رسالة

doi:10.1038/nature10519

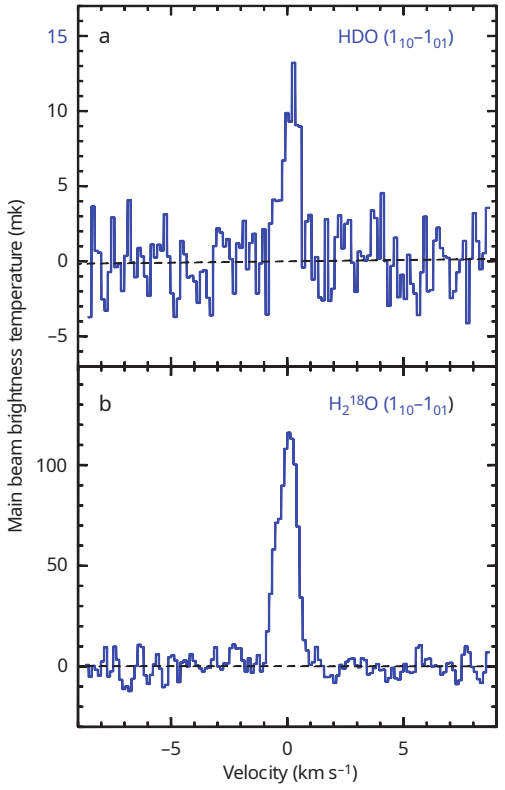
مِيَاهٌ تُشْبِهُ مُحِيطَاتِ الْأَرْضِ فِي مُذَنَّبِ عَائِلَةِ الْمُشْتَرِي 103P/Hartley

Paul Hartogh[1], Dariusz C. Lis[2], Dominique Bockelée- Morvan[3], Miguel de Val- Borro[1], Nicolas Biver[3], Michael Küppers[4], Martin Emprechtinger[2], Edwin A. Bergin[5], Jacques Crovisier[3], Miriam Rengel[1], Raphael Moreno[3], Slawomira Szutowicz[6] & Geoffrey A. Blake[2]

لِعُقُودٍ مِنَ الزَّمَنِ، كَانَ مَصْدَرُ العَنَاصِرِ المُتَطَايِرَةِ على كَوكَبِ الْأَرْضِ، وَلَا سِيَّمَا مِيَاهِ المُحِيطَاتِ ذَاتِ نِسْبَةِ الدِّيوتِيرِيومِ إِلَى الهِيدْرُوجِينِ (D/H) البَالِغَة (1.558±0.001)×1E-4، مَوْضِعَ جَدَلٍ وَنِقَاشٍ. إِنَّ التَّشَابُهَ بَيْنَ التَّرْكِيبِ الكِيميائِيِّ لِلْأَرْضِ وَالنَّيَازِكِ المَعْرُوفَةِ بِاسْمِ الكُونْدْرِيتَاتِ الإِنْسْتَاتِيتِيَّةِ يُشِيرُ إِلَى جَفَافِ الْأَرْضِ الأَوَّلِيَّةِ مَعَ إِمْدَادَاتٍ لَاحِقَةٍ لِلْمَوَادِّ المُتَطَايِرَةِ و المِياه عَنْ طَرِيقِ التَّرَاكُمِ المَحَلِّيِّ أَوْ ارْتِطَامِ الكَوَيْكِبَاتِ أَوِ المُذَنَّبَاتِ. أَظْهَرَتْ القِيَاسَاتُ السَّابِقَةُ فِي سِتَّةِ مُذَنَّبَاتٍ مِنْ سَحَابَةِ أُورْت مُتَوَسِّطَ نِسْبَةِ D/H قَدْرُهُ (2.96 ± 0.25)×1E-4. قادَتْ قِيمَةُ D/H فِي الكُونْدْرِيتَاتِ الكَرْبُونِيَّةِ، وَهِيَ (1.4 ± 0.1)×1E-4، بِالإِضَافَةِ إِلَى المُحَاكَاةِ الدِّينَامِيكِيَّةِ، إِلَى نَمَاذِجَ كَانَتْ فِيهَا الكَوَيْكِبَاتُ المَصْدَرَ الرَّئِيسِيَّ لِمِيَاهِ الْأَرْضِ، مَعَ تَوْرِيدِ مَا لَا يَزِيدُ عَنْ 10% منها مِنَ المُذَنَّبَاتِ. نُفِيدُ هُنَا أَنَّ نِسْبَةَ D/H فِي المُذَنَّبِ 103P/Hartley 2، وَهُوَ مِنْ عَائِلَةِ مُذَنَّبَاتِ المُشْتَرِي الَّتِي تنشأُ فِي حَزَامِ كَايْبِر، هِيَ (1.61 ± 0.24)×1E-4. تُوَسِّعُ هَذِهِ النَّتِيجَةُ بِشَكْلٍ كَبِيرٍ الأُصُولَ المُحتَمَلَةَ لِمِيَاهِ الْأَرْضِ لِتَشْمَلَ بَعْضَ المُذَنَّبَاتِ، وَتَتَّفِقُ مَعَ الصُّورَةِ النَّاشِئَةِ لِلتَّطَوُّرِ الدِّينَامِيكِيِّ المُعَقَّدِ لِلنِّظَامِ الشَّمْسِيِّ المُبَكِّرِ.

فِي 17 نُوفَمْبِر 2010، بِاسْتِخْدَامِ مَرْصَدِ هِرْشِل الفَضَائِيِّ، حَدَّدْنَا نِسْبَةَ D/H فِي مُذَنَّبٍ مِنْ مَصدَرٍ آخَرَ غَيْرِ سَحَابَةِ أُورْت، وَهُوَ 103P/Hartley 2. يُعْتَقَدُ أَنَّ هَذِهِ المُذَنَّبَاتِ مِنْ عَائِلَةِ المُشْتَرِي تَنْشَأُ مِنْ حَزَامِ كَايْبِر، الَّذِي يَقَعُ خَارِجَ مَدَارَاتِ الكَوَاكِبِ العِمْلَاقَةِ عَلَى أَنْصَافِ أَقْطَارٍ تَتَرَاوَحُ بَيْنَ 30 وَ 50 وَحْدَةً فَلَكِيَّةً (الوَحْدَةُ الفَلَكِيَّةُ هِيَ مُتَوَسِّطُ المَسَافَةِ بَيْنَ الْأَرْضِ وَالشَّمْسِ). فِي المُقَابِلِ، يُعْتَقَدُ أَنَّ مُذَنَّبَاتِ سَحَابَةِ أُورْت قَدْ نَشَأَتْ مِنْ أَنْصَافِ أَقْطَارٍ قَرِيبَةٍ مِنَ الكَوَاكِبِ الغَازِيَّةِ وَتَمَّ طَرْدُهَا لَاحِقًا إِلَى سَحَابَةِ أُورْت (أَكْثَرُ مِنْ 5,000 وَحْدَةٍ فَلَكِيَّةٍ). لِذَلِكَ، فَإِنَّ قِيَاسَ هِرْشِل يَتَتَبَّعُ نِسْبَةَ D/H لِلْمَاءِ فِي مَجْمُوعَةٍ جَدِيدَةٍ مِنَ الْأَجْسَامِ الغَنِيَّةِ بِجَلِيدِ المَاءِ فِي النِّظَامِ الشَّمْسِيِّ، وَالَّتِي تُعَدُّ مَصْدَرًا مُحْتَمَلًا لِلْمَاءِ عَلَى الْأَرْضِ. لِلْحُصُولِ عَلَى تَحْدِيدٍ دَقِيقٍ لِنِسْبَةِ D/H فِي المَاءِ، أَجْرَيْنَا رَصَدًا مُتَزَامِنًا لِلْمُتَغَيِّرَاتِ النَّظَائِرِيَّةِ الرَّقِيقَةِ بَصَرِيًّا لِلْمَاءِ، وَتَحْدِيدًا HDO وَ $H_2{}^{18}O$ (الشَّكْل 1)، كَجُزْءٍ مِنْ بَرْنَامَجِ رَصْدِ النِّظَامِ الشَّمْسِيِّ الخَاصِّ بِنَا. كَانَ هَذَا أَمْرًا حَاسِمًا بِالنِّسْبَةِ لِلْمُذَنَّبِ 103P/Hartley 2، الَّذِي أَظْهَرَ نَشَاطُهُ وَمُعَدَّلَاتُ انْبِعَاثِ المَاءِ مِنْهُ تَغَيُّرَاتٍ كَبِيرَةً عَلَى المَدَى القَصِيرِ. اسْتَخْدَمْنَا نَمَاذِجَ إِشَارَةٍ حَدِيثَةً لِتَحْدِيدِ الكَثَافَاتِ العَمُودِيَّةِ المُتَكَامِلَةِ وَمُعَدَّلَاتِ إِنْتَاجِ HDO وَ $H_2{}^{18}O$ مِنْ شِدَّةِ الخُطُوطِ المَقِيسَةِ. تُعْطِي تَفَاصِيلُ الرَّصْدِ وَالنَّمْذَجَةِ فِي المَعْلُومَاتِ التَّكْمِيلِيَّةِ. النُّقْطَةُ الحَاسِمَةُ هِيَ أَنَّ جَمِيعَ المُشَاهَدَاتِ أَخَذَتْ عَيِّنَاتٍ مِنْ نَفْسِ المِنْطَقَةِ مِنَ الهَالَةِ الَّتِي يَبْلُغُ قُطْرُهَا حَوَالَي 6,500 كِيلُومِتْر. تَتَأَثَّرُ الكَثَافَاتُ العَمُودِيَّةُ لِلْغَازِ وَمُعَدَّلَاتُ الإِنْتَاجِ المُسْتَرْجَعَةُ بِالمَقَاطِعِ العَرْضِيَّةِ التَّصَادُمِيَّةِ، بِالْإِضَافَةِ إِلَى كَثَافَةِ وَتَوْزِيعَاتِ دَرَجَاتِ الحَرَارَةِ لِـ H_2O وَالْإِلِكْتُرونَاتِ، وَبِالتَّالِي فَقَدْ نَظَرْنَا فِي مَجْمُوعَةٍ مِنْ مُعَامِلَاتِ النَّمُوذَجِ (الجَدْوَل 1). عَلَى الرَّغْمِ مِنْ أَنَّ مُعَدَّلَاتِ الإِنْتَاجِ المُحَدَّدَةَ لِمُخْتَلَفِ مُعَامِلَاتِ النَّمُوذَجِ تَخْتَلِفُ قَلِيلًا، إِلَّا أَنَّ قِيمَةَ نِسْبَةِ D/H تُقَدَّرُ بِـ (1.61 ± 0.24)×1E-4. فِي تَحْلِيلِنَا، افْتَرَضْنَا نِسْبَةَ $H_2{}^{16}O/H_2{}^{18}O$ تَبْلُغُ 500 ± 50، وَهِذا نِطَاقٌ يَشْمَلُ قِيمَةَ الْأَرْضِ وَيَتَّفِقُ مَعَ القِيَاسَاتِ السَّابِقَةِ فِي مِيَاهِ المُذَنَّبَاتِ (انْظُرْ أَيْضًا المَعْلُومَاتِ التَّكْمِيلِيَّةَ). يَشْمَلُ عَدَمُ اليَقِينِ 1σ المَذْكُورُ فِي نِسْبَةِ D/H عَدَمَ يَقِينٍ بِنِسْبَةِ 5٪ بِالنِّمْذَجَةِ.

إِنَّ قِيمَةَ D/H الَّتِي قِسْنَاهَا أَكْبَرُ بِكَثِيرٍ مِنْ تِلْكَ الَّتِي مَيَّزَتِ الشَّمْسَ المُبَكِّرَةَ (قَبْلَ 4.5 مِلْيَارِ سَنَةٍ؛ النِّسْبَةُ الشَّمْسِيَّةُ الأَوَّلِيَّةُ)، وَالَّتِي يُعْتَقَدُ أَنَّهَا حَوَالَي 2.1×1E-5 وَهِيَ بِدَوْرِهَا أَعْلَى قَلِيلًا مِنَ القِيمَةِ المَوْجُودَةِ فِي الوَسَطِ النَّجْمِيِّ البَيْنِيِّ وَمُمَاثِلَةٌ لِنِسْبَةِ D/H البِدَائِيَّةِ فِي الكَوْنِ بَعْدَ الِانْفِجَارِ العَظِيمِ.



الشَّكْلُ 1 | خُطُوطُ انْبِعَاثِ المَاءِ تَحْتَ المِلِّيمِتْرِيَّةِ مِنَ المُذَنَّبِ. كَانَ وَقْتُ المُشَاهَدَاتِ بَعْدَ 20 يَوْمًا مِنْ نُقْطَةِ الِاقْتِرَابِ مِنَ الشَّمْسِ، عِنْدَمَا كَانَ المُذَنَّبُ عَلَى بُعْدِ 1.095 وَحْدَةٍ فَلَكِيَّةٍ مِنَ الشَّمْسِ وَ 0.212 وَحْدَةٍ فَلَكِيَّةٍ مِنْ هِرْشِل. نَظَرًا لِأَنَّ خُطُوطَ الدَّوَرَانِ الْأَرْضِيَّةَ لِـ H_2O فِي المُذَنَّبَاتِ سَمِيكَةٌ بَصَرِيًّا، فَإِنَّ مُشَاهَدَاتِ النَّظِيرِ الأُكْسُجِينِيِّ النَّادِرِ $H_2{}^{18}O$ تُوَفِّرُ مَرْجِعًا أَكْثَرَ مَوْثُوقِيَّةً لِتَحْدِيدِ D/H. تَمَّ الحُصُولُ عَلَى أَطْيَافِ خُطُوطِ 101-110 لِـ HDO (أ) وَ $H_2{}^{18}O$ (ب) عِنْدَ 509.292 وَ 547.676 جِيجَاهِرْتْز، عَلَى التَّوَالِي، بِاسْتِخْدَامِ مِقْيَاسِ الطَّيْفِ عَالِي الدِّقَّةِ (HRS) لِلْمِرْيَاءِ غَيْرِ المُتَجَانِسِ لِلْأَشِعَّةِ تَحْتَ الحَمْرَاءِ البَعِيدَةِ (HIFI) بَيْنَ 17.28 وَ 17.64 نُوفَمْبِر 2010 بِالتَّوْقِيتِ العَالَمِيِّ. تَبْلُغُ شِدَّةُ الخُطُوطِ، المُعَبَّرُ عَنْهَا بِمِقْيَاسِ دَرَجَةِ حَرَارَةِ السُّطُوعِ لِلْحُزْمَةِ الرَّئِيسِيَّةِ، 0.011 ± 0.001 وَ 0.117 ± 0.002 كِلْفِن كِيلُومِتْر لِكُلِّ ثَانِيَةٍ، لِـ HDO وَ $H_2{}^{18}O$ عَلَى التَّوَالِي، بِمُتَوَسِّطِ اسْتِقْطَابِي الْأَدَاةِ. يُعْطَى مِقْيَاسُ السُّرْعَةِ نِسْبَةً إِلَى سُرْعَةِ نَوَاةِ المُذَنَّبِ. تَبْلُغُ الدِّقَّةُ الطَّيْفِيَّةُ 141 وَ 132 مِتْرًا لِكُلِّ ثَانِيَةٍ لِطَيْفَيْ HDO وَ $H_2{}^{18}O$ عَلَى التَّوَالِي. لِلْحُصُولِ عَلَى تَفَاصِيلِ تَسَلْسُلِ المُشَاهَدَاتِ وَالمُعَامِلَاتِ الْأَسَاسِيَّةِ لِتَحْلِيلِ البَيَانَاتِ، انْظُرِ المَعْلُومَاتِ التَّكْمِيلِيَّةَ.

[1]Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung, Max-Planck-Str. 2, 37191 Katlenburg-Lindau, Germany. [2]California Institute of Technology, Pasadena, California 91125, USA. [3]LESIA-Observatoire de Paris, CNRS, UPMC, Université Paris-Diderot, 5 place Jules Janssen, 92195 Meudon, France. [4]Rosetta Science Operations Centre, European Space Astronomy Centre, 28691 Villanueva de la Cañada, Madrid, Spain. [5]Astronomy Department, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan 48109, USA. [6]Space Research Centre, Polish Academy of Sciences, 00-716 Warsaw, Poland.

©2011 Macmillan Publishers Limited. All rights reserved