Միջաստղային գիսաստղի իզոտոպների առաջին չափումը հուշում է, որ այն ծնվել է հին, մետաղներով աղքատ աստղի շուրջ — բայց մեծ անորոշությամբ

Աստղագետները VLT-ի միջոցով չափել են ածխածնի և ազոտի իզոտոպային հարաբերությունները 3I/ATLAS-ում՝ հայտնի երրորդ միջաստղային գիսաստղում: Սա առաջին դեպքն է, երբ նման չափում հնարավոր է եղել մեկ այլ աստղից եկած օբյեկտի համար: Երկու հարաբերություններն էլ ստացվել են Արեգակնային համակարգի գիսաստղերի արժեքներից բարձր, ինչը համատեղելի է այն մտքի հետ, որ 3I-ը ձևավորվել է հին, ցածր մետաղականությամբ աստղի շուրջ սկավառակի սառը արտաքին հատվածներում: Չափումը իսկական առաջին քայլ է, բայց հիմնված է մեկ օբյեկտի, մեկ մոլեկուլի երկու հարաբերությունների և մեծ անորոշությունների վրա. այն չի բացահայտում, թե որտեղից է եկել 3I-ը, և կյանքի հետ որևէ կապ չունի:

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. Opitom, J. Manfroid, D. Hutsemekers, E. Jehin, M. M. Knight, K. Aravind, L. Ferellec, 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

Մեկ այլ աստղից եկած գիսաստղը բավական մոտ անցավ, որ հնարավոր լիներ կարդալ նրա քիմիան — հազիվ թե

Աստղագետներն արդեն երեք անգամ բռնել են մեկ այլ աստղային համակարգից եկած օբյեկտ, որը անցնում էր մեր համակարգով։ Առաջինը՝ 1I/’Oumuamua-ն 2017-ին, գրեթե հեռացել էր մինչև որևէ մեկը հասցներ աստղադիտակ ուղղել նրա վրա։ Երկրորդը՝ 2I/Borisov-ը 2019-ին, իսկական գիսաստղ էր, բայց թույլ։ Երրորդը՝ **3I/ATLAS**-ը, եկավ այնքան պայծառ և այնքան մոտ, որ հնարավոր եղավ անել մի բան, որը նախկինում ոչ ոքի չէր հաջողվել՝ չափել այլ աստղի շուրջ ձևավորված նյութի *իզոտոպները*։

3I/ATLAS գիսաստղը և նրա շրջապատող կոման՝ Gemini North-ով 2025 թ. նոյեմբերի 26-ին արված պատկերում։ Պատկերը տեսողական համատեքստ է տալիս. սա այն UVES սպեկտրը չէ, որն օգտագործվել է իզոտոպային չափման համար։

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

and M. Zamani CC BY 4.0

Հոդվածի հանգիստ, բայց կարևոր ձեռքբերումը հենց սա է: Ոչ նոր տեսակի օբյեկտ, ոչ կյանքի որևէ նշան, այլ մի չափում՝ այնպիսի տեսակով, որը միջաստղային նյութի համար երբեք չէինք կարողացել անել: Երկու թիվ, որոնք թույլ հիշողություն են պահպանում այն միջավայրի մասին, որտեղ 3I-ը ծնվել է:

Ինչու է որևէ մեկին հետաքրքրում իզոտոպների հարաբերությունը

Ածխածինը և ազոտը, ինչպես տարրերի մեծ մասը, ունեն **իզոտոպներ**՝ նույն թվով պրոտոններով, բայց տարբեր թվով նեյտրոններով և, հետևաբար, տարբեր զանգվածով ատոմներ: **Ածխածին-12** կամ **ածխածին-13** անվանումներում թիվը զանգվածային թիվն է՝ պրոտոնների և նեյտրոնների ընդհանուր քանակը: Պարզ «ածխածին» բառը նշանակում է տարրը կամ նրա սովորական իզոտոպային խառնուրդը, ոչ միայն ածխածին-12-ը: Այդ խառնուրդում գերակշռում է ածխածին-12-ը, իսկ ավելի ծանր ածխածին-13-ը փոքր բաժին ունի: Սովորական ազոտում նույնպես գերակշռում է ազոտ-14-ը՝ ավելի ծանր ազոտ-15-ի հետքի քանակով:

Այդ համամասնություններն ամենուր նույնը չեն: Թեթև և ծանր իզոտոպների *հարաբերությունը* մասամբ ձևավորվում է այն ջերմաստիճանից, ճառագայթումից և քիմիական պատմությունից, որոնց պայմաններում մոլեկուլը առաջացել է: Սառը, մութ և լավ պաշտպանված միջավայրերը կարող են թողնել մի «մատնահետք», իսկ ավելի տաք, լուսավոր կամ ավելի մշակված միջավայրերը՝ մեկ ուրիշը:

Այս պատճառով իզոտոպային հարաբերությունները մի տեսակ ծննդյան վկայական են: Մեր Արեգակնային համակարգում գիսաստղերը՝ Արեգակի ձևավորումից մնացած սառցե նյութը, բավական հետևողական արժեքներ են կրում, և դրանք կարող ենք համեմատել այն միջաստղային ամպերի ու սկավառակների հետ, որտեղ աստղեր են ծնվում: Նույն հարաբերությունները *այլ* աստղից եկած օբյեկտում կարդալը առաջին անգամ թույլ է տալիս հարցնել՝ նրա հայրենի միջավայրը նման էր արդյոք մերին:

Ինչ են չափել և որքան անորոշ է չափումը

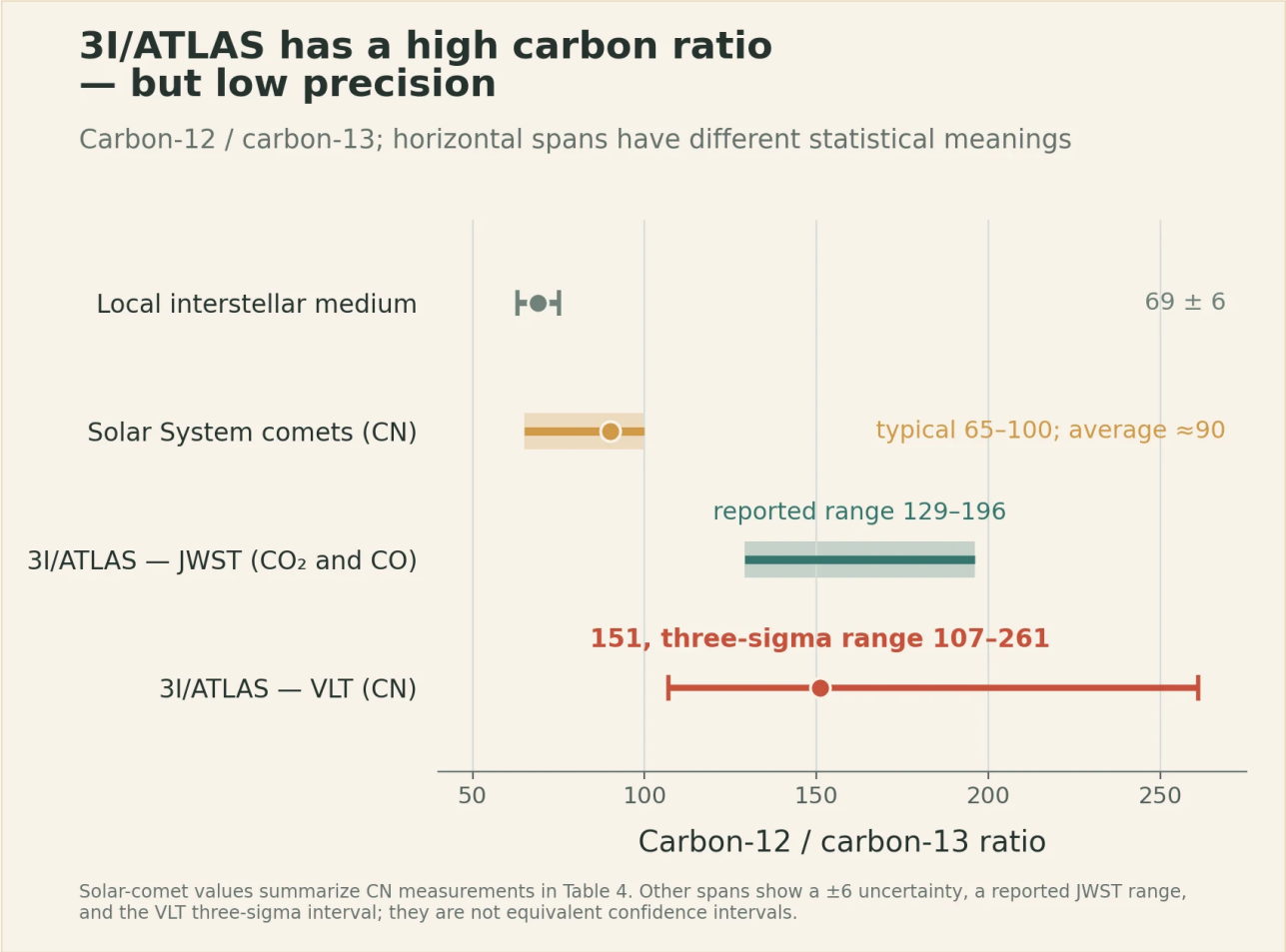
Եվրոպական հարավային աստղադիտարանի Very մեծ աստղադիտակի UVES սպեկտրագրով խումբը 2025 թ. դեկտեմբերին մի քանի գիշեր դիտել է 3I/ATLAS-ը և ուսումնասիրել նրա **CN մոլեկուլների** լույսը: CN-ը *ցիանո ռադիկալն* է՝ պարզ երկատոմ մոլեկուլ, որտեղ մեկ ածխածին կապված է մեկ ազոտի հետ, և այն գիսաստղերում ամենահեշտ նկատվող լուսարձակող տեսակներից է: Քանի որ CN-ի մեկ մոլեկուլում կա և՛ ածխածնի, և՛ ազոտի ատոմ, նրա լույսը միաժամանակ

կրում է երկու տարրերի իզոտոպային մատնահետքերը։ Հենց դա է թույլ տվել նույն մոլեկուլից ստանալ և՛ ածխածնի, և՛ ազոտի հարաբերությունները։ Հազվադեպ իզոտոպների՝ ածխածին-13-ի և ազոտ-15-ի գծերը չափազանց թույլ են առանձին տեսնելու համար, ուստի հետազոտողները միավորել են (co-added) ընտրված մի շարք գծեր՝ ստանալով չափելու համար բավարար ուժեղ համակցված ազդանշան։

Նրանք հաղորդում են երկու հարաբերություն.

- **ածխածին-12 / ածխածին-13 ≈ 151** (երեք սիգմա միջակայքը մոտավորապես 107–261),
- **ազոտ-14 / ազոտ-15 ≈ 363** (երեք սիգմա միջակայքը մոտավորապես 210-ից մինչև գրեթե 1,000)։

Փակագծերում նշված միջակայքներն այստեղ ամբողջ պատմությունն են, և կարևոր է դրանց վրայով չանցնել։ Սրանք դժվար չափումներ են թույլ ու արագ շարժվող թիրախի վրա, և անորոշությունները մեծ են՝ հատկապես ազոտի դեպքում, որտեղ «իրական» արժեքը հավանականորեն կարող է լինել Արեգակնային համակարգի գիսաստղերից մի փոքր բարձր արժեքից մինչև մի քանի անգամ ավելի բարձր։ Տվյալները վստահորեն աջակցում են հիմնականում *ուղղությանը*. երկու հարաբերություններն էլ գտնվում են Արեգակնային համակարգի տիպիկ գիսաստղերից **բարձր** (ածխածնի համար մոտ 90, ազոտի համար՝ մոտ 150)։ Բայց դրանք չեն ապահովում ճշգրիտ թիվ։ (Ազոտի գնահատականը նաև բախվում է ներկառուցված վերին սահմանի. ֆիթին թույլատրվել էր ուսումնասիրել միայն մինչև 1,000 արժեքներ, իսկ միջակայքի վերին ծայրը գրեթե հասնում է այդ սահմանին։ Այսպիսով՝ «գրեթե 1,000»-ը նույնքան արտացոլում է, թե որտեղ է մեթոդը դադարել որոնել, որքան այն, թե որտեղ կարող է լինել իրական արժեքը։)



CN-ի համար VLT-ի արժեքը գտնվում է Արեգակնային համակարգի գիսաստղերի սովորական միջակայքից բարձր, բայց ունի լայն և ասիմետրիկ երեք սիգմա միջակայք: Արեգակնային համակարգի գոտին նկարագրական է. մյուս հորիզոնական միջակայքները տարբեր վիճակագրական իմաստ ունեն և համարժեք սխալի գծեր չեն:

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

Հուսադրող է, որ ածխածնի արդյունքը համընկնում է JWST-ի անկախ գնահատականի հետ, որը նույն հարաբերությունը չափել է այլ մոլեկուլներում՝ ածխաթթու գազում և ածխածնի մոնօքսիդում, և ստացել համատեղելի միջակայք: Երկու գործիք, երկու մոլեկուլ և նույն կարգի արդյունք՝ միասին ավելի համոզիչ են, քան դրանցից յուրաքանչյուրը առանձին:

Ինչ կարող է սա ասել մեզ

Երկու հարաբերությունների բարձր լինելը նախնականորեն ցույց է տալիս նույն ուղղությունը: Ածխածին-12/ածխածին-13 բարձր հարաբերությունը այն է, ինչ քիմիական էվոլյուցիայի մոդելները սպասում են **ավելի հին, մետաղներով աղքատ աստղի** շուրջ՝ այնպիսի աստղի, որը ձևավորվել է Գալակտիկայի պատմության վաղ փուլում, մինչև աստղերի բազմաթիվ սերունդներ գազը հարստացնեին ավելի

ծանր ածխածնով: Ազոտ-14/ազոտ-15 բարձր հարաբերությունը համապատասխանում է մոլորակաստեղծ սկավառակի սառը, լավ պաշտպանված հատվածում ձևավորմանը՝ աստղի ուլտրամանուշակագույն փայլից հեռու:

Այս ամենը միասին հեղինակները մեկնաբանում են որպես **համատեղելի** այն տարբերակի հետ, որ 3I-ը ձևավորվել է հին, ցածր մետաղականությամբ աստղի շուրջ սկավառակի սառը արտաքին հատվածներում: Սա իսկապես հետաքրքիր հնարավորություն է. այդ դեպքում 3I-ը կլիներ մոլորակների կառուցման նյութի նմուշ՝ Արեգակից շատ տարբեր աստղի շուրջ: Բայց «համատեղելի» բառը այստեղ ծանր աշխատանք է անում: Դա տվյալների թույլատրած մեկնաբանություն է, ոչ թե տվյալներով հստակ տեղորոշված ծննդավայր:

Ինչ *չի* ապացուցում սա

- Սա **չի** պարզում, թե որտեղից է եկել 3I-ը: «Համապատասխանում է հին, մետաղներով աղքատ աստղի» ձևակերպումը երկու հարաբերությունների հավանական մեկնաբանություն է, ոչ հայտնաբերված հայրենի համակարգ:
- Սա **ճշգրիտ չափում չէ**: Անորոշությունները մեծ են. հատկապես ազոտի հարաբերությունն ավելի շատ նշանակում է «ակնհայտորեն բարձր կողմում», քան որոշակի արժեք: Միայն մեկ վստահ թիվ մեջբերող ցանկացած վերնագիր չափազանցնում է արդյունքը:
- Սա **կյանքի հետ որևէ կապ չունի**: CN-ը պարզ մոլեկուլ է, իսկ իզոտոպային հարաբերությունները գրանցում են ձևավորման ընթացքում ջերմաստիճանն ու ճառագայթումը, ոչ կենսաբանությունը: Սա բարդ օրգանական մոլեկուլների, նախակենսաբանական քիմիայի կամ որևէ կենդանի բանի հայտնաբերում չէ:
- Արդյունքը հիմնված է **մեկ օբյեկտի**, **մեկ մոլեկուլից** ստացված երկու հարաբերություններ վրա: Այն չի կարող ասել, թե միջաստղային գիսաստղերն *ընդհանուր առմամբ* ինչպիսին են՝ միայն ինչպիսին է թվում այս մեկը:
- Սա **չի վերագրում նորից**, թե ինչպես են ձևավորվում մոլորակներն ու գիսաստղերը: Այն պարզապես մեկ էկզոտիկ տվյալային կետ է ավելացնում պատկերին, որը հիմնականում կառուցվել է Արեգակնային համակարգի օբյեկտներից և հեռավոր սկավառակներից:

Որքան ուժեղ են ապացույցները

Չափավոր, բայց իրական, և հեղինակներն այդ հարցում զգույշ են:

- Չափումն ինքնին իսկական առաջին դեպք է. նախկինում ոչ ոք միջաստղային օբյեկտից իզոտոպային հարաբերություններ չէր հանել, որովհետև նախորդ երկուսը չափազանց թույլ էին:
- Հիմնական թույլ կողմը ճշգրտությունն է. սխալի միջակայքները մեծ են, հատկապես

ազոտի համար, այնպես որ *թվային արժեքները* փափուկ են, նույնիսկ եթե *ուղղությունը*՝ Արեգակնային համակարգի գիսաստղերից բարձր լինելը, բավական կայուն է:
- Սա մեկ օբյեկտ է, մեկ մոլեկուլում (CN) չափված և կարճ ժամանակահատվածում դիտված: Նրա ծննդային աստղի մասին մեկնաբանությունը կախված է մոդելներից:
- Ածխածնի արդյունքը անկախորեն աջակցվում է JWST-ի՝ այլ մոլեկուլներում կատարած չափումներով, ինչը հատկապես այդ հարաբերության նկատմամբ վստահությունն ուժեղացնում է:

Սա կարևոր առաջին չափում է՝ լայն անորոշության գծերով: Առաջին հայացք, ոչ վերջնական պատասխան:

Ինչու է սա կարևոր

Մի քանի տասնամյակ շարունակ մոլորակների ձևավորման քիմիայի մասին մեր գիտելիքի գրեթե ամբողջը գալիս էր մեկ օրինակից՝ մեր Արեգակնային համակարգից, գումարած հեռավոր աստղերի շուրջ սկավառակների աստղադիտակային պատկերները, որոնց երբեք չենք կարող այցելել: Միջաստղային օբյեկտներն բացառություն են՝ մեկ այլ աստղային համակարգից եկած իրական ֆիզիկական նյութ, որը բավական մոտ է անցնում, որպեսզի կարողանանք անմիջապես ուսումնասիրել այն:

Այդպիսի օբյեկտներից մեկում իզոտոպային հարաբերություններ կարդալ կարողանալը, թեկուզ մոտավոր, իրական ընդլայնում է այն բանի, ինչ հնարավոր է չափել: «Հետաքրքիր է՝ ինչից են կազմված ուրիշ համակարգերի գիսաստղերը» հարցը վերածվում է «ահա դրանցից մեկի երկու թիվը» ձևակերպման: Երբ 3I/ATLAS-ը հեռանա, և հետագայում որսվեն ավելի պայծառ միջաստղային այցելուներ՝ Vera Rubin Observatory-ի նման աստղադիտարաններից սպասվում է ավելի շատ հայտնաբերում, սա կդառնա այն համեմատության առաջին գրառումը, որը նախկինում չէինք կարող կատարել՝ մեր Արեգակնային համակարգի քիմիան ընդդեմ մյուսների քիմիայի՝ չափված նույն ձևով:

Կարճ ամփոփում

Աստղագետները Very մեծ աստղադիտակով չափել են ածխածնի և ազոտի իզոտոպային հարաբերությունները 3I/ATLAS-ում՝ հայտնի երրորդ միջաստղային գիսաստղում: Սա առաջին դեպքն է, երբ նման բան հնարավոր է եղել մեկ այլ աստղից եկած օբյեկտի համար: Երկու հարաբերություններն էլ Արեգակնային համակարգի գիսաստղերի արժեքներից բարձր են, ինչը համատեղելի է այն տարբերակի հետ, որ 3I-ը ձևավորվել է հին, ցածր մետաղականությամբ աստղի շուրջ սկավառակի սառը արտաքին հատվածում: Չափումը իսկական առաջին դեպք է, բայց հիմնված է մեկ օբյեկտի, մեկ մոլեկուլից ստացված երկու հարաբերությունների և մեծ անորոշությունների

վրա։ Այն չի բացահայտում, թե որտեղից է եկել 3I-ը, ճշգրիտ թիվ չի տալիս և կյանքի հետ որևէ կապ չունի։

Առանց չափազանցության

Ինչ է ցույց տալիս հոդվածը. Միջաստղային օբյեկտի համար իզոտոպային հարաբերությունների առաջին չափումները՝ ածխածին-12/ածխածին-13 ≈ 151 և ազոտ-14/ազոտ-15 ≈ 363 3I/ATLAS գիսաստղի CN մոլեկուլում՝ VLT/UVES սպեկտրոսկոպիայով։ Երկուսն էլ ավելի բարձր են, քան Արեգակնային համակարգի տիպիկ գիսաստղերում, իսկ ածխածնի արժեքը համաձայն է JWST-ի անկախ գնահատականի հետ։

Ինչն է իրական, բայց մեկնաբանական. Այն առաջարկը, որ 3I-ը ձևավորվել է հին, ցածր մետաղականությամբ աստղի արտաքին սկավառակում։ Դա համատեղելի է բարձր հարաբերությունների և քիմիական էվոլյուցիայի մոդելների հետ, բայց եզրակացություն է, ոչ որոշում։

Ինչ չի ցույց տալիս. Թե իրականում որտեղից է եկել 3I-ը, երկու հարաբերություններից որևէ մեկի ճշգրիտ արժեքը (հատկապես ազոտինը, որի անորոշությունը շատ մեծ է), որևէ բան կյանքի, բարդ օրգանական քիմիայի կամ բնակելիության մասին, և ընդհանուր եզրակացություն միջաստղային օբյեկտների վերաբերյալ (սա մեկ օբյեկտ է, մեկ մոլեկուլ)։

Հիմնական սահմանափակումները. Չափման մեծ անորոշություններ, մեկ թիրախ՝ դիտված կարճ ժամանակահատվածում, մեկ մոլեկուլից (CN) ստացված հարաբերություններ, և ծննդային միջավայրի մոդելից կախված մեկնաբանություն։

Որքան վստահություն պետք է ունենա սովորական ընթերցողը. Բարձր վստահություն, որ սա իսկական առաջին դեպք է՝ միջաստղային նյութից կարդացված իզոտոպներ, և որ երկու հարաբերություններն էլ Արեգակնային համակարգի գիսաստղերի համեմատ բարձր կողմում են։ Ցածր վստահություն ճշգրիտ թվերի նկատմամբ և համապատասխան զգուշություն ծննդավայրի պատմության հարցում, որը հավանական մեկնաբանություն է, ոչ հաստատուն եզրակացություն։ Ճիշտ վերաբերմունքը՝ մեկ այլ աստղի քիմիայի փոքր, իրական պատուհան՝ շեշտը *փոքր*-ի վրա։

Աղբյուրներ

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