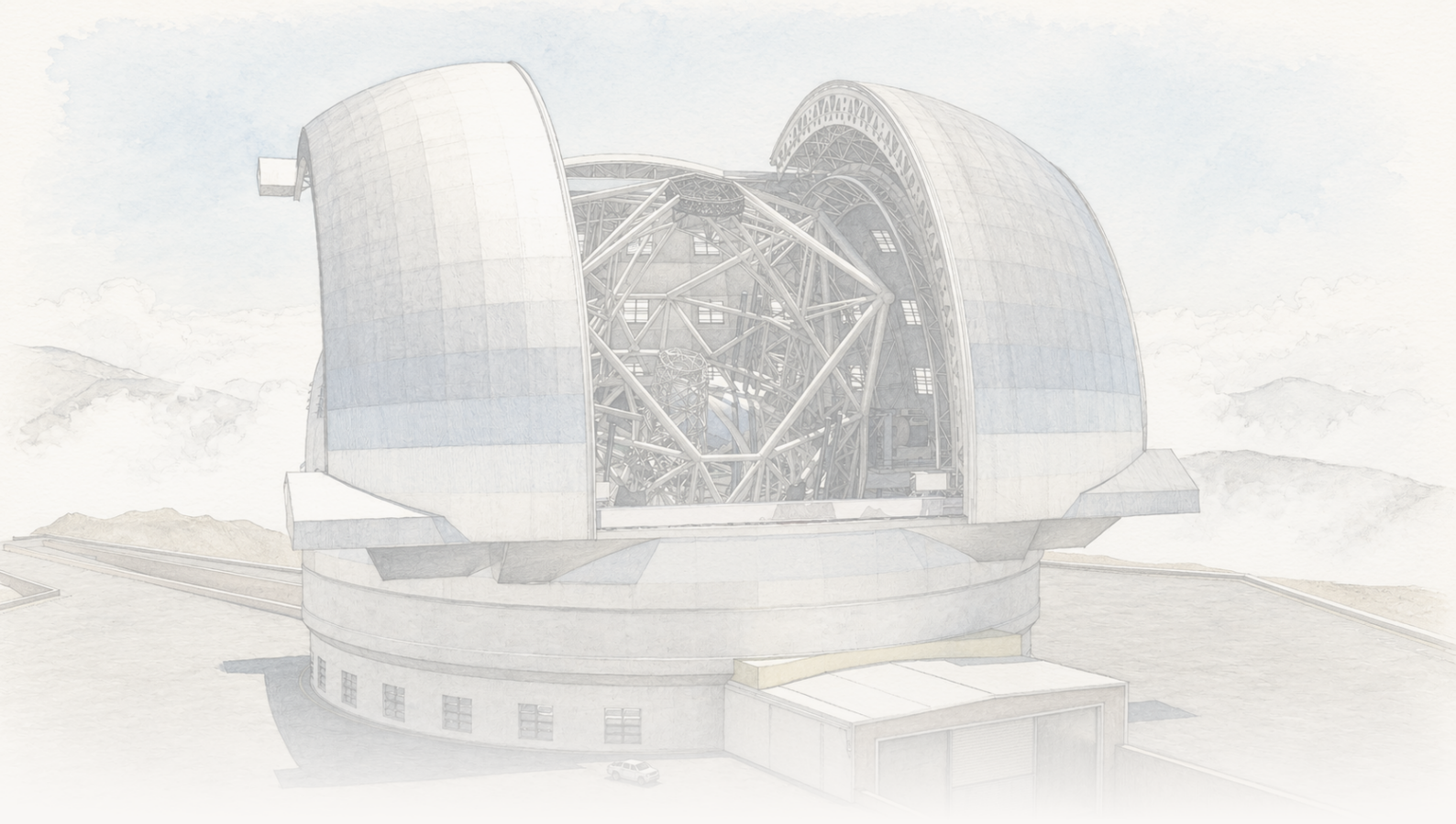




The CLEAN PAPER

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

Kíka isotope àkókó ti kómèèti interstellar n tóka pé ó lè ti dá sílẹ̀ lẹgbẹ̀ẹ̀ ìràwọ̀ àgbà tí metal rẹ̀ kéré — pẹ̀lú error bar nílá

Àwọn onímọ̀ ijìnlẹ̀ sánmà lo VLT láti dítwòn ipín isotope carbon àti nitrogen nínú 3I/ATLAS, kómèèti interstellar kẹta tí a mọ̀ — ìgbà àkókó tí èyí ti ẹ̀ẹ́ ẹ̀ ẹ̀ fún ohun kan láti ọ̀dọ̀ ìràwọ̀ mǫ̀ràn. Ipín méjèjè ga ju ti àwọn kómèèti Solar System lọ, èyí tí ó bá ìmọ̀ràn pé 3I dá sílẹ̀ ní apá ọ̀de tó tutù nínú disk lẹgbẹ̀ẹ̀ ìràwọ̀ àgbà tí metallicity rẹ̀ kéré mu. Ìwọ̀n náà jẹ́ àkókó gidì, ẹ̀yẹ̀n ó dúró lórí ohun kan ẹ̀yẹ̀, ipín méjì láti molecule kan ẹ̀yẹ̀, àti àdánílójú nílá — kì í ẹ̀ ẹ̀sàwárí ibi tí 3I ti wá, kò sì ní ohunkóhun ẹ̀ pẹ̀lú ìyè.

Written by Lucio Vaglio · Cross-checked by Vera Rubin · Edited by Michele Renda · Figures by Matteo and Nova Vela · AI-assisted, human-reviewed

Paper: *High nitrogen and carbon isotopic ratios in the interstellar comet 3I/ATLAS*, C. Opatom, J. Manfroid, D. Hutsemekers, E. Jehin, M. M. Knight, K. Aravind, L. Ferrellec, D. Bodewits, V. V. Guzman, M. Cordiner, R. C. Dorsey, F. La Forgia, M. Lippi, B. P. Murphy, C. Snodgrass, M. Bannister, *Nature Astronomy* (2026) · DOI: 10.1038/s41550-026-02921-7

Kómẹ̀ẹ̀tì kan láti ọ̀dọ̀ ìràwọ̀ mǐíràn sún mọ̀ wa tó bèẹ̀ tí a fi lẹ̀ ka kemistri rẹ̀ — pẹ̀lú ìṣòro púpọ̀

Ìgbà mẹ́ta ni báyyì tí àwọn onímọ̀ ijìnlẹ̀ sánmà ti rí ohun kan láti ètò ìràwọ̀ mǐíràn tí ní kọjá nínú tiwa. Àkọ́kọ̀, 1I/Oumuamua ní 2017, ti fẹ̀rẹ́ lọ tán kí ẹ̀nikẹ̀ni tó lẹ̀ tọ̀ telisíkóòpù sí i. Èkejì, 2I/Borisov ní 2019, jẹ́ kómẹ̀ẹ̀tì gidi ṣùgbọ́n ó rẹ̀wẹ̀sì ní ìmọ̀lẹ̀. Èkẹ́ta, 3I/ATLAS, dé ní ìmọ̀lẹ̀ tó pọ̀ tó sì sún mọ̀ wa tó bèẹ̀ tí a fi lẹ̀ ṣe ohun tí a kò tì lẹ̀ ṣe rí: díwọ̀n àwọn *isotope* nínú ohun èlò tí ó dá sílẹ̀ lẹ́gbẹ́ ìràwọ̀ mǐíràn.



Kómẹ̀ẹ̀tì 3I/ATLAS àti coma tó yí i ká, tí Gemini North ya ní 26 November 2025. Àwòrán yìi jẹ́ fún àyíká ìwòye; kì í ṣe spectrum UVES tí a lò fún ìwọ̀n *isotope*.

International Gemini Observatory/NOIRLab/NSF/AURA/B. Bolin; image processing: J. Miller, M. Rodriguez, T.A. Rector and M. Zamani CC BY 4.0

Èyí ni àṣeyọ́rí ìdákẹ́jẹ́ inú ìwé yìi. Kì í ṣe irú ohun tuntun kan, kì í ṣe àmì ohun aláàyè kankan — ìwọ̀n kan ni, irú ìwọ̀n tí a kò tì lẹ̀ ṣe rí lórí ohun èlò interstellar, àwọn nọ́nbà méjì tí ó ru ìrántí kékeré nípa ibi tí 3I ti dá sílẹ̀.

Kí ló dé tí ẹnikẹni fi nífẹẹ sí ìpín isotope?

Carbon àti nitrogen, bí ọpọ̀ àwọn eroja mǫ̀ràn, ní **isotope**: atomu tí ó ní iye proton kan náà sùgbón iye neutron tó yàtò, nítorí náà tí mass wọn sì yàtò. Nónbà tó wà nínú orúkọ bí **carbon-12** tàbí **carbon-13** ni mass number rẹ́ — àpapọ̀ iye proton àti neutron. Ọ̀rọ̀ “kábonù” nìkan ní tókà sí eroja náà tàbí adalu isotope rẹ́ gégé bí ó ẹ́ máa ní rí, kì í ẹ́ carbon-12 nìkan. Carbon-12 ló pọ̀ jù nínú adalu yẹn, carbon-13 tí ó wuwo diẹ̀ sì kéré; bákan náà nitrogen-14 ló pọ̀ jù nínú nitrogen tí a máa ní rí, nitrogen-15 tí ó wuwo diẹ̀ sì kéré gan-an.

Àwọn ìpín wònyí kì í dára pọ̀ ní gbogbo ibi. *Ìpín* isotope fẹ́fẹ́ sí isotope wuwo ni iwọn otutu, radiation àti ìtàn kemistri ibi tí molíkúlù ti dá sílẹ̀ ní ipa lórí. Ibi tí ó tutù, tí ìmọ̀lẹ̀ rẹ́ kéré, tí ó sì dààbò bo dáadáa lè fi àmi kan sílẹ̀; ibi tó gbóná, tó mọ̀lẹ̀ sí i tàbí tí ìlànà kemistri ti sísẹ̀ lórí púpọ̀ lè fi àmi mǫ̀ràn sílẹ̀.

Nítorí náà, ìpín isotope dà bí iwé ẹ̀rí ibi-ibi kan. Nínú Solar System wa, àwọn kómẹ̀tì — yinyin tó ẹ́ kù láti ìgbà tí Oòrùn dá sílẹ̀ — máa ní ní àwọn iye tó jọ ara wọn, a sì lè fi wọn wé àwọn awosanma interstellar àti disk ibi tí àwọn iràwọ̀ ti ní dá sílẹ̀. Kíka ìpín kan náà nínú ohun kan láti *iràwọ̀ mǫ̀ràn* fún wa ní ànfààní, fún ìgbà àkókọ̀, láti béèrè bóyá ilé tí ó ti wá jọ tiwa.

Ohun tí wọn díwọn, àti bí àidánílójú rẹ́ ẹ́ pọ̀ tó

Ní lílo spectrograph UVES lórí Very Large Telescope ti European Southern Observatory, ẹgbẹ́ náà sàkíyèsí 3I/ATLAS ní ọ̀pọ̀ alẹ̀ ní December 2025, wọn sì ẹ́ iwádíí ìmọ̀lẹ̀ láti inú àwọn **molíkúlù CN** rẹ́. CN ni *cyano radical* — molíkúlù atomu méjì tó rọ̀rùn, kábonù kan tí ó so mó nitrogen kan, ó sì jẹ́ ọ̀kan lára ohun tí ó rọ̀rùn jù láti rí tí ní tàn nínú kómẹ̀tì. Nítorí pé molíkúlù CN kan ní atomu kábonù kan àti atomu nitrogen kan, ìmọ̀lẹ̀ rẹ́ ru àmi isotope àwọn eroja méjèèjì lẹ́ẹ̀kan náà, èyí ló jẹ́ kí ẹgbẹ́ náà lè ka ìpín kábonù àti nitrogen láti molíkúlù kan náà. Àwọn ila láti isotope carbon-13 àti nitrogen-15 tí ó sọ̀wọ̀n rẹ̀wèsì ju kí a lè ya wọn sọtò lẹ̀kọ̀dọ̀kan, nítorí náà ẹgbẹ́ náà kó (co-added) àwọn ila tí wọn yan pọ̀ láti ẹ́ àmì apapọ̀ tó lágbara tó láti díwọn.

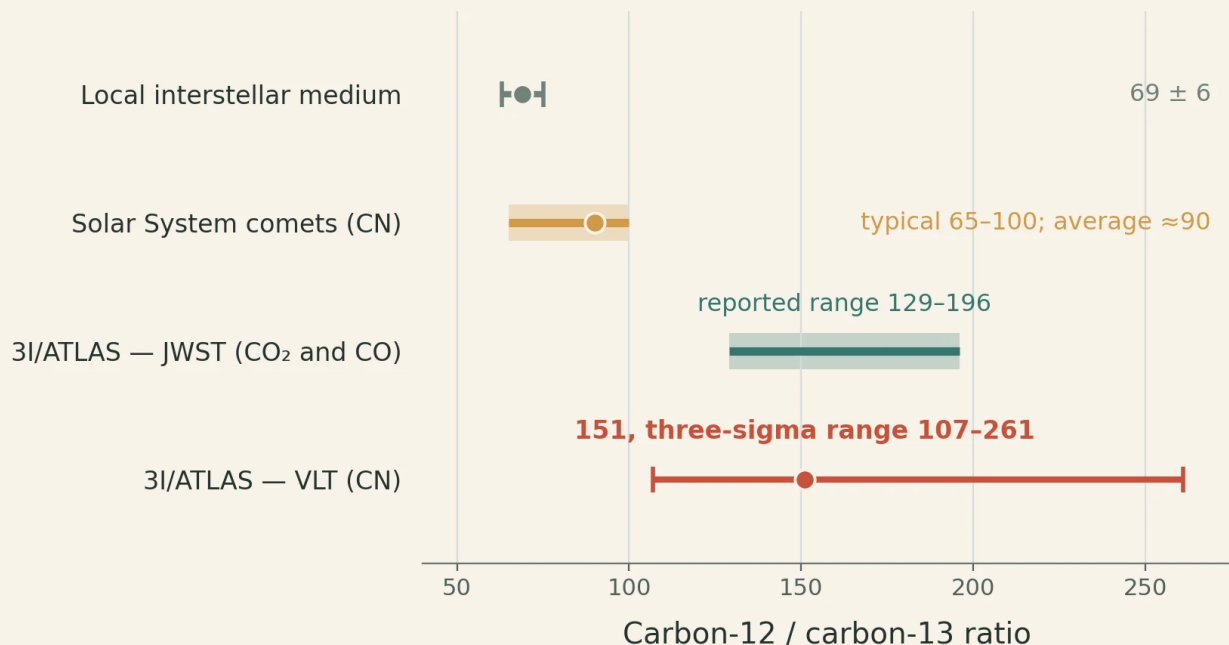
Wọn ròyìn ìpín méjì:

- **carbon-12 sí carbon-13** $\approx$ **151** (àgbẹ̀gbẹ̀ three-sigma tó fẹ́rẹ́ jẹ́ 107 sí 261),
- **nitrogen-14 sí nitrogen-15** $\approx$ **363** (àgbẹ̀gbẹ̀ three-sigma tó fẹ́rẹ́ jẹ́ 210 sí nìkan bí 1,000).

Àwọn àgbẹ̀gbẹ̀ inú àkámọ̀ wònyí ni ìtàn pàtàkì gbogbo, ó sì ẹ́ pàtàkì kí a má ẹ́ kojá wọn. Ìwọn yí nira lórí ohun tó rẹ̀wèsì ní ìmọ̀lẹ̀ tí ó sì ní lọ kíákíá, àidánílójú rẹ́ sì tóbi — pàápàá fún nitrogen, níbi tí iye “gidi” lè jẹ́ láti diẹ̀ lókè ti àwọn kómẹ̀tì Solar System tí tí dé iye tó ga ní ọ̀pọ̀ ìlọ̀po. Ohun tí dátà náà ní fídí múlẹ̀ dáadáa ni *itọ̀sọ̀nà* kan — ìpín méjèèjì wà **lókè** iye tí a máa ní rí nínú kómẹ̀tì Solar System (nìkan bí 90 fún kábonù, nìkan bí 150 fún nitrogen). Ohun tí wọn kò lè fídí múlẹ̀ ni nónbà pípé. (Iye nitrogen náà tún kọ̀lù ààlà inú ìlànà ìṣìrò: a gba fit náà láyè láti sàyèwò iye tí tí dé 1,000 nìkan, òkè àgbẹ̀gbẹ̀ rẹ́ sì fẹ́rẹ́ dé ààlà yẹn — nítorí náà “fẹ́rẹ́ 1,000” ní fi ibi tí ọ̀nà náà dá iwádíí dúró hàn pẹ̀lú, kì í ẹ́ ibi tí iye gidi gbọ̀dọ̀ wà nìkan.)

3I/ATLAS has a high carbon ratio — but low precision

Carbon-12 / carbon-13; horizontal spans have different statistical meanings



Solar-comet values summarize CN measurements in Table 4. Other spans show a ± 6 uncertainty, a reported JWST range, and the VLT three-sigma interval; they are not equivalent confidence intervals.

Iye VLT nínú CN wà lókè àgbègbè tí a máa ń rí nínú kómẹ̀tì Solar System, sùgbón ó ní àgbègbè three-sigma tó gbooro tí kò dógba sí àwọn ègbẹ̀ méjèèjì. Àgbègbè Solar System jẹ̀ àpẹ̀júwẹ̀; àwọn àgbègbè pẹ̀lú petele miiran ní ìtumò ìṣiro tó yàtò, wọn kì í ṣe àṣìṣe bar irú kan náà.

Original chart — The Clean Paper; values from Opitom et al., Nature Astronomy 2026 CC BY 4.0

Ohun tó ní mú ìgboyà bá a ní pé abajade kábònú bá ìṣírò olómìnira láti JWST mu, èyí tí ó díwòn ipín kan náà nínú molíkúlù mǐràn (kábònú dioxide àti kábònú monoxide) tí ó sí dè sí àgbègbè tó bá a mu. Instrument méjì, molíkúlù méjì, abajade tó wà ní àgbègbè kan náà, dájú sí i ju ọkọkan lọ.

Ohun tí ó lè ń sọ fún wa

Pé ipín méjèèjì wà ní ègbẹ̀ tó ga ní tọ́ka, pẹ̀lú ìṣọ́ra, sí ìtumò kan náà. Iye carbon-12-sí-carbon-13 tó ga ní àwọn àwòṣe chemical evolution ní retí lẹ́gbẹ́ **ìràwọ̀ àgbà tí metal rẹ̀ kéré** — ìràwọ̀ tí ó dá sílẹ̀ ní ìbẹ̀rẹ̀ ìtàn Galaxy, kí ọ̀pọ̀ ìran ìràwọ̀ tó ti fi kábònú tó wuwo sí gaasi náà. Iye nitrogen-14-sí-nitrogen-15 tó ga bá idásílẹ̀ ní apá tutù, tó dáàbò bo dáadàa nínú disk tí pílánẹ̀tì ti ní dá sílẹ̀ mu, jìnnà sí ìmọ̀lẹ̀ ultraviolet ìràwọ̀ náà.

Tí a bá kó wọn jọ, àwọn onkọwe ka 3I sí ohun tí ó **bá imọ̀ràn pé** ó dá sílẹ̀ ní apá ọ̀de tó tutù nínú disk lẹ́gbẹ́ ìràwọ̀ àgbà tí metallicity rẹ̀ kéré mu. Ó jẹ̀ ànǹfààní ìtumò tó nífẹ́ sí gan-an — yòò tùmọ̀ sí pé 3I jẹ̀ àpẹ̀rẹ̀ ohun èlò ìkọ̀ pílánẹ̀tì lẹ́gbẹ́ irú ìràwọ̀ tó yàtò gan-an sí Oòrùn. Sùgbón “bá ... mu” ní ṣe ìṣe pàtàkì nínú gbolòhùn yẹn. Ó jẹ̀ ìtumò tí dátà gba láyè, kì í ṣe ibi tí dátà ti fi tọ́ka dájú.

Ohun tí èyí kò fi hàn

- Kò sọ ibi tí **3I** ti wá. “Ó bá iràwò àgbà tí metal rè kéré mu” jẹ ìtumò tó ẹẹ́ ẹẹ́ fún ìpín méjì, kì í ẹẹ́ home ètò tí a ti Ẹ̀wàrí.
- Kì í ẹẹ́ **ìwọ̀n pípé**. Àìdánílójú pọ̀ — ìpín nitrogen pàápàá sun mò “ó hàn gbangba pé ó ga” ju “ìye kan tó dájú” lọ. Àkọlẹ kankan tó fa nǹbà kan ọ̀so ọ̀so jàde gégé bí ẹ̀ni pé ó dájú nì polówó ju ohun tí dátà sọ lọ.
- Kò ní **ohunkóhun ẹẹ́ pẹ̀lú ìyè**. CN jẹ molíkúlù rọ̀rùn, ìpín isotope sì nì ẹẹ́ àkọ̀sílẹ̀ ìwọ̀n otutu àti radiation nígbà ìdásílẹ̀, kì í ẹẹ́ biology. Èyí kì í ẹẹ́ Ẹ̀wàrí molíkúlù organic tó nira, kemistri prebiotic, tàbí ohun aláàyè kankan.
- Ó dúró lórí **ohun kan ọ̀so**, ìpín méjì, láti **molíkúlù kan ọ̀so**. Kò lè sọ ohun tí àwọn kómẹ̀tì interstellar rí bí ní *gbogbogbòò* — ohun tí èyí kan ọ̀so dà bí nì ó lè sọ.
- Kò **tún ọ̀nà tí pílánẹ̀tì tàbí comet ti nì dá sílẹ̀ kọ**. Ó kan fi dátà exotic kan kun àwòrán tí a ti kọ púpọ̀ jù lọ láti àwọn ohun Solar System àti àwọn disk tó jìnnà.

Báwo ni èrí nàà ẹẹ́ lágbára tó?

Kò pọ̀ jù, ẹ̀gbọ̀n ó jẹ gidi, àwọn onkọwe nàà sì ọ̀ra nípa rè.

- Ìwọ̀n fúnra rè jẹ àkọ̀kọ gidi — kò sí ẹ̀ni tí ó ti yọ ìpín isotope láti inú ohun interstellar rí, nítorí pé àwọn méjì Ẹ̀ájú rè rèwèsì ju.
- Àìlera pàtàkì ni precision: àṣiṣe bar nílá, pàápàá lórí nitrogen, nítorí nàà àwọn *ìye* nàà kò lágbára púpọ̀ bí ó tilẹ̀ jẹ pé *itọ́sọ̀nà* (ga ju kómẹ̀tì Solar System lọ) dúró dáadàa.
- Ohun kan ọ̀so nì, tí a díwọ̀n nínú molíkúlù kan ọ̀so (CN) ní àkòkò kúkúru; ìtumò nípa iràwò ibi-ibi rè dá lórí àwòṣe.
- Abajade kábonù ní ìtílẹ̀yìn olómìnira láti àwọn ìwọ̀n JWST nínú molíkúlù mǹràn, èyí sì nì mú ìgboyà pọ̀ sí ìpín yẹn pàápàá.

Èyí jẹ ìwọ̀n ìl-àkọ̀kọ kan pẹ̀lú ààlà àìdánílójú tó gbooro — ìwòye àkọ̀kọ, kì í ẹẹ́ abajade tí a ti parí ìjìyàn rè.

Ìdí tí ó fi ẹẹ́ pàtàkì

Fún ọ̀pọ̀ ọ̀dún mēwàá, gbogbo ohun tí a mò nípa kemistri ìdásílẹ̀ pílánẹ̀tì wá láti àpẹ̀rẹ kan ọ̀so: Solar System wa, pẹ̀lú àwọn ìwòye telisíkòòpù sí àwọn disk tó yí iràwò jìnnà ká tí a kò lè dé sí. Àwọn ohun interstellar ni àitẹ̀lẹ̀ — ohun èlò gidi láti ètò iràwò mǹràn, tí nì kọ́já tó sún mò wa tó bẹ̀tẹ̀ tí a fi lè ẹẹ́ ìwádíi rè tààrà.

Kí a lè ka ìpín isotope nínú ọ̀kan lára wọ̀n, bí ó tilẹ̀ jẹ ní ìsúnmọ̀, jẹ fífi ààlà ohun tí ó ẹẹ́ ẹẹ́ gbooro sí i gan-an. Ó yí “a nì ẹẹ́ kàyẹ̀fì ohun tí àwọn kómẹ̀tì ètò mǹràn fi ẹẹ́” padà sí “ẹ wo nǹbà méjì láti ọ̀kan lára wọ̀n.” Bí 3I/ATLAS ẹẹ́ nì jìnnà sí wa, tí a sì nì rí àwọn arínrìn-àjò interstellar tó mọ̀lẹ̀ sí i lójó iwájú — pẹ̀lú àwọn observatory bí Vera Rubin Observatory tí a nì retí pé yòò rí púpọ̀ sí i — èyí di iforúkọ̀sílẹ̀ àkọ̀kọ nínú àfiwé tí a kò lè ẹẹ́ rí: kemistri Solar System wa sí kemistri àwọn mǹràn, tí a díwọ̀n ní ọ̀nà kan nàà.

Àkótán mímọ

Àwọn onímọ ijìnlẹ sánmà lo Very Large Telescope láti díwọ̀n ìpín isotope kábọ̀nù àti nitrogen nínú 3I/ATLAS, kómẹ̀tẹ̀ti interstellar kẹ̀ta tí a mọ̀ — ìgbà àkókọ́ tí èyí ti ẹ̀sẹ̀ ẹ̀ fún ohun kan láti ọ̀dọ̀ ìràwọ̀ mǐràn. Ìpín méjèèjì ga ju ti àwọn kómẹ̀tẹ̀ti Solar System lọ, èyí tí ó bá ìmọ̀ràn pé 3I dá sílẹ̀ ní apá ọ̀de tó tutù nínú disk légbẹ́ẹ̀ ìràwọ̀ àgbà tí metallicity rẹ̀ kéré mu. Ìwọ̀n náà jẹ́ àkókọ́ gidi, sùgbọ̀n ó dúró lórí ohun kan ọ̀so, ìpín méjì láti molíkúlù kan ọ̀so, àti àìdánílójú nílá — kì í ẹ̀ ọ̀sàwáńí ibi tí 3I ti wá, kì í ẹ̀ nọ́nbà pípé, kò sì ní ohunkóhun ẹ̀ pẹ̀lú iyè.

àyèwò láìsí àsọ̀dùn

Ohun tí iwé iwádìí náà fi hàn: Ìwọ̀n ìpín isotope àkókọ́ fún ohun interstellar: carbon-12/carbon-13 $\approx$ 151 àti nitrogen-14/nitrogen-15 $\approx$ 363 nínú molíkúlù CN ti comet 3I/ATLAS, láti spectroscopy VLT/UVES. Méjèèjì ga ju ti kómẹ̀tẹ̀ti Solar System tí a máa ń rí lọ; iye kábọ̀nù bá ọ̀sírò JWST olómìnira mu.

Ohun tí ó jẹ́ gidi sùgbọ̀n tí ó jẹ́ ìtumọ̀: Ìmọ̀ràn pé 3I dá sílẹ̀ ní apá ọ̀de disk ti ìràwọ̀ àgbà tí metallicity rẹ̀ kéré. Ó bá ìpín tó ga àti àwọn àwọ̀se chemical evolution mu, sùgbọ̀n ó jẹ́ inference, kì í ẹ̀ ìpinnu tó dájú.

Ohun tí kò fi hàn: Ibi tí 3I ti wá gangan; iye pípé fún ìpín méjèèjì (pàápàá nitrogen, tí ọ̀sẹ̀ bar rẹ̀ tóbi gan-an); ohunkóhun nípa iyè, kemistri organic tó nira, tàbí habitability; abajade gbogbogbòò nípa àwọn ohun interstellar (ohun kan ọ̀so, molíkúlù kan ọ̀so ni èyí).

Àwọn ààlà pàtàkì: Àìdánílójú ìwọ̀n nílá; target kan ọ̀so tí a ọ̀kọ̀yèsí ní àkókò kúkúrukú; ìpín láti molíkúlù kan ọ̀so (CN); ìtumọ̀ ayika ibi-ìbí dá lórí àwọ̀se.

Ìgbọyà mélòò ni olùkà gbogbogbòò yẹ kí ó ní? Ìgbọyà gíga pé èyí jẹ́ àkókọ́ gidi — kíka isotope láti ohun èlò interstellar — àti pé ìpín méjèèjì wà ní ẹ̀gbẹ́ tó ga ju ti kómẹ̀tẹ̀ti Solar System lọ. Ìgbọyà kéré lórí iye gangan, àti ọ̀sọ́ra tó yẹ lórí ìtàn ibi-ìbí, tí ó jẹ́ ìtumọ̀ tó ẹ̀sẹ̀ ẹ̀ ju ọ̀parí tó dájú lọ. Ìhà tó tọ̀ ni: fẹ̀rẹ̀sẹ̀ kékeré, gidi sí kemistri ìràwọ̀ mǐràn — pẹ̀lú tẹ̀numọ́ ọ̀rọ́ *kékeré*.

Àwọn orísun

Opitom et al., High nitrogen and carbon isotopic ratios in the interstellar comet 3I/ATLAS, *Nature Astronomy* (2026)

<https://doi.org/10.1038/s41550-026-02921-7>