającą się z Ziemi.

Original hybrid diagram — The Clean Paper CC BY 4.0

Podczas jednego lotu w 2006 roku i drugiego w 2014 roku ANITA zarejestrowała impuls nadchodzący stromo *spod* horyzontu — odpowiednio $27,4^\circ$ i $35,0^\circ$ poniżej niego — jak gdyby sygnał wyszedł z kontynentu, ale *bez* odwrócenia. Nie wyglądało to więc na odbicie, lecz na coś, co rzeczywiście przemieszczało się ku górze, z lodu w stronę balonu.

I tu zaczyna się problem. Aby dotrzeć do anteny pod tak stromym kątem od dołu, źródło impulsu musiałoby przebyć wewnątrz planety — sześć lub siedem tysięcy kilometrów litej skały. Prawie nic nie potrafi tego zrobić. Jedyną znaną cząstką, która przechodzi przez zwykłą materię, niemal jej nie zauważając, jest neutrino. Naturalne wyjaśnienie brzmiało więc tak: neutrino przeszło przez skałę, uderzyło w atom tuż pod lodem i wywołało pędzącą ku górze kaskadę cząstek, której błysk radiowy wykryła ANITA. Jest jednak haczyk: neutrino o energii wystarczającej do wytworzenia *takiego* sygnału jest zarazem na tyle łatwe do zatrzymania, że w tak grubej warstwie skał powinno zostać wielokrotnie pochłonięte. A strumień neutrin dość silny, by mimo to przepuścić dwie cząstki, powinien być widoczny w ogromnych detektorach zbudowanych właśnie do ich wykrywania. Żadne proste wyjaśnienie nie domknęło sprawy.

Tak więc oba impulsy pozostały niewygodnym wyjątkiem. Nie były odkryciem — dwa zdarzenia nigdy nim nie są — ale nie były też niczym. Stanowiły prawdziwą anomalię, ciekawą właśnie dlatego, że

nie było wiadomo, czy ujawnia szczelinę w Modelu Standardowym fizyki, czy tylko osobliwość lodu, anteny albo obliczeń.

W tym miejscu pewien rodzaj popularnych relacji sięga po słowo *tajemniczy*, przyciemnia światła i pyta, co może żyć pod Antarktydą. Nie idźmy tą drogą. Prawdziwe pytanie nigdy nie brzmiało: *jaki potwór tkwi w lodzie?* Było cierpliwe i mało efektowne, ale to właśnie ono posuwa naukę naprzód: **jak można to sprawdzić?**

Co zrobili autorzy

Ekscytujące wyjaśnienia można przetestować w prosty sposób. Jeśli impulsy ANITA pochodzą z rzeczywistego, powtarzającego się strumienia kaskad biegnących ku górze — wywołanych zwykłymi neutrinami tau albo proponowaną nową cząstką — to dostatecznie duży detektor nastawiony na takie zdarzenia powinien zarejestrować część z nich.

Obserwatorium Pierre’a Augera w Argentynie — największy kiedykolwiek zbudowany detektor promieni kosmicznych — dobrze nadaje się do takiego poszukiwania. Korzystając z detektora fluorescencyjnego, zespół szukał w danych z lat 2004–2018 kaskad atmosferycznych biegnących ku górze: nadchodzących z dołu, o kątach zenitalnych powyżej 110° i energiach przekraczających 0,1 EeV. Co ważne, pełne kryteria selekcji ustalono *przed* zbadaniem całego zbioru danych. Była to analiza „ślepa”, dzięki czemu nie można było nagiąć wyniku do oczekiwań.

Co znaleźli

Po odsłonięciu danych pozostało **jedno** zdarzenie kandydujące — w pełni zgodne z przewidywanymi $0,27 \pm 0,12$ zdarzenia tła, pochodzącymi od zwykłych promieni kosmicznych sporadycznie błędnie rekonstruowanych jako kaskady skierowane ku górze. Innymi słowy, nie było prawdziwego sygnału z dołu, tylko tyle tła, ile należało oczekiwać.

Siła wyniku tkwi w porównaniu. Gdyby impulsy ANITA pochodziły ze stałego strumienia kaskad biegnących ku górze, Auger powinien zarejestrować ich **wiele** — około 34–69 dla jednego wiarygodnego widma energii i co najmniej około 8 nawet przy celowo konserwatywnych założeniach. Znaleziono jedno zdarzenie, zgodne z tłem. Autorzy określają to jako „silną niezgodność” z interpretacją zakładającą kaskady biegnące ku górze.

Co to prawdopodobnie oznacza

Brak detekcji na taką skalę niesie istotną informację. Gdyby zdarzenia ANITA pochodziły z rzeczywistej populacji cząstek nadlatujących z tych kierunków — zwykłych neutrin tau albo hipotetycznych nowych cząstek proponowanych jako wyjaśnienie — długa ekspozycja Augera

powinna ujawnić znaczną ich liczbę. Tak się nie stało. W praktyce wyklucza to wyjaśnienie oparte na „rozproszonym strumieniu kaskad biegnących ku górze”, do którego należy większość pomysłów wykraczających poza Model Standardowy, chyba że przyjmie się bardzo szczególne, sztucznie dobrane warunki.

Pozostają wyjaśnienia, które *nie* wymagają strumienia cząstek tworzących kaskady. Najczęściej rozważa się efekt odbicia lub propagacji właściwy lodowi i geometrii blisko horyzontu, bądź artefakt instrumentu albo analizy. Żadnego z nich nie potwierdzono. Uczciwe podsumowanie brzmi więc: najbardziej ekscytująca interpretacja otrzymała poważny cios, a przyczyna nadal pozostaje nieznana.

Czego to *nie* dowodzi

- Wynik **nie** wyjaśnia, czym są dwa impulsy. „Silnie przemawia przeciw nowej fizyce” nie znaczy „sprawa rozwiązana”.
- **Nie** potwierdza przyziemnej przyczyny. Jeden z głównych kandydatów — odbicia spod powierzchni Antarktydy — pozostaje hipotezą, a nie wynikiem.
- **Nie** wykryto niczego „spod lodu” w dosłownym sensie. Anteny ANITA wiszą pod balonem *nad* Antarktydą; „z dołu” opisuje zrekonstruowany kierunek nadejścia impulsu radiowego, a nie dźwięk, głos czy cokolwiek wydobywającego się z wnętrza lodu.
- Wynik **nie** wspiera twierdzeń o potwierdzonej nowej cząstce. Najczęściej udostępniana wersja tej historii wskazuje kierunek przeciwny do danych.

Jak mocne są dowody?

Umiarkowane — i tak też należy je przedstawiać.

- Zainteresowanie fizyką poza Modelem Standardowym opiera się zasadniczo na **dwóch** zdarzeniach z dwóch lotów ANITA.
- Ta praca przedstawia **wynik zerowy**: skutecznie wyklucza pewne możliwości, ale nie mówi, czym zdarzenia są.
- Wykluczenie jest ilościowe i mocne — oczekiwano dziesiątek zdarzeń, a zaobserwowano jedno podobne do tła — lecz dotyczy interpretacji opartej na „strumieniu kaskad biegnących ku górze”, a nie każdej możliwej przyczyny.
- Główne przyziemne wyjaśnienie, czyli odbicie blisko powierzchni, jest wiarygodne, ale nieudowodnione; inne możliwości, takie jak niektóre modele promieniowania przejścia, osłabiły wcześniejsze badania.
- Żaden eksperyment niezależnie nie odtworzył pierwotnej anomalii.

To precyzyjne ograniczenie nałożone na małą, uporczywą zagadkę — nie odkrycie.

Dlaczego to ma znaczenie

Proponowane wyjaśnienia sięgały aż po egzotyczne nowe cząstki. Zamiast podążać za najbardziej ekscytującym, badacze zrobili coś mniej efektownego: sprawdzili pomysł przy użyciu niezależnego i znacznie większego detektora — a dane odpowiedziały „nie”. Powstaje większy i czulszy instrument następnej generacji, PUEO, który ma ponownie przyjrzeć się takim sygnałom.

Anomalia może ostatecznie okazać się czymś zwyczajnym. Nie oznaczałoby to porażki. Zawężanie możliwych wyjaśnień niewyjaśnionego pomiaru, aż ten albo się rozplynie, albo wymusi prawdziwe odkrycie, *jest* pracą naukową — i warto ją obserwować właśnie dlatego, że uczciwa odpowiedź nadal brzmi: „nie wiemy”.

Zwięźle podsumowanie

Dwa impulsy radiowe z antarktycznych lotów balonowych ANITA w 2006 i 2014 roku wydają się nadchodzić pod stromymi kątami spod horyzontu, co trudno wyjaśnić w Modelu Standardowym. Ukierunkowane poszukiwanie przeprowadzone w 2025 roku przez Obserwatorium Pierre’a Augera znalazło tylko jedno zdarzenie kandydujące, zgodne z tłem, choć gdyby impulsy pochodziły ze strumienia kaskad biegnących ku górze, należałoby oczekiwać dziesiątek. To silnie osłabia egzotyczną interpretację z „nową cząstką” i kieruje uwagę na odbicie, propagację lub efekt instrumentu charakterystyczny dla ANITA — ale rzeczywista przyczyna pozostaje nieznana. Nie jest to potwierdzona nowa cząstka ani tajemniczy sygnał z wnętrza lodu.

Kontrola bez upiększeń

Co pokazuje praca: Ślepe poszukiwanie kaskad atmosferycznych biegnących ku górze w danych Pierre Auger z lat 2004–2018 znalazło jednego kandydata, zgodnego z oczekiwanym tłem 0,27 zdarzenia od promieni kosmicznych. Gdyby anomalie ANITA pochodziły ze strumienia takich kaskad, Auger powinien zaobserwować około 34–69 zdarzeń albo co najmniej ~8 przy konserwatywnych założeniach. Silnie przemawia to przeciw interpretacji z kaskadami biegnącymi ku górze, w tym scenariuszom „nowej cząstki” poza Modelem Standardowym.

Co jest wiarygodne, ale nieudowodnione: Efekt odbicia lub propagacji fal radiowych w pobliżu lodu i horyzontu albo artefakt instrumentu lub analizy właściwy ANITA.

Czego praca nie pokazuje: Że zdarzenia wywołała nowa cząstka; że są to sygnały z wnętrza lodu; że w grę wchodzi coś paranormalnego, sztucznego lub słyszalnego; że znamy już przyczynę.

Główne ograniczenia: Zainteresowanie fizyką poza Modelem Standardowym opiera się na około dwóch zdarzeniach; jest to wynik zerowy, który nakłada ograniczenia, ale nie identyfikuje przyczyny; wykluczenie dotyczy konkretnie interpretacji opartej na strumieniu kaskad; pierwotnej anomalii niezależnie nie odtworzono.

Jak duże zaufanie powinien mieć czytelnik niespecjalista? Wysokie, że *nie* jest to potwierdzona nowa cząstka ani sygnał z wnętrza lodu, oraz że interpretacja z egzotycznym strumieniem została mocno osłabiona. Niskie co do rzeczywistej przyczyny, która pozostaje otwarta. Właściwa postawa to ciekawość wobec nierozwiązanej anomalii, która najprawdopodobniej ma zwyczajne wyjaśnienie.

Źródła

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>