مقال

نَجْم مِنْ بَيْنِ كُلِّ اثْنَيْ عَشَر يُبْدِي دَلَائِلَ عَلَى ابْتِلَاعِهِ لِكَوَاكِب

https://doi.org/10.1038/s41586-024-07091-y

Received: 7 September 2023

Accepted: 18 January 2024

Published online: 20 March 2024

Check for updates

Fan Liu[1,2,3] ✉, Yuan-Sen Ting[3,4,5,6,7,8], David Yong[3,4], Bertram Bitsch[9,10], Amanda Karakas[1,3], Michael T. Murphy[2], Meridith Joyce[11,12], Aaron Dotter[13] & Fei Dai[14,15]

يمكن للتَّركِيباتُ الكِيميائيَّةُ النَّجميَّةُ أَنْ تَتَغَيَّرَ بِفِعلِ ابتِلاعِ مَواد كَوْكَبِيَّة أو تَكوينِ الكَواكِبِ الذي يُؤَدِّي إلى إزالةِ المَوادِّ الحَراريَّةِ مِن القُرصِ النَّجميّ البِدَائيّ. تَظْهَرُ هذهِ "التَّواقِيعُ الكَوْكَبِيَّةُ" كَتَرابُطاتٍ بَيْنَ اختِلافاتٍ في وَفرَةِ العُناصِرِ وَدَرَجَةِ تَكَثُّفِ الغُبارِ. ومع ذلك، يُعَدُّ دراسة هذهِ التَّواقِيعِ الكَوْكَبِيَّةِ تَحدِّيًا بِسَبَبِ مُعدَّلاتِ الحُدوثِ غَيرِ المَعروفَةِ، والسِّعاتِ الإشَارِيّةِ الصَّغيرةِ، وعَيِّناتِ النُّجومِ غَيرِ المُتَجانِسَةِ التي تَحمِلُ فُروقًا كَبِيرَةً في أعمارِها. لِهذهِ الأَسبابِ، يُمكِنُ لِلنُّجومِ التي وُلِدَتْ مَعًا (أي الشَّريكَةِ في النَّشأةِ) بِتَركِيباتٍ كيميائِيّةٍ مُتَطابِقَةٍ أن تُسَهِّلَ اكتِشافَ التَّواقِيعِ الكَوْكَبِيَّةِ. وعلى الرّغمِ مِنْ أنَّ الدِّراساتِ الطَّيفِيَّةِ السَّابِقَةِ اقتَصَرَتْ على عَدَدٍ قَليلٍ مِنَ النُّجومِ الثُّنائيَّةِ، فإنَّ القَمَرَ الصِّناعيَّ "غَايَا" يُقَدِّمُ فُرَصًا لِرَصْدِ التَّواقِيعِ الكِيميائيَّةِ النَّجميَّةِ لِلكَواكِبِ بَيْنَ أَزواجِ النُّجومِ المُتَحرِّكَةِ مَعًا وَالمُؤكَّدِ نَشأتُها المُشتَرَكَةِ. نُقَدِّمُ هُنا تَقْريرًا عَن قِياساتٍ عَالِيَةِ الدِّقَةِ لِلْوَفْرَةِ الكِيميَائِيَّةِ لِعَيِّنَةٍ مُتَجَانِسَةٍ مِنَ تسْعِينَ زَوْجًا مِنَ النُّجومِ ذَوَاتِ النَّشْأَةِ المُشْتَرَكَةِ، وَنُحَدِّدُ مَا لا يَقِلُّ عَن سَبْعِ حَالَاتٍ لِابْتِلاعٍ كَوْكَبِيٍّ، مِمَّا يُوافِقُ مُعَدَّلَ حُدُوثٍ نِسْبَتُهُ ثَمَانِيَةٌ فِي المِئَةِ. يُستَخْدَمُ أَيْضًا مُؤَشِّرٌ بَايْزِيٌّ مُسْتَقِلٌّ، قَادِرٌ عَلَى فَصْلِ تَوَاقِيعِ الكَوَاكِبِ عَنْ عَوَامِلَ أُخْرَى، مِثْلَ التَّبَايُنِ العَشْوَائِيِّ فِي الوَفْرَةِ وَالِانْتِشَارِ الذَّرِيِّ. تُوَفِّرُ دِرَاسَتُنَا أَدِلَّةً عَلَى التَّوَاقِيعِ الكَوْكَبِيَّةِ وَتُسَهِّلُ فَهْمًا أَعْمَقَ لِلِارْتِبَاطِ بَيْنَ النُّجُومِ وَالكَوَاكِبِ وَالكِيمِيَاءِ مِنْ خِلَالِ تَوْفِيرِ قُيُودٍ رَصْدِيَّةٍ عَلَى آلِيَّاتِ ابْتِلاعِ الكَوَاكِبِ وَتَكْوِينِهَا وَتَطَوُّرِهَا.

باسْتِخْدَامِ بَيَانَاتٍ فَلَكِيَّةٍ عَالِيَةِ الدِّقَّةِ مِنْ القَمَرِ الصِّنَاعِيِّ غَايَا Gaia، أَنْشَأْنَا عَيِّنَةً كَبِيرَةً وَمُتَجَانِسَةً مِنْ 125 زَوْجًا مِنَ النُّجُومِ المُتَحَرِّكَةِ مَعًا، مَعَ دَالَّةِ اخْتِيَارٍ مُحَدَّدَةٍ جَيِّدًا وَغَيْرِ مُنْحَازَةٍ لِلتَّحْلِيلِ الطَّيْفِيِّ عَالِي الدِّقَّةِ. مِنْ بَيْنِ هَذِهِ الأَزْوَاجِ، يُمْكِنُ اعْتِبَارُ 91 منها مِنَ النُّجُومِ ذَاتِ الفَوَاصِلِ المَكَانِيَّةِ $\Delta s<10^6$AU قَرِيبَةً وَمُتَزَامِنَةَ النَّشْأَةِ مَعَ أَصْلٍ مُشْتَرَكٍ؛ وَيُعْتَبَرُ الـ34 زَوْجًا الأُخْرَى أَزْوَاجًا مُتَحَرِّكَةً مَعًا عَالِيَةَ الفَصْلِ مَعَ قِيَمِ Δs أَكْبَرَ من 10^6 وَتُعْتَبَرُ عَيِّنَةَ تَحَكُّمٍ. تَمَّ الْحُصُولُ عَلَى أَطْيَافٍ عَالِيَةِ الدِّقَّةِ وَعَالِيَةِ نِسْبَةِ الإِشَارَةِ إِلَى الضَّجِيجِ (S/N≈250) لِكُلِّ بِكْسِلٍ مِنْ تِلِسْكُوبِ VLT التَّابِعِ لِلْمَرْصَدِ الْأُورُوبِّيِّ الْجَنُوبِيِّ، وَتِلِسْكُوبِ مَاجِلَّانْ، وَتِلِسْكُوبِ كِيكْ. تَمَّ تَحْدِيدُ الْمَعَامِلَاتِ النَّجْمِيَّةِ الدَّقِيقَةِ (التَّفَاضُلِيَّةِ) لِنُجُومِ عَيِّنَتِنَا، وَهِيَ فِي الْغَالِبِ أَقْزَامٌ مُتَأَخِّرَةٌ مِنْ نَوْعَيْ F وَ G. بِاسْتِخْدَامِ تَحْلِيلٍ تَفَاضُلِيٍّ صَارِمٍ (مُتَّسِقٍ مَعَ تَحْدِيدِ الْمَعَامِلَاتِ) يُقَلِّلُ بِشَكْلٍ كَبِيرٍ مِنَ الشُّكُوكِ الْمُنْهَجِيَّةِ، تَمَّ تَحْقِيقُ دِقَّةٍ عَالِيَةٍ لِلْغَايَةِ بِنِسْبَةِ خَطَأٍ نِسْبِيٍّ فِي الْوَفْرَةِ يَبْلُغُ حَوَالَيْ 0.015 (3.5%) لِمَجْمُوعَةٍ مِنْ 21 عُنْصُرًا، بَدْءًا مِنَ الْكَرْبُونِ (C) وَحَتَّى السِّيرِيُومِ (Ce)، تُغَطِّي نِطَاقًا واسعا مِنْ دَرَجَاتِ حَرَارَةِ تَكَاثُفِ الْغُبَارِ (Tcond) وَعَمَلِيَّاتِ تَخْلِيقِ الْعَنَاصِرِ.

إِنَّ حَجْمَ عَيِّنَتِنَا أَكْبَرُ بِحَوَالَيْ 5-10 أَضْعَافٍ مِنَ الدِّرَاسَاتِ السَّابِقَةِ ذَاتِ الدِّقَّةِ الْمُمَاثِلَةِ فِي الْوَفْرَةِ لِمَا لَا يَقِلُّ عَنْ 15 عُنْصُرًا. تَضَمَّنَ النَّهْجُ الْأَسَاسِيُّ تَطْوِيرَ وَتَطْبِيقَ التَّحْلِيلِ الْبَايِزِيِّ عَلَى بَيَانَاتِ الْوَفْرَةِ الدَّقِيقَةِ لَدَيْنَا، بِالِاقْتِرَانِ مَعَ نَمُوذَجٍ لِابْتِلَاعِ الْكَوَاكِبِ. هُنَا نَفْتَرِضُ أَنَّ الِاخْتِلَافَاتِ الْمُلَاحَظَةَ فِي الْوَفْرَةِ نَاتِجَةٌ عَنِ ابْتِلَاعِ الْمَوَادِّ الْكَوْكَبِيَّةِ، وَنَفْحَصُ كَمِّيًّا كُتْلَةَ الْمَادَّةِ الْأَرْضِيَّةِ الْإِجْمَالِيَّةِ الْمَطْلُوبَةِ لِمُطَابَقَةِ نَمَطِ الْوَفْرَةِ لِزَوْجٍ مُتَحَرِّكٍ مُعَيَّنٍ، جَنْبًا إِلَى جَنْبٍ مَعَ الدَّلِيلِ الْبَايِزِيِّ (اللُّوغَارِيثْمِيِّ) الْمُقَابِلِ ln(Z)_planet لِنَمُوذَجِ ابْتِلَاعِ الْكَوَاكِبِ. ثُمَّ قَارَنَّا النَّتَائِجَ مَعَ النَّمُوذَجِ الْمُسْتَوِي (فَرْضِيَّةُ الْعَدَمِ) وَنَمُوذَجِ الِانْتِشَارِ الذَّرِّيِّ لِكُلِّ زَوْجٍ مُتَحَرِّكٍ مَعًا. إِنَّ الْفَرْقَ فِي الدَّلِيلِ الْبَايِزِيِّ (اللُّوغَارِيثْمِيِّ) ΔlnZ بَيْنَ نَمُوذَجِ ابْتِلَاعِ الْكَوَاكِبِ وَالنَّمَاذِجِ الْمُسْتَوِيَةِ يُزَوِّدُنَا بِمُؤَشِّرٍ صَارِمٍ لِتَحْدِيدِ وَالتَّحَقُّقِ مِنَ التَّوَاقِيعِ الْكِيمِيَائِيَّةِ لِابْتِلَاعِ الْمَوَادِّ الْكَوْكَبِيَّةِ. يُظْهِرُ الشَّكْلُ 1a نَتَائِجَ الْمُطَابَقَةِ لِزَوْجٍ مِثَالِيٍّ، HD 185726 وَ HD 185689 (الزَّوْجُ 124)، وَالَّذِي يَمْتَلِكُ مِنْ بَيْنِ أَكْبَرِ Δln(Z). بِالنِّسْبَةِ لِهَذَا الزَّوْجِ، تَتَّفِقُ بَيَانَاتُ الْوَفْرَةِ بِشَكْلٍ جَيِّدٍ مَعَ النَّمُوذَجِ الْمُتَوَقَّعِ لِابْتِلَاعِ الْكَوَاكِبِ، وَلَكِنَّهَا تَنْحَرِفُ بِوُضُوحٍ عَنِ النَّمُوذَجِ الْمُسْتَوِي وَنَمُوذَجِ التَّشَتُّتِ الذَّرِّيِّ.

[1]School of Physics and Astronomy, Monash University, Clayton, Victoria, Australia. [2]Centre for Astrophysics and Supercomputing, Swinburne University of Technology, Hawthorn, Victoria, Australia. [3]ARC Centre for All Sky Astrophysics in 3D (ASTRO-3D), Canberra, Australian Capital Territory, Australia. [4]Research School of Astronomy and Astrophysics, Australian National University, Weston, Australian Capital Territory, Australia. [5]School of Computing, Australian National University, Acton, Australian Capital Territory, Australia. [6]Department of Astronomy, The Ohio State University, Columbus, OH, USA. [7]Center for Cosmology and AstroParticle Physics (CCAPP), The Ohio State University, Columbus, OH, USA. [8]Observatories of the Carnegie Institution of Washington, Pasadena, CA, USA. [9]Max-Planck-Institut für Astronomie, Heidelberg, Germany. [10]Department of Physics, University College Cork, Cork, Ireland. [11]HUN-REN Research Centre for Astronomy and Earth Sciences, Konkoly Observatory, Budapest, Hungary. [12]CSFK, MTA Centre of Excellence, Budapest, Hungary. [13]Department of Physics and Astronomy, Dartmouth College, Hanover, NH, USA. [14]Division of Geological and Planetary Sciences, California Institute of Technology, Pasadena, CA, USA. [15]Department of Astronomy, California Institute of Technology, Pasadena, CA, USA. ✉e-mail: fan.liu@monash.edu