



The CLEAN PAPER

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

Két rendellenes antarktiszi rádióimpulzus továbbra is magyarázatlan — és az „új részecskéket” feltételező magyarázat egyre kevésbé tartható

Egy évvel ezelőtt ballonra telepített antarktiszi kísérlet által rögzített két szokatlan rádióimpulzusra továbbra sincs elfogadott magyarázat; a Pierre Auger célzott keresése nem talált nyomot azokra a záporokra, amelyekre az impulzusok feltételezhetően utalnának, így az egzotikus, „új részecskéket” feltételező értelmezés jóval kevésbé valószínű, miközben az anomália megoldatlan marad.

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)



Az ANITA 48 antennája lefelé, az antarktisi jég felé irányul egy 25 láb magas gondoláról.

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

A ballon, a jég és két alulról érkező impulzus

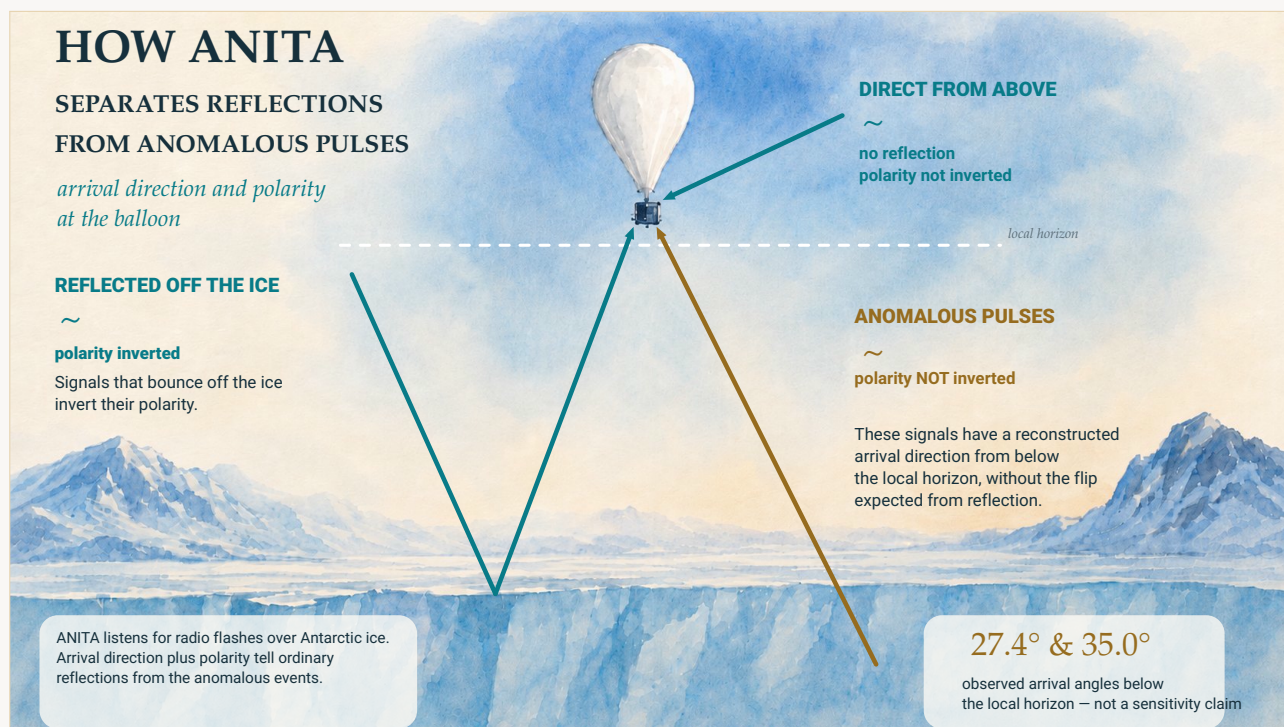
Működésének nagy részében az Antarctic Impulsive Transient Antenna — vagyis az ANITA — egy NASA-ballon alatt függ, harminc-egynéhány kilométeres magasságban, és hetekig sodródik a Föld legelhagyatottabb vidéke fölött, miközben hallgatózik.

Amit keres, azok az űrből érkező rádiójelek. Amikor egy nagy energiájú részecske — kozmikus sugár vagy neutrínó — eltalálja a levegőt vagy a jeget, kisebb részecskék záporára hasad szét, ez a zápor pedig rövid rádiófelvillanást bocsát ki. Az Antarktisz csaknem ideális a detektálásukra: több kilométernyi tiszta, hideg jég, amelyen a rádióhullámok szinte úgy haladnak át, mintha üveg lenne, és több száz kilométeren át semmi sem zavarja a jelet. Az ANITA feladata, hogy elkapja ezeket a felvillanásokat, és alakjukból, illetve időzítésükből kiolvassa, mi hozta létre őket.

A legtöbb, amit érzékel, szabályosan viselkedik. Néhány felvillanás egyenesen felülről érkezik. Sokkal több súrolja a jeget, majd visszapattan az antennához — és ezek árulkodó jellel érkeznek: a visszaverődés fejfel lefelé fordítja a hullámot (a jel *polaritásának* megfordulása), amit a fizikusok egy pil-

lantás alatt felismernek. Így lehet megkülönböztetni a visszaverődést a valódi, közvetlenül érkező jeltől.

Kétszer azonban olyasmi érkezett, ami megtörte a mintázatot.



A ballonhoz egy felülről egyenesen érkező impulzus megfordulás nélkül érkezik, míg egy visszavert impulzus polaritása megfordul — ez a jégről való visszaverődés szokásos jele. A két anomális impulzus ezzel szemben a helyi horizont *rekonstruált* irányához képest meredeken alulról érkezik — mégsem fordul meg a polaritásuk, holott visszaverődés esetén meg kellett volna fordulniuk. Az „alulról” kifejezés ezt az érzékelési irányt írja le — nem egy, a Földből előmászó részecskét.

Original hybrid diagram — The Clean Paper CC BY 4.0

Az egyik repülés során 2006-ban, a másik során pedig 2014-ben az ANITA egy, a horizont alól meredeken érkező impulzust fogott — rendre 27.4°-kal és 35.0°-kal a horizont alatt —, mintha a kontinens belsejéből felfelé jött volna, mégpedig *megfordulás nélkül*. Akkor tehát nem visszaverődésről volt szó, hanem valamiről, ami valóban felfelé haladt, ki a jégből, a ballon felé.

Íme, miért közel botrányos ez. Ahhoz, hogy az impulzust ilyen meredek emelkedési szögben elérje az antenna, bármi hozta is létre, át kellett jutnia a bolygó testén — hatezer vagy hétezer kilométernyi szilárd kőzeten. Erre szinte semmi sem képes. Az egyetlen ismert részecske, amely úgy halad át a közönséges anyagon, mintha az alig lenne jelen, a neutrínó: észrevétlenül átsiklik az egész Földön — ezért a kézenfekvő elképzelés az, hogy egy neutrínó felfelé haladt a kőzeten át, közvetlenül a jég alatt eltalált egy atomot, majd felfelé száguldó részecskezápport hozott létre, amelynek rádiófelvillanását az ANITA elkapta. A probléma egy csavarban rejlik: az a neutrínó, amely elég nagy energiájú ahhoz, hogy *ezt* a jelet létrehozza, valójában túl könnyen megállítható. Ennyi kőzeten áthaladva sokszorosan el kellene nyelődnie. Ráadásul egy, két ilyen neutrínó áthaladásához elegendően erős neutrínóáramnak meg kellett volna jelennie azokban az óriási detektorokban, amelyeket éppen az ilyen események elkapására építettek. Egyetlen koherens magyarázat sem bizonyult teljesnek.

Így hát a két impulzus ott maradt, és továbbra sem volt hajlandó szabályosan viselkedni. Nem felfedezés — két esemény soha nem felfedezés —, de nem is semmiség. Valódi anomália: éppen azért érdekes, mert egyelőre senki sem tudta megmondani, hogy a fizika Standard Modelljének repedéséről van-e szó, vagy csupán a jég, az antenna, esetleg a számítások egy furcsaságáról.

Ezen a ponton a tudósítások egy bizonyos típusa előveszi a *rejtélyes* szót, lekapcsolja a lámpákat, és azt kérdezi, mi élhet az Antarktisz alatt. Ne engedjünk ennek. A valódi kérdés soha nem az volt, *milyen szörnyeteg van a jégben*. Hanem az a türelmes, nem látványos kérdés, amely ténylegesen előreviszi a tudományt: **hogyan lehetne kideríteni?**

Mit tettek a szerzők?

Van egy tiszta módszer az izgalmas magyarázatok tesztelésére. Ha az ANITA impulzusai a felfelé tartó részecskezáporkok valódi, ismétlődő fluxusából származnak — akár közönséges tau-neutrínóktól, akár valamelyik javasolt új részecskétől —, akkor egy elég nagy detektornak, amely pontosan ilyen eseményeket figyel, ezek egy részét is el kellene kapnia.

Az argentinai Pierre Auger Obszervatórium — a valaha épített legnagyobb kozmikusugár-detektor — jó helyzetben van ennek kereséséhez. A fluoreszcens detektor segítségével az együttműködés felfelé tartó légzáporkokat keresett (alulról érkező, 110° -nál nagyobb zenitszögű és 0.1 EeV feletti energiájú eseményeket) a 2004 és 2018 közötti adatállományban. Döntő fontosságú, hogy a teljes kiválasztási eljárást *azelőtt* rögzítették, hogy a teljes adathalmazt megvizsgálták volna — ez „vak” elemzés volt, így az eredményt nem lehetett egy remélt kimenetelhez igazítani.

Mit találtak?

A vakítás feloldása után **egy** jelölt esemény maradt — teljes mértékben összhangban azzal a 0.27 ± 0.12 eseménnyel, amelyet a közönséges kozmikus sugarak felfelé tartó eseményekként való esetleges téves rekonstruálása várhatóan létrehoz. Más szóval nem valódi, felfelé tartó jelről volt szó, csupán a várható háttér csekély csordogálásáról.

Az eredmény ereje az összehasonlításban rejlik. Ha az ANITA impulzusai a felfelé tartó részecskezáporkok állandó fluxusából származtak volna, az Augernek **sok** ilyen eseményt kellett volna rögzítenie — nagyjából 34 és 69 közötti számút egy ésszerű energiaspektrum esetén, és legalább körülbelül 8-at még szándékosan konzervatív feltételezések mellett is. Ehelyett egyet talált, ami összhangban áll a háttérrel. A szerzők ezt „erős ellentmondásként” írják le a felfelé tartó részecskezáporos értelmezéssel szemben.

Mit jelent ez valószínűleg?

Ekkora nemdetektálás informatív. Ha az ANITA eseményei egy, az adott irányokból érkező valódi részecskepopulációból származtak volna — közöséges tau-neutrínókból vagy az értelmezésükre javasolt hipotetikus új részecskékből —, akkor az Auger hosszú megfigyelési ideje alatt jelentős számút kellett volna elkapnia. Nem így történt. Ez gyakorlatilag kizárja a „felfelé tartó részecskezápork diffúz fluxusának” magyarázatát — azt a kategóriát, amelybe a Standard Modellen túli elképzelések többsége tartozik —, kivéve mesterkélt, különleges feltételek fennállását.

Ami megmarad, azok a részecskezápork fluxusára nem épülő magyarázatok: leginkább a jégre és a horizont közeli geometriára jellemző visszaverődési vagy terjedési hatás, illetve műszeres vagy elemzési hiba jöhet szóba. Egyik sincs megerősítve. Az őszinte összefoglalás tehát ez: a legizgalmasabb értelmezés komoly ütést kapott, az ok pedig továbbra is ismeretlen.

Mit nem bizonyít ez?

- Nem azonosítja, hogy mi a két impulzus. Az, hogy „erősen ellenzi az új fizikát”, nem ugyanaz, mint hogy „megoldotta a rejtélyt”.
- Nem erősít meg hétköznapi okot. Egy vezető jelölt — az Antarktisz felszíne alól érkező visszaverődések — továbbra is hipotézis, nem eredmény.
- Nem mutat ki szó szerinti értelemben semmit „a jég alól”. Az ANITA antennái egy ballonról függenek *Antarktisz felett*; az „alulról” egy rádióimpulzus rekonstruált érkezési irányát írja le — nem hangot, hangzó üzenetet vagy a jég belsejéből származó bármit.
- Nem támasztja alá egy megerősített új részecske létezését állító állításokat. Ennek a történetnek a legszélesebb körben megosztott változata az ellenkező irányba mutat, mint a bizonyítékok.

Mennyire erős a bizonyíték?

Mérsékelt, és az eredmény is így fogalmaz.

- A Standard Modellen túli érdeklődés lényegében **két** eseményen alapul, két ANITA-repülésből.
- Ez a tanulmány **nulleredmény**: erős a lehetőségek kizárásában, de nem tudja megmondani, hogy mik az *események*.
- A kizárás mennyiségi és erős (több tucat várt esemény, egy háttérjellegű észlelés) — de kifejezetten a „felfelé tartó részecskezápor-fluxust” célozza, nem minden elképzelhető okot.
- Egy vezető hétköznapi magyarázat (közeli felszíni visszaverődés) valószínűsíthető, de nem bizonyított; más munkák bizonyos alternatívákat (például egyes átmenetisugárzás-modelleket) kevésbé valószínűnek találtak.
- Egyetlen kísérlet sem reprodukálta függetlenül az eredeti anomáliát.

Ez egy éles korlát, amely egy kicsi, makacs rejtvényre rakódik — nem felfedezés.

Miért fontos?

A javasolt magyarázatok egészen az egzotikus új részecskékig terjedtek. Ahelyett, hogy a legizgalmasabbat hajszolta volna, a terület azt a nem látványos lépést tette meg, amelyet meg kellett tennie: egy független, jóval nagyobb detektorral tesztelte az elképzelést — és az adatok nemet mondtak. Egy nagyobb, érzékenyebb utód-detektort, a PUEO-t, azért építik, hogy újra megvizsgálja a jelenséget.

Az anomáliáról még kiderülhet, hogy hétköznapi oka van. Ez nem jelentené, hogy kudarc volt. Egy megmagyarázatlan mérés leszűkítése addig, amíg fel nem oldódik vagy valódi felfedezésre nem kényszerít, *maga a munka* — és pontosan azért érdemes figyelni rá, mert az őszinte válasz egyelőre továbbra is az: „nem tudjuk”.

Röviden

Az ANITA 2006 és 2014 évi antarktiszi ballonrepülései során rögzített két rádióimpulzus látszólag olyan, a horizont alatt meredeken elhelyezkedő szögekből érkezik, amelyeket a Standard Modell nehezen magyaráz. A Pierre Auger Obszervatórium célzott 2025-ös keresése mindössze egy, a háttérrel összhangban álló jelölt eseményt talált, holott több tucatot kellett volna látnia, ha az impulzusok felfelé tartó részecskezápork fluxusából származnak. Ez erősen valószínűtlenné teszi az egzotikus „új részecske”-értelmezést, és egy, az ANITA-ra jellemző visszaverődési, terjedési vagy műszeres hatás felé mutat — az ok azonban továbbra is valóban ismeretlen. Nem megerősített új részecske, és nem egy titokzatos jel a jég belsejéből.

BS-mentes ellenőrzés

Amit a tanulmány kimutat: A Pierre Auger vak keresése (2004–2018) felfelé tartó légzápork után egy jelöltet talált, ami összhangban áll a kozmikus sugár-háttér várt 0.27 eseményével. Ha az ANITA anomáliái ilyen záporok fluxusából származtak volna, az Augernek nagyjából 34–69 eseményt kellett volna látnia (vagy konzervatív feltételezések mellett legalább ~8-at). Ez erősen ellenzi a felfelé tartó részecskezápork értelmezését, beleértve a Standard Modellen túli „új részecskés” forgatókönyveket is.

Ami valószínűsíthető, de nem bizonyított: A jég és a horizont közelében fellépő visszaverődési vagy rádióterjedési hatás, illetve kifejezetten az ANITA-ra jellemző műszeres vagy elemzési hiba.

Amit nem mutat ki: Hogy az eseményeket új részecske okozza; hogy a jelek a jég alól érkeznek; hogy bármi paranormális, mesterséges vagy hallható jelenség szerepet játszik; illetve hogy az ok immár ismert.

Fő korlátok: A Standard Modellen túli érdeklődés ~két eseményen alapul; ez olyan nulleredmény, amely korlátoz, de nem azonosít; a kizárás kifejezetten a „záporfluxus” értelmezését célozza; az eredeti anomáliát nem reprodukálták függetlenül.

Mekkora bizalommal fogadja ezt egy általános olvasó? Nagy bizalommal állítható, hogy ez *nem* megerősített új részecske, *nem* a jég belsejéből érkező jel, és hogy az egzotikus fluxus értelmezése immár erősen kevésbé valószínű. Az igaz okkal kapcsolatban alacsony a bizonyosság, az továbbra is nyitott kérdés. A megfelelő hozzáállás: kíváncsiság egy megoldatlan anomália iránt, amelynek legvalószínűbb oka hétköznapi.

Források

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>