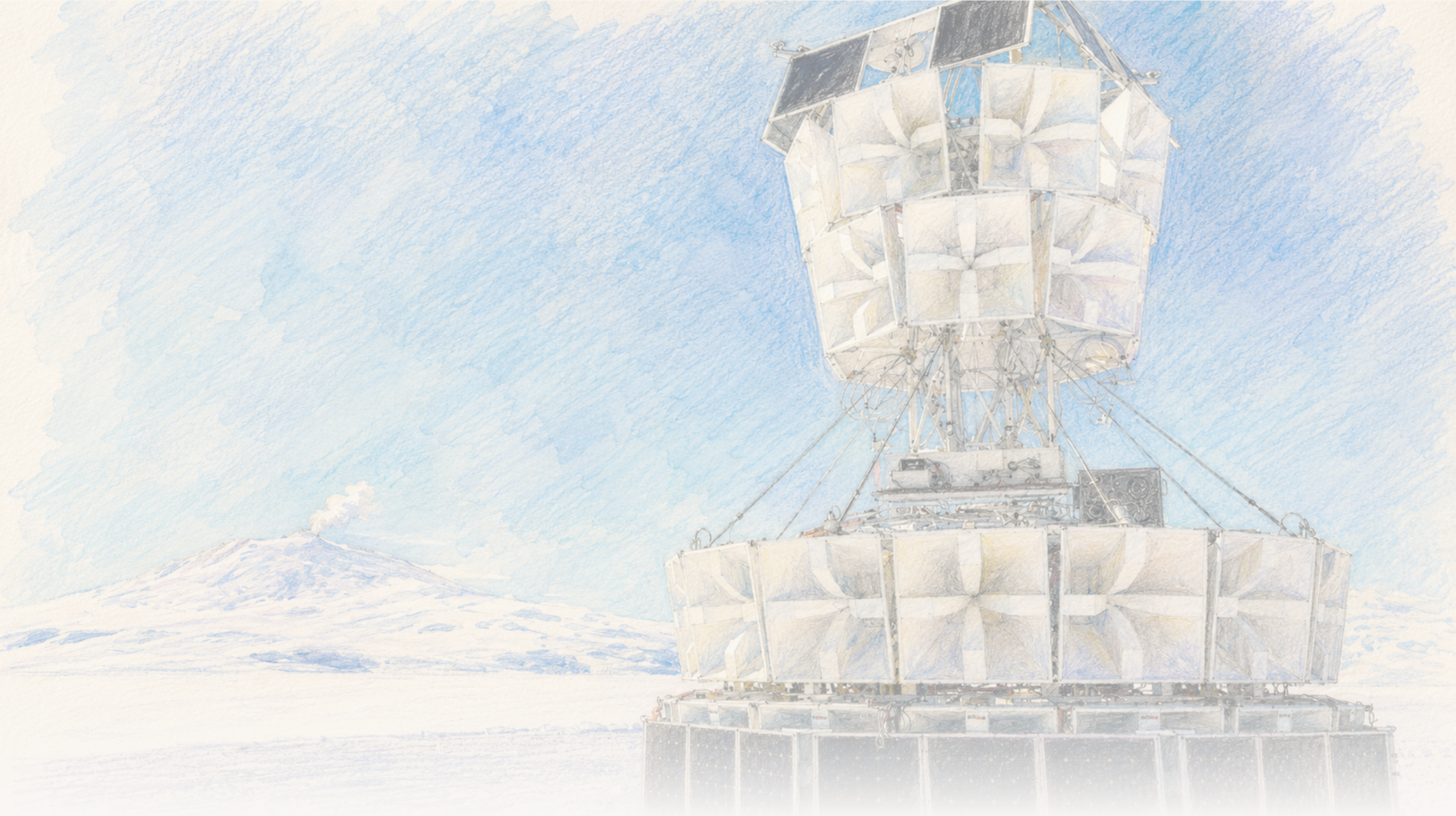


The Clean Paper

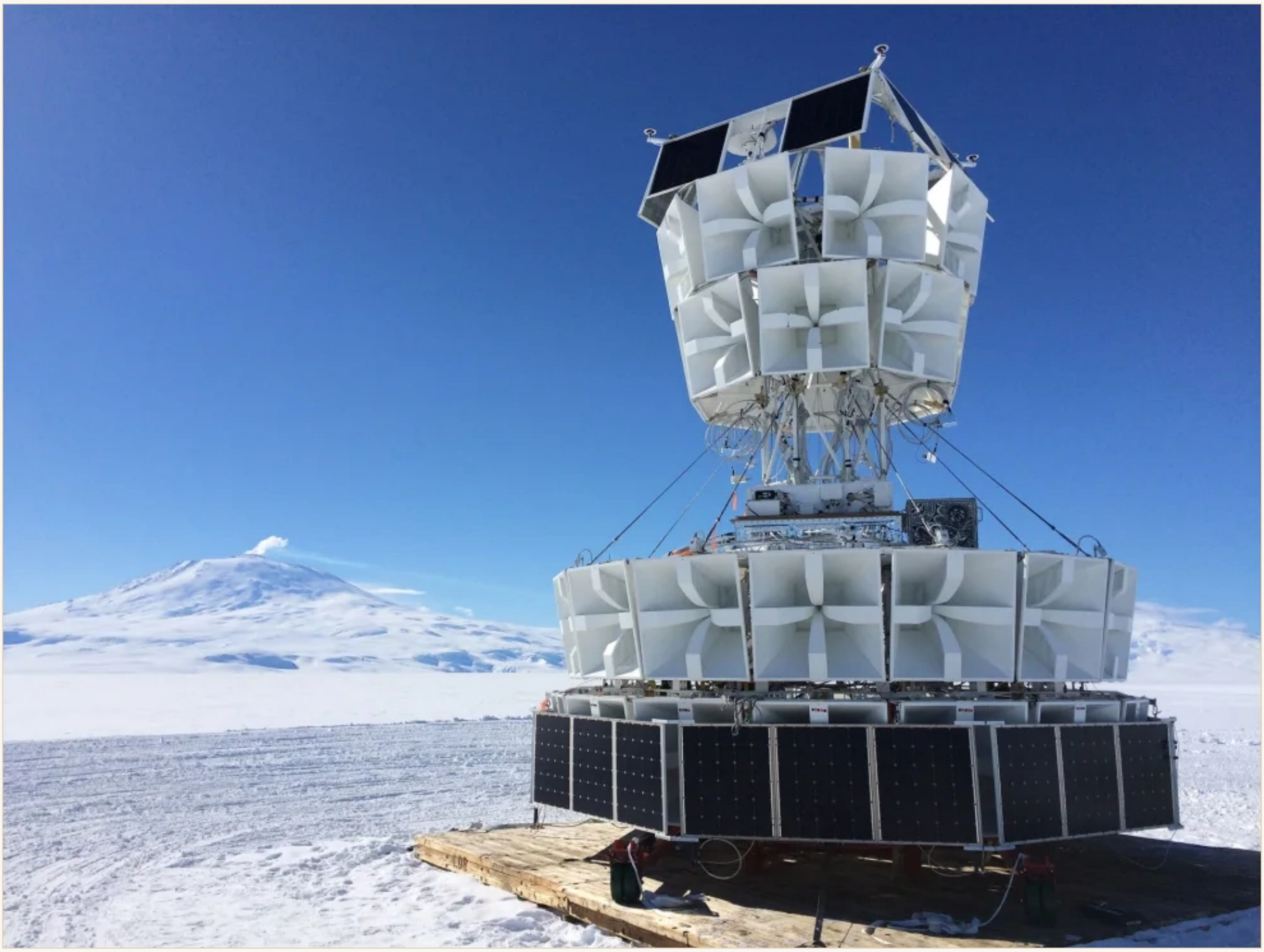
WHAT THE PAPER SAYS · WHAT IT DOESN’T · WHY IT MATTERS

በአንታርክቲካ ላይ የተመዘገቡ ሁለት ያልተለመዱ የሬዲዮ ምቶች አሁንም አልተብራሩም — የ“አዲስ ቅንጣት” ማብራሪያም ድጋፍ እያጣ ነው

ከዓመታት በፊት በአንታርክቲካ ፊኛ ሙከራ የተመዘገቡ ሁለት ያልተለመዱ የሬዲዮ ምቶች አሁንም የተስማማበት ማብራሪያ የላቸውም፤ ልዩ የPierre Auger ፍለጋ እነሱ ሊያመለክቱ የሚገባውን የቅንጣት ዝናብ አላገኘም፣ ይህም የ“አዲስ ቅንጣት” ትርጓሜን በጣም እያዳከመ አኖማሊውን ግን ሳይፈታ ይተዋል።

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



የANITA 48 አንቴናዎች 25 ጫማ ከፍታ ባለው ጎንዶላ ላይ ሆነው ወደ አንታርክቲካ በረዶ ወደ ታች ያነጣጥራሉ።

Christian Miki / University of Hawaiʻi at Mānoa fair-use assertion

ፊኛው፣ በረዶው እና ከታች የመጡ ሁለት ምቶች

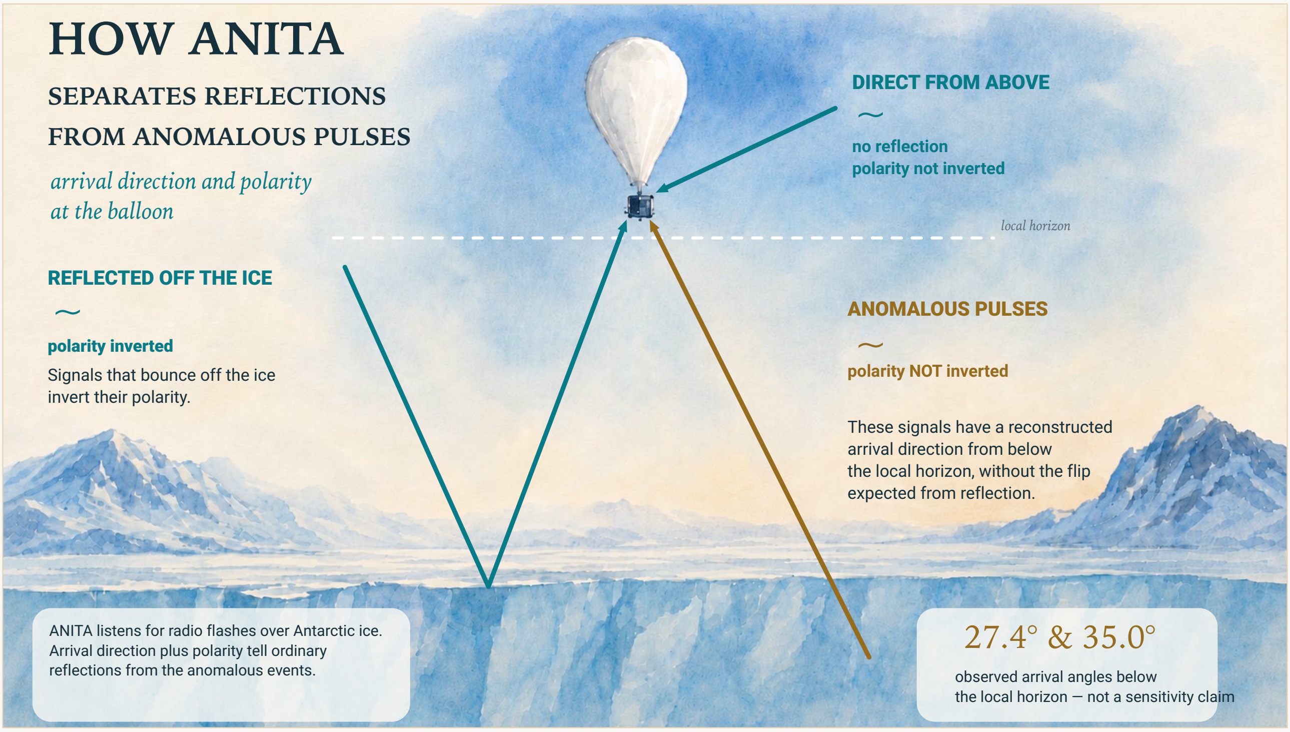
በአብዛኛው የሥራ ዘመኑ፣ Antarctic Impulsive Transient Antenna — ANITA — ከNASA ፊኛ ሥር ተንጠልጥሎ፣ ከመሬት ሠላሳ ያህል ኪሎሜትር ከፍ ብሎ፣ በምድር ላይ ካሉ ቦታዎች ሁሉ ይበልጥ ባዶ በሆነው ስፍራ ላይ ለሳምንታት እየተንሳፈፈ ያዳምጣል።

የሚያዳምጠው ከሕዋ የሚመጡ የሬዲዮ ምልክቶችን ነው። በጣም ከፍተኛ ኃይል ያለው ቅንጣት — ኮስሚክ ጨረር ወይም ኒውትሪኖ — አየርን ወይም በረዶን ሲመታ፣ ወደ ብዙ ትናንሽ ቅንጣቶች ይበተናል፤ ይህ የቅንጣት ዝናብም አጭር የሬዲዮ ብልጭታ ይለቃል። አንታርክቲካ እነዚህን ለመያዝ ፍጹም ወደሚባል የቀረበ ቦታ ነው፤ ሬዲዮ እንደ መስታወት የሚያልፍበት ንጹሕና ቀዝቃዛ በረዶ ለኪሎሜትሮች ይዘልቃል፣ እንዲሁም ምልክቱን የሚያውክ ነገር ለመቶዎች ኪሎሜትሮች የለም። የANITA ሥራ እነዚህን ብልጭታዎች መያዝና ከቅርጻቸውና ከጊዜያቸው ምን እንዳመነጫቸው ማንበብ ነው።

የሚሰማው አብዛኛው ነገር የሚጠበቀውን ባህሪ ይከተላል። አንዳንድ ብልጭታዎች በቀጥታ ከላይ ይመጣሉ። ብዙዎቹ ደግሞ በረዶውን ገጭተው ወደ አንቴናው ተመልሰው ይወጣሉ — እነዚህም ግልጽ መለያ ይዘዋል፤ ከበረዶው መመለሱ ሞገዱን ይገለብጠዋል (የምልክቱን *polarity* ይቀይራል)፣ ይህም የፊዚክስ ባለሙያዎች ወዲያውኑ የሚያውቁት ፊርማ

ነው። ነጸብራቅን ከቀጥታ ምልክት የሚለዩት በዚህ ነው።

ሁለት ጊዜ ግን ይህን ሥርዓት የጣሰ ነገር መጣ።



በፊኛው አጠገብ፣ በቀጥታ ከላይ የመጣ ምት ሳይገለበጥ ይደርሳል፤ ከበረዶው የተንጸባረቀ ምት ግን polarity ተገልብጦ ይደርሳል — ይህ ከበረዶው የመመለስ የተለመደ ምልክት ነው። ሁለቱ ያልተለመዱ ምቶች ግን ከአካባቢው አድማስ በጣም በታች ካለ እንደገና ከተገመተ አቅጣጫ ይመጣሉ — ነጸብራቅ ሊገለብጣቸው ሲገባ፣ እነሱ አልተገለበጡም። “ከታች” የሚለው የተገመተውን የመድረሻ አቅጣጫ ይገልጻል — ቅንጣት ከምድር ውስጥ እየወጣ መሆኑን አይደለም።

Original hybrid diagram — The Clean Paper CC BY 4.0

በ2006 በአንድ በረራ እና በ2014 በሌላ በረራ፣ ANITA ከአድማሱ በጣም *በታች* — በቅደም ተከተል 27.4° እና 35.0° ከታች — የመጣ ምት ያዘ፤ ይህም ከአህጉሩ ወደ ላይ የወጣ ይመስል ነበር፣ *መገልበጥም* አልነበረውም። እንግዲህ ነጸብራቅ አይደለም። ከበረዶው ወደ ፊኛው በእውነት ወደ ላይ የተጓዘ ነገር ይመስላል።

ይህ ለምን ለማመን እጅግ እንደሚያስቸግር ምክንያቱ ይህ ነው። አንቴናውን በእንዲህ ጠመዝማዛ ወደ ላይ በሚያመራ አቅጣጫ ለመድረስ፣ ምቱን የፈጠረው ምንም ነገር ቢሆን በፕላኔቷ አካል ውስጥ — በስድስት ወይም በሰባት ሺህ ኪሎሜትር ጠንካራ ዓለት — ማለፍ ነበረበት። ከሞላ ጎደል ምንም ነገር ይህን ማድረግ አይችልም። በተለመደ ቁስ ውስጥ እንደሌለ የሚያልፍ የሚታወቀው ቅንጣት ኒውትሪኖ ነው፤ መላውን ምድር ምንም ሳይመታ ሊያልፍ ይችላል። ስለዚህ የተፈጥሮ ግምት ኒውትሪኖ በዓለቱ ውስጥ ወደ ላይ አልፎ፣ ከበረዶው በታች አቶምን መቶ፣ ወደ ላይ የሚሮጡ የቅንጣት ዝናብ ፈጥሮ፣ ANITAም የሬዲዮ ብልጭታውን ያዘ የሚል ነበር። ችግሩ ግን ይህ ነው፤ ይህን ምልክት ለመፍጠር በቂ ኃይል ያለው ኒውትሪኖ በእውነቱ በቀላሉ ይቆማል። በዚህ ያህል ዓለት ውስጥ ብዙ ጊዜ መዋጥ ነበረበት። እንዲሁም ሁለቱ እንኳ እንዲያልፉ የሚያስችል ጠንካራ የኒውትሪኖ ፍሰት በትክክል እነሱን ለመያዝ በተገነቡ ግዙፍ መፈለጊያዎች ውስጥ መታየት ነበረበት። ከቀላሉ ማብራሪያዎች አንዱም ጉዳዩን ሙሉ በሙሉ አልዘጋውም።

ስለዚህ ሁለቱ ምቶች ለሥርዓቱ እምቢ እያሉ ቀሩ። ግኝት አልነበረም — ሁለት ክስተቶች ብቻቸውን ግኝት አይሆኑም — ግን ምንም ነገር አልነበሩም ማለትም አይደለም። እውነተኛ አኖማሊ ነበር፤ በፊዚክስ መደበኛ ሞዴል ውስጥ ስንጥቅ መሆኑን ወይም የበረዶው፣ የአንቴናው ወይም የስሌቱ ልዩ ባህሪ መሆኑን ማንም መናገር ስላልቻለ በትክክል የሚስብ አይነት ነበር።

እዚህ ላይ አንዳንድ የዜና ሽፋኖች ምስጢራዊ የሚለውን ቃል ይወስዳሉ፣ መብራቱን ያደበዝዛሉ፣ ከአንታርክቲካ በታች ምን ሊኖር እንደሚችል ይጠይቃሉ። ይህን ተቃወሙ። እውነተኛው ጥያቄ በበረዶው ውስጥ ምን ፍጡር አለ የሚል አልነበረም። ሳይንስን በእውነት ወደፊት የሚያንቀሳቅሰው ትዕግሥተኛና ያልተዋበ ጥያቄ ነበር፡- እንዴት ታውቃለህ?

ደራሲዎቹ ምን አደረጉ?

በጣም የሚያስደስቱትን ማብራሪያዎች ለመፈተሽ ግልጽ መንገድ አለ። የANITA ምቶች ከእውነተኛና ተደጋጋሚ ወደ ላይ ከሚወጡ የቅንጣት ዝናቦች ፍሰት የመጡ ከሆነ — ከተለመዱ tau-neutrinos ወይም ከታሰበ አዲስ ቅንጣት — በቂ ትልቅ የሆነና እነዚህን ክስተቶች በትክክል የሚፈልግ መፈለጊያ ከእነሱ የተወሰኑትን መያዝ ነበረበት።

በአርጀንቲና የሚገኘው Pierre Auger Observatory — እስካሁን የተገነባው ትልቁ የኮስሚክ ጨረር መፈለጊያ — ለመመልከት በተገቢ ቦታ ነው። ቡድኑ Fluorescence Detectorን በመጠቀም ከ2004 እስከ 2018 ባለው መረጃ ውስጥ ወደ ላይ የሚሄዱ የአየር ቅንጣት ዝናቦችን (ከታች የሚመጡ፣ ከ110° በላይ የzenith አንግል እና ከ0.1 EeV በላይ ኃይል ያላቸው) ፈለገ። ዋናው ነገር፣ ሙሉው መረጃ ከመመርመሩ በፊት ሁሉም የምርጫ መመዘኛዎች ተወስነው ነበር — መልሱ ወደሚፈለገው ውጤት እንዳይገፋ የተደረገ “ዓይነ ስውር” ትንተና።

ምን አገኙ?

መረጃው ከተከፈተ በኋላ አንድ ተጠርጣሪ ክስተት ብቻ ቀረ — ይህም አልፎ አልፎ ወደ ላይ እንደሚሄዱ በስህተት ከሚገመቱ ተለመዱ ኮስሚክ ጨረሮች ከሚጠበቁ 0.27 ± 0.12 ክስተቶች ጋር ሙሉ በሙሉ ይስማማል። በሌላ አነጋገር እውነተኛ ወደ ላይ የሚሄድ ምልክት አልነበረም፤ የታሰበው ትንሽ የጀርባ ድምፅ ብቻ ነበር።

የውጤቱ ኃይል በንጽጽሩ ውስጥ ነው። የANITA ምቶች ከቋሚ ወደ ላይ የሚወጡ ዝናቦች ፍሰት የመጡ ከሆነ፣ Auger ብዙ መመዝገብ ነበረበት — ለአንድ ምክንያታዊ የኃይል ስርጭት ከ34 እስከ 69 ያህል፣ እና ሆን ተብሎ በተጠንቀቀ ግምት እንኳ ቢያንስ 8 ያህል። ከጀርባ ድምፅ ጋር የሚስማማ አንድ አገኘ። ደራሲዎቹ ይህን ከወደ ላይ የሚሄድ ዝናብ ትርጓሜ ጋር “ጠንካራ አለመስማማት” ብለውታል።

ይህ ምን ማለት ይሆናል?

በዚህ ደረጃ አለመገኘት መረጃ ይሰጣል። የANITA ክስተቶች ከእነዚህ አቅጣጫዎች ከሚመጡ እውነተኛ ቅንጣቶች — ተለመዱ tau-neutrinos ወይም እነሱን ለማብራራት ከቀረቡ አዲስ ግምታዊ ቅንጣቶች — የመጡ ከሆነ፣ የAuger ረጅም ክትትል ብዙ መያዝ ነበረበት። አልያዘም። ይህም “የተበተነ ወደ ላይ የሚሄድ ዝናብ ፍሰት” ማብራሪያን — አብዛኛዎቹ ከመደበኛ ሞዴል ውጭ ያሉ ሐሳቦች የሚገቡበትን ምድብ — ልዩ የተገጣጠሙ ሁኔታዎች ካልነበሩ በቀር በተግባር ይጥለዋል።

የሚቀሩት የቅንጣት ዝናብ ፍሰት ያልሆኑ ማብራሪያዎች ናቸው፤ በብዛት የሚወያዩት ከበረዶና ከአድማስ አቅራቢያ ጂኦሜትሪ ጋር የተያያዘ የነጸብራቅ ወይም የሬዲዮ ስርጭት ተፅዕኖ፣ ወይም የመሣሪያ/ትንተና ስህተት ነው። አንዳቸውም አልተረጋገጡም። ስለዚህ ታማኝ ማጠቃለያው፡- በጣም የሚያስደስተው ትርጓሜ ከባድ ጉዳት ደርሶበታል፣ መንስኤው ግን አሁንም አይታወቅም።

ይህ የማያረጋግጠው

- ሁለቱ ምቶች ምን እንደሆኑ አይለይም። “አዲስ ፊዚክስን በጣም ያዳክማል” ማለት “ተፈትቷል” ማለት አይደለም።
- ተራ መንስኤን አያረጋግጥም። ዋናው ግምት — ከአንታርክቲካ ወለል በታች የሚመጡ ነጸብራቆች — አሁንም መላምት ነው፣ ውጤት አይደለም።
- በቃል ትርጉም “ከበረዶው በታች” የሆነ ነገር አያገኝም። የANITA አንቴናዎች ከአንታርክቲካ በላይ በፊኛ ላይ ይንጠለጠላሉ፤ “ከታች” የሚለው የሬዲዮ ምት የተገመተውን የመድረሻ አቅጣጫ ይገልጻል — ድምፅ፣ የሰው ንግግር ወይም ከበረዶው ውስጥ የሚወጣ ነገር አይደለም።
- የተረጋገጠ አዲስ ቅንጣት የሚል ጥያቄን አይደግፍም። በስፋት የተሰራጨው የታሪኩ ስሪት ማስረጃው ወደሚያመለክተው ተቃራኒ አቅጣጫ ይሄዳል።

ማስረጃው ምን ያህል ጠንካራ ነው?

መካከለኛ ነው፣ እና እንዲሁ ተገልጿል።

- ከመደበኛ ሞዴል ውጭ ያለው ፍላጎት በመሠረቱ ከሁለት የANITA በረራዎች በተገኙ ሁለት ክስተቶች ላይ ነው።
- ይህ ጽሑፍ ያለ ግኝት ውጤት ነው፤ አማራጮችን ለማግለል ጠንካራ ነው፣ ክስተቶቹ ምን እንደሆኑ ግን መናገር አይችልም።
- ማግለሉ በቁጥር የተደገፈና ጠንካራ ነው (ብዙ ክስተቶች ተጠብቀው፣ ከጀርባ ድምፅ ጋር የሚመሳሰል አንድ ታይቷል) — ግን የሚያነጣጥረው “ወደ ላይ የሚሄድ ዝናብ ፍሰት” ትርጓሜን ነው፣ ሊታሰብ የሚችልን ሁሉንም መንስኤ አይደለም።
- ዋናው ተራ ማብራሪያ (በወለሉ አቅራቢያ ነጸብራቅ) ሊሆን ይችላል ግን አልተረጋገጠም፤ አንዳንድ አማራጮች (የተወሰኑ transition-radiation ሞዴሎች) በሌሎች ሥራዎች ተዳክመዋል።
- ምንም ሙከራ የመጀመሪያውን አኖማሊ በገለልተኛነት እንደገና አላገኘውም።

ይህ በትንሽ ግን በግትር እንቆቅልሽ ላይ የተቀመጠ ጠንካራ ገደብ ነው — ግኝት አይደለም።

ለምን አስፈላጊ ነው?

የቀረቡት ማብራሪያዎች እስከ አዳዲስ እንግዳ ቅንጣቶች ድረስ ደረሱ። መስኩ በጣም የሚያስደስተውን ከማሳደድ ይልቅ ያልተዋበውን ሥራ ሠራ፤ ሐሳቡን በገለልተኛና በጣም ትልቅ መፈለጊያ ፈተነ — መረጃውም አይሆንም አለ። ትልቅና ይበልጥ ስሱ ተተኪ መሣሪያ PUEO እንደገና ለመመልከት እየተገነባ ነው።

አኖማሊው በመጨረሻ ተራ ነገር ሊሆን ይችላል። ይህ ውድቀት አያደርገውም። ያልተብራራ መለኪያን እስኪጠፋ ወይም እውነተኛ ግኝትን እስኪያስገድድ ድረስ ማጥበብ ራሱ ሥራው ነው — እና አሁን ያለው ታማኝ መልስ “አናውቅም” ስለሆነ በትክክል ሊከታተል ይገባል።

ግልጽ ማጠቃለያ

በ2006 እና በ2014 የANITA የአንታርክቲካ ፊኛ በረራዎች የተያዙ ሁለት የሬዲዮ ምቶች መደበኛ ሞዴል ለማብራራት ከሚቸገርበት ከአድማስ በታች ጠመዝማዛ አንግል የመጡ ይመስላሉ። በ2025 በPierre Auger Observatory የተደረገ ልዩ ፍለጋ፣ ምቶቹ ከወደ ላይ የሚሄዱ ዝናቦች ፍሰት ቢመጡ ብዙ ክስተቶች ሊኖሩ በሚገባበት ቦታ፣ ከጀርባ ድምፅ ጋር የሚስማማ አንድ ተጠርጣሪ ብቻ አገኘ። ይህ የ“አዲስ ቅንጣት” ትርጓሜን በጣም ያዳክማል፣ እና ለANITA ልዩ የሆነ የነጸብራቅ፣ የስርጭት ወይም የመሣሪያ ተፅዕኖን ያመለክታል — መንስኤው ግን በእውነት አሁንም አይታወቅም። የተረጋገጠ አዲስ ቅንጣት አይደለም፣ ከበረዶው ውስጥ የመጣ ምስጢራዊ ምልክትም አይደለም።

ከማጋነን ነፃ ምርመራ

ጽሑፉ የሚያሳየው: ወደ ላይ የሚሄዱ የአየር ቅንጣት ዝናቦችን የፈለገው የPierre Auger ዓይነ ስውር ፍለጋ (2004–2018)፣ ከተጠበቀው 0.27 የኮስሚክ ጨረር ጀርባ ጋር የሚስማማ አንድ ተጠርጣሪ አገኘ። የANITA አኖማሊዎች ከእንዲህ ያሉ ዝናቦች ፍሰት ቢመጡ፣ Auger ከ34–69 ያህል (ወይም በተጠንቀቀ ግምት ቢያንስ ~8) ማየት ነበረበት። ይህ ከመደበኛ ሞዴል ውጭ ያሉ “አዲስ ቅንጣት” ሁኔታዎችን ጨምሮ የወደ ላይ ዝናብ ትርጓሜን በጣም ያዳክማል።

ሊሆን የሚችለው ግን ያልተረጋገጠው: በበረዶውና በአድማሱ አቅራቢያ የነጸብራቅ ወይም የሬዲዮ ስርጭት ተፅዕኖ፣ ወይም ለANITA ልዩ የሆነ የመሣሪያ/ትንተና ስህተት።

የማያሳየው: ክስተቶቹ በአዲስ ቅንጣት የተፈጠሩ መሆናቸውን፤ ከበረዶው በታች የመጡ ምልክቶች መሆናቸውን፤ ልዕለ-ተፈጥሯዊ፣ ሰው ሠራሽ ወይም የሚሰማ ነገር እንዳለ፤ ወይም መንስኤው አሁን እንደታወቀ።

ዋና ገደቦች: ከመደበኛ ሞዴል ውጭ ያለው ፍላጎት በሁለት ያህል ክስተቶች ላይ ነው፤ ይህ የሚገድብ ግን መንስኤን የማይለይ ያለ ግኝት ውጤት ነው፤ ማግለሉ በተለይ “የዝናብ ፍሰት” ትርጓሜን ይመለከታል፤ የመጀመሪያው አኖማሊ በገለልተኛነት አልተደገመም።

አጠቃላይ አንባቢ ምን ያህል መተማመን ይኖርበታል? ይህ የተረጋገጠ አዲስ ቅንጣት እንዳልሆነ እና ከበረዶው ውስጥ የመጣ ምልክት እንዳልሆነ፣ እንዲሁም እንግዳ የፍሰት ትርጓሜው አሁን በጣም እንደተዳከመ ከፍተኛ መተማመን። አሁንም ክፍት ስለሆነው እውነተኛ መንስኤ ዝቅተኛ መተማመን። ተገቢው አቋም፦ ምናልባት ተራ ስለሆነ ያልተፈታ አኖማሊ ጉጉት።

ምንጮች

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