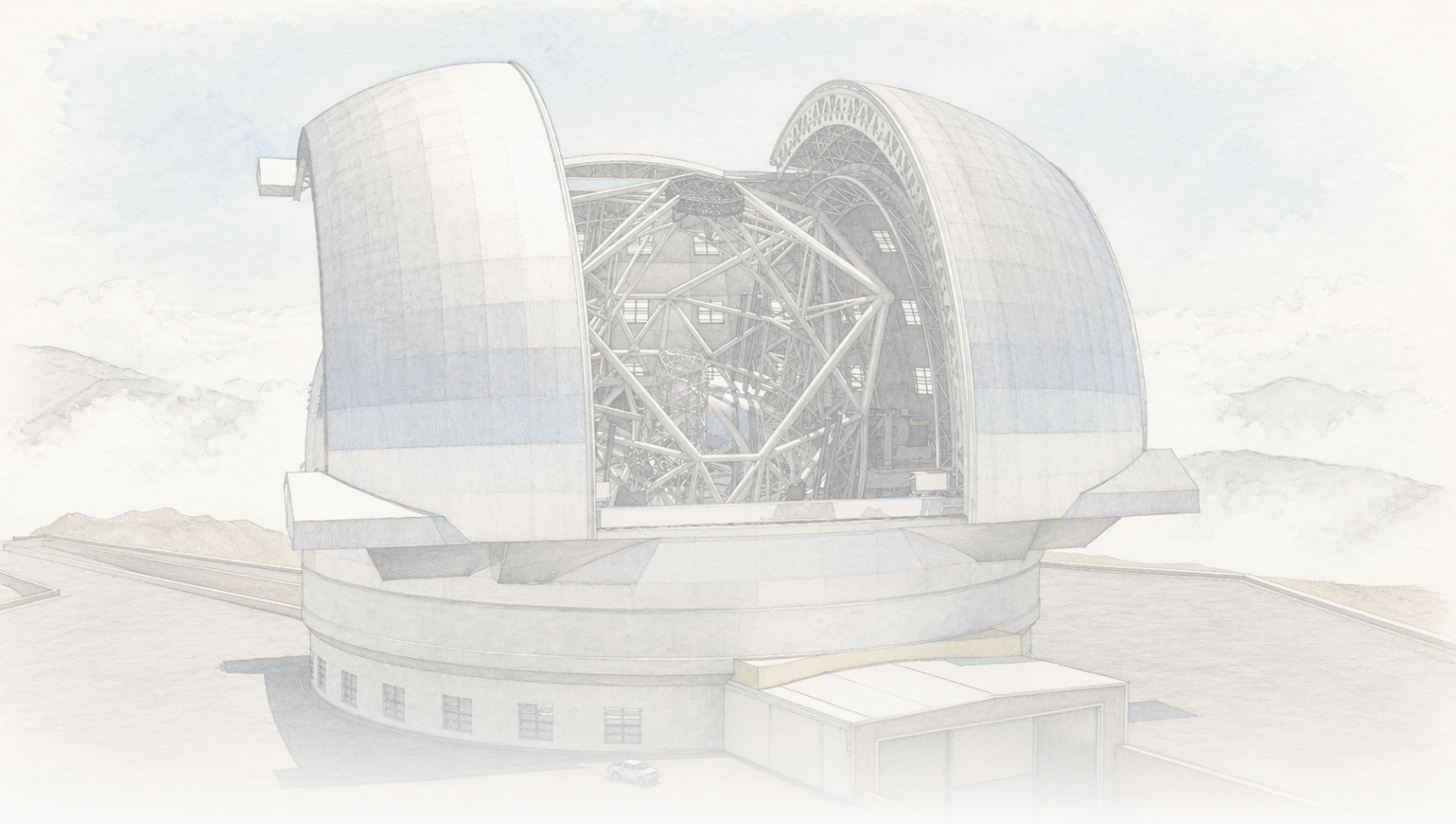




The CLEAN PAPER

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

首次測得星際彗星的同位素比：它或許誕生於一顆古老、低金屬豐度恆星周圍——但誤差很大

天文學家利用甚大望遠鏡（VLT）測量了第三顆已知星際彗星 3I/ATLAS 的碳、氮同位素比——這是人類首次對來自另一恆星系統的天體完成這類測量。兩個比值都高於太陽系彗星的典型值，與 3I 在一顆較古老、低金屬豐度恆星周圍原行星盤寒冷外緣形成的情景相容。這項測量確實是首次突破，但它只來自一個天體、一個分子中的兩個比值，而且不確定性很大；它並沒有揭示 3I 究竟來自哪裡，更與生命無關。

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

一顆來自另一恆星的彗星靠得足夠近，讓我們勉強讀出了它的化學組成

到目前為止，天文學家已經三次發現來自其他恆星系統的天體穿過太陽系。第一顆是 2017 年的 1I/Oumuamua，幾乎還沒來得及把望遠鏡對準它，它就已經遠去。第二顆是 2019 年的 2I/Borisov，它是一顆真正的彗星，但太暗。第三顆 **3I/ATLAS** 則足夠明亮，也靠得足夠近，讓研究人員第一次做成了一件此前從未做到的事：測量在另一顆恆星周圍形成的物質中的同位素。



2025 年 11 月 26 日，雙子座北望遠鏡拍攝的彗星 3I/ATLAS 及其周圍彗髮。這張圖僅用於提供直觀背景；同位素測量使用的並不是這張圖，而是 UVES 光譜。

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

這正是這篇論文低調卻重要的成果。它沒有發現一種全新的天體，也沒有發現任何生命跡象；它完成的是一種此前從未能對星際物質進行的測量：得到兩個數值，而這兩個數值多少保留著 3I 誕生環境的痕跡。

為什麼同位素比值得關心

碳和氮與大多數元素一樣，都有不同的**同位素**：它們的質子數相同，但中子數不同，因此質量也不同。像**碳-12**、**碳-13**這樣的名稱中，數字表示質量數，也就是質子和中子總數。單說「碳」時，指的是這種元素或其通常的同位素混合物，並不是單指碳-12。自然界中的碳以碳-12為主，同時含有少量更重的碳-13；普通氮同樣以氮-14為主，只含少量更重的氮-15。

這些比例並不是在任何地方都一樣。輕、重同位素之間的比值，會部分受到分子形成時的溫度、輻射環境和化學歷史影響。寒冷、昏暗、受到良好遮蔽的區域可能留下某種特徵；更溫暖、更明亮或經歷過更多化學處理的環境，則可能留下另一種特徵。

因此，同位素比有點像一張「出生證明」。在太陽系中，彗星是太陽形成時期遺留下來的冰質物質，它們的同位素比相對一致；我們可以把這些數值與恆星誕生的星際雲和原行星盤進行比較。如果能在一顆來自另一顆恆星的天體中讀出同樣的比值，就第一次有機會直接問：它的故鄉是否和我們的太陽系相似？

他們測到了什麼，以及不確定性有多大

研究團隊使用歐洲南方天文台甚大望遠鏡上的 UVES 光譜儀，在 2025 年 12 月的幾個夜晚觀測 3I/ATLAS，並分析其 **CN** 分子發出的光。CN 是氰基自由基——由一個碳原子和一個氮原子組成的簡單雙原子分子，也是彗星中較容易觀測到的發光物種之一。一個 CN 分子同時含有碳和氮，因此它的光譜可以同時攜帶兩種元素的同位素資訊，這使研究人員能夠從同一種分子中讀出碳和氮的同位素比。來自稀有同位素碳-13 和氮-15 的譜線太弱，無法逐條辨認，於是團隊把一組選定譜線疊加（共同加和），把它們合成一個強度足以測量的訊號。

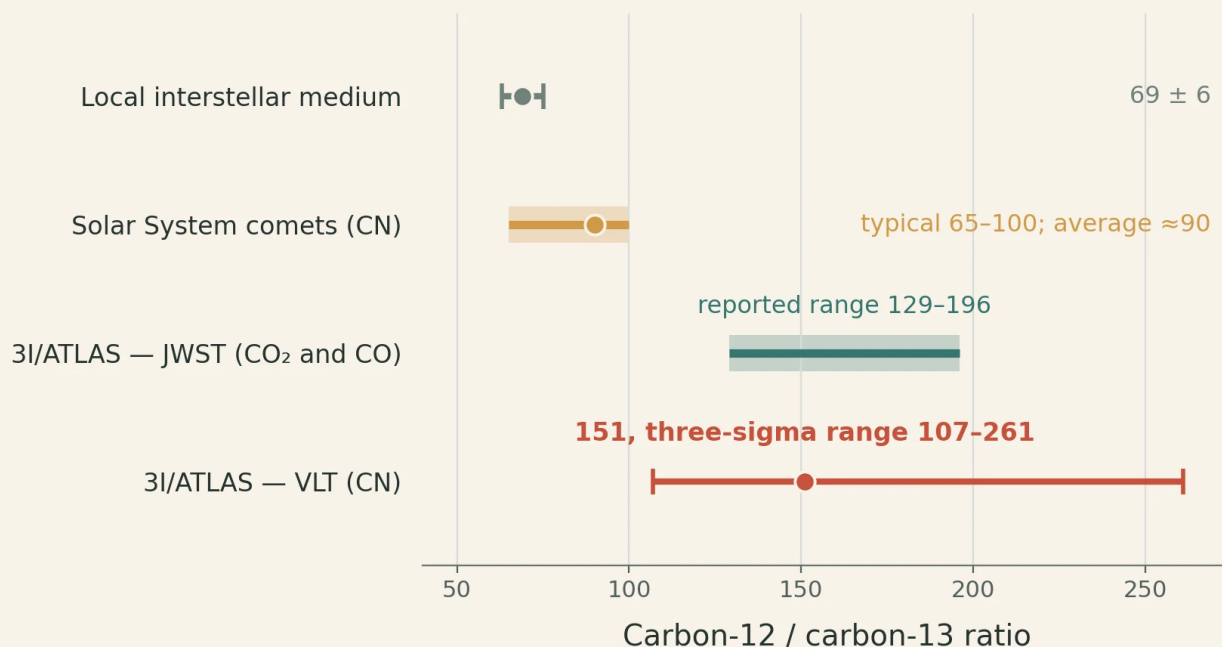
論文給出了兩個比值：

- **碳-12/碳-13** ≈ 151 (3σ 範圍約為 107–261)，
- **氮-14/氮-15** ≈ 363 (3σ 範圍約為 210 到接近 1,000)。

括號裡的範圍幾乎就是這項結果的關鍵，不能一眼略過。目標既暗又快速移動，這些測量本來就很困難，因此不確定性很大——氮尤其如此，它的「真實」數值完全可能從略高於太陽系彗星的典型值（碳約 90，氮約 150）。資料比較可靠地支持的是一個方向：兩個比值都**高於**太陽系彗星的典型值（碳約 90，氮約 150）。資料並不支持一個精確的單一數值。（氮的結果還碰到了擬合方法本身的上限：擬合只允許搜尋到 1,000，而區間上端幾乎正好貼著這個邊界。因此，「接近 1,000」既反映真實值可能很高，也反映方法在這裡停止繼續搜尋。）

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.

VLT 根據 CN 得到的數值高於太陽系彗星常見範圍，但其不對稱的 3σ 區間很寬。圖中的太陽系帶狀區只是描述性範圍；其他水平區間具有不同的統計含義，不能都當作同一種誤差條來比較。

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

令人稍感安心的是，碳的結果與 JWST 的獨立估計一致。JWST 測量的是其他分子（二氧化碳和一氧化碳）中的同一個碳同位素比，得到的範圍與這裡相容。兩個儀器、不同分子，卻落在相近範圍內，這比任何一次單獨測量都更有說服力。

它可能在告訴我們什麼

兩個比值都偏高，謹慎地看，它們指向一個彼此一致的方向。化學演化模型預期，在一顆較古老、金屬豐度較低的恆星周圍，碳-12/碳-13 會較高——這類恆星形成於銀河系歷史較早時期，當時還沒有經過一代又一代恆星把氣體富集成含有更多重碳同位素的環境。較高的氮-14/氮-15 則與行星形成盤中寒冷、受到良好遮蔽、遠離恆星強紫外輻射的區域相符。

把兩者放在一起，作者認為 3I 可能與這樣一種形成情景相容：它誕生在一顆古老、低金屬豐度恆星周圍原行星盤的寒冷外緣。這確實很有意思——如果如此，3I 就相當於帶來了一個與太陽很不一樣的恆星周圍「造行星材料」的樣本。但這裡的「相容」兩個字非常重要。資料允許這種解釋，卻沒有把它的出生地點釘死。

這項研究不能證明什麼

- 它**沒有**確定 3I 來自哪裡。「與古老、低金屬豐度恆星相符」只是對兩個比值的一種合理解釋，並不是發現了它的母恆星系統。
- 它**不**是一次高精度測量。不確定性很大——氮的結果尤其更接近「明確偏高」，而不是一個可靠的精確值。任何只引用一個看似確定數字的標題，都誇大了結果。
- 它與**生命毫無關係**。CN 是一種簡單分子，同位素比記錄的是形成過程中的溫度和輻射環境，而不是生物過程。這不是複雜有機分子、生命前化學或生命本身的偵測。
- 它基於一個天體、來自一種分子的兩個比值。因此不能告訴我們星際彗星總體上是什麼樣，只能說明這一顆看起來如何。
- 它**沒有**改寫行星或彗星形成理論。它只是給一個主要由太陽系天體和遙遠原行星盤構成的圖景，增加了一個很特殊的資料點。

證據有多強？

有限，但真實存在；作者對它的表述也很謹慎。

- 這項測量本身確實是第一次——此前沒有人從星際天體中提取出同位素比，因為前兩顆星際訪客都太暗。
- 最主要的弱點是精度：誤差範圍很大，尤其是氮。因此，具體數值不夠穩定，儘管「高於太陽系彗星」這個方向相當穩健。
- 這只是一個天體，在一個較短時間窗口內，對一種分子（CN）進行的測量；關於其母恆星環境的解釋依賴模型。
- 碳同位素結果得到 JWST 對其他分子的獨立測量支持，因此對這個比值本身的信心更高一些。

這是一項具有里程碑意義、但誤差範圍很寬的測量——是第一次窺見，而不是已經塵埃落定的結論。

為什麼重要

幾十年來，我們關於行星形成化學的知識幾乎都來自一個樣本：太陽系本身，再加上我們無法親自抵達的遙遠恆星周圍原行星盤的望遠鏡觀測。星際天體是例外——它們是真正來自其他恆星系統的物質，而且會飛到足夠近的地方，讓我們直接研究。

哪怕只能粗略讀出其中一顆的同位素比，也意味著觀測能力真正向前邁了一步。「我們想知道其他恆星系統的彗星由什麼組成」第一次變成了「這裡有其中一顆的兩個實測數值」。隨著 3I/ATLAS 逐漸遠去，未來如果能捕捉到更明亮的星際訪客——像維拉·魯賓天文台這樣的設施預計會發現更多——這項結果就會成為一場此前根本無法進行的比較中的第一條記錄：用同樣的方法，把太陽系的化學組成與其他恆星系統進行比較。

重點摘要

天文學家利用甚大望遠鏡測量了第三顆已知星際彗星 3I/ATLAS 的碳、氮同位素比——這是人類第一次能對來自另一顆恆星的天體完成這種測量。兩個比值都高於太陽系彗星的典型值，與 3I 在一顆較古老、低金屬豐度恆星周圍原行星盤寒冷外緣形成的情景相容。這項測量確實是首次突破，但它只基於一個天體、一種分子中的兩個比值，而且不確定性很大：它沒有發現 3I 真正來自哪裡，測量值也並不精確，更與生命無關。

務實檢視

論文真正顯示了什麼：首次測得星際天體的同位素比：透過 VLT/UVES 光譜，在彗星 3I/ATLAS 的 CN 分子中得到碳-12/碳-13 ≈ 151 、氮-14/氮-15 ≈ 363 。兩者都高於太陽系彗星的典型值；碳的結果與 JWST 的獨立估計一致。

真實但屬於解釋的部分：3I 可能形成於一顆較古老、低金屬豐度恆星周圍原行星盤外緣。這個說法與偏高的比值以及化學演化模型相符，但它是推斷，不是確定結果。

論文沒有顯示什麼：3I 實際來自哪裡；兩個比值的精確數值（尤其氮的誤差很大）；任何關於生命、複雜有機化學或宜居性的結論；關於星際天體的一般規律（這裡僅有一個天體、一種分子）。

主要侷限：測量不確定性大；只有一個目標，且觀測時段較短；比值來自一種分子（CN）；對出生環境的解釋依賴模型。

普通讀者應該有多大信心？可以高度相信這確實是一項首次成果——我們第一次從星際物質中讀出了同位素比，而且兩個比值相對於太陽系彗星都明顯偏高。對精確數值則不應抱太大信心，對「出生地」的故事也應保持適當謹慎：它是合理解釋，不是堅實定論。最恰當的態度是：我們確實打開了一扇通向另一顆恆星化學組成的小窗口，但重點在於它還只是一扇很小的窗口。

來源

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>