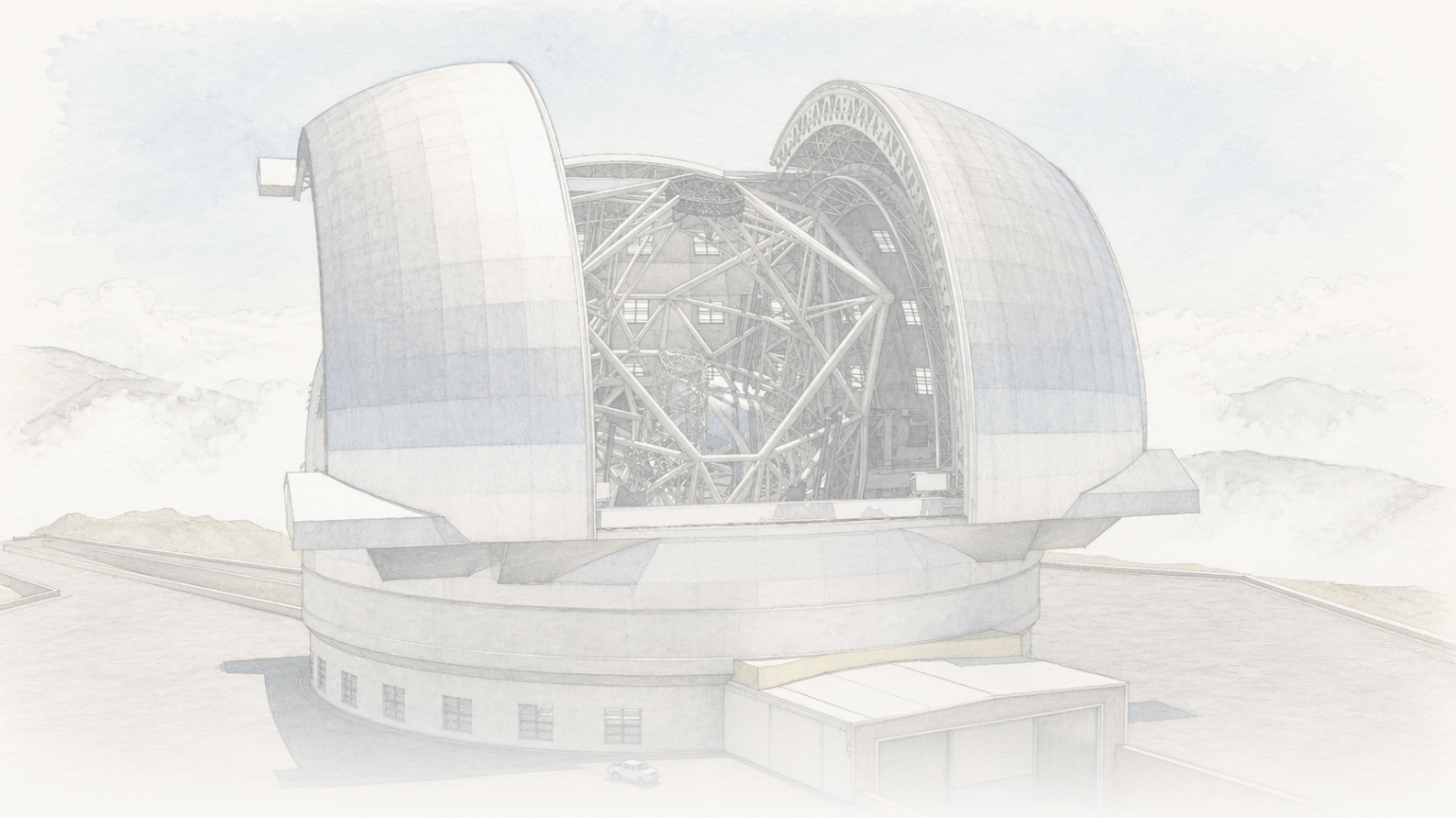


The Clean Paper

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

首次测得星际彗星的同位素比：它或许诞生于一颗古老、低金属丰度恒星周围——但误差很大

天文学家利用甚大望远镜（*VLT*）测量了第三颗已知星际彗星 *3I/ATLAS* 的碳、氮同位素比——这是人类首次对来自另一恒星系统的天体完成这类测量。两个比值都高于太阳系彗星的典型值，与 *3I* 在一颗较古老、低金属丰度恒星周围原行星盘寒冷外缘形成的情景相容。这项测量确实是首次突破，但它只来自一个天体、一个分子中的两个比值，而且不确定性很大；它并没有揭示 *3I* 究竟来自哪里，更与生命无关。

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

一颗来自另一恒星的彗星靠得足够近，让我们勉强读出了它的化学组成

到目前为止，天文学家已经三次发现来自其他恒星系统的天体穿过太阳系。第一颗是 2017 年的 1I/'Oumuamua，几乎还没来得及把望远镜对准它，它就已经远去。第二颗是 2019 年的 2I/Borisov，它是一颗真正的彗星，但太暗。第三颗 **3I/ATLAS** 则足够明亮，也靠得足够近，让研究人员第一次做成了一件此前从未做到的事：测量在另一颗恒星周围形成的物质中的同位素。



2025 年 11 月 26 日，双子座北望远镜拍摄的彗星 3I/ATLAS 及其周围彗发。这张图仅用于提供直观背景；同位素测量使用的并不是这张图，而是 UVES 光谱。

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

这正是这篇论文低调却重要的成果。它没有发现一种全新的天体，也没有发现任何生命迹象；它完成的是一种此前从未能对星际物质进行的测量：得到两个数值，而这两个数值多少保留着 3I 诞生环境的痕迹。

为什么同位素比值得关心

碳和氮与大多数元素一样，都有不同的**同位素**：它们的质子数相同，但中子数不同，因此质量也不同。像**碳-12**、**碳-13** 这样的名称中，数字表示质量数，也就是质子和中子总数。单说 “碳” 时，指的是这种元素或其通常的同位素混合物，并不是单指碳-12。自然界中的碳以碳-12 为主，同时含有少量更重的碳-13；普通氮同样以氮-14 为主，只含少量更重的氮-15。

这些比例并不是在任何地方都一样。轻、重同位素之间的比值，会部分受到分子形成时的温度、辐射环境和化学历史影响。寒冷、昏暗、受到良好屏蔽的区域可能留下某种特征；更温暖、更明亮或经历过更多化学处理的环境，则可能留下另一种特征。

因此，同位素比有点像一张 “出生证明”。在太阳系中，彗星是太阳形成时期遗留下来的冰质物质，它们的同位素比相对一致；我们可以把这些数值与恒星诞生的星际云和原行星盘进行比较。如果能在一颗来自另一颗恒星的天体中读出同样的比值，就第一次有机会直接问：它的故乡是否和我们的太阳系相似?

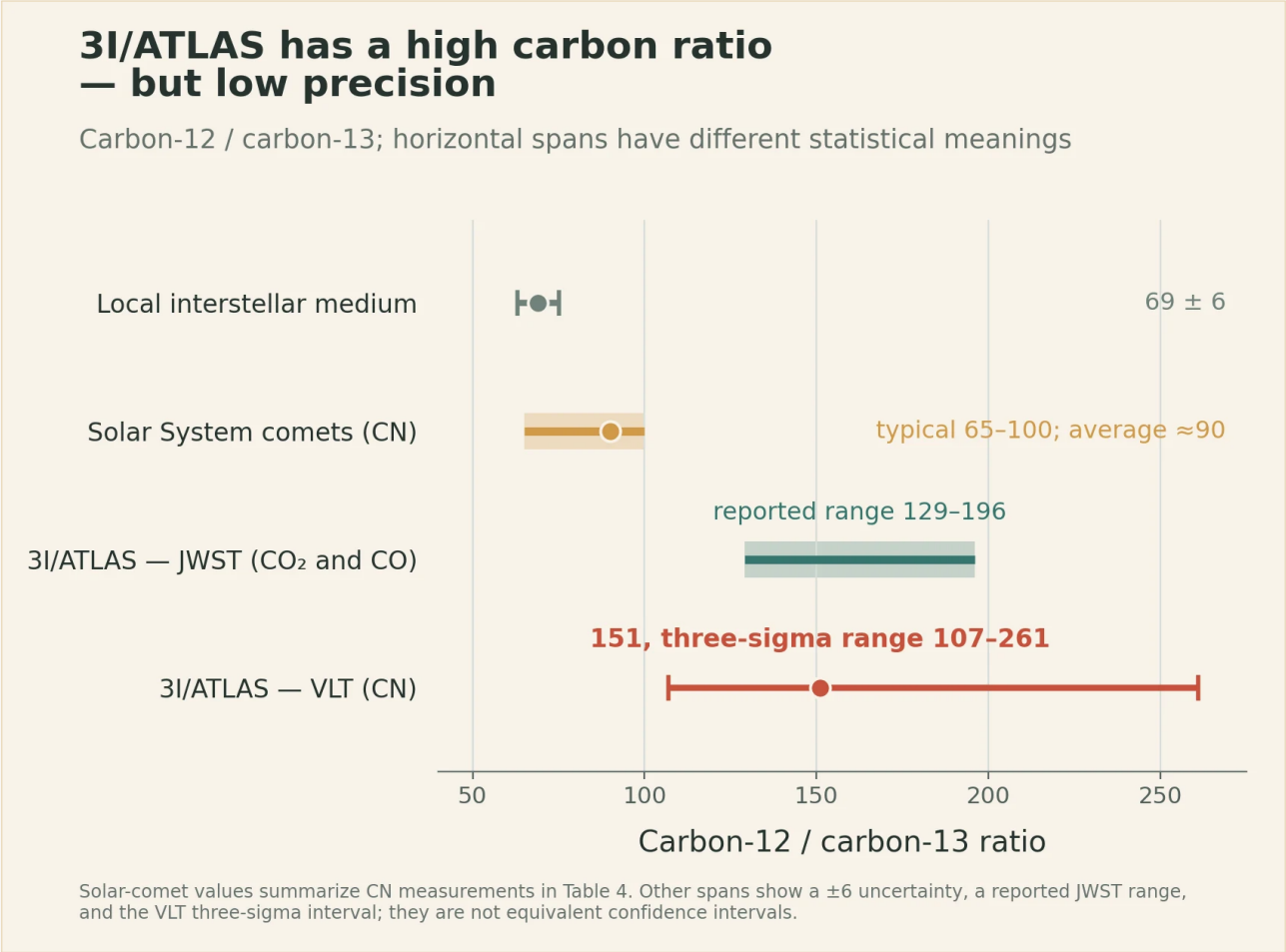
他们测到了什么，以及不确定性有多大

研究团队使用欧洲南方天文台甚大望远镜上的 UVES 光谱仪，在 2025 年 12 月的几个夜晚观测 3I/ATLAS，并分析其 **CN 分子**发出的光。CN 是氰基自由基——由一个碳原子和一个氮原子组成的简单双原子分子，也是彗星中较容易观测到的发光物种之一。一个 CN 分子同时含有碳和氮，因此它的光谱可以同时携带两种元素的同位素信息，这使研究人员能够从同一种分子中读出碳和氮的同位素比。来自稀有同位素碳-13 和氮-15 的谱线太弱，无法逐条辨认，于是团队把一组选定谱线叠加（共同加和），把它们合成一个强度足以测量的信号。

论文给出了两个比值:

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

括号里的范围几乎就是这项结果的关键，不能一眼略过。目标既暗又快速移动，这些测量本来就很困难，因此不确定性很大——氮尤其如此，它的 “真实” 数值完全可能从略高于太阳系彗星一直延伸到后者的几倍。数据比较可靠地支持的是一个方向：两个比值都**高于**太阳系彗星的典型值（碳约 90，氮约 150）。数据并不支持一个精确的单一数值。（氮的结果还碰到了拟合方法本身的上限：拟合只允许搜索到 1,000，而区间上端几乎正好贴着这个边界。因此，“接近 1,000” 既反映真实值可能很高，也反映方法在这里停止继续搜索。）



VLT 根据 CN 得到的数值高于太阳系彗星常见范围，但其不对称的 3σ 区间很宽。图中的太阳系带状区只是描述性范围；其他水平区间具有不同的统计含义，不能都当作同一种误差条来比较。

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，碳的结果与 JWST 的独立估计一致。JWST 测量的是其他分子（二氧化碳和一氧化碳）中的同一个碳同位素比，得到的范围与这里相容。两个仪器、不同分子，却落在相近范围内，这比任何一次单独测量都更有说服力。

它可能在告诉我们什么

两个比值都偏高，谨慎地看，它们指向一个彼此一致的方向。化学演化模型预期，在一颗**较古老、金属丰度较低的恒星**周围，碳-12/碳-13 会较高——这类恒星形成于银河系历史较早时期，当时还没有经过一代又一代恒星把气体富集成含有更多重碳同位素的环境。较高的氮-14/氮-15 则与行星形成盘中寒冷、受到良好屏蔽、远离恒星强紫外辐射的区域相符。

把两者放在一起，作者认为 3I **可能与这样一种形成情景相容**：它诞生在一颗古老、低金属丰度恒星周围原行星盘的寒冷外缘。这确实很有意思——如果如此，3I 就相当于带来了一个与太阳很不一样的恒星周围“造行星材料”的样本。但这里的“相容”两个字非常重要。数据允许这种解释，却没有把它的出生地点钉死。

这项研究不能证明什么

- 它**没有**确定 3I 来自哪里。“与古老、低金属丰度恒星相符” 只是对两个比值的一种合理解释，并不是发现了它的母恒星系统。
- 它**不是**一次高精度测量。不确定性很大——氮的结果尤其更接近 “明确偏高”，而不是一个可靠的精确值。任何只引用一个看似确定数字的标题，都夸大了结果。
- 它与**生命毫无关系**。CN 是一种简单分子，同位素比记录的是形成过程中的温度和辐射环境，而不是生物过程。这不是复杂有机分子、生命前化学或生命本身的探测。
- 它基于一**个天体**、来自一**种分子**的两个比值。因此不能告诉我们星际彗星总体上是什么样，只能说明这一颗看起来如何。
- 它**没有**改写行星或彗星形成理论。它只是给一个主要由太阳系天体和遥远原行星盘构成的图景，增加了一个很特殊的数据点。

证据有多强?

有限，但真实存在；作者对它的表述也很谨慎。

- 这项测量本身确实是第一次——此前没有人从星际天体中提取出同位素比，因为前两颗星际访客都太暗。
- 最主要的弱点是精度：误差范围很大，尤其是氮。因此，具体数值不够稳定，尽管 “高于太阳系彗星” 这个方向相当稳健。
- 这只是一个天体，在一个较短时间窗口内，对一种分子（CN）进行的测量；关于其母恒星环境的解释依赖模型。
- 碳同位素结果得到 JWST 对其他分子的独立测量支持，因此对这个比值本身的信心更高一些。

这是一项具有里程碑意义、但误差范围很宽的测量——是第一次窥见，而不是已经尘埃落定的结论。

为什么重要

几十年来，我们关于行星形成化学的知识几乎都来自一个样本：太阳系本身，再加上我们无法亲自抵达的遥远恒星周围原行星盘的望远镜观测。星际天体是例外——它们是真正来自其他恒星系统的物质，而且会飞到足够近的地方，让我们直接研究。

哪怕只能粗略读出其中一颗的同位素比，也意味着观测能力真正向前迈了一步。“我们想知道其他恒星系统的彗星由什么组成” 第一次变成了 “这里有其中一颗的两个实测数值”。随着 3I/ATLAS 逐渐远去，未来如果能捕捉到更明亮的星际访客——像维拉·鲁宾天文台这样的设施预计会发现更多——这项结果就会成为一场此前根本无法进行的比较中的第一条记录：用同样的方法，把太阳系的化学组成与其他恒星系统进行比较。

简明总结

天文学家利用甚大望远镜测量了第三颗已知星际彗星 3I/ATLAS 的碳、氮同位素比——这是人类第一次能对来自另一颗恒星的天体完成这种测量。两个比值都高于太阳系彗星的典型值，与 3I 在一颗较古老、低金属丰度恒星周围原行星盘寒冷外缘形成的情景相容。这项测量确实是首次突破，但它只基于一个天体、一种分子中的两个比值，而且不确定性很大：它没有发现 3I 真正来自哪里，测量值也并不精确，更与生命无关。

不绕弯检查

论文真正显示了什么： 首次测得星际天体的同位素比：通过 VLT/UVES 光谱，在彗星 3I/ATLAS 的 CN 分子中得到碳-12/碳-13 ≈ 151、氮-14/氮-15 ≈ 363。两者都高于太阳系彗星的典型值；碳的结果与 JWST 的独立估计一致。

真实但属于解释的部分： 3I 可能形成于一颗较古老、低金属丰度恒星周围原行星盘外缘。这个说法与偏高的比值以及化学演化模型相符，但它是推断，不是确定结果。

论文没有显示什么： 3I 实际来自哪里；两个比值的精确数值（尤其氮的误差很大）；任何关于生命、复杂有机化学或宜居性的结论；关于星际天体的一般规律（这里仅有一个天体、一种分子）。

主要局限： 测量不确定性大；只有一个目标，且观测时段较短；比值来自一种分子（CN）；对出生环境的解释依赖模型。

普通读者应该有多大信心？ 可以高度相信这确实是一项首次成果——我们第一次从星际物质中读出了同位素比，而且两个比值相对于太阳系彗星都明显偏高。对精确数值则不应抱太大信心，对“出生地”的故事也应保持适当谨慎：它是合理解释，不是坚实定论。最恰当的态度是：我们确实打开了一扇通向另一颗恒星化学组成的小窗口，但重点在于它还只是一扇很小的窗口。

来源

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