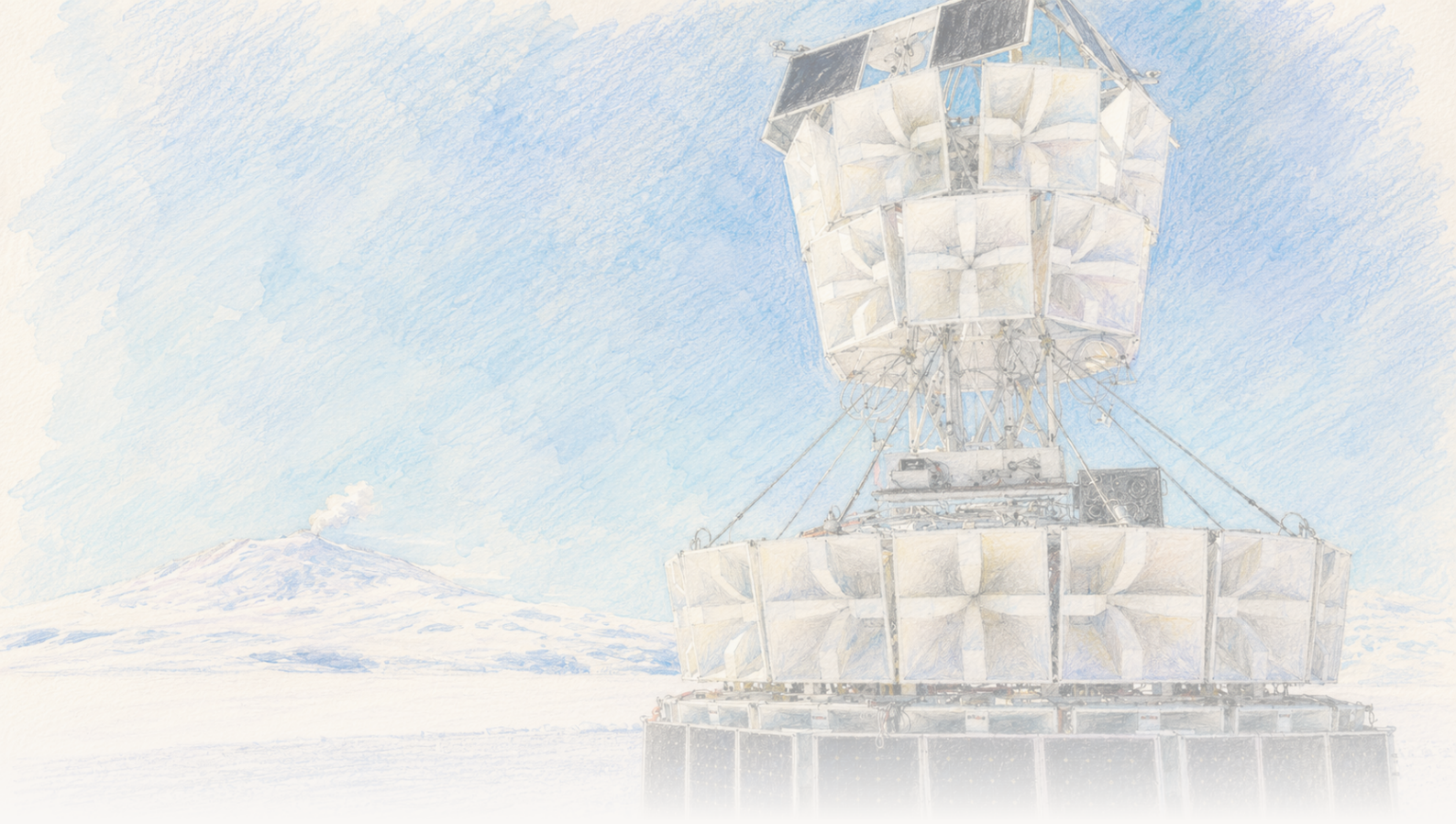




The CLEAN PAPER

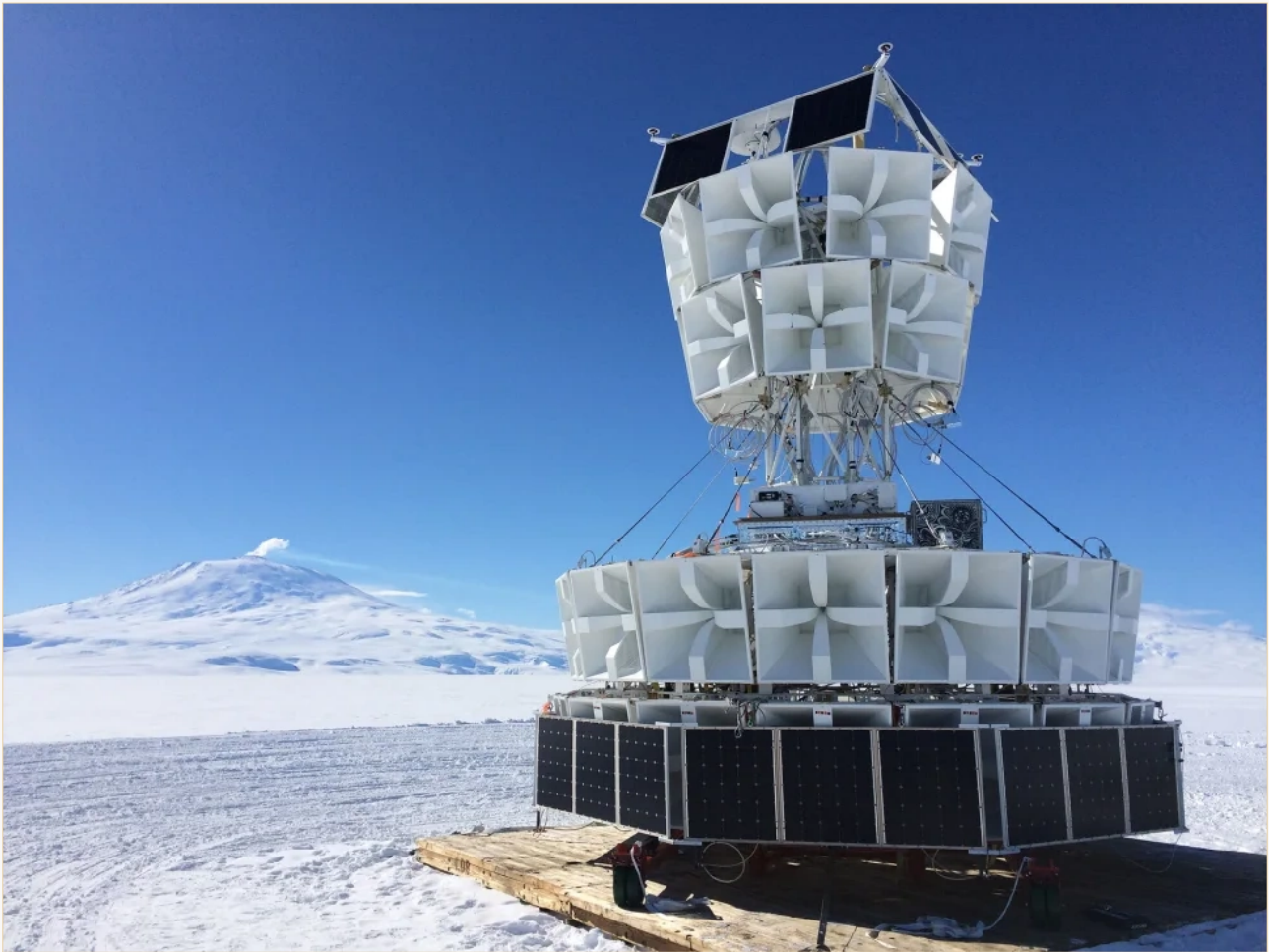
WHAT THE PAPER SAYS · WHAT IT DOESN'T · WHY IT MATTERS

Àwọn ilù rẹdìò àrà méjì lórí Antarctica sì kò ní ìtumò — àlàyé “patíkù tuntun” sì n pàdánù àtìlẹyìn

Àwọn ilù rẹdìò àrà méjì tí idánwò Antarctic lórí báluùnnù gbasilẹ̀ lódún mèlòó sáyìn kò tù ní àlàyé tí gbogbo ènìyàn gbà; iwádìí Pierre Auger pátó kò rí àwọn shower tí ìtumò yẹn n retí, èyí tó mú kí àlàyé àjẹjì “patíkù tuntun” dín kù gidigidi nígbà tí àibámu náà sì wà láìyanjú.

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



Àwọn anténá 48 ti ANITA dojú kọ yín yín Antarctic láti orí gondola tó ga ní ẹsẹ 25.

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

Bálúùnnù, yín yín, àti ilù méjì láti ìsàlẹ̀

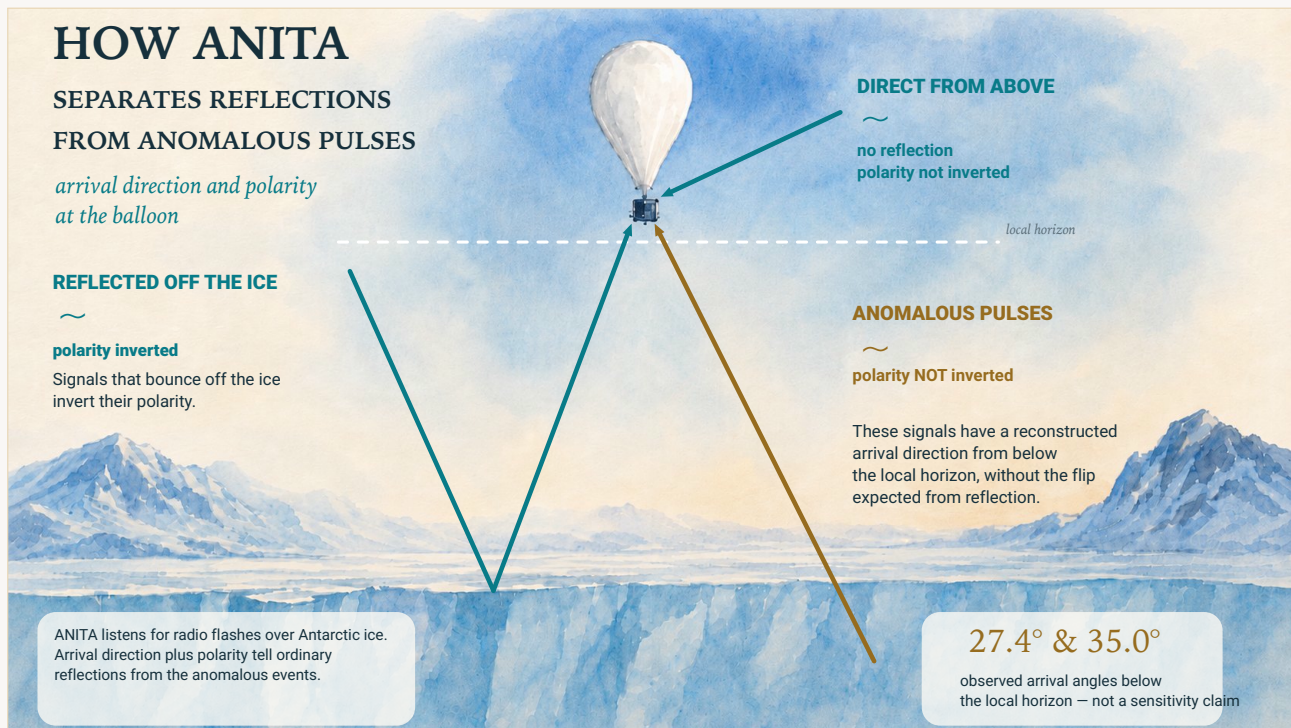
Ní ọpọ̀ jù lọ àsìkò iṣẹ̀ rẹ̀, Antarctic Impulsive Transient Antenna — ANITA — máa ń rọ̀ mọ̀ ìsàlẹ̀ bálúùnnù NASA, ní nńkan bí kilómítà ọgbọn sí òkè, ó sì máa ń fò fún ọ̀sẹ̀ mélòó kan lórí ibi tó sọfó jù lọ lórí Ayé, tí ó ń fetí sílẹ̀.

Ohun tó ń wá ni àmì rediò láti òfúurufú. Nígba tí patíkù tó ní agbára gíga gan-an — cosmic ray, tàbí neutrino — bá kọlu afẹ́fẹ́ tàbí yín yín, ó máa ń fọ̀ sí iṣàṣán patíkù kéékèéké, iṣàṣán náà sì máa ń tú ìmọ̀lẹ̀ rediò kúkúrí kan jáde. Antarctica fẹ́rẹ́ jẹ́ ibi tó péye láti mú wọn: kilómítà mélòó kan ti yín yín mímọ̀, tútù, tí rediò ń gba kojá bí ẹni pé gílààsì nì, tí kò sì sí ohun kan fún ọ̀pọ̀ ọ̀górùn-ún kilómítà láti da àmì náà rú. Iṣẹ̀ ANITA ni láti mú àwọn ìmọ̀lẹ̀ wọnyẹn, kí ó sì ka ohun tó dá wọn sílẹ̀ láti inú ìrísí àti àkókò wọn.

Ọ̀pọ̀ ohun tí ó ń gbọ́ máa ń tẹ̀lẹ̀ ilàná. Àwọn ìmọ̀lẹ̀ kan máa ń dé tààrà láti òkè. Ọ̀pọ̀ mún máa ń kọlu yín yín kí wọn sì padà sókè sí anténá — wọn sì ní àmì tó hàn gbangba: ipadà náà ń yí ìgbì náà padà (iyípadà *polarity* àmì), àmì tí àwọn onímọ̀ físìsì lè mọ̀ lẹ̀sẹ̀kẹ̀sẹ̀. Báylí ni a ẹ̀ ń

yà ìṣàfihàn padà kúrò nínú ohun gidi.

Èjẹmẹjì, ohun kan dé tí kò tẹlẹ̀ àpẹẹrẹ náà.



Níbi báluùnnù, ilù tó wá tààrà láti òkè dé láiyípadà, nígbà tí ilù tó padà láti ara yinyin dé pẹ̀lú polarity rẹ̀ tí ó yí padà — àmì tí a sàbà máa ń rí nígbà tí ó bá kọ̀lu yinyin. Şùgbọ̀n àwọn ilù àrà méjì náà dé láti itòsọ̀nà tí a tún ẹ̀ ṣe ṣíró rẹ̀, tí ó jìn sí isàlẹ̀ ojú ọ̀run agbègbè — síbẹ̀ wọn kò yí padà bí ìṣàfihàn padà ẹ̀ yẹ. “Láti isàlẹ̀” túmọ̀ sí itòsọ̀nà tí àmì náà tí dé — kì í ẹ̀ pẹ̀ patíkù kan gòkè jáde láti inú Ayé.

Original hybrid diagram — The Clean Paper CC BY 4.0

Ní ọ̀kọ̀ òfúurufú kan ní 2006 àti òmíràn ní 2014, ANITA mú ilù kan láti ibi tó jìn sí isàlẹ̀ ojú ọ̀run — 27.4° àti 35.0° sí isàlẹ̀ rẹ̀, lẹ́sẹ́sẹ̀ — bí ẹ̀ni pé ó jáde sòkè láti inú kòntínèntì náà, láìsí iyípadà kankan. Nítorí náà, kì í ẹ̀ ṣe ìṣàfihàn padà. Ohun kan ló rin sòkè ní tòótọ̀ láti inú yinyin lọ sí ọ̀dọ̀ báluùnnù.

Ídì tí èyí fí fẹ́rẹ́ jẹ́ ohun iyàlẹ̀nu ńlá ni èyí. Kí ohunkóhun tó dá ilù náà sílẹ̀ lẹ̀ dé anténá ní igun gíga bẹ̀, ó ní láti kojá láti inú ara pílánẹ̀tì — kilómítà ẹgbẹ̀rún méfà tàbí méje tí àpáta líle. Ó fẹ́rẹ́ jẹ́ pé kò sí ohun tó lẹ̀ ẹ̀ bẹ̀. Patíkù kan soṣo tí a mọ̀ pé ó ń kojá nínú ohun èlò bí ẹ̀ni pé kò sí níbẹ̀ ni neutrino, tó lẹ̀ yọ gba inú gbogbo Ayé láifíyèsí rẹ̀ — nítorí náà èrò tó bójú mu ní pé neutrino kan rin sòkè nínú àpáta, ó kọ̀lu atomu kan ní abẹ̀ yinyin, ó sì dá isàn patíkù tó ń sàré sòkè sílẹ̀, tí ANITA mú ìmọ̀lẹ̀ rediò rẹ̀. Şùgbọ̀n isòro kan wà: neutrino tó ní agbára tó láti dá àmì yìí sílẹ̀ rọ̀rùn jù láti dá dúró. Nínú àpáta tó pọ̀ tó bẹ̀, ó yẹ kí a ti fa á wọ̀ inú lópò igbà. Àti pé isàn neutrino tó lágbára tó bẹ̀ tí méjì fí lẹ̀ kojá yẹ kí ó ti fara hàn nínú àwọn olùṣàwárí ńlá tí a kọ̀ fún idí yẹn gan-an. Kò sí itumọ̀ tó rọ̀rùn tó pé.

Nítorí náà, àwọn ilù méjì náà dúró gégé bí ohun tí kò tẹlẹ̀ ilànà. Kí í ẹ̀ àwárí — isẹ̀lẹ̀ méjì kì í ẹ̀ àwárí láé — şùgbọ̀n kì í ẹ̀ asán pẹ̀lú. Ó jẹ́ àlbámu gidi: irú ohun tó fani mọ̀ra nítorí pé kò tii sí ẹ̀ni tó lẹ̀ sọ bóyá ó jẹ́ àláfó nínú Standard Model tí físìsì tàbí ihùwàsí àrà tí yinyin, anténá,

tàbí ìṣíró.

Ibí ni irú iròyìn kan ti máa n lo ọrọ *àdìitú*, dín ìmọlẹ̀ kù, kí ó sì béèrè ohun tó lè máa gbé lábẹ̀ Antarctica. Má ẹ̀ tẹ̀lẹ̀ e. Ìbéèrè gidì kì í ẹ̀ *eranko wo ló wà nínú yìnyìn*. Ó jẹ̀ ìbéèrè tó ní sùúrù, tí kò lẹ̀wà lójú, tó sì n mú sáyẹ̀nṣì lẹ̀ síwájú: **báwo ni ẹ̀ ẹ̀ lè mọ̀?**

Ohun tí àwọn ònkòwé ẹ̀

Ọ̀nà tó mọ̀ wà láti dán àwọn ìtumọ̀ tó fani mọ̀ra wò. Bí àwọn ilù ANITA bá wà láti inú ìṣàṇ gidì tó n tún ẹ̀lẹ̀ ti àwọn ìṣàṇ patíkù tó n lẹ̀ sókè — yálà láti tau-neutrino lasán tàbí patíkù tuntun tí a dábàà — olùṣàwárí tó tóbi tó, tí ó n wo irú ìṣẹ̀lẹ̀ yẹ, yẹ kí ó mú diẹ̀ lára wọn.

Pierre Auger Observatory ní Argentina — olùṣàwárí cosmic ray tó tóbi jù lẹ̀ tí a ti kọ̀ — wà ní ipò tó dára láti wà wọn. Ní lílo Fluorescence Detector rẹ̀, ẹ̀gbẹ̀ náà wà àwọn ìṣàṇ patíkù afẹ́fẹ́ tó n lẹ̀ sókè (tí ó n dé láti ìsàlẹ̀, ní igun zenith tó ju 110° àti agbára tó ju 0.1 EeV) nínú dátà láti 2004 sí 2018. Ohun tó ẹ̀ pàtàkì ní pé gbogbo àṣàyàn ní a ti pinnu *ṣáájú* kí wọn tó ṣàyẹ̀wò gbogbo dátà — itúpalẹ̀ “afójú”, kí a má bàa ẹ̀ àtúnṣe èsì sí ohun tí a n retí.

Ohun tí wọn rí

Lẹ́yìn tí wọn ẹ̀ itúpalẹ̀ náà, ìṣẹ̀lẹ̀ olùdíje **kan** ṣoṣo ló yẹ — ó sì bá àwọn ìṣẹ̀lẹ̀ 0.27 ± 0.12 tí a retí láti cosmic ray lasán tí a lè ẹ̀ tún itọ̀sọ̀nà rẹ̀ ẹ̀ bí ẹ̀ni pé ó n lẹ̀ sókè mu pátápátá. Ní ọ̀rọ̀ mún, kò sí àmì gidì tó n lẹ̀ sókè; ìpele abẹ̀lẹ̀ kékeré tí a retí nìkan ló wà.

Agbára èsì náà wà nínú ifiwéra. Bí àwọn ilù ANITA bá wà láti ìṣàṇ tó dúró ẹ̀ṣínṣín ti àwọn ìṣàṇ patíkù tó n lẹ̀ sókè, Auger yẹ kí ó ti gbasilẹ̀ **ọ̀pọ̀** — nńkan bí ìṣẹ̀lẹ̀ 34 sí 69 fún spectrum agbára kan tó ẹ̀é gbà, àti ó kéré tán nńkan bí 8 lábẹ̀ àwọn àfojúsùn tí a mọ̀mọ̀ ẹ̀sọ̀ra gan-an. Ó rí ọ̀kan, tó bá abẹ̀lẹ̀ mu. Àwọn ònkòwé pe èyí ní “àìbámu tó lágbára” pẹ̀lú ìtumọ̀ ìṣàṇ patíkù tó n lẹ̀ sókè.

Ohun tí èyí ẹ̀é ẹ̀ kí ó tùmọ̀ sí

Àìrí àmì tó tóbi bá yí n fún wa ní ìmọ̀. Bí àwọn ìṣẹ̀lẹ̀ ANITA bá wà láti inú ẹ̀gbẹ̀ patíkù gidì tó n dé láti àwọn itọ̀sọ̀nà wọ̀nyẹ̀n — tau-neutrino lasán, tàbí àwọn patíkù tuntun àròṣo tí a dábàà láti ẹ̀lẹ̀yẹ̀ wọn — àkókò pípẹ̀ tí Auger fi n wò yẹ kí ó ti mú iye tó pọ̀. Kò rí bẹ̀. Èyí fẹ̀rẹ̀ yọ ìtumọ̀ “ìṣàṇ tó tàn ká ti àwọn ìṣàṇ patíkù tó n lẹ̀ sókè” kúrò — ẹ̀ka tí ọ̀pọ̀ èrò tó kojá Standard Model wà — àyàfi lábẹ̀ àwọn ipò àkànṣe tó ẹ̀rò láti gbà.

Ohun tó ẹ̀ lè dúró ní àwọn ìtumọ̀ tí *kì í ẹ̀* ìṣàṇ patíkù tó n dá shower sílẹ̀: èyí tí a sàbà jíròrò jù ní ìṣàfihàn padà tàbí ipa ìrìn rẹ́díò tó jẹ̀ àkànṣe sí yìnyìn àti geometry tó sún mọ̀ ojú ọ̀run,

tàbí àṣìṣe ohun èlò tàbí ìtupalẹ̀. Kò sí èyíkéyìí tí a ti fi ìdí rẹ̀ múlẹ̀. Nítorí náà, àkótán òtítọ̀ ní pé: ìtumọ̀ tó fani mọ́ra jù ti gba ìpalára tó lágbára, ohun tó sì fà á sì jẹ̀ àìmọ̀.

Ohun tí èyí kò fi hàn

- Kò dá ohun tí àwọn ìlù méjì náà jẹ̀ mọ̀. “Ó dín ànfààní físìsì tuntun kù gidigidi” kì í ṣe “a ti yanjú rẹ̀.”
- Kò **jẹ́rìí sí ìdí lasán kan**. Olùdíje pàtàkì kan — ìṣàfihàn padà láti abẹ̀ ojú ilẹ̀ Antarctic — ṣì jẹ̀ àbá, kì í ṣe èsì.
- Kò **ṣàwárí ohunkóhun ‘láti abẹ̀ yín yín’** ní ìtumọ̀ gidi. Àwọn anténá ANITA rò mọ̀ bálúunnù lókè Antarctica; “láti isàlẹ̀” ṣàpẹ́júwe ìtósónà tí a tún ṣe ìṣíro ibi tí ìlù rediò ti dé — kì í ṣe ohùn, ohùn ènìyàn, tàbí ohunkóhun tó jáde láti inú yín yín.
- Kò **ṣe àtìlẹ́yìn fún ẹ̀sùn pé a ti fidí patíkù tuntun kan múlẹ̀**. Ẹ̀dà ìtàn yìí tí a pín jù lọ́ n tó sí òdìkẹ̀jì ohun tí ẹ̀rì fi hàn.

Báwo ni ẹ̀rì náà ṣe lágbára tó?

Kò pọ̀, a sì sọ ó bẹ̀ẹ̀.

- Ìfẹ̀ sí ohun tó kojá Standard Model dúró lórí ìṣẹ̀lẹ̀ **méjì** ní pàtàkì, láti ọkọ̀ òfúurufú ANITA méjì.
- Ìwé yìí jẹ̀ **èsì òfò**: ó lágbára láti yọ̀ àwọn ànfààní kan kúrò, ṣùgbọ̀n kò lè sọ ohun tí àwọn ìṣẹ̀lẹ̀ náà jẹ̀.
- Ìyọkúrò náà dá lórí iye, ó sì lágbára (a retí ọ̀pọ̀ ìṣẹ̀lẹ̀, a rí ìṣẹ̀lẹ̀ kan tó dà bí abẹ̀lẹ̀) — ṣùgbọ̀n ó dojú kọ̀ ìtumọ̀ “ìṣàn shower tó n lẹ́ sókè”, kì í ṣe gbogbo ìdí tí a lè rò.
- Ìtumọ̀ lasán tó ṣeé gbà jù (ìṣàfihàn padà tó sún mọ̀ ojú ilẹ̀) ṣeé ṣe ṣùgbọ̀n a kò fidí rẹ̀ múlẹ̀; ìṣe mún ti dín ànfààní àwọn àbá kan kù (àwọn àwòṣe transition-radiation kan).
- Kò sí ìdánwò kankan tó ti tún àibámu àkókó náà ṣe lóṣẹ̀.

Èyí jẹ̀ ààlà tó mú gan-an tí a fi kún ìṣòro kékeré tó sì dúró — kì í ṣe àwárí.

Ìdí tí ó fi ṣe pàtàkì

Àwọn ìtumọ̀ tí a dábaá dé àyè àwọn patíkù tuntun àjẹ̀jì. Dípò kí ẹ̀ka náà lépa èyí tó fani mọ́ra jù, ó ṣe ohun tí kò lẹ̀wà lójú: ó dán èrò náà wò pẹ̀lú olùṣàwárí òmìnira tó tóbi púpọ̀ sí i — dátà náà sì sọ pé rara. Ohun èlò arópò tó tóbi, tó sì ní ifarabalẹ̀ púpọ̀ sí i, PUEO, ni a n kọ̀ láti tún wò ó.

Àibámu náà lè parí sí ohun lasán. Èyí kò ní jẹ̀ kí ó di ikùná. Dídín ọ̀ṣùwọn kan tí a kò ṣàlàyé kù

títí tí ó fi tán tàbí fi ipa mú àwàrí gidi *ni* iṣẹ náà — ó sì yẹ kí a máa wo ó nítorí pé èsì òtítọ́, ní bá yí, sì jẹ “a kò mò.”

Àkótán mímọ

Àwọn ilù rẹdìò méjì láti ọkọ bálúunnù Antarctic ANITA ti 2006 àti 2014 dà bí ẹnì pé wọn wá láti àwọn igun tó jìn sí isàlẹ̀ ojú ọrun, èyí tí Standard Model kò lè ṣàlàyé rọrùn. Ìwádìí Pierre Auger Observatory pàtó ní 2025 rí iṣẹ̀lẹ̀ olùdíje kan ṣoṣo, tó bá abẹ̀lẹ̀ mu, níbi tí a ti yẹ kí a rí ọpọ̀ bí àwọn ilù náà bá wá láti iṣàn shower tó n lọ sókè. Èyí dín ànfààní ìtumọ̀ àjẹ̀jì “patíkù tuntun” kù gidigidi, ó sì tọka sí iṣàfihàn padà, ìrìn àmì, tàbí ipa ohun èlò tó jẹ̀ àkànṣe sí ANITA — ṣùgbọ̀n ohun tó fà á sì jẹ̀ àìmọ̀ gidi. Kì í ṣe patíkù tuntun tí a fídí rẹ̀ múlẹ̀, kì í sì ṣe àmì àdìtù láti inú yìnyín.

Àyèwò láìsí ọrọ̀ asán

Ohun tí iwé náà fi hàn: Ìwádìí afọ́jú Pierre Auger (2004–2018) fún àwọn shower aféfé tó n lọ sókè rí olùdíje kan, tó bá abẹ̀lẹ̀ cosmic ray 0.27 tí a retí mu. Bí àìbámu ANITA bá wá láti iṣàn irú shower bẹ̀, Auger yẹ kí ó ti rí nńkan bí 34–69 (tàbí ó kéré tán ~8 lábẹ̀ àfojúsùn tó ṣọra). Èyí dín ànfààní ìtumọ̀ shower tó n lọ sókè kù gidigidi, pèlú àwọn àbá “patíkù tuntun” tó kojá Standard Model.

Ohun tó ṣeé gbà ṣùgbọ̀n tí a kò fídí rẹ̀ múlẹ̀: Iṣàfihàn padà tàbí ipa ìrìn rẹdìò tó sún mọ̀ yìnyín àti ojú ọrun, tàbí àṣiṣe ohun èlò/ítúpalẹ̀ tó jẹ̀ àkànṣe sí ANITA.

Ohun tí kò fi hàn: Pé patíkù tuntun ló fa àwọn iṣẹ̀lẹ̀ náà; pé wọn jẹ̀ àmì láti abẹ̀ yìnyín; pé ohun àjẹ̀jì, ohun tí ènìyàn dá, tàbí ohun tí a lè gbọ̀ wà nínú rẹ̀; tàbí pé a ti mọ̀ ohun tó fà á.

Àwọn ààlà pàtàkì: Ifẹ̀ sí ohun tó kojá Standard Model dúró lórí nńkan bí iṣẹ̀lẹ̀ méjì; èyí jẹ̀ èsì òfọ̀ tó n fi ààlà sí àbá ṣùgbọ̀n tí kò lè dá ohun náà mò; iyojúrò náà dojú kọ ìtumọ̀ “iṣàn shower” ní pàtàkì; kò sí ẹ̀rì òmìnira tó tún àìbámu àkókó ẹ.

Ìgbẹ̀kẹ̀lé mélòò ní olùkà gbogboogbo yẹ kí ó ní? Ìgbẹ̀kẹ̀lé gíga pé èyí *kì í* ṣe patíkù tuntun tí a fídí rẹ̀ múlẹ̀, *kì í* sì ṣe àmì láti inú yìnyín, àti pé a ti dín ànfààní ìtumọ̀ iṣàn àjẹ̀jì kù gidigidi. Ìgbẹ̀kẹ̀lé kékeré nípa ohun tó fà á gidi, èyí tó sì sí sílẹ̀. Ìdúró tó yẹ: ifẹ̀ láti mọ̀ àìbámu tí a kò tii yanjú, tó sì ṣeé ẹ̀ jù pé ó jẹ̀ ohun lasán.

Àwọn orísun

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>