08

الكواكب الغازية والجليدية العملاقة

Gas and ice giants

اكتشف علماء الفلك مؤخرًا وجود نوعين من الكواكب العملاق في النظام الشمسي الخارجي - الكوكبان العملاقان ذوا الغازات منخفضة الكثافة المشتري وزحل، والكوكبان العملاقان الأصغر والأكثر كثافة في الجليد أورانوس ونبتون. ولكن كيف تشكلت هذه العوالم، ولماذا يعد هذان النوعان مختلفين إلى هذا الحد؟

حتى التسعينيات، كان مصطلحا «الكوكب الغازي العملاق» و«الكوكب العملاق» مرادفين لبعضهما البعض. وكان يُعتقد أن أكبر عوالم النظام الشمسي لها نفس البنية ونفس التركيبة، بقلب صلب (قد يصل حجمه إلى حجم الأرض) محاط بغلاف جوي عميق يتألف معظمه من عنصرين خفيفي الوزن هما الهيدروجين والهليوم. كما أن الألوان المتميزة التي تشاهدها في الأغلفة الجوية العلوية للكواكب ارتبطت بالكميات الصغيرة نسبيًّا من المركبات الكيميائية الأخرى. في الوقت نفسه، وعلى عمق يبلغ حوالي 1000 كيلومتر (أي 620 ميلاً)

الخط الزمني

1665م	1690م	1781م	1846م
قدم جيوفاني دومينيكو كاسيني أولى الملاحظات حول البقعة الحمراء الكبيرة لكوكب المشتري.	قاس كاسيني الدوران المتنوع لسيات كوكب المشتري كاشفًا عن عدم كونه جسمًا صلبًا.	اكتشف ويليام هيرشل كوكب أورانوس، أول الكواكب الجديدة في النظام الشمسي.	اكتشف جوهان جالي كوكب نبتون، وهذا عقب توقع بوجوده من قبل أوربين لو فيرير.

أو أكثر من سطحها المرئي، تحولت المكونات الغازية بفعل الضغط المتزايد إلى محيط من الهيدروجين السائل.

اكتشاف الكواكب الجليدية العملاقة

بدأت الصورة تتغير عندما حلل الباحثون البيانات التي أتت من عمليات التحليق بالمسبار الفضائي Voyager 2 على كوكبي أورانوس ونبتون (في عامي 1986 و1989 على التوالي). وقد تم الحصول على واحد من الأدلة الرئيسية على وجود فروق داخلية أساسية من خلال المجالات المغناطيسية الخارجية للكواكب. لمزيد من التوضيح، كانت تلك المجالات ضعيفة إلى حد ما، وكانت شديدة الميل حسب محور الدوران الخاص بكل كوكب ومقدار بعدها عن مركز كل كوكب أيضًا. وفي تناقض شديد الوضوح، كانت المجالات المحيطة بكل من كوكب المشتري وكوكب زحل أكثر قوة، كما كانت متمركزة داخل كل كوكب ومحاذية إلى حد كبير مع أقطابها الدورانية.

«ليس من المدهش أن كيمياء مثل هذه تحدث داخل الكواكب، الأمر فقط هو أن معظم الأفراد لم يسبق لهم التعامل مع التفاعلات الكيميائية التي يمكن أن تتم.»

لورا روبن بينيديتي

من الممكن فعليًا تفسير مغناطيسية كوكبي المشتري وزحل من خلال تأثير الطاقة، وهو التأثير الناجم عن طبقة رخوة من الهيدروجين المعدني السائل المحيط بالقلب الصلب لكل كوكب.

1952م

قدم مؤلف الخيال العلمي جيمس بليش مصطلح «الكوكب الغازي العملاق».

1972م

وكالة ناسا تطلق أول المسابير الفضائية Pioneer لكوكبي المشتري وزحل.

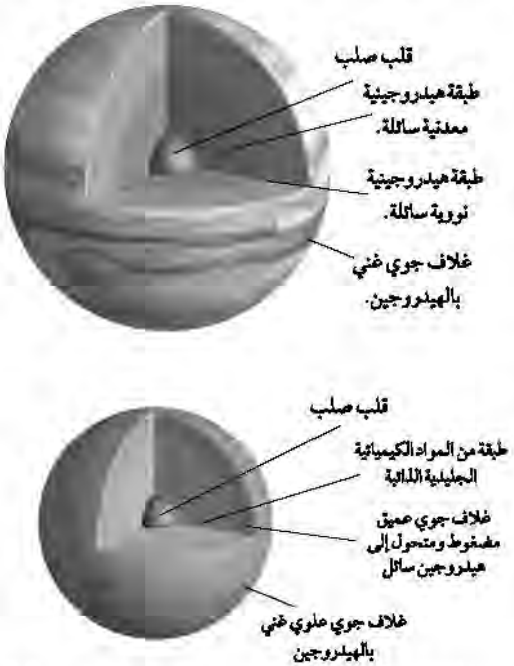
1986 - 1989م

المركبة الفضائية Voyager 2 تحلق فيما وراء كوكبي أورانوس ونبتون، لتعثر على دليل أن تكونهما من تركيبة أكثر جليدية من الكواكب العملاقة الداخلية.

2014م

قدم كل من لامبريشتس ويوهانسن وموريبديلي نموذجًا للتراكم الحصوي لتفسير كيفية تشكل الكواكب العملاقة.

وفي وجود درجات الحرارة الشديدة ونسب الضغط العالية، تنقسم الجزيئات الموجودة في الغاز المسال لتشكل محيطًا من الأيونات ذات الشحنة الكهربائية. وحقيقة أن هذا الأمر لا يحدث على كوكبي أورانوس ونبتون يشير إلى أن الهيدروجين السائل لم يكن موجودًا ببساطة بكميات كبيرة وعلى أعماق كبيرة.



على الجانب الآخر، سرعان ما استنتج العلماء أن الأجزاء الداخلية من الكواكب الخارجية العملاقة كانت تسودها، مثل الجزء الأكبر من النظام الشمسي الخارجي، المياه وغيرها من الثلوج الكيميائية المتطايرة. وتفسح الطبقات الخارجية الغنية بالهيدروجين المجال، لبضعة آلاف من الكيلومترات لأسفل، لطبقة من المركبات الثقيلة إلى حد ما - والتي غالبًا ما تكون عبارة عن مياه وأمونيا وميثان. ومن ثم، وعلى الرغم من أن الهيدروجين والهليوم يمثلان أكثر من 90 في المائة من كتلة كوكبي المشتري وزحل، فإنهما يسهمان بنسبة قدرها 20 في المائة فقط من كتلة كوكبي أورانوس ونبتون.

برغم ذلك، وبصرف النظر عن الاسم، من الخطأ أن نعتقد أن الكواكب الجليدية العملاقة عبارة عن كرات مجمدة عميقة من المواد الصلبة. ففي هذه الحالة، يكون الجليد مجرد نوع من أنواع مزيد المركبات المتطايرة: المياه والميثان والأمونيا، والتي تشكل معًا محيطًا سائلاً رخوًا أسفل الغلاف الهيدروجيني الخارجي. ويعتقد أن التيارات الكهربائية الضعيفة الموجودة في هذه المنطقة هي المسؤولة عن المغناطيسية الغريبة لتلك الكواكب.

أصول الكواكب العملاقة

على الرغم مما سبق، لا تزال مسألة كيفية تشكل هذه العوالم الوسيطة الغريبة تمثل لغزًا أمام علماء الكواكب. كما أن النموذج التراكمي التقليدي لتكوّن الكواكب (انظر الصفحة 28) يواجه صعوبات في تفسير كل ما يتشكل حتى وقتنا هذا في النظام الشمسي (مدارات أورانوس على بعد حوالي 19 وحدة فلكية من الشمس، ونبتون على بعد حوالي 30 وحدة فلكية). ومن المشكلات التي يواجهها العلماء كذلك تلك التي تتمثل في أن دوران الكويكبات (ذات الحجم المتوسط والانحدار المعتدل في تشكل الكواكب) على هذا البعد من الشمس يحتاج فقط إلى قدر بسيط من الجاذبية ليتم طرده من النظام الشمسي بالكامل. في واقع الأمر، ونتيجة لجاذبية كوكبي المشتري وزحل اللذين يدوران بشكل أقرب للشمس، فإن الاحتمال الأكبر هنا هو أنهما قد طردا من النظام الشمسي ولم يتشكلا من خلال الاصطدام والتراكم بأعداد كبيرة.

يستند أحد الحلول الممكنة إلى ما يعرف باسم عدم الاستقرار القرصي، وهو نموذج لا يزيد فيه حجم الكواكب العملاقة من خلال التراكم بل من خلال التحطم المفاجئ للغاية لبعض الأجسام نتيجة الدوامات الكبيرة التي تحدث في السديم الشمسي. وبهذا الشكل، يؤكد المؤيدون لهذه الفكرة أن الكوكب الواحد يمكن أن يتشكل في مدة بسيطة تقل عن الألف عام. أما الفكرة البديلة، فتمثلت في كون تشكل جميع الكواكب العملاقة في حالات أقل خطورة وبالقرب من الشمس، بيد أن كوكبي أورانوس ونبتون قد مرا في وقت لاحق بفترة من التغير المداري أدت إلى تحولهما إلى مداراتهما الحالية (وهذا هو أساس نموذج نيس الذي تناول موضوع هجرة الكواكب - انظر ص 34). في مثل هذه الحالات، يتضح لنا وجود نماذج جديدة تشير إلى أن قلوب تلك الكواكب قد تشكلت بسرعة كبيرة من خلال التراكم الحصوي (انظر ص 31)، وهذا ما سمح لها بامتلاك القدر الكافي من الجاذبية الذي يجعلها تجتذب الغازات مما يحيط بها في عشرات ملايين السنين قبل أن تنفجر نتيجة للإشعاعات القادمة من الشمس القوية.

على الرغم مما سبق، لا يقدم أي نموذج من النماذج السابقة تفسيرًا جيدًا للسبب وراء الاختلاف القائم بين الكواكب العملاقة الغازية والجليدية. وقد تم تقديم العديد من الآليات في هذا الصدد، مثلاً، يشير نموذج عدم الاستقرار القرصي إلى أن الكواكب العملاقة جميعها بدأت بحجم أكبر من حجمها القائم، أي قبل أن تفقد الجزء الأكبر من أغلفتها الجوية نتيجة الهجوم الشرس من الأشعة فوق البنفسجية عليها من النجوم المجاورة الأخرى (وهي عملية تعرف باسم التقطير الضوئي الذي يرى في الوقت الحالي حول النجوم

أتمطر ماسًا؟

خرجت واحدة من أكثر النظريات المثيرة والجذابة من الدراسات الحديثة التي تناولت بنية الكواكب العملاقة الغازية والجليدية، وهي التي تمثلت في تكوين كلا النوعين من الكواكب لأمطار من الكربون البلوري (الماس) في أعماق أعماقها. في عام 1999، قام فريق من الباحثين من جامعة كاليفورنيا في بيركلي بضغط الميثان السائل، والذي تم اكتشاف وجوده بكميات كبيرة داخل كوكبي أورانوس ونبتون، بنسبة تزيد عن 100 ألف مرة من الضغط الجوي للأرض، وفي الوقت نفسه، قاموا بتسخينه إلى حوالي 2500 درجة مئوية (ما يعادل 4530 درجة فهرنهايت). وكانت النتيجة عبارة عن غبار من جزيئات الماس بالغة الصغر معلق في مزيج من المواد الكيميائية الهيدروكربونية الزيتية. ولأن الظروف الجوية داخل الكواكب الجليدية العملاقة لا تمنحها القدر الكافي من السخونة لتذيب جزيئات الماس، فإن أي جزيئات تنتج سوف تتمكن من التسرب ببطء من خلال الطبقات الداخلية السائلة للكوكب لتستقر في النهاية في قلبها الصلب.

في عام 2013، أدرك علماء مختبر الدفع النفثي التابع لوكالة ناسا احتمالية حدوث أمر أكثر إثارة في أجواء الكواكب الغازية العملاقة. هنا، يمكن أن تؤدي الصواعق القوية إلى تفكك الميثان وتحويله إلى سخام الكربون بنسبة عالية في الغلاف الجوي. وعندما ينخفض السخام بشكل تدريجي، فإنه ينضغط ليشكل فيما بعد ماسات بحجم الأنملة. وعلى النقيض من الكواكب الثلجية العملاقة، لا يتمكن هذا الماس من البقاء مع هبوطه عبر طبقات الكوكب. فعلى عمق يصل إلى حوالي 30 ألف كيلو متر (19 ألف ميل)، تصبح درجات الحرارة شديدة للغاية لدرجة تتسبب في ذوبان هذا الماس، وربما تتمكن من تشكيل طبقة من الكربون السائل تسبح فيها «جبال ماسية جليدية».

الحديثة – انظر ص 130). لقد كان كوكبا المشتري وزحل الأكبر حجماً أكثر قدرة على الصمود أمـام هذه التجربة، ومن ثم تمكنـا من الاحتفاظ بقدر أكبر من الهيدروجـين، بينما فقد كوكبا أورانوس ونبتون معظمه.

عـلى الجانب الآخر، قدمت لنا الأعمال الأخيرة التي تنـاول التراكم الحصوي احتمالات أخرى، والتي أظهر فيها الاختلاف المبدئي البسـيط بين قلوب الكواكب المتزايدة وجود فرق كبير من الكواكب النهائية. لمزيد من التوضيح، يشير نموذج «الكتلة النطاقية» هذا إلى أن النمو السريع لقلوب الكواكب من الحصوات الصغيرة التي لا يتعدى حجمها بضعة سـنتيمترات يولد حرارة تمنع الغازات من التوجه نحو القلب. ولكنه إذا ما وصل إلى كتلة معينة، فإن جاذبية القلـب تحدث فتحة في قرص الحصوات المدارية، وهذا ما ينجـم عنه قطع إمداداتها الغذائية. وعندما يبدأ القلـب في أن يبرد، يقوم بتجميع الغازات بسرعة مـن المناطق المحيطة به، وهذا مـا يجعل الكوكب ينمو ليتحول في النهاية إلى كوكب غازي عملاق. في الوقت نفسـه، تكون الكواكب الجليدية العملاقة عبارة عن كواكب تكون قلوبها، والتي تتشـكل في السديم إلى حد ما، لا تصل إلى تلك الكتلة النطاقية، أو كانت قد وصلت إليها في وقت متأخر للغاية بشـكل جعلها تحتفظ بأكبر قدر من الهيدروجين سريع التلاشي والخاص بالنظام الشمسي الصغير. بناءً على ذلك، تجدها تحتفظ بتركيبة تشـبه إلى حد كبير الحصى الجليدي الأصلي الخاص بالسـديم الشمسي الخارجي.

الفكرة الرئيسة

يختلف تركيب وتكوين الكواكب العملاقة الغازية عن الكواكب العملاقة الجليدية