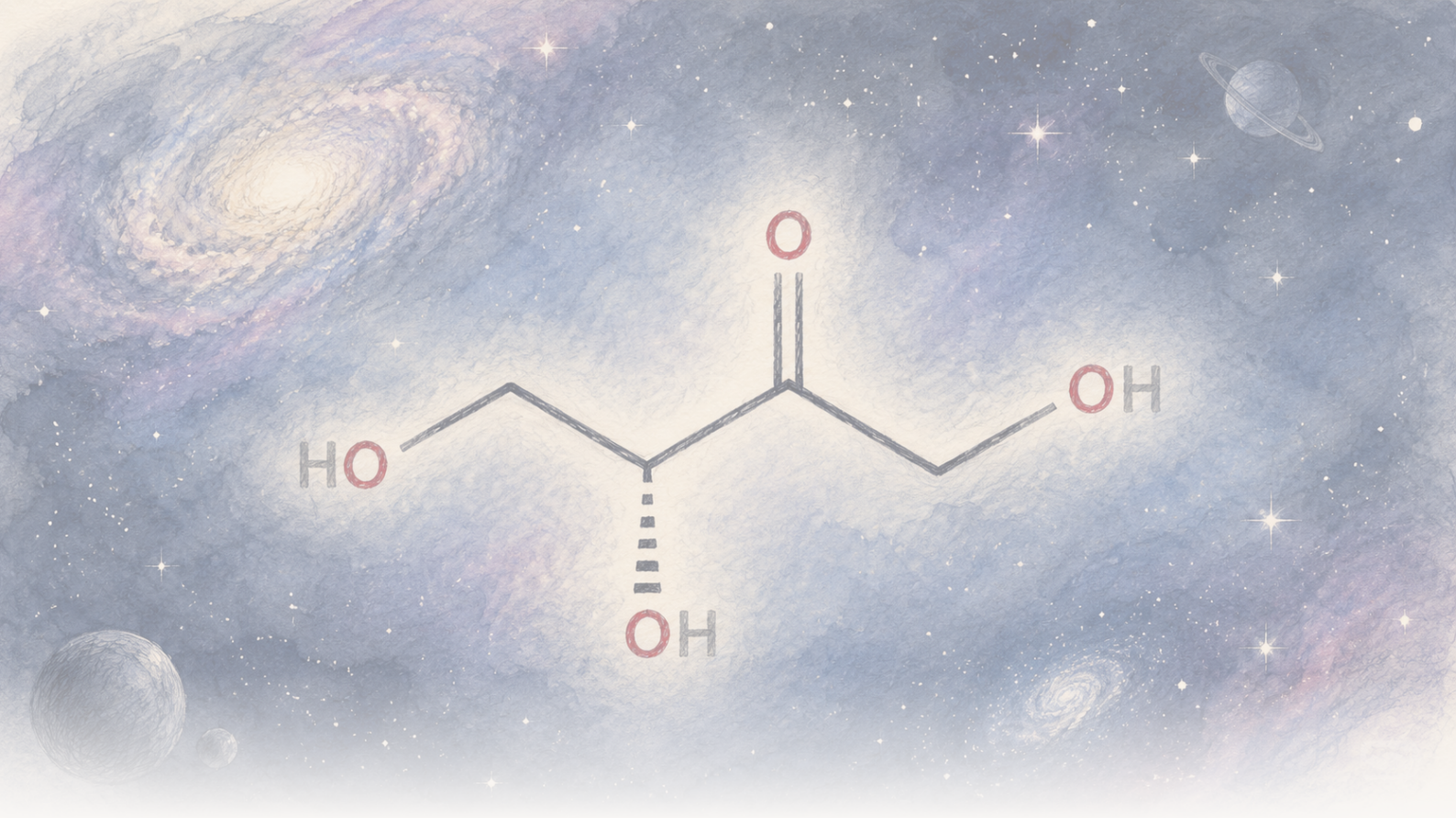


The Clean Paper

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

Gula pertama yang ditemui antara bintang ialah kimia, bukan kehidupan

Ahli astronomi melaporkan pengesanan pertama molekul gula sebenar dalam medium antara bintang: erythrulose, ketosa empat karbon yang kiral, dilihat dalam spektrum radio daripada awan Pusat Galaksi G+0.693−0.027. Pengesanan itu kukuh secara teknikal — berbilang garis spektrum, pemadanan kelimpahan dan laluan pembentukan yang munasabah pada ais butiran daripada molekul lebih kecil. Ia penting kerana membawa satu kelas kimia prebiotik keluar dari Bumi dan ke angkasa. Tetapi ia bukan ribosa, bukan RNA, bukan kehidupan, dan bukan bukti bahawa Bumi awal dibekalkan dengan gula yang cukup untuk memulakan biologi.

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

Paper: *Detection of a four-carbon sugar in interstellar space*, Izaskun Jimenez-Serra, Juan Garcia de la Concepcion, Herma M. Cuppen, Marta Rey-Montejo, Miguel Sanz-Novo and colleagues, Nature Astronomy (2026) · DOI: 10.1038/s41550-026-02905-7

Gula dalam spektrum radio

Ada satu versi cerita ini yang hampir menulis dirinya sendiri: saintis menemui gula di angkasa, jadi bahan-bahan kehidupan ada di mana-mana. Ia menarik, tetapi kesimpulannya terlalu cepat.

Hasil sebenar lebih bersih dan lebih menarik. Dalam kertas Nature Astronomy baharu, Izaskun Jimenez-Serra, Juan Garcia de la Concepcion, Herma Cuppen dan rakan-rakan melaporkan pengesanan **erythrulose** dalam medium antara bintang. Erythrulose ialah ketosa empat karbon: gula sebenar, kiral, relevan secara kimia kepada laluan prebiotik, dan cukup kecil untuk dicari melalui spektrum putarannya.

Isyarat itu datang daripada G+0.693−0.027, sebuah awan molekul berhampiran Pusat Galaksi, kira-kira 8.2 kiloparsek jauhnya. Pasukan itu menggunakan tinjauan radio jalur lebar yang sangat sensitif daripada teleskop Yebes 40 m dan IRAM 30 m, meliputi lebih 91 GHz merentasi tingkap atmosfera 7 mm, 3 mm dan 2 mm. Mereka memadankan satu set garis radio yang diperhatikan dengan data putaran makmal bagi erythrulose, memadankan pancarannya, kemudian bertanya sama ada kimia ais antara bintang boleh menghasilkan jumlah yang mencukupi.

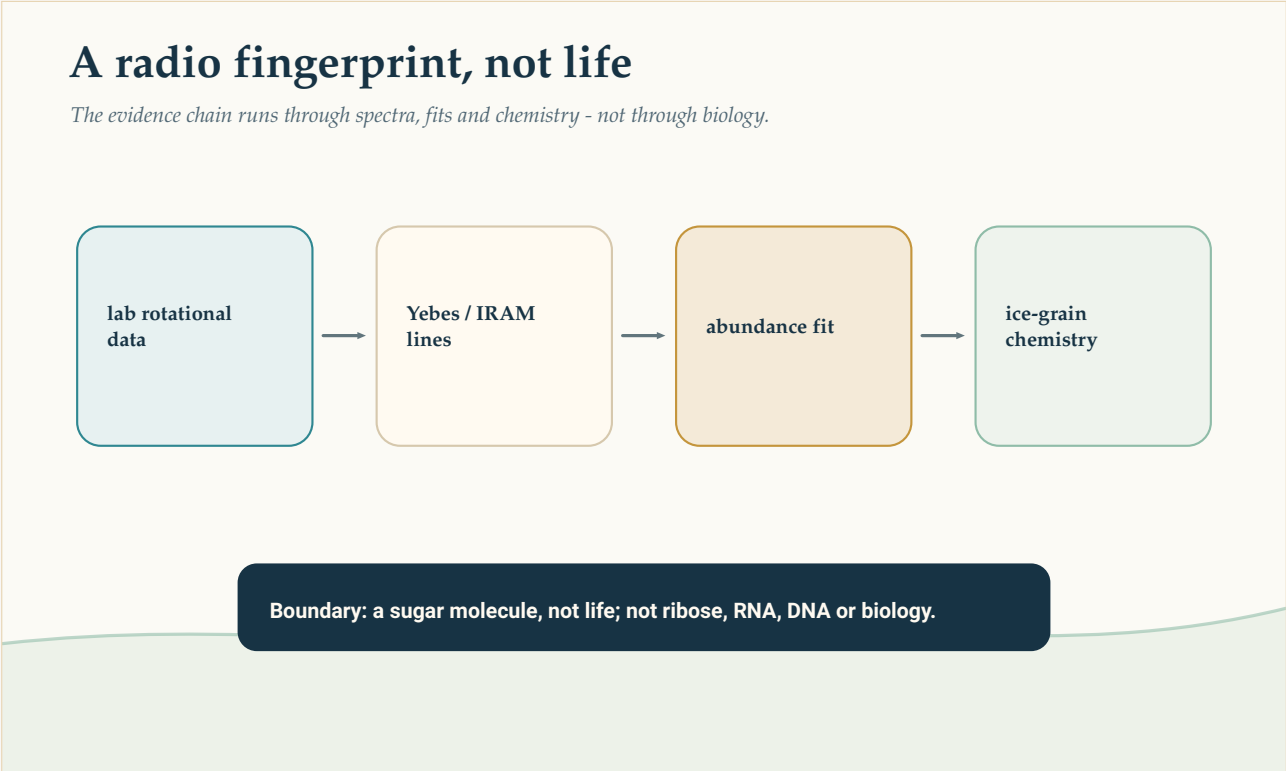
Apakah G+0.693−0.027?

G+0.693−0.027 bukan Pusat Galaksi itu sendiri, dan bukan lohong hitam Sagittarius A*. Ia ialah awan molekul dalam Zon Molekul Pusat, persekitaran bergelora dan kaya gas di sekitar pusat Bima Sakti, kira-kira 27,000 tahun cahaya dari Bumi. Namanya ialah koordinat: `G` menandakan koordinat Galaksi, manakala `+0.693` dan `−0.027` ialah longitud dan latitudnya. Awan itu terletak dalam persekitaran Sagittarius B2 dan kaya secara kimia, tetapi ahli astronomi mengkajinya terutamanya melalui garis spektrum radio dan milimeter daripada molekul berputar, bukan melalui imej cahaya tampak biasa.

Pandangan MIRI Webb terhadap Sagittarius B2, kompleks awan molekul gergasi berhampiran Pusat Galaksi.

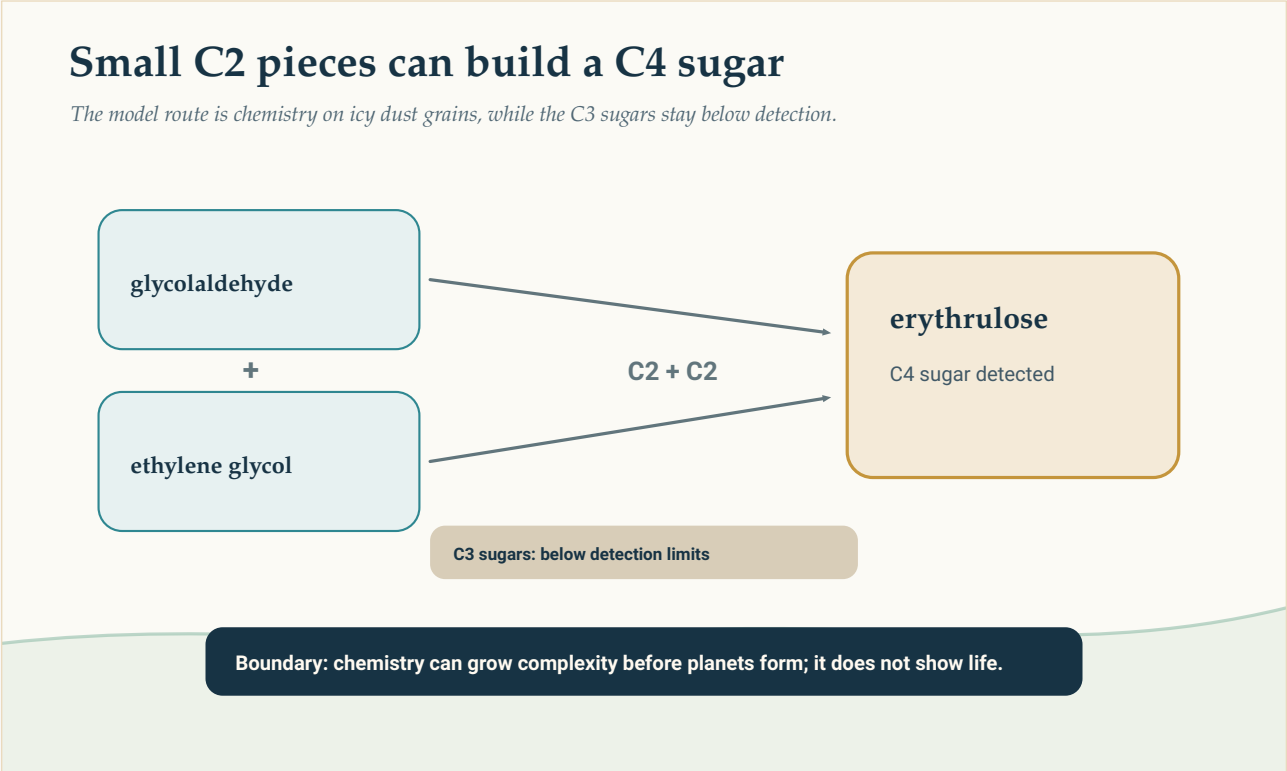
Imej ini memberi konteks kepada persekitaran berdebu dan kaya molekul di sekitar G+0.693−0.027; ia bukan imej langsung pengesanan erythrulose dan bukan bukti bagi butiran gula atau biologi.

Image: NASA, ESA, CSA, STScI, Adam Ginsburg (University of Florida), Nazar Budaiev (University of Florida), Taehwa Yoo (University of Florida); Image Processing: Alyssa Pagan (STScI) fair-use



Daripada cap jari radio kepada kad molekul erythrulose lalu ke satu sempadan: molekul gula, bukan kehidupan. Rantaian ini mengenal pasti molekul; ia tidak mengesan biologi.

Original diagram — The Clean Paper CC BY 4.0



Dua blok binaan dua karbon yang banyak — glycolaldehyde dan ethylene glycol — bergabung pada butiran berais untuk menghasilkan erythrulose empat karbon, sementara gula tiga karbon kekal di bawah had pengesanan. Kimia boleh membina kerumitan sebelum planet terbentuk.

Original diagram — The Clean Paper CC BY 4.0

Itulah dakwaan penting: molekul gula sebenar boleh terbentuk dan bertahan dalam persekitaran antara bintang yang sejuk dengan cukup baik untuk dikesan dari Bumi. Dakwaannya bukan bahawa ahli astronomi menemui kehidupan, atau RNA, atau sesudu gula terapung antara bintang.

Apa yang dilakukan oleh para penulis

- Menggunakan spektrum radio jalur lebar bagi awan molekul Pusat Galaksi G+0.693−0.027 daripada teleskop Yebes 40 m dan IRAM 30 m.
- Mencari erythrulose menggunakan spektroskopi putaran makmal terkini, yang tanpanya garis astronomi tidak dapat dikenal pasti dengan boleh dipercayai.
- Memodelkan spektrum dengan MADCUBA-SLIM di bawah keseimbangan termodinamik setempat, sambil mengambil kira lebih 180 spesies molekul yang sudah dikenal pasti dalam awan kaya garis yang sama.
- Menumpukan pemadanan pada ciri erythrulose yang paling terang dan paling sedikit bertindih.
- Membandingkan erythrulose dengan molekul berkaitan: glycolaldehyde, ethylene glycol, glyceraldehyde, dihydroxyacetone dan glycerol.
- Membina model kimia kuantum dan Monte Carlo kinetik bagi cara erythrulose boleh terbentuk pada butiran debu antara bintang yang berais.

Apa yang mereka temui

- **Pengesanan berbilang garis.** Kertas itu mengenal pasti 12 set garis erythrulose, merangkumi 17 peralihan individu. Enam daripada set garis tersebut, bersamaan sembilan peralihan individu, dikelaskan sebagai sebahagian besarnya tidak bertindih, dengan pencemaran baki pada atau di bawah 25%.
- **Molekul yang sejuk dan malap.** Pemadanan LTE memberikan suhu pengujaan 11.3 ± 1.8 K dan ketumpatan lajur $(8.7 \pm 0.8) \times 10^{13}$ cm^{-2}, menggunakan halaju pusat 69 km/s dan lebar garis 22 km/s.
- **Kelimpahan kecil tetapi boleh diukur.** Kelimpahan erythrulose yang diperoleh ialah $(6.4 \pm 0.6) \times 10^{-10}$ berbanding H_2.
- **Gula yang lebih pendek tidak kelihatan.** Gula tiga karbon yang sepadan, glyceraldehyde dan dihydroxyacetone, tidak dikesan; had atasnya ialah $\leq 4 \times 10^{-11}$ dan $\leq 7 \times 10^{-11}$. Oleh itu, erythrulose kelihatan sekurang-kurangnya 8–17 kali lebih banyak daripada gula C3 tersebut dalam sumber ini.
- **Hujah penjajaran kebetulan dinyatakan dengan jelas.** Bagi enam ciri yang paling tidak bertindih, para penulis menganggarkan kebarangkalian penjajaran garis rawak sebanyak 0.2%. Walaupun hanya tiga atau empat garis tidak bertindih digunakan, mereka melaporkan tahap keyakinan 95.2% dan 98.3%.
- **Kimianya mempunyai laluan yang munasabah.** Model itu membentuk erythrulose pada ais air amorfus daripada dua spesies C2 lebih kecil yang sudah banyak dalam awan tersebut: glycolaldehyde dan ethylene glycol. Simulasi yang paling hampir memadankan methanol, glycolaldehyde, ethylene glycol dan erythrulose dalam faktor lima, walaupun ia menghasilkan gula C3 yang tidak dikesan secara berlebihan, kira-kira 25–70 kali.

Mengapa ini bukan sekadar “gula di angkasa”

Tajuk berita astronomi terdahulu kadangkala memanggil glycolaldehyde sebagai “gula paling ringkas.” Ia berkaitan secara kimia dengan gula dan penting untuk kimia prebiotik, tetapi kertas ini berhati-hati tentang perbezaannya: glycolaldehyde ialah hydroxyaldehyde, bukan sakarida sebenar. Erythrulose berbeza. Ia monosakarida, ketosa, dan para penulis menyifatkannya sebagai gula pertama yang dilaporkan dalam medium antara bintang.

Itu penting kerana kimia asal-usul kehidupan sering perlu mengandaikan gula sebagai bahan permulaan. Ribosa dan glukosa telah ditemui dalam meteorit dan sampel asteroid Bennu, yang mencadangkan bahawa sebahagian bekalan gula mungkin berasal dari luar Bumi. Tetapi melihat molekul berkaitan gula dalam meteorit tidak sama dengan mengesan gula dalam gas dan debu antara bintang. Kertas ini menolak rantaian itu satu langkah lebih awal: sebelum jasad induk, sebelum meteorit, sebelum planet.

Hasilnya juga pelik secara kimia dalam cara yang berguna. Biasanya, apabila keluarga kimia antara bintang bertambah mengikut bilangan atom karbon, ahli yang lebih besar menjadi jauh kurang banyak. Di sini, gula empat karbon dikesan sementara gula tiga karbon yang sepadan tidak. Para

penulis berhujah bahawa laluan pembentukan dan pemusnahan pada butiran berais mungkin menjadikan erythrulose secara relatif lebih disukai dalam persekitaran ini.

Apa yang tidak dibuktikan oleh kajian ini

- Ia **tidak** menunjukkan kehidupan di angkasa. Molekul gula ialah kimia prebiotik, bukan biologi.
- Ia **tidak** menunjukkan ribosa, RNA atau DNA. Erythrulose boleh berisomer menjadi aldosa berkaitan dalam keadaan berair, dan boleh terlibat dalam laluan prebiotik, tetapi ia bukan tulang belakang gula RNA.
- Ia **tidak** menunjukkan kekiralan biologi. Erythrulose ialah molekul kiral, tetapi pengesanan radio ini mengenal pasti molekul; ia tidak mengukur lebihan enantiomer atau menunjukkan bahawa satu "tangan" molekul mendominasi.
- Ia **tidak** membuktikan bahawa molekul ini sampai ke Bumi awal. Kertas tersebut membincangkan kemungkinan penghantaran melalui jasad kecil, tetapi itu ialah ekstrapolasi daripada kelimpahan, kimia meteorit dan sejarah Sistem Suria.
- Ia **tidak** bermaksud masalah "asal-usul kehidupan" telah diselesaikan. Membekalkan satu kelas molekul tidak sama dengan membina metabolisme, replikasi atau sel.
- Ia **tidak** menghapuskan ketidakpastian dalam masalah pengesanan. Buktinya kuat, tetapi sumbernya kaya garis, dan kertas itu benar-benar memberi perhatian kepada pertindihan garis kerana di situlah salah pengenalpastian boleh berlaku.
- Ia **tidak** menjadikan anggaran penghantaran satu ukuran. Kertas itu menganggarkan bahawa kira-kira (0.5–50) $\times 10^9$ kg erythrulose mungkin telah dihantar ke Bumi awal semasa Late Heavy Bombardment, tetapi nombor itu bergantung pada beberapa andaian, dan para penulis menyatakan bahawa senario pengeboman itu sendiri telah dipersoalkan.

Sejauh mana kukuh buktinya?

Pengesanan itu bukan satu garis tunggal yang disertai cerita. Ia bersandar pada spektroskopi makmal, tinjauan radio jalur lebar, berbilang peralihan pada frekuensi dan halaju yang betul, model garis kuantitatif, serta analisis pertindihan yang jelas. Enam ciri yang kebanyakannya tidak bertindih ialah teras kes; garis lain dan pemadanan global menambah konsistensi. Bagi awan molekul yang kompleks, ini strategi pengesanan yang serius.

Bahagian yang lebih lemah bukan pengenalpastian itu sendiri, tetapi tafsiran lebih luas berkaitan asal-usul kehidupan. Model kimia menunjukkan bahawa erythrulose boleh terbentuk secara munasabah pada butiran berais daripada molekul lebih kecil, dan kelimpahan yang diperhatikan berada dalam julat kasar yang sesuai. Tetapi model itu masih menghasilkan terlalu banyak beberapa gula C3 yang tidak dikesan, dan tidak menjejaki laluan lengkap daripada ais antara bintang kepada rangkaian tindak balas di Bumi awal. Jambatan daripada "molekul ini wujud di angkasa" kepada "molekul ini membantu kehidupan bermula" adalah munasabah, bukan terbukti.

Jadi status yang bersih ialah: pengesanan astrokimia yang kuat; kimia pembentukan yang mu-

nasabah; kepentingan biologi yang spekulatif.

Mengapa ia penting

Kimia prebiotik mempunyai masalah bekalan. Sesetengah molekul yang digunakan dalam senario asal-usul kehidupan tidak mudah dihasilkan dalam jumlah berguna di bawah keadaan Bumi awal yang sederhana. Satu cara untuk mengurangkan masalah itu ialah penghantaran dari luar: komet, asteroid dan meteorit membawa masuk molekul yang terbentuk lebih awal, dalam persekitaran yang lebih sejuk dan lebih asing.

Kertas ini memberikan idea itu sumber huluan yang lebih jelas. Ia mengatakan bahawa sekurang-kurangnya satu gula sebenar boleh terbentuk dalam medium antara bintang itu sendiri, sebelum bahan tersebut terkunci ke dalam jasad kecil. Itu tidak menjadikan kehidupan tidak dapat dielakkan. Tetapi ia menjadikan inventori kimia permulaan kurang terhad kepada satu planet: sebahagian kimia yang relevan mungkin bermula sebelum planet wujud.

Versi terbaik cerita ini bukan “bahan kehidupan ada di mana-mana.” Ia lebih sempit: awan molekul sejuk berhampiran Pusat Galaksi mengandungi gula kiral yang boleh dikesan, dan kimia yang menghasilkannya mungkin berlaku pada butiran debu berais. Itu sahaja sudah cukup menarik.

Ringkasan utama

Ahli astronomi melaporkan pengesanan pertama molekul gula sebenar dalam medium antara bintang: erythrulose, ketosa empat karbon yang kiral, dalam awan Pusat Galaksi G+0.693−0.027. Bukti datang daripada berbilang peralihan radio yang diperhatikan dengan teleskop Yebes 40 m dan IRAM 30 m, dipadankan dengan data spektrum makmal dan disokong oleh model pembentukan pada butiran debu berais. Hasilnya penting kerana ia menunjukkan bahawa satu jenis kimia gula prebiotik boleh berlaku sebelum planet dan meteorit terbentuk. Ia bukan kehidupan, bukan ribosa, bukan RNA, dan bukan bukti bahawa molekul sebegini menyemai biologi di Bumi. Ia pengesanan astrokimia yang kuat dengan implikasi yang teliti dan terhad: angkasa boleh menghasilkan lebih banyak inventori prebiotik daripada yang kita ketahui sebelum ini.

Sumber

Jimenez-Serra et al., Detection of a four-carbon sugar in interstellar space, Nature Astronomy (2026)
https://doi.org/10.1038/s41550-026-02905-7

Observed spectra and LTE fits for the erythrulose study, Zenodo (2026)
https://doi.org/10.5281/zenodo.20081358