



The CLEAN PAPER

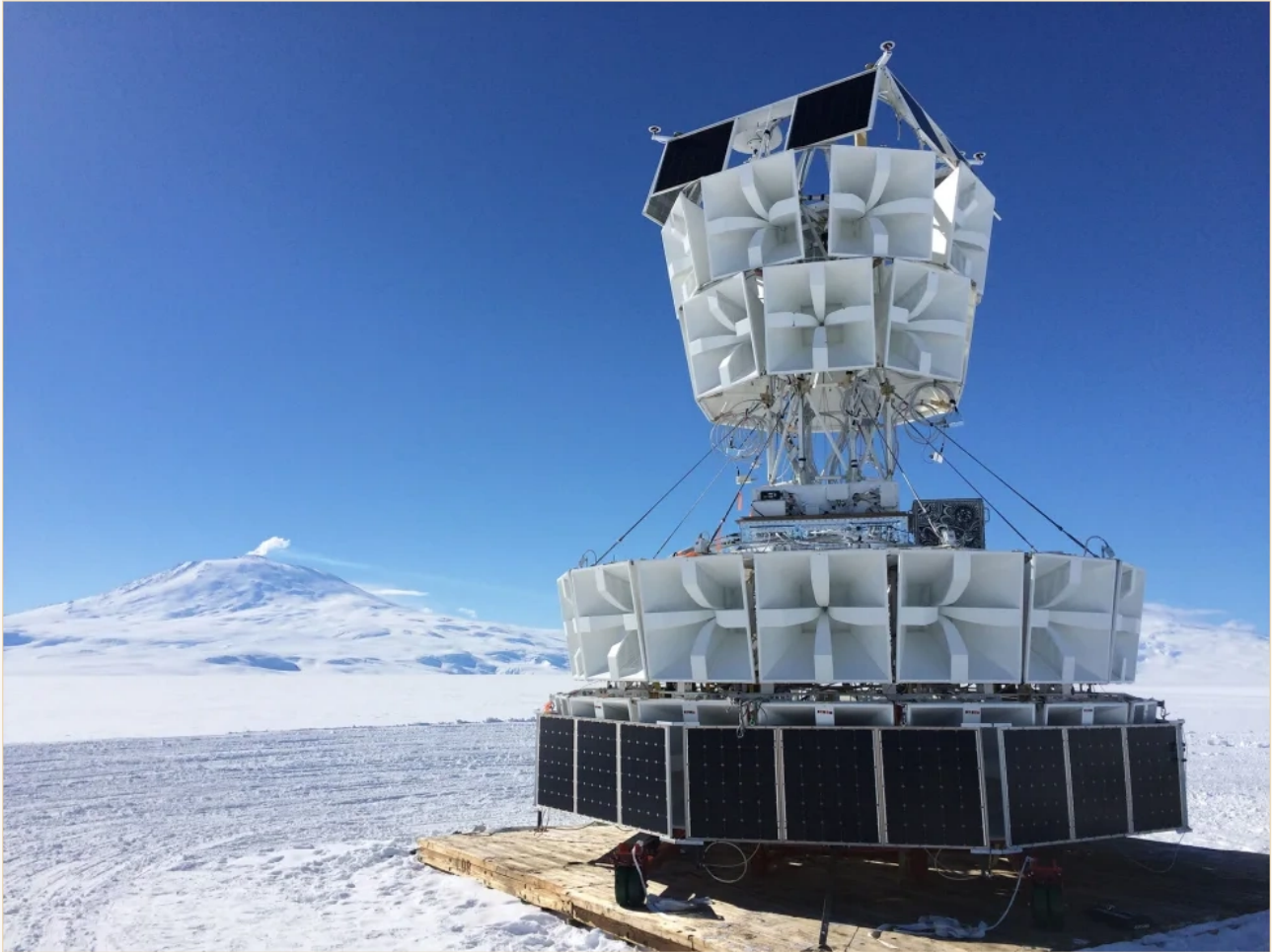
WHAT THE PAPER SAYS · WHAT IT DOESN'T · WHY IT MATTERS

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

Àwọn ilù redió àrà méjì tí idánwò Antarctic lórí báluùnnù gbasilẹ̀ lẹ́dún méléó sáyìn kò tii ní àlàyé tí gbogbo èniyàn gbà; iwádú Pierre Auger pátó kò rí àwọn shower tí ìtumò yẹn n retí, èyí tó mú kí àlàyé àjẹ̀jẹ̀ “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 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



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

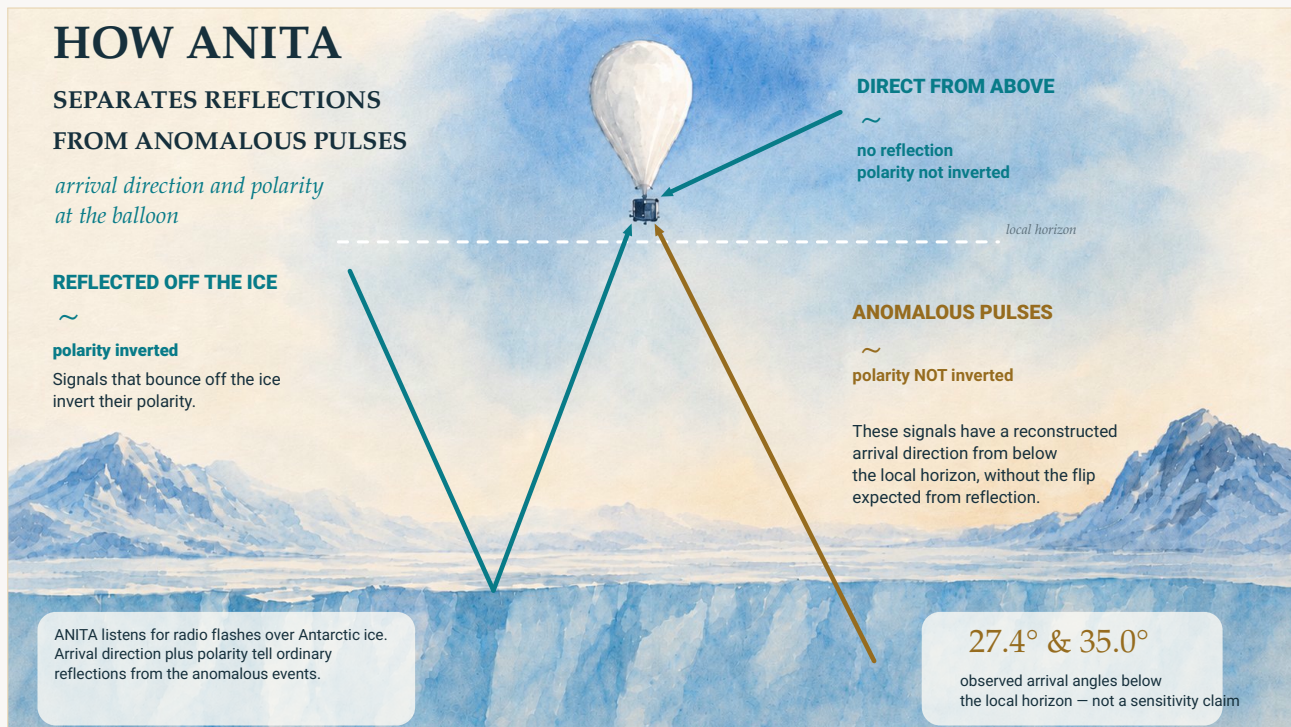
Bálúùnnù, yín yín, àti ilù méjì láti ìsàlẹ̀

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

Ohun tó ń wá ni àmì rediò láti òfúurufú. Nígba tí patíkù tó ní agbára gíga gan-an — cosmic ray, tàbí neutrino — bá kọ̀lu afẹ́fẹ́ tàbí yín yín, ó máa ń fọ̀ sí ìṣà̀n patíkù kéékèkèké, ìṣà̀n náà sì máa ń tú ìmọ̀lẹ̀ rediò kúkúúrú kan jáde. Antarctica fẹ́rẹ́ jẹ́ ibi tó péye láti mú wọ̀n: kilómítà mèlòó kan ti yín yín mímọ̀, tútù, tí rediò ń gba kọ́já bí ẹ̀ni pé gílààsì ni, tí kò sì sí ohun kan fún ọ̀pọ̀ ọ̀gọ̀rùn-ún kilómítà láti da àmì náà rú. Iṣẹ́ ANITA ni láti mú àwọn ìmọ̀lẹ̀ wọ̀nyẹn, kí ó sì ka ohun tó dá wọ̀n sílẹ̀ láti inú ìrísí àti àkókò wọ̀n.

Ọ̀pọ̀ ohun tí ó ń gbọ́ máa ń tẹ̀lẹ̀ ìlànà. Àwọn ìmọ̀lẹ̀ kan máa ń dé tààrà láti òkè. Ọ̀pọ̀ mii máa ń kọ̀lu yín yín kí wọ̀n sì padà sọ̀kè sí anténá — wọ̀n sì ní àmì tó hàn gbangba: ipadà náà ń yí ìgbì náà padà (iyípadà *polarity* àmì), àmì tí àwọn onímọ̀ físìsì lè mọ̀ lèsẹ̀kèsẹ̀. Bááyí ni a ẹ̀ ń yà ìṣàfihàn padà kúrò nínú ohun gidì.

Èjẹ̀mejì, ohun kan dé tí kò tẹ̀lẹ̀ àpẹ̀rẹ̀ náà.



Nibi báluùnnù, ilù tó wá tààrà láti òkè dé láiyípadà, nígbà tí ilù tó padà láti ara yinyin dé pèlú polarity rẹ tí ó yí padà — àmì tí a sàbà maa ní rí nígbà tí ó bá kọlu yinyin. Şùgbọ̀n àwọn ilù àrà méjì nàà dé láti itòsọ̀nà tí a tún ẹ̀ ṣíṣíró rẹ̀, tí ó jìn sí isàlẹ̀ ojú ọ̀run agbègbè — síbẹ̀ wọn kò yí padà bí isàfihàn padà ẹ̀ yẹ. “Láti isàlẹ̀” túmọ̀ sí itòsọ̀nà tí àmì nàà tí dé — kì í ẹ̀ pé 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 nàà, láìsí iyípadà kankan. Nítorí nàà, kì í ẹ̀ ṣíṣíṣí padà. Ohun kan ló rin sòkè ní tòótọ̀ láti inú yinyin lọ sí ọ̀dọ̀ báluùnnù.

Ídì tí èyí fi fẹ́rẹ́ ẹ̀ ohun iyàlẹ̀nu nílá ni èyí. Kí ohunkóhun tó dá ilù nàà sílẹ̀ lè dé anténá ní igun gígá bẹ̀, ó ní láti kojá láti inú ara pílánẹ̀tì — kilómítà ẹ̀gbẹ̀rún mẹ́fà tàbí méje ti àpáta líle. Ó fẹ́rẹ́ ẹ̀ pé kò sí ohun tó lè ẹ̀ bẹ̀. Patíkù kan soşo tí a mò pé ó ní kojá nínú ohun èlò bí ẹ̀ni pé kò sí nìbẹ̀ ni neutrino, tó lè yọ gba inú gbogbo Ayé láifíyèsí rẹ̀ — nítorí nàà èrò tó bójú mu ni pé neutrino kan rin sòkè nínú àpáta, ó kọlu atomu kan ní abẹ̀ yinyin, ó sì dá isàn patíkù tó ní sàré sòkè sílẹ̀, tí ANITA mú imọ̀lẹ̀ redídò rẹ̀. Şùgbọ̀n isọ̀ro kan wà: neutrino tó ní agbára tó láti dá àmì yí sílẹ̀ rọ̀rùn jù láti dá dúró. Nínú àpáta tó pọ̀ tó bẹ̀, ó yẹ kí a ti fa á wọ inú lópò igbà. Àti pé isàn neutrino tó lágbára tó bẹ̀ tí méjì fi lè kojá yẹ kí ó ti fara hàn nínú àwọn olùşàwàrí nílá tí a kọ̀ fún idí yẹn gan-an. Kò sí itumọ̀ tó rọ̀rùn tó pé.

Nítorí nàà, àwọn ilù méjì nàà dúró gégé bí ohun tí kò tẹ̀lẹ̀ ilà. Kì í ẹ̀ àwàrí — isẹ̀lẹ̀ méjì kì í ẹ̀ àwàrí láé — şùgbọ̀n kì í ẹ̀ asán pèlú. Ó jẹ̀ àibámu gidi: irú ohun tó fani mọ̀ra nítorí pé kò tii sí ẹ̀ni tó lè sọ bóyá ó jẹ̀ àláfó nínú Standard Model ti físìsì tàbí ihùwàsí àrà ti yinyin, anténá, tàbí isíró.

Ibí ni irú iròyìn kan ti maa ní lo ọ̀rọ̀ àdùtú, dín imọ̀lẹ̀ kù, kí ó sì bière ohun tó lè maa gbé lábẹ̀ Antarctica. Má ẹ̀ tẹ̀lẹ̀ e. Ibèèrè gidi kì í ẹ̀ ẹ̀ranko wo ló wà nínú yinyin. Ó jẹ̀ ibèèrè tó ní sùúrù, tí kò lẹ̀wà lójú, tó sì ní mú sáyẹ̀nsì lọ síwájú: **báwo ni ẹ̀ ẹ̀ lè mò?**

Ohun tí àwọn ònkòwé ẹ

Ọ̀nà tó mọ̀ wà láti dán àwọn ìtumọ̀ tó fani mọ̀ra wò. Bí àwọn ilù ANITA bá wá láti inú ìsàn gidi tó ní tún ẹ̀lẹ̀ tí àwọn ìsàn patíkù tó ní lẹ̀ sókè — yálá láti tau-neutrino lasán tàbí patíkù tuntun tí a dábàá — olùṣàwàrí tó tóbi tó, tí ó ní wo irú ẹ̀lẹ̀ yẹn, yẹ kí ó mú diẹ̀ lára wọn.

Pierre Auger Observatory ní Argentina — olùṣàwàrí cosmic ray tó tóbi jù lẹ̀ tí a ti kọ́ — wà ní ipò tó dára láti wá wọn. Ní lílo Fluorescence Detector rẹ̀, ẹgbẹ́ náà wá àwọn ìsàn patíkù afẹ́fẹ́ tó ní lẹ̀ sókè (tí ó ní 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 ṣàṣẹ̀wò gbogbo dátà — itúpalẹ̀ “afójú”, kí a má bàa ẹ̀ àtúnṣe ẹ̀sì sí ohun tí a ní retí.

Ohun tí wọn rí

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

Agbára ẹ̀sì náà wà nínú ifiwéra. Bí àwọn ilù ANITA bá wá láti ìsàn tó dúró ṣinṣin tí àwọn ìsàn patíkù tó ní lẹ̀ sókè, Auger yẹ kí ó ti gbasilẹ̀ **ọ̀pọ̀** — nìkan bí ẹ̀lẹ̀ 34 sí 69 fún spectrum agbára kan tó ẹ̀é gbà, àti ó kéré tán nìkan bí 8 lẹ̀bẹ̀ àwọn àfójúsùn tí a mọ̀mọ̀ ẹ̀sọ̀ra gan-an. Ó rí ọ̀kan, tó bá abẹ̀lẹ̀ mu. Àwọn ònkòwé pe ẹ̀yí ní “àibámu tó lágbara” pẹ̀lú ìtumọ̀ ìsàn patíkù tó ní lẹ̀ sókè.

Ohun tí ẹ̀yí ẹ̀é ẹ̀ kí ó túmọ̀ sí

Àírí àmì tó tóbi bá yíí ní fún wa ní imọ̀. Bí àwọn ẹ̀lẹ̀ ANITA bá wá láti inú ẹgbẹ́ patíkù gidi tó ní dé láti àwọn itósọ̀nà wònyẹn — tau-neutrino lasán, tàbí àwọn patíkù tuntun àròsọ̀ tí a dábàá láti ṣàlàyé wọn — àkókò pípẹ́ tí Auger fi ní wò yẹ kí ó ti mú iye tó pọ̀. Kò rí bẹ́ẹ̀. Ẹ̀yí fẹ́rẹ́ yọ̀ ìtumọ̀ “ìsàn tó tàn ká ti àwọn ìsàn patíkù tó ní lẹ̀ sókè” kúró — ẹ̀ka tí ọ̀pọ̀ èrò tó kojá Standard Model wà — àyàfi lẹ̀bẹ̀ àwọn ipò àkànṣe tó ẹ̀sòro láti gbà.

Ohun tó ẹ̀ lè dúró ní àwọn ìtumọ̀ tí *kí í ẹ̀* ìsàn patíkù tó ní dá shower sílẹ̀: ẹ̀yí tí a sába jíròrò jù ní ìṣàfihàn padà tàbí ipa ìrìn rẹ́díò tó jẹ́ àkànṣe sí yinyin àti geometry tó sún mọ̀ ojú ọ̀run, tàbí àṣiṣe ohun èlò tàbí itúpalẹ̀. Kò sí ẹ̀yíkẹ́yí tí a ti fi idí rẹ̀ múlẹ̀. Nítorí náà, àkótán ọ̀títọ̀ ní pé: ìtumọ̀ tó fani mọ̀ra jù ti gba ipalára tó lágbara, ohun tó sì fà á sì jẹ́ àimọ̀.

Ohun tí ẹ̀yí kò fi hàn

- Kò dá ohun tí àwọn ilù méjì náà jẹ́ mọ̀. “Ó dín ànṣàní físìsì tuntun kù gidigidi” kì í ẹ̀ “a ti yanjú rẹ̀.”
- Kò jẹ́rìí sí idí lasán kan. Olùdíje pàtàkì kan — ìṣàfihàn padà láti abẹ́ ojú ilẹ̀ Antarctic — ẹ̀ jẹ́ àbá, kì í ẹ̀ ẹ̀sì.
- Kò ṣàwàrí ohunkóhun ‘láti abẹ́ yinyin’ ní ìtumọ̀ gidi. Àwọn anténá ANITA rọ̀ mọ̀ bálúunnù *lókè* Antarctica;

“látí isàlẹ̀” ẹ̀pẹ̀jùwẹ̀ یتوسنا تى ا تون ڤه یشرو ىبى تى ىلۇ رەدیو تى دە — کى ى ڤه ohùn, ohùn ènìyàn, tàbí ohunkóhun tó jáde látí inú yínín.

- Kò ڤه àtílẹ̀yìn fún ẹ̀sùn ڤه a tì fídí patíkù tuntun kan múlẹ̀. Èdà یتان یی تى ا ڤن جۇ لۇ نى تۇ سى òdikejì ohun tì ẹ̀rì fì hàn.

Báwo ni ẹ̀rì náà ڤه lágbára tó?

Kò ڤò, a sì sọ ó bẹ̀ẹ̀.

- Ifẹ̀ sí ohun tó kọ́já Standard Model dúró lórí یشلẹ̀ **méjì** ní pàtàkì, látí ọkọ òfúurufú ANITA méjì.
- Ìwé yí jẹ́ **èsì òfò**: ó lágbára látí yọ àwọn ànfààní kan kúrò, sùgbón kò lè sọ ohun tì àwọn یشلẹ̀ náà jẹ́.
- Ìyọkúrò náà dá lórí iye, ó sì lágbára (a retí ọ̀pọ̀ یشلẹ̀, a rí یشلẹ̀ kan tó dà bí abẹ̀lẹ̀) — sùgbón ó dojú kọ ìtumò “ışàn shower tó n lọ sókè”, kì ى ڤه gbogbo یدی تى ا lè rò.
- Ìtumò lasán tó ڤeé gbà jù (ışàfihàn padà tó sún mò ojú ilẹ̀) ڤeé ڤه sùgbón a kò fídí rẹ̀ múlẹ̀; یشè mû tì dín ànfààní àwọn àbá kan kù (àwọn àwòڤه transition-radiation kan).
- Kò sí idánwò kankan tó tì tún àibámu àkókó náà ڤه lètò.

Èyí jẹ́ ààlà tó mú gan-an tì a fì kún یشòro kékeré tó sì dúró — kì ى ڤه àwárí.

Ìdí tí ó fì ڤه pàtàkì

Àwọn ìtumò tì a dábàá dé àyè àwọn patíkù tuntun àjẹ̀jì. Dípò kí ẹ̀ka náà lépa èyí tó fani mọ́ra jù, ó ڤه ohun tì kò lẹ̀wà lójú: ó dán èrò náà wò ڤẹ̀lú olùşàwárí òmìnira tó tóbi ڤúpò sí ى — dátà náà sì sọ ڤه rara. Ohun èlò arópò tó tóbi, tó sì ní ifarabalẹ̀ ڤúpò sí ى, PUEO, ní a n kọ látí tún wò ó.

Àibámu náà lè parí sí ohun lasán. Èyí kò ní jẹ́ kí ó di ikùnà. Dídín òşùwòn kan tì a kò şàlàyẹ̀ kù títí tì ó fì tán tàbí fì ipa mú àwárí gidi *ni* یشè náà — ó sì yẹ́ kí a máa wo ó nítorí ڤه èsì òtítọ́, ní báyyì, şì jẹ́ “a kò mò.”

Àkótán mí mó

Àwọn ىلۇ رەدیو méjì látí ọkọ bálúunnù Antarctic ANITA tì 2006 àti 2014 dà bí ẹ̀ni ڤه wọn wá látí àwọn igun tó jìn sí isàlẹ̀ ojú ọ̀run, èyí tì Standard Model kò lè şàlàyẹ̀ rọ̀rùn. Ìwádíí Pierre Auger Observatory ڤàtò ní 2025 rí یشلẹ̀ olùdíje kan şoşo, tó bá abẹ̀lẹ̀ mu, níbí tì a tì yẹ́ kí a rí ọ̀pọ̀ bí àwọn ىلۇ náà bá wá látí یشàn shower tó n lọ sókè. Èyí dín ànfààní ìtumò àjẹ̀jì “patíkù tuntun” kù gidigidi, ó sì tọka sí یشàfihàn padà, ىrìn àmì, tàbí ipa ohun èlò tó jẹ́ àkànşè sí ANITA — sùgbón ohun tó fà á şì jẹ́ àimò gidi. Kì ى ڤه patíkù tuntun tì a fídí rẹ̀ múlẹ̀, kì ى sì ڤه àmì àdìitú látí inú yínín.

Àyèwò láìsí ọrọ asán

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

Ohun tó ẹ́ẹ̀ gbà sùgbọ́n tí a kò fídí rẹ̀ múlẹ̀: Ìsàfihàn padà tàbí ipa ìrìn rediò tó sún mọ̀ yinyin àti ojú ọrun, tàbí àṣìṣe ohun èlò/ítupalẹ̀ tó jẹ̀ àkànṣe sí ANITA.

Ohun tí kò fi hàn: Pé patíkù tuntun ló fa àwọn isẹ̀lẹ̀ náà; pé wọn jẹ̀ àmì láti abẹ̀ yinyin; 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: Ifẹ́ sí ohun tó kojá Standard Model dúró lórí nńkan bí isẹ̀lẹ̀ méjì; èyí jẹ̀ èsì òfò tó ní fi ààlà sí àbá sùgbọ́n tí kò lè dá ohun náà mọ̀; iyókúrò náà dojú kọ̀ ìtumọ̀ “isàn shower” ní pàtàkì; kò sí ẹ̀rì òmìnira tó tún àibámu àkókó ẹ.

Ìgbẹ̀kẹ̀lẹ̀ mélòó ni olùkà gbogboogbo yẹ kí ó ní? Ìgbẹ̀kẹ̀lẹ̀ gíga pé èyí *kí í ẹ* patíkù tuntun tí a fídí rẹ̀ múlẹ̀, *kí í sì ẹ* àmì láti inú yinyin, àti pé a ti dín ànfààní ìtumọ̀ isàn àjẹ̀jì kù gidigidi. Ìgbẹ̀kẹ̀lẹ̀ kékeré nípa ohun tó fà á gidi, èyí tó sì sí sílẹ̀. Ìdúró tó yẹ: ifẹ́ láti mọ̀ àibámu tí a kò tī yanjú, tó sì ẹ́ẹ̀ ẹ 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>