



The CLEAN PAPER

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

Du anomalūs radijo impulsai virš Antarktidos tebėra nepaaiškinti — „naujos dalelės“ hipotezė silpsta

Prieš daugelį metų balionu virš Antarktidos skraidintas eksperimentas užfiksavo du neįprastus radijo impulsus, kuriems vis dar nėra sutarto paaiškinimo; speciali Pierre'o Auger observatorijos paieška nerado jokių numanomų jų dalelių liūčių pėdsakų, todėl egzotiškas „naujos dalelės“ aiškinimas tapo gerokai mažiau tikėtinas, nors anomalija liko neišspręsta.

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)



ANITA 48 antenų nukreiptos žemyn į Antarktidos ledą ant 25 pėdų aukščio gondolos.

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

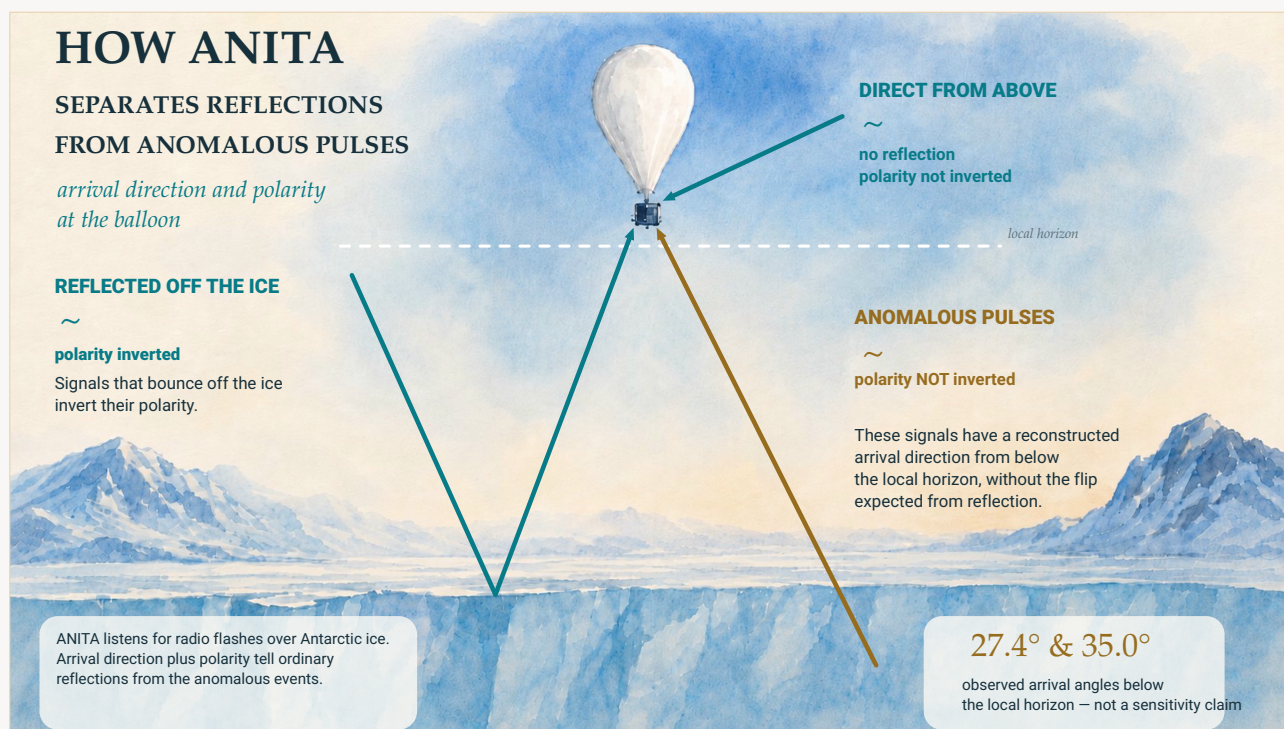
Balionas, ledas ir du impulsai iš apačios

Didžiąją savo veikimo laiko dalį Antarctic Impulsive Transient Antenna (angl. *Antarctic Impulsive Transient Antenna*, ANITA) kabo po NASA balionu, maždaug trisdešimties kilometrų aukštyje, ištisas savaites dreifuodama virš tuščiausios Žemės vietos ir klausydamasi.

Ji klausosi iš kosmoso sklindančių radijo signalų. Kai labai didelės energijos dalelė — kosminis spindulys arba neutrinas — atsitrenkia į orą ar ledą, ji sukelia mažesnių dalelių liūtį, o ši trumpam skleidžia radijo blyksnį. Antarktida jiems gaudyti beveik ideali: kilometrai švaraus, šalto ledo, kurį radijo bangos kerta beveik taip, lyg jis būtų stiklas, ir šimtai kilometrų be nieko, kas galėtų užgožti signalą. ANITA užduotis — pagauti šiuos blyksnius ir iš jų formos bei laiko nustatyti, kas juos sukėlė.

Dauguma to, ką ji girdi, elgiasi tvarkingai. Kai kurie blyksniai atsklinda tiesiai iš viršaus. Daug daugiau jų praskrieja pro ledą, atšoka ir grįžta į anteną — jie turi išduodamą požymį: atšokimas apverčia bangą aukštyrų kojomis (signalų *poliškumo* apvertimas), o tai fizikai gali iškart atpažinti. Taip atspindys atskiriamas nuo tikrojo signalo.

Du kartus signalas atsklido kitaip nei įprasta.



Baliono atžvilgiu tiesiai iš viršaus atsklidęs impulsas pasiekia anteną neapverstas, o nuo ledo atsispindėjęs impulsas atsklinda su apverstu poliškumu — tai įprastas atšokimo nuo ledo požymis. Tuo tarpu abu anomalūs impulsai atsklido iš *rekonstruotos* krypties, smarkiai žemiau vietinio horizonto, tačiau be tokio apvertimo, nors atspindys juos būtų apvertęs. „iš apačios“ apibūdina atsklidimo kryptį, o ne dalelę, kylančią iš Žemės.

Original hybrid diagram — The Clean Paper CC BY 4.0

Per vieną skrydį 2006 metais ir kitą 2014 metais ANITA užfiksavo impulsą, sklindantį smarkiai žemiau horizonto — atitinkamai 27.4° ir 35.0° žemiau jo — tarsi jis būtų iškilęs iš žemyno, ir buvo *neapverstas*. Vadinas, tai ne atspindys. kažkas iš tiesų keliavo aukštin, iš ledo, baliono link.

Štai kodėl tai beveik skandalinga. Kad impulsas pasiektų anteną tokiu stačiu kylančiu kampu, jo šaltinis turėjo prasiskverbti pro visą planetos kūną — šešis ar septynis tūkstančius kilometrų kietos uolienos. Beveik niekas to negali. Vienintelė žinoma dalelė, pereinanti per įprastą medžiagą taip, tarsi jos beveik nebūtų, yra neutrinas, praslystantis kiaurai per visą Žemę jos nepastebėdamas — todėl natūrali mintis tokia: neutrinas keliavo per uolieną, trenkėsi į atomą tiesiai po ledu ir sukūrė aukštin lekiančių dalelių liūtį, kurios radijo blyksnį ANITA ir užfiksavo. Tačiau čia slypi keblumas: neutrinas, pakankamai energingas sukurti šį signalą, iš tiesų yra pernelyg lengvai sustabdomas. Per tokį uolienos sluoksnį jis turėtų būti daugybę kartų sugertas. O pakankamai stiprus neutrino srautas, kad vis tiek prasiskverbtų du, turėjo būti užfiksuotas milžiniškuose detektoriuose, pastatytuose būtent tokiems įvykiams gaudyti. Nė vienas tvarkingas paaiškinimas nebuvo visiškai įtikinamas.

Taigi abu impulsai liko neišnykę, nepaliaujantys elgtis neįprastai. Tai ne atradimas — du įvykiai niekada nėra atradimas — bet ir ne niekas. Tikra anomalija: tokia, kuri įdomi būtent todėl, kad dar niekas negalėjo pasakyti, ar tai buvo plyšys fizikos Standartiniame modelyje, ar tik ledo, antenos arba skaičiavimų keistenybė.

Čia tam tikro pobūdžio žiniasklaidos pasakojimas griebiasi žodžio *paslaptinas*, pritemdo šviesas ir klausia, kas galėtų gyventi po Antarktida. Atsispirkite tam. Tikrasis klausimas niekada nebuvo *koks pabaisa yra lede*. Tai buvo kantrus, neįspūdingas klausimas, kuris iš tiesų stumia mokslą pirmyn: **kaip tai išsiaiškintumėte?**

Ką padarė autoriai

Yra švarus būdas patikrinti jaudinančius paaiškinimus. Jei ANITA impulsai sklinda iš tikro, pasikartojančio aukštyn kylančių liūčių srauto — nesvarbu, ar iš įprastų tau neutrinų, ar iš kokios nors siūlomos naujos dalelės — pakankamai didelis detektorius, stebintis būtent tokius įvykius, turėtų pagauti dalį jų.

Argentinoje esanti Pierre'o Auger observatorija — didžiausias kada nors pastatytas kosminių spindulių detektorius — yra tinkama vieta jų ieškoti. Naudodama fluorescencinių detektorių, kolaboracija ieškojo aukštyn kylančių oro liūčių (atsklindančių iš apačios, zenito kampams viršijant 110° ir energijoms esant didesnėms nei 0.1 EeV) duomenyse, apimančiuose laikotarpį nuo 2004 iki 2018 metų. Svarbiausia, visa atrankos procedūra buvo nustatyta *prieš* išnagrinėjant visą duomenų rinkinį — tai buvo „akla“ analizė, todėl atsakymas negalėjo būti pritaikytas prie pageidaujamo rezultato.

Ką jie nustatė

Atvėrus analizės rezultatus, liko **vienas** kandidatinis įvykis — visiškai suderinamas su 0.27 ± 0.12 įvykio, kurio tikimasi dėl to, kad įprasti kosminiai spinduliai kartais klaidingai rekonstruojami kaip kylantys aukštyn. Kitaip tariant, tikro aukštyn kylančio signalo nebuvo — tik tikėtinas foninis srautas.

Rezultato reikšmė slypi palyginime. Jei ANITA impulsai būtų kilę iš pastovaus aukštyn kylančių liūčių srauto, Auger turėjo užregistruoti **daug** tokių įvykių — maždaug nuo 34 iki 69 pagal vieną tikėtiną energijos spektrą ir bent apie 8 net taikant sąmoningai konservatyvias prielaidas. Ji rado vieną, suderinamą su fonu. Autoriai tai apibūdina kaip „stiprų nesuderinamumą“ su aukštyn kylančios liūtės interpretacija.

Ką tai greičiausiai reiškia

Tokio masto neaptikimas yra informatyvus. Jei ANITA įvykiai būtų kilę iš tikros dalelių populiacijos, atsklindančios iš tų kryptų — įprastų tau neutrinų arba hipotetinių naujų dalelių, pasiūlytų jiems paaiškinti — ilgas Auger stebėjimo laikas turėjo užfiksuoti nemažai jų. To neįvyko. Tai iš esmės atmeta „difuzinio aukštyn kylančių liūčių srauto“ paaiškinimą — kategoriją, į kurią patenka dauguma už Standartinio modelio ribų esančių idėjų — nebent būtų numatytos dirbtinai specialios sąlygos.

Išlieka paaiškinimai, kurie *nėra* dalelių liūčių srautas: dažniausiai aptariamas atspindys arba ledui

ir geometrijai netoli horizonto būdingas sklidimo efektas, arba prietaiso ar analizės artefaktas. Nė vienas iš jų nepatvirtintas. Taigi sąžininga santrauka tokia: jaudinančiausia interpretacija patyrė rimtą smūgį, o priežastis vis dar nežinoma.

Ko tai *neįrodo*

- Tai **nenustato**, kas yra tie du impulsai. „Stipriai nepalankus naujai fizikai“ nereiškia „išspręsta“.
- Tai **nepatvirtina** kasdieniškos priežasties. Viena iš pirmaujančių hipotezių — atspindžiai nuo sluoksnių po Antarktidos paviršiumi — tebėra hipotezė, o ne rezultatas.
- Tai **neaptinka** nieko, kas tiesiogine prasme būtų „iš po ledo“. ANITA antenos kabo nuo baliono virš Antarktidos; „iš apačios“ apibūdina rekonstruotą radijo impulso atsklidimo kryptį, o ne garsą, balsą ar ką nors, sklindantį iš ledo vidaus.
- Tai **nepalaiko** teiginių apie patvirtintą naują dalelę. Plačiausiai dalijamasi šio pasakojimo versija rodo priešingą kryptį nei įrodymai.

Kiek tvirti yra įrodymai?

Saikingi — ir taip jie pateikiami.

- Susidomėjimas fizika už Standartinio modelio ribų iš esmės remiasi **dviem** įvykiais iš dviejų ANITA skrydžių.
- Šis straipsnis pateikia **nulinį rezultatą**: jis veiksmingas atmetant galimybes, tačiau negali pasakyti, kas yra tie įvykiai.
- Atmetimas yra kiekybinis ir stiprus (tikėtasi dešimčių įvykių, užfiksuotas vienas, panašus į foninį), tačiau jis taikomas „aukštyn kylančio liūčių srauto“ interpretacijai, o ne visoms įmanomoms priežastims.
- Pirmaujantis kasdieniškas paaiškinimas (atspindys netoli paviršiaus) yra tikėtinas, bet neįrodytas; kai kuriuos alternatyvius paaiškinimus (tam tikrus pereinamosios spinduliuotės modelius) kiti darbai įvertino kaip mažiau tikėtinus.
- Nė vienas eksperimentas nepriklausomai nepakartojo pradinės anomalijos.

Tai griežtas apribojimas, uždėtas ant mažos, užsispyrusios mįslės — ne atradimas.

Kodėl tai svarbu

Siūlomi paaiškinimai siekė net egzotiškų naujų dalelių. Užuoť vijusis jaudinamiausią iš jų, ši sritis padarė neįspūdingą dalyką: patikrino idėją nepriklausomu, gerokai didesniu detektoriumi — ir duomenys atsakė neigiamai. Didesnis, jautresnis įpėdinis PUEO statomas tam, kad paieška būtų pakartota.

Galiausiai anomalija dar gali pasirodyti esanti kasdieniška. Tai nebūtų nesėkmė. Neaiškų matavimą susiaurinti tiek, kad jis arba išnyktų, arba priverstų daryti tikrą atradimą, *ir yra* darbas — ir verta jį stebėti būtent todėl, kad sąžiningas atsakymas kol kas tebėra „mes nežinome“.

Trumpa santrauka

Du radijo impulsai iš ANITA 2006 ir 2014 metų Antarktidos balionų skrydžių, regis, atsklinda stačiais kampais iš žemiau horizonto — juos Standartiniam modeliui sunku paaiškinti. Speciali 2025 metų paieška su Pierre'o Auger observatorija rado tik vieną kandidatinių įvykių, suderinamą su fonu, nors būtų tikėtasi dešimčių, jei impulsai būtų kilę iš aukštyn kylančių liūčių srauto. Tai stipriai nepalanku egzotiškai „naujos dalelės“ interpretacijai ir nukreipia dėmesį į atspindžio, sklidimo arba prietaiso efektą, būdingą ANITA, tačiau priežastis iš tiesų tebėra nežinoma. Tai nepatvirtinta nauja dalelė ir ne paslaptinis signalas iš ledo vidaus.

Be pagrazinimų

Ką rodo straipsnis: Aklos Pierre'o Auger paieškos (2004–2018), skirtos aukštyn kylančioms oro liūtims, metu rastas vienas kandidatas, suderinamas su tikėtiniu 0.27 įvykio kosminių spindulių fonu. Jei ANITA anomalijas sukėlė tokių liūčių srautas, Auger turėjo užfiksuoti maždaug 34–69 (arba bent ~8 pagal konservatyvias prielaidas). Tai stipriai nepalanku aukštyn kylančios liūtės interpretacijai, įskaitant už Standartinio modelio ribų esančius „naujos dalelės“ scenarijus.

Kas tikėtina, bet neįrodyta: Atspindžio arba radijo sklidimo efektas netoli ledo ir horizonto, arba prietaiso / analizės artefaktas, būdingas ANITA.

Ko tai nerodo: Kad įvykius sukėlė nauja dalelė; kad tai signalai iš po ledo; kad čia dalyvauja kas nors paranormalaus, dirbtinio ar girdimo; kad priežastis jau žinoma.

Pagrindiniai apribojimai: Susidomėjimas fizika už Standartinio modelio ribų remiasi ~dviem įvykiais; tai nulinis rezultatas, kuris apriboja, bet negali nustatyti priežasties; atmetimas konkrečiai taikomas „liūčių srauto“ interpretacijai; nėra nepriklausomo pradinės anomalijos pakartojimo.

Kiek pasitikėjimo turėtų turėti bendras skaitytojas? Labai pagrįstai galima teigti, kad tai *ne* patvirtinta nauja dalelė ir *ne* signalas iš ledo vidaus, taip pat kad egzotiško srauto interpretacija dabar stipriai nepalanki. Daug mažiau aišku, kokia yra tikroji priežastis — ji tebėra atviras klausimas. Tinkama laikysena: smalsumas dėl neišspręstos anomalijos, kuri greičiausiai turi kasdienišką paaiškinimą.

Šaltiniai

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>