



The CLEAN PAPER

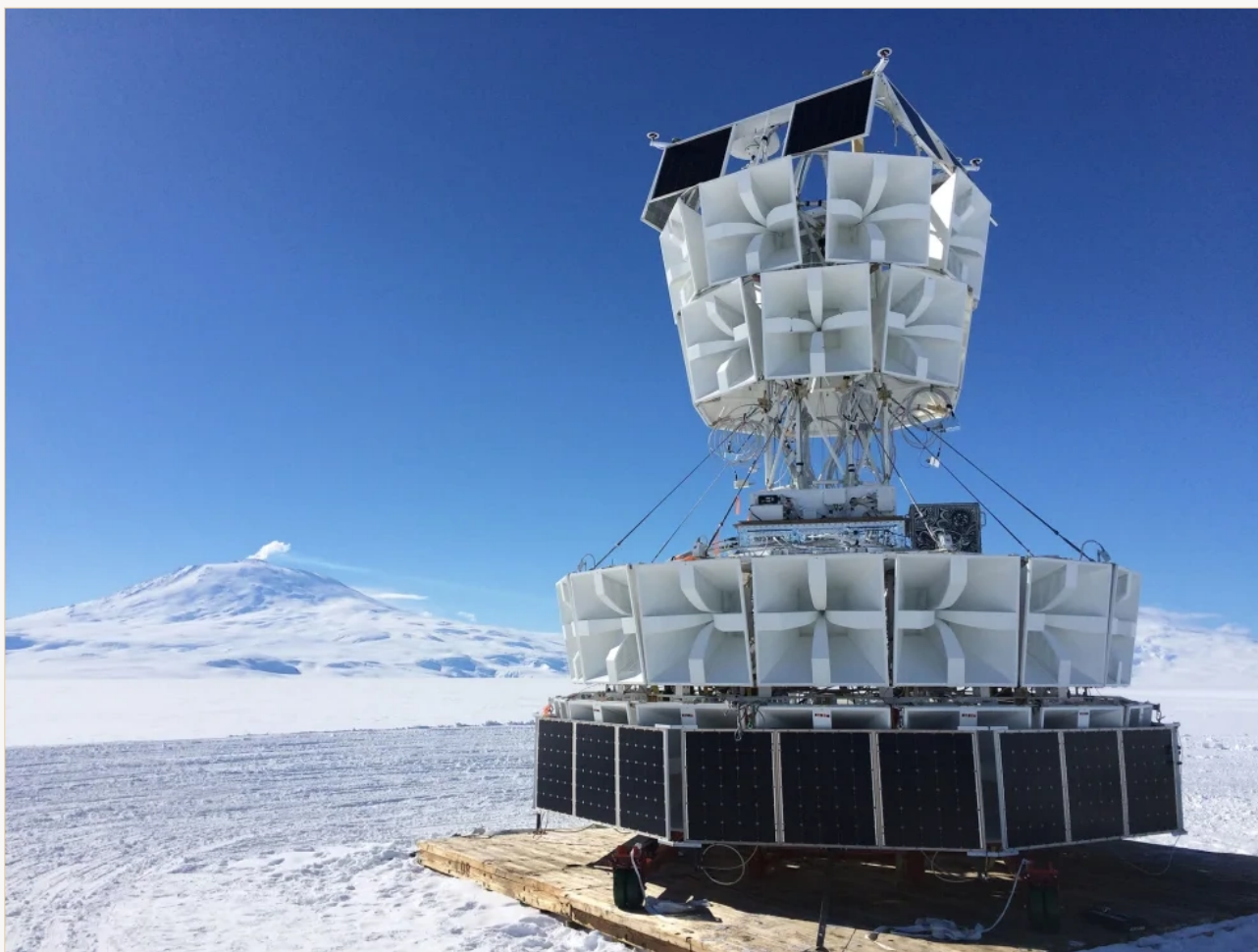
WHAT THE PAPER SAYS · WHAT IT DOESN'T · WHY IT MATTERS

Два анамальныя радыёімппульсы над Антарктыдай застаюцца невытлумачанымі — а тлумачэнне праз «новую часціцу» губляе падтрымку

Два незвычайныя радыёімппульсы, даўно зарэгістраваныя антарктычным аэрастатным эксперыментам, усё яшчэ не маюць агульнапрынятага тлумачэння; спецыяльны пошук Pierre Auger не выявіў слядоў ліўняў, якія павінны былі б суправаджаць такую інтэрпрэтацыю, робячы экзатычнае тлумачэнне праз «новую часціцу» значна менш імаверным, але пакідаючы саму анамалію нявырашанай.

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



48 антэн ANITA накіраваныя ўніз, на антарктычны лёд, і ўсталяваныя на гандоле вышыняй каля 25 футаў.

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

Аэрастат, лёд і два імпульсы знізу

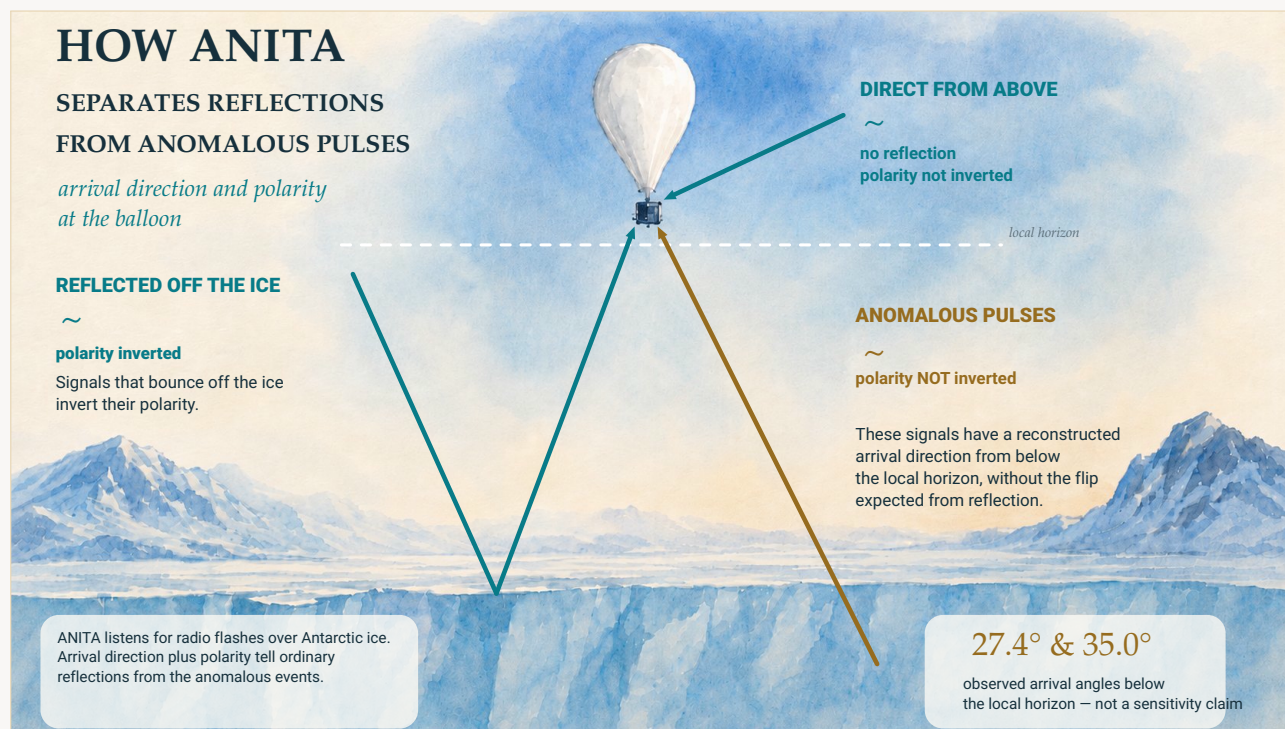
Большую частку свайго працоўнага жыцця Antarctic Impulsive Transient Antenna — ANITA — вісіць пад аэрастатам NASA на вышыні крыху больш за трыццаць кіламетраў і тыднямі дрэйфуе над самым пустынным месцам на Зямлі, слухаючы.

Яна слухае радыёсігналы з космасу. Калі часціца вельмі высокай энергіі — касмічны прамень або нейтрына — урэзаецца ў атмасферу або лёд, яна спараджае каскад больш дробных часціц, а той выпраменьвае кароткі ўсплёск радыёвыпраменьвання. Антарктыда амаль ідэальная для іх рэгістрацыі: кіламетры чыстага халоднага лёду, праз які радыёхвалі праходзяць амаль як праз шкло, і сотні кіламетраў без нічога, што засмечвала б сігнал. Задача ANITA — злавіць гэтыя ўспышкі і па іх форме і часе зразумець, што іх стварыла.

Большасць сігналаў паводзіць сябе паслухмяна. Некаторыя ўспышкі прыходзяць непасрэдна зверху. Значна больш слізгаюць да паверхні лёду, адбіваюцца і вяртаюцца

да антэны — і маюць характэрную прыкмету: адбіццё пераварочвае хвалю, гэта значыць мяняе *палярнасць* сігналу. Фізікі пазнаюць гэта амаль з першага погляду. Так адбіццё адрозніваюць ад прамога сігналу.

Двойчы прыйшло нешта, што парушыла гэты патэрн.



На вышыні аэрастата імпульс, які прыходзіць непасрэдна зверху, мае нязмененую палярнасць, а адбіты ад лёду — перавернутую, што з'яўляецца звычайнай прыкметай адбіцця. Два анамальныя імпульсы, наадварот, маюць *рэканструяваны* кірунак прыходу стромка з-пад мясцовага гарызонту — але без такога перавароту там, дзе адбіццё павінна было б яго стварыць. «Знізу» тут апісвае кірунак прыходу сігналу, а не часціцу, якая літаральна вылезла з Зямлі.

Original hybrid diagram — The Clean Paper CC BY 4.0

Падчас аднаго палёту ў 2006 годзе і другога ў 2014-м ANITA зарэгістравала па імпульсе, які прыходзіў стромка з-пад гарызонту — адпаведна на 27.4° і 35.0° ніжэй за яго, — нібы сігнал падняўся з кантынента, і пры гэтым без інверсіі. Гэта значыць не адбіццё. Нешта нібы сапраўды рухалася ўверх, ад лёду да аэрастата.

Вось чаму для фізікі гэта амаль скандальна. Каб дасягнуць антэны пад такім стромкім узыходным вуглом, тое, што спарадзіла імпульс, павінна было прайсці ўверх праз цэла планеты — шэсць ці сем тысяч кіламетраў суцэльнай пароды. Амаль нішто так не ўмее. Адзіная вядомая часціца, здольная праходзіць праз звычайнае рэчыва так, нібы яго амаль няма, — нейтрына; яно можа праляцець праз усю Зямлю, амаль не заўважыўшы яе. Таму натуральная ідэя такая: нейтрына прайшло праз пароду, сутыкнулася з атамам проста пад лёдам і спарадзіла каскад часціц, які накіраваўся ўверх, а ANITA злавіла яго радыёўспышку. Але тут узнікае паварот: нейтрына з дастатковай энергіяй, каб стварыць *такі* сігнал, насамрэч ужо занадта лёгка паглынаецца. У такой тоўшчы пароды яно павінна было быць спынена шмат разоў. А паток нейтрына, дастаткова

моцны, каб два з іх усё ж прайшлі, павінен быў праявіцца ў велізарных дэтэктарах, спецыяльна пабудаваных для іх пошуку. Ніводнае акуратнае тлумачэнне не зводзіла ўсе канцы.

Таму два імпульсы засталіся ляжаць у даных і адмаўляліся паводзіць сябе нармальна. Не адкрыццё — два выпадкі ніколі не з’яўляюцца адкрыццём, — але і не дробязь. Сапраўдная анамалія: цікавая менавіта таму, што ніхто не мог сказаць, ці з’яўляецца гэта расколінай у Стандартнай мадэлі фізікі або ўсяго толькі дзівацтвам лёду, антэны ці вылічэнняў.

Менавіта тут пэўны тып папулярнага пераказу чапляецца за слова *таямнічы*, прыглушае святло і пытаецца, што можа жыць пад Антарктыдай. Не варта. Сапраўднае пытанне ніколі не было *якая пачвара хаваецца ў лёдзе*. Яно было цяжкім і неэфектным — тым самым, што насамрэч рухае навуку наперад: **як гэта праверыць?**

Што зрабілі аўтары

Ёсць чысты спосаб праверыць захапляльныя тлумачэнні. Калі імпульсы ANITA паходзяць ад рэальнага, паўторнага патоку ўзыходных ліўняў — няхай гэта будуць звычайныя тау-нейтрына або прапанаваная новая часціца, — дастаткова вялікі дэтэктар, які шукае менавіта такія падзеі, павінен злавіць сваю долю.

Pierre Auger Observatory у Аргенціне — найбуйнейшы ў свеце дэтэктар касмічных прамянёў — добра падыходзіць для такой праверкі. З дапамогай Fluorescence Detector калабарацыя шукала ўзыходныя атмасферныя ліўні — падзеі, якія прыходзяць знізу, з зенітнымі вугламі больш за 110° і энергіямі вышэй за 0.1 EeV — у даных 2004–2018 гадоў. Важна, што ўсе крытэрыі адбору былі зафіксаваныя да прагляду поўнага набору даных — гэта «сляпы» аналіз, таму вынік нельга было незаўважна падагнаць пад жаданы адказ.

Што яны выявілі

Пасля раскрыцця даных застаўся **адзін** кандыдат — цалкам сумяшчальны з чаканымі 0.27 ± 0.12 выпадку звычайных касмічных прамянёў, якія часам памылкова рэканструююцца як узыходныя. Іншымі словамі, сапраўднага ўзыходнага сігнала не відаць; ёсць толькі той невялікі фон, які і чакаўся.

Сіла выніку — у параўнанні. Калі б імпульсы ANITA паходзілі ад пастаяннага патоку ўзыходных ліўняў, Auger павінен быў зарэгістраваць **шмат** падзей — прыкладна ад 34 да 69 для аднаго праўдападобнага энергетычнага спектра і не менш прыкладна 8 нават пры наўмысна кансерватыўных дапушчэннях. Ён знайшоў адну, сумяшчальную з фонам. Аўтары называюць гэта «моцнай неадпаведнасцю» інтэрпрэтацыі праз

узыходных ліўні.

Што гэта, верагодна, азначае

Невыяўленне такога маштабу — не пусты вынік. Калі б падзеі ANITA паходзілі ад рэальнай папуляцыі часціц з гэтых кірункаў — звычайных тау-нейтрына або гіпатэтычных новых часціц, прапанаваных для іх тлумачэння, — працяглая экспазіцыя Auger павінна была даць прыкметную колькасць падзей. Не дала. Гэта фактычна выключае тлумачэнне праз «дыфузны патока ўзыходных ліўняў» — катэгорыю, у якую трапляе большасць ідэй за межамі Стандартнай мадэлі, — калі не ўводзіць спецыяльна падабраныя асаблівыя ўмовы.

Застаюцца тлумачэнні, якія *не* з’яўляюцца патокам часціц, што спараджаюць ліўні: найчасцей абмяркоўваюць незвычайны эфект адбіцця або распаўсюджвання радыёхваль у лёдзе і геаметрыі паблізу гарызонту, а таксама інструментальны або аналітычны артэфакт. Ніводнае з іх не пацверджана. Таму сумленны вынік такі: самая захапляльная інтэрпрэтацыя атрымала сур’ёзны ўдар, а прычына ўсё яшчэ невядомая.

Чаго гэта *не* даказвае

- Гэта **не** вызначае, чым з’яўляюцца два імпульсы. «Моцна не падтрымлівае новую фізіку» не значыць «праблема вырашана».
- Гэта **не** пацвярджае звычайную прычыну. Адзін з вядучых кандыдатаў — адбіццё з-пад паверхні Антарктыды — застаецца гіпотэзай, а не вынікам.
- Гэта **не** выяўленне чагосьці «з-пад лёду» ў літаральным сэнсе. Антэны ANITA вісяць на аэрастаце *над* Антарктыдай; «знізу» апісвае рэканструяваны кірунак прыходу радыёімпульсу, а не гук, голас або нешта, што выпраменьваецца знутры лёду.
- Гэта **не** падтрымлівае сцвярджанне пра пацверджаную новую часціцу. Самая распаўсюджаная вірусная версія гісторыі рухаецца ў супрацьлеглы ад даных бок.

Наколькі моцныя доказы?

Умераныя — і менавіта так іх трэба апісваць.

- Цікавасць да фізікі за межамі Стандартнай мадэлі фактычна абапіраецца на **дзве** падзеі з двух палётаў ANITA.
- Гэты артыкул — **нулявы вынік**: вельмі карысны для выключэння магчымасцяў, але ён не можа сказаць, чым падзеі з’яўляюцца.
- Выключэнне колькаснае і моцнае — чакаліся дзясяткі падзей, назіралася адна

фонападобная, — але яно датычыцца інтэрпрэтацыі праз «пато́к узыходных ліўняў», а не ўсіх магчымых прычын.

- Вядучае звычайнае тлумачэнне — прыпаверхневае адбіццё — праўдападобнае, але не даказанае; некаторыя іншыя альтэрнатывы, уключаючы пэўныя мадэлі пераходнага выпраменьвання, былі аслабленыя іншымі працамі.
- Ніводзін эксперымент незалежна не ўзнавіў зыходную анамалію.

Гэта жорсткае абмежаванне, накладзенае на маленькую і ўпартую загадку, — не адкрыццё.

Чаму гэта важна

Прапанаваныя тлумачэнні даходзілі да экзатычных новых часціц. Замест таго каб ганяцца за самым эфектным, галіна зрабіла неэфектную рэч: правярыла ідэю на незалежным і значна большым дэтэктары — і даныя сказалі «не». Больш буйны і адчувальны пераемнік, PUEO, будуець, каб паглядзець яшчэ раз.

Анамалія цалкам можа аказацца будзённай. Гэта не зробіць гісторыю правалам. Звужаць прастору тлумачэнняў незразумелага вымярэння да таго часу, пакуль яно або не растворяцца, або не прымусіць да сапраўднага адкрыцця, *і ёсць* навуковая праца — і менавіта таму за ёй варта сачыць, пакуль сумленны адказ застаецца: «мы не ведаем».

Кароткі вынік

Два радыёімпульсы, зарэгістраваныя ANITA падчас палётаў над Антарктыдай у 2006 і 2014 гадах, маюць кірункі прыходу стромка з-пад гарызонту, якія цяжка растлумачыць у рамках Стандартнай мадэлі. Спецыяльны пошук 2025 года ў Pierre Auger Observatory знайшоў толькі адну падзею-кандыдата, сумяшчальную з фонам, тады як пры гіпотэзе патоку ўзыходных ліўняў чакаліся дзясяткі. Гэта моцна аслабляе экзатычнае тлумачэнне праз «новую часціцу» і накіроўвае ўвагу на эфекты адбіцця, распаўсюджвання радыёхваль або інструментальную асаблівасць ANITA — але сапраўдная прычына ўсё яшчэ невядомая. Не пацверджаная новая часціца і не таямнічы сігнал знутры лёду.

Праверка без прыкрас

Што паказвае артыкул: сляпы пошук Pierre Auger за 2004–2018 гады ўзыходных атмасферных ліўняў знайшоў аднаго кандыдата, сумяшчальнага з чаканым фонам

касмічных прамянёў у 0.27 падзеі. Калі б анамаліі ANITA паходзілі ад патоку такіх ліўняў, Auger павінен быў убачыць прыкладна 34–69 падзей або як мінімум каля 8 пры кансерватыўных дапушчэннях. Гэта моцна не падтрымлівае інтэрпрэтацыю праз узыходны лівень, уключаючы сцэнарыі «новых часціц» за межамі Стандартнай мадэлі.

Што праўдападобна, але не даказана: эфект адбіцця або распаўсюджвання радыёхваль каля лёду і гарызонту альбо інструментальны/аналітычны артэфакт, спецыфічны для ANITA.

Чаго гэта не паказвае: што падзеі выкліканыя новай часціцай; што гэта сігналы з-пад лёду; што тут ёсць нешта паранармальнае, штучнае або чутнае; што прычына цяпер вядомая.

Асноўныя абмежаванні: цікаvasць да фізікі за межамі Стандартнай мадэлі абавязкова прыкладна на дзве падзеі; гэта нулявы вынік, які абмяжоўвае, але не ідэнтыфікуе; выключэнне датычыцца канкрэтна інтэрпрэтацыі «патак ліўняў»; незалежнага ўзнаўлення зыходнай анамаліі няма.

Наколькі ўпэўненым можа быць звычайны чытач? Высокая ўпэўненасць у тым, што гэта *не* пацверджаная новая часціца і *не* сігнал знутры лёду, а экзатычная інтэрпрэтацыя праз патак цяпер моцна аслаблена. Нізкая ўпэўненасць адносна сапраўднай прычыны, якая застаецца адкрытай. Правільная пазіцыя — цікаvasць да нявырашанай анамаліі, у якой, найхутчэй, акажацца звычайнае тлумачэнне.

Крыніцы

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>