



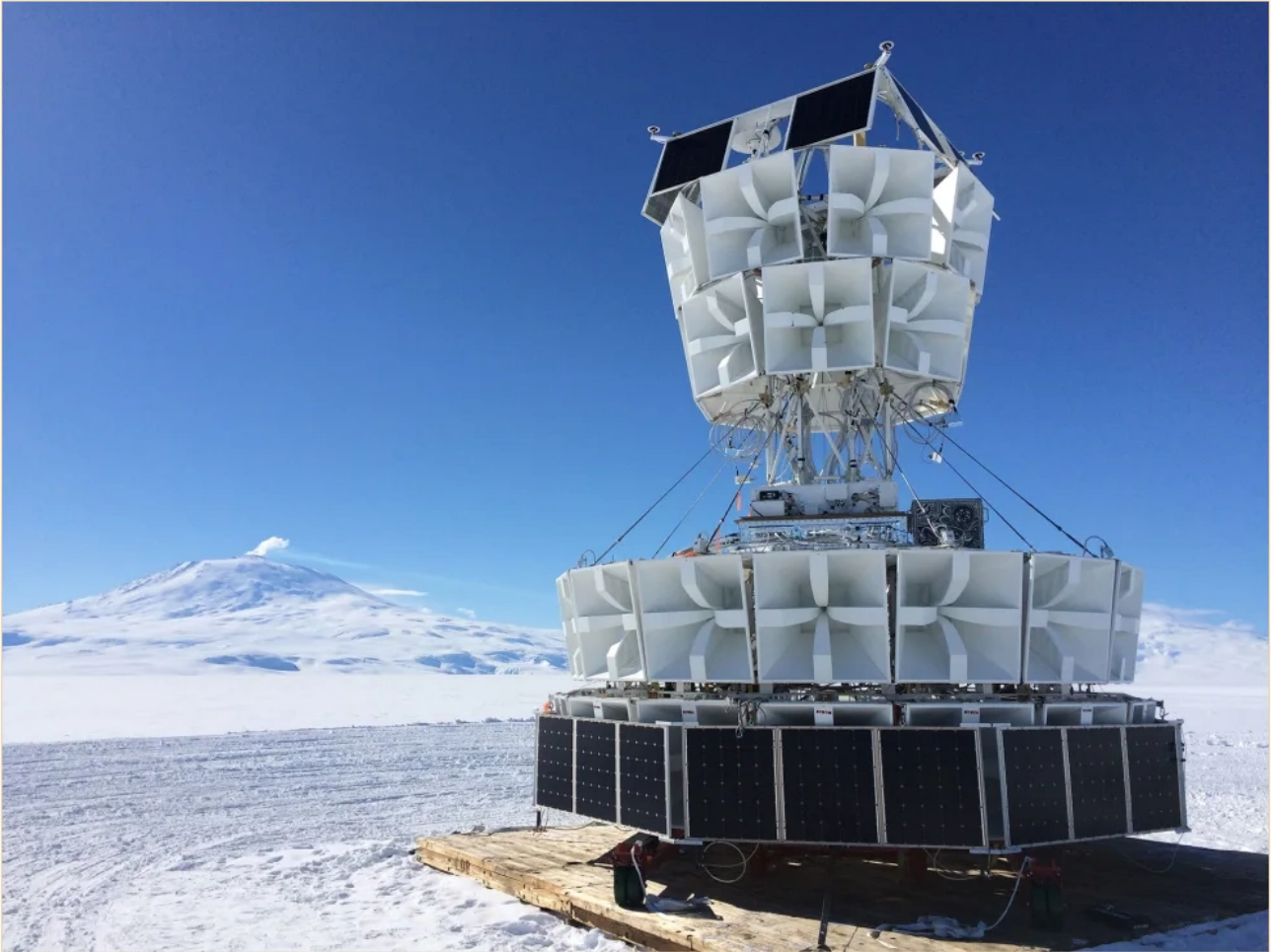
WHAT THE PAPER SAYS · WHAT IT DOESN'T · WHY IT MATTERS

Անտարկտիկայի վրայով անցած երկու անոմալ ռադիոիմպուլսները մնում են չբացատրված, իսկ «նոր մասնիկի» բացատրությունը կորցնում է աջակցությունը

Տարիներ առաջ օդապարհկով իրականացվող անտարկտիկական փորձը գրանցած երկու արտասովոր ռադիոիմպուլսները դեռ համաձայնեցված բացատրություն չունեն. Pierre Auger-ի հատուկ որոնումը չգտավ այն կասկադների հետքը, որոնք դրանք ենթադրաբար պետք է առաջացնեին, ինչի պատճառով Էկզոտիկ «նոր մասնիկի» մեկնաբանությունը շատ ավելի քիչ հավանական է դառնում, մինչդեռ անոմալիան մնում է չլուծված:

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



ANITA-ի 48 ակեհավաքներն ուղղված են դեպի Անտարկտիկայի սառույցը՝ 25 ֆուտ բարձրությամբ գոնդոլի վրա:

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

Փուչիկը, սառույցը և ներքևից եկած երկու իմպուլսները

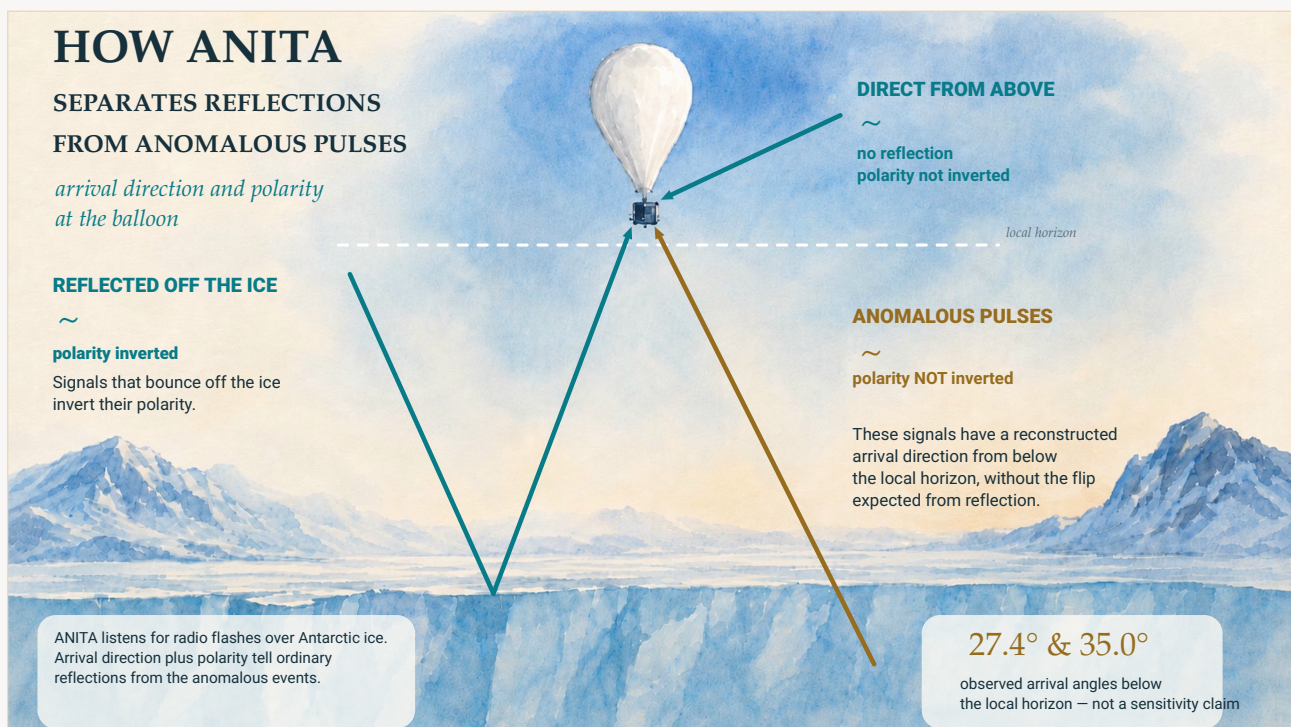
Իր աշխատանքի մեծ մասի ընթացքում Antarctic Impulsive Transient Antenna-ը՝ ANITA-ն, կախված է NASA-ի փուչիկից՝ Երկրի ամենադատարկ վայրի վրայով մոտ երեսուն կիլոմետր բարձրության վրա շաբաթներ շարունակ սավառնելով և լսելով:

Այն լսում է տիեզերքից եկող ռադիոազդանշանները: Երբ շատ բարձր էներգիայով մասնիկը՝ տիեզերական ճառագայթը կամ նեյտրինոն, հարվածում է մթնոլորտին կամ սառույցին, այն առաջացնում է ավելի փոքր մասնիկների կասկադ, իսկ այդ կասկադն արձակում է ռադիոյի կարճատև բոնկում: Անտարկտիկան գրեթե իդեալական է դրանք որսալու համար. կիլոմետրերով ձգվող մաքուր, սառը սառույց, որի միջով ռադիոն անցնում է գրեթե այնպես, կարծես ապակու միջով անցնի, և հարյուրավոր կիլոմետրերի երկայնքով ոչինչ չկա, որ ազդանշանը խճճի: ANITA-ի

խնդիրն է որսալ այդ բռնկումները և դրանց ձևից ու ժամանակային կառուցվածքից հասկանալ, թե ինչն է դրանք առաջացրել:

Նրա լսած ազդանշանների մեծ մասը կանոնավոր է: Որոշ բռնկումներ ուղիղ վերևից են գալիս: Շատ ավելի մեծ թվով բռնկումներ սահում են սառույցի վրայով, անդրադառնում և վերադառնում դեպի ավեհավաքը. դրանք ունեն տարբերակիչ նշան՝ անդրադարձը այլքը գլխիվայր է շրջում (ազդանշանի *բևեռականության* շրջում), ինչը ֆիզիկոսները կարող են միանգամից կարդալ: Այդպես կարելի է անդրադարձը տարբերել իրական ազդանշանից:

Երկու անգամ ինչոր բան խախտեց այս օրինաչափությունը:



Փուլիկի մոտ ուղիղ վերևից եկող իմպուլսը հասնում է առանց շրջվելու, մինչդեռ անդրադարձած իմպուլսը հասնում է շրջված բևեռականությամբ՝ սառույցից անդրադարձի սովորական նշանով: Փոխարենը երկու անոմալ իմպուլսները գալիս են տեղական հորիզոնից կտրուկ ներքև գտնվող *վերակառուցված* ուղղությունից, սակայն առանց այդպիսի շրջման, մինչդեռ անդրադարձի դեպքում դրանք շրջված կլինեին: «Ներքևից» արտահայտությունը նկարագրում է այդ հասնելու ուղղությունը, ոչ թե Երկրից դուրս բարձրացող մասնիկը:

Original hybrid diagram — The Clean Paper CC BY 4.0

2006-ի մեկ թռիչքի և 2014-ի մեկ այլ թռիչքի ժամանակ ANITA-ն որսաց հորիզոնից կտրուկ *ներքևից* եկող իմպուլս՝ համապատասխանաբար 27.4° և 35.0° ցածր, կարծես այն բարձրացել էր մայրցամաքի խորքից, և *առանց* շրջման: Ուրեմն՝ ոչ անդրադարձ: Ինչոր բան իսկապես վեր էր շարժվել սառույցից դեպի փուլիկը:

Ահա թե ինչու դա գրեթե սկանդալային է: Այդքան կտրուկ դեպի վեր ուղղությամբ ավեհավաքին հասնելու համար իմպուլսը ստեղծած ինչն էլ որ լինեք, պետք է անցներ

մոլորակի միջով՝ վեց կամ յոթ հազար կիլոմետր պինդ ապարով: Գրեթե ոչինչ չի կարող դա անել: Սովորական նյութի միջով գրեթե անարգել անցնող միակ հայտնի մասնիկը նեյտրինոն է, որն ամբողջ Երկրի միջով անցնում է՝ կարծես չնկատելով այն: Ուստի բնական գաղափարն այն է, որ նեյտրինոն անցել է ապարի միջով, սառույցի տակ բախվել ատոմի և առաջացրել դեպի վեր արագացող մասնիկների կասկադ, որի ռադիոբոնկումը որսացել է ANITA-ն: Խնդիրը, սակայն, ունի մի շրջադարձ. այս ազդանշանը ստեղծելու համար բավարար էներգիայով նեյտրինոն իրականում չափազանց հեշտ է կանգնեցնել: Այդքան ապարի միջով անցնելիս այն պետք է բազմիցս կլանվեր: Իսկ նեյտրինոների այնպիսի հոսքը, որից երկու մասնիկ, այնուամենայնիվ, անցնեին, պետք է գրանցված լիներ հենց դա որսալու համար կառուցված հսկայական դետեկտորներում: Կոկիկ բացատրություններից ոչ մեկը լիովին համոզիչ չէր:

Այսպիսով, երկու իմպուլսները մնացին անպատասխան՝ հրաժարվելով կանոնավոր վարքից: Սա հայտնագործությունն էր՝ երկու իրադարձությունը երբեք հայտնագործություն չեն, բայց նաև ոչինչ չէր: Իսկական անոմալիա էր՝ այն տեսակը, որը հետաքրքիր է հենց այն պատճառով, որ դեռ ոչ ոք չէր կարող ասել՝ սա ֆիզիկայի Ստանդարտ մոդելի ճեղք է, թե պարզապես սառույցի, ալեհավաքի կամ հաշվարկների առանձնահատկություն:

Հենց այստեղ է, որ որոշակի տիպի լուսաբանումը դիմում է *ստեղծվածային* բառին, մարում լույսերը և հարցնում, թե ինչ կարող է ապրել Անտարկտիկայի տակ: Դիմադրեք այդ գայթակղությանը: Իրական հարցը երբեք այն չէր, թե *ինչ հրեշ է սառույցի մեջ*: Դա այն համբերատար, ոչ փայլուն հարցն էր, որն իրականում առաջ է մղում գիտությունը. **ինչպե՞ս կարելի էր դա պարզել:**

Ինչ արեցին հեղինակները

Հետաքրքիր բացատրությունները ստուգելու մաքուր եղանակ կա: Եթե ANITA-ի իմպուլսները գալիս են դեպի վեր շարժվող կասկադների իրական և կրկնվող հոսքից՝ լինի դա սովորական տաունեյտրինոների, թե որևէ առաջարկված նոր մասնիկի դեպքում, ապա հենց այդ իրադարձություններին հետևող բավական մեծ դետեկտորը պետք է դրանց մի մասը որսար:

Արգենտինայում գտնվող Pierre Auger Observatory-ն՝ երբևէ կառուցված տիեզերական ճառագայթների ամենամեծ դետեկտորը, լավ դիրքավորված է որոնման համար: Օգտագործելով իր ֆլուորեսցենտային դետեկտորը՝ համագործակցությունը որոնեց դեպի վեր շարժվող օդային կասկադներ (ներքևից եկող, զենիթի նկատմամբ 110° -ից ավելի անկյուններով և 0.1 EeV -ից բարձր էներգիաներով) 2004-ից 2018 թվականներն ընդգրկող տվյալներում: Կարևոր է, որ ամբողջ ընտրության չափանիշները սահմանվել էին *նախքան* ամբողջական տվյալների հավաքածուն ուսումնասիրելը. սա «կույր» վերլուծություն էր, ուստի պատասխանը հնարավոր չէր հարմարեցնել ակնկալվող արդյունքին:

Ինչ գտան նրանք

Կույր վերլուծության բացումից հետո **մեկ** թեկնածու իրադարձություն անցավ ընտրությունը. այն լիովին համատեղելի էր սովորական տիեզերական ճառագայթների՝ երբեմն սխալմամբ դեպի վեր շարժվող կասկադների նման վերակառուցվելու հետևանքով սպասվող 0.27 ± 0.12 իրադարձության հետ: Այլ կերպ ասած՝ դեպի վեր շարժվող իրական ազդանշան չկար, պարզապես սպասվող ֆոնային հոսքը:

Արդյունքի ուժը համեմատության մեջ է: Եթե ANITA-ի իմպուլսները գալիս էին դեպի վեր շարժվող կասկադների կայուն հոսքից, Auger-ը պետք է գրանցեր **բազմաթիվ** իրադարձություններ՝ մոտավորապես 34-ից 69 նման իրադարձություն էներգետիկ սպեկտրի մի հնարավոր տարբերակի դեպքում, և առնվազն մոտ 8՝ նույնիսկ կանխամտածված պահպանողական ենթադրությունների ներքո: Այն գտավ մեկը, որը համատեղելի էր ֆոնի հետ: Հեղինակները սա նկարագրում են որպես դեպի վեր շարժվող կասկադների մեկնաբանության հետ «ուժեղ անհամաձայնություն»:

Ինչ է սա, հավանաբար, նշանակում

Այս չափի չհայտնաբերումը տեղեկություն է տալիս: Եթե ANITA-ի իրադարձությունները գալիս էին այդ ուղղություններից ժամանող մասնիկների իրական պոպուլյացիայից՝ սովորական տառնետրինոներից կամ դրանք բացատրելու համար առաջարկված հիպոթետիկ նոր մասնիկներից, Auger-ի երկարատև դիտարկումները պետք է զգալի թվով իրադարձություններ որսային: Այդպես չեղավ: Սա փաստորեն բացառում է «դեպի վեր շարժվող կասկադների դիֆուզ հոսքի» բացատրությունը՝ այն կատեգորիան, որի մեջ մտնում են Ստանդարտ մոդելից դուրս գաղափարների մեծ մասը, եթե չկան հատուկ, արհեստականորեն ընտրված պայմաններ:

Մնում են այն բացատրությունները, որոնք կասկադներ առաջացնող մասնիկների հոսք չեն ենթադրում. ամենից հաճախ քննարկվողներն են սառույցին և հորիզոնի մոտ երկրաչափությանը հատուկ անդրադարձի կամ տարածման ազդեցությունը, կամ գործիքային կամ վերլուծական սխալը: Դրանցից ոչ մեկը հաստատված չէ: Ուստի ազնիվ ամփոփումն այս է. ամենահետաքրքիր մեկնաբանությունը լուրջ հարված ստացավ, իսկ պատճառը դեռ անհայտ է:

Ինչը սա չի ապացուցում

- Այն **չի** բացահայտում, թե ինչ են երկու իմպուլսները: «Նոր ֆիզիկան խիստ անհավանական է դարձնում» արտահայտությունը նույնը չէ, ինչ «խնդիրը լուծված է»:
- Այն **չի** հաստատում առօրյա, ոչ էկզոտիկ պատճառ: Առաջատար թեկնածուն՝ Անտարկտիկայի մակերևույթի տակից անդրադարձը, շարունակում է մնալ

վարկած, ոչ թե արդյունք:

- Այն **չի** հայտնաբերում բառացի իմաստով որևէ բան «սառույցի տակից»: ANITA-ի ալեհավաքները կախված են Անտարկտիկայի *վերևում* գտնվող փուչիկից. «ներքևից» նկարագրում է ռադիոիմպուլսի վերակառուցված հասնելու ուղղությունը, ոչ թե ձայն, ձայնային հաղորդագրություն կամ սառույցի ներսից բխող որևէ բան:
- Այն **չի** աջակցում հաստատված նոր մասնիկի մասին պնդումներին: Այս պատմության ամենալայն տարածում գտած տարբերակը ապացույցների ուղղությանը հակառակ է գնում:

Որքա՞ն ուժեղ է ապացույցը

Համեստ, և հենց այդպես էլ է ներկայացվում:

- Ստանդարտ մոդելից դուրս ֆիզիկայի նկատմամբ հետաքրքրությունը հիմնված է ըստ էության **երկու** իրադարձության վրա՝ ANITA-ի երկու թռիչքներից:
- Այս հոդվածը **գրոյական արդյունք** է. այն հզոր է հնարավորությունները բացառելու համար, բայց չի կարող ասել, թե ինչ *են* այդ իրադարձությունները:
- Բացառումը քանակական և ուժեղ է (սպասվում էին տասնյակ իրադարձություններ, դիտվեց ֆոնին նմանվող մեկը), սակայն այն վերաբերում է «դեպի վեր շարժվող կասկադների հոսք» մեկնաբանությանը, ոչ թե հնարավոր յուրաքանչյուր պատճառի:
- Առաջատար առօրյա բացատրությունը՝ մակերևութին մոտ անդրադարձը, հավանական է, բայց ապացուցված չէ. որոշ այլընտրանքներ (անցումային ճառագայթման որոշ մոդելներ) այլ աշխատանքների կողմից անհավանական են համարվել:
- Ոչ մի փորձ անկախ կերպով չի վերարտադրել սկզբնական անոմալիան:

Սա փոքր, համառ հանելուկի վրա դրված կտրուկ սահմանափակում է, ոչ թե հայտնագործություն:

Ինչու է սա կարևոր

Առաջարկված բացատրությունները հասնում էին մինչև Էկզոտիկ նոր մասնիկներ: Ամենահետաքրքիր տարբերակի հետևից վազելու փոխարեն ոլորտը արեց ոչ փայլուն, բայց կարևոր բանը. գաղափարը ստուգեց անկախ և շատ ավելի մեծ դետեկտորի միջոցով, ու տվյալները պատասխանեցին՝ ոչ: Ավելի մեծ և զգայուն հաջորդ սերնդի գործիք՝ PUEO-ն, կառուցվում է՝ կրկին որոնելու համար:

Անոմալիան, ի վերջո, կարող է սովորական բան լինել: Դա ձախողում չէր լինի: Զբացատրված չափումը նեղացնելը, մինչև այն կամ վերանա, կամ ստիպի իրական հայտնագործություն անել, հենց աշխատանքն է, և դրան արժե հետևել հենց այն պատճառով, որ առայժմ ազնիվ պատասխանը դեռ «չգիտենք» է:

Կարճ ամփոփում

ANITA-ի 2006 և 2014 թվականների անտարկտիկական փուչիկային թռիչքների երկու ռադիոիմպուլսները կարծես գալիս են հորիզոնից կտրուկ ցածր անկյուններից, որոնք Ստանդարտ մոդելը դժվարությամբ է բացատրում: Pierre Auger Observatory-ի հետ 2025-ին իրականացված հատուկ որոնումը գտավ ընդամենը մեկ թեկնածու իրադարձություն, որը համատեղելի էր ֆոնի հետ, մինչդեռ տասնյակներ էին սպասվում, եթե իմպուլսները գալիս դեպի վեր շարժվող կասկադների հոսքից: Սա խիստ անհավանական է դարձնում Էկզոտիկ «նոր մասնիկի» մեկնաբանությունը և մատնանշում է ANITA-ին հատուկ անդրադարձի, տարածման կամ գործիքային ազդեցություն, սակայն պատճառը դեռ իսկապես անհայտ է: Սա ոչ հաստատված նոր մասնիկ է, ոչ էլ սառույցի ներսից եկող խորհրդավոր ազդանշան:

Անկեղծության ստուգում

Ինչ է ցույց տալիս հոդվածը. Pierre Auger-ի` դեպի վեր շարժվող օդային կասկադների նկատմամբ կույր որոնումը (2004-2018) գտավ մեկ թեկնածու, որը համատեղելի էր տիեզերական ճառագայթների սպասվող 0.27-իրադարձությամբ ֆոնի հետ: Եթե ANITA-ի անումալիաները նման կասկադների հոսքից առաջացած լինեին, Auger-ը պետք է գրանցեր մոտավորապես 34-69 իրադարձություն (կամ առնվազն ~8` պահպանողական ենթադրությունների ներքո): Սա խիստ անհավանական է դարձնում դեպի վեր շարժվող կասկադների մեկնաբանությունը, այդ թվում` Ստանդարտ մոդելից դուրս «նոր մասնիկի» սցենարները:

Ինչը հավանական է, բայց ապացուցված չէ. Սառույցի և հորիզոնի մոտ անդրադարձի կամ ռադիոտարածման ազդեցություն, կամ ANITA-ին հատուկ գործիքային/վերլուծական սխալ:

Ինչը սա չի ցույց տալիս. Որ իրադարձություններն առաջացել են նոր մասնիկից, որ դրանք սառույցի տակից եկող ազդանշաններ են, որ որևէ պարանորմալ, արհեստական կամ լսելի բան է ներգրավված, կամ որ պատճառն այժմ հայտնի է:

Հիմնական սահմանափակումները. Ստանդարտ մոդելից դուրս ֆիզիկայի նկատմամբ հետաքրքրությունը հիմնված է ~երկու իրադարձության վրա. սա գրոյական արդյունք է, որը սահմանափակում է, բայց չի կարող նույնականացնել պատճառը. բացառումը հատուկ վերաբերում է «կասկադների հոսք» մեկնաբանությանը. սկզբնական անումալիայի անկախ վերարտադրություն չկա:

Որքա՞ն վստահություն պետք է ունենա ընդհանուր ընթերցողը: Բարձր վստահություն, որ սա ոչ հաստատված նոր մասնիկ է և ոչ սառույցի ներսից եկող ազդանշան, և որ Էկզոտիկ հոսքի մեկնաբանությունն այժմ խիստ անհավանական է: Ճշմարիտ պատճառի վերաբերյալ վստահությունը ցածր է, քանի որ այն դեռ բաց հարց է: Պատշաճ մոտեցումն է` հետաքրքրասիրություն չլուծված անումալիայի նկատմամբ, որը, ամենայն հավանականությամբ, սովորական պատճառ ունի:

Աղբյուրներ

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>