05

هجرة الكواكب

Planetary migration

حتى وقت قريب، اعتقد معظم علماء الفلك أن كواكب نظامنا الشمسي كانت تتحرك في مدارات مستقرة طوال تاريخها. بيد أن التطورات الحديثة التي طرأت على نظم الحاسب الآلي تبين لنا أن الأيام الأولى للنظام الشمسي انطوت على لعبة كرة ودبابيس كوكبية كبيرة، وهي التي لا نزال نرى عواقبها ونتائجها حتى يومنا هذا.

قبل اكتشاف الكواكب الخارجية الأولى في منتصف تسعينيات القرن الماضي (انظر ص 148)، كان علماء الفلك يرون أن النظم الشمسية الغريبة من الممكن أن تكون شبيهة إلى حد ما بنظامنا الشمسي، حيث تدور الكواكب في مدارات شبه دائرية ومستقرة حول نجومها. على الرغم من ذلك، وحسبما أظهر العقدان الماضيان من الأبحاث، فإن النظم الكوكبية أكثر تنوعًا بكثير مما كان يُعتقد سابقًا، ومن ثم، أشارت التطورات التي طرأت على نظم المحاكاة والتصميمات القائمة على نظرية التراكم التصادمي إلى أن المواد التي تشكلت منها الكواكب قد تلاشت حول مدار كوكب زحل.

الخط الزمني

1950م

حاول إيمانويل فيليكوفسكي في نظرية تصادم العوالم أن يشرح الأحداث التاريخية من خلال نظرية هجرة الكواكب العلمية الزائفة.

1974م

اكتشف كل من تيرا وباناستاسيو وواسربورج أدلة على القصف العنيف المتأخر في عينات الصخور القمرية التي جاءت بها بعثات أبولو.

2005م

تم نشر نموذج نيس The Nice Model من خلال نشر الأبحاث العلمية الثلاثة في مجلة Nature.

حسنًا، كيف نشأ كوكب أورانوس وكوكب نبتون؟ في سعي منهم للحصول على إجابة عن تلك الأسئلة وغيرها، قدمت مجموعة من علماء الفلك في عام 2005 مجموعة نظرية جديدة ومهمة قالت إن أول بضع مئات ملايين السنين من عمر النظام الشمسي شهدت تغيرات جذرية في توزيع الكواكب.

العوالم تتحرك

انتشرت نظريات المدارات المتغيرة للكواكب بمستويات مختلفة منذ القرن التاسع عشر، في الوقت الذي رُفضت فيه تمامًا وتم اعتبارها هراءات كاذبة من قبل الهيئات والمؤسسات المتخصصة في علم الفلك. لا شك أن أفكار «العلماء المستقلين» مثل إيمانويل فيليكوفسكي، الذي رأى أن الكواكب الافتراضية الموجودة حول النظام الشمسي في الآونة الأخيرة نسبيًّا تفسر العديد من الأحداث الأسطورية والتاريخية، قد رفضت بكل سهولة. ولكن ما عرف باسم نموذج نيس، والذي أطلق عليه اسم المدينة الفرنسية التي كان يعمل العديد من المطورين بها في مرصد كوت دازور، يمثل وجهة نظر مختلفة إلى حد كبير. إن نموذج نيس عبارة عن مجموعة من المقترحات المتداخلة القائمة على تصميم الحاسب الآلي تتناول نشأة وتطور النظام الشمسي الأول للتمكن من سبر أغوار بعض الأسرار القائمة منذ فترة طويلة. وفي فترة أقل بكثير من عقد كامل، فتح هذا النموذج مجالاً جديدًا ومهمًّا من الأبحاث في المجال المهمل الذي كان يختص بتحركات النظام الشمسي.

2011م

أشار ديفيد نيسفوري إلى وجود كوكب عملاق خامس في النظام الشمسي القديم، وهذا الأمر كان وسيلة لحل المشكلات التي تعلقت بنموذج نيس.

2011م

أشار بعض الباحثين في نموذج نيس الأصلي إلى نظرية التراكم الكبرى الخاصة بكوكب المشتري محاولين تفسير الحجم الصغير لكوكب المريخ.

2016م

قال صياد الكواكب مايك براون إنه قد عثر على أدلة على الكوكب العملاق الخامس الطريد في مدارات الأجسام الموجودة على حزام كايبر.

نموذج نيس

ويفترض هذا النموذج أنه عقب تكوين النظام الشمسي الخارجي بفترة قصيرة، كان شكله مختلفًا إلى حد كبير عن شكله الحالي. وكانت الكواكب الأربعة العملاقة أكثر قربًا من بعضها البعض، مع وجود مدارات شبه دائرية داخل المدار الحالي لكوكب أورانوس (على بعد نحو 20 وحدة فلكية من الشمس). بالإضافة إلى ذلك، كان كوكب نبتون، وهو الكوكب الأكثر بعدًا عن الشمس في الوقت الحالي، يدور بشكل أقرب للشمس من كوكب أورانوس. وكان حزام كايبر الأولي يقع بعد الكواكب الكبرى - وكان عبارة عن قرص من الأجسام الجليدية التي كانت عوالمها الأكبر حجمًا في مثل حجم الكواكب الضئيلة (القزمة) الموجودة حاليًا تقريبًا، وهي التي كانت موجودة أيضًا داخل المدار الحالي لكوكب نبتون.

«لقد كان حدثًا عنيفًا للغاية وقصيرًا دام لبضعة عشرات من ملايين السنين فحسب.»

هال ليفيسون

وتشير عمليات المحاكاة بالحاسب الآلي إلى أن مثل هذا الترتيب للكواكب العملاقة من المحتمل أنه كان ثابتًا ومستقرًا منذ ما يقرب من 500 مليون سنة، أي قبل مجموعة اللقاءات القريبة التي حدثت بين كوكبي أورانوس ونبتون والتي أحدثت اضطرابًا في مداراتها وسحبت كلًا منهما في مسارات بيضاوية طويلة. وسرعان ما أدت تلك المدارات الغريبة إلى تقريبهما من الكوكبين الأكبر حجمًا بكثير، وهما كوكبا المشتري وزحل، والتي كانت جاذبيتهما القوية تنقلهما إلى مسارات أكبر حجمًا، ولكنها بيضاوية أيضًا، حول الشمس، وأدت إلى مباعدة نبتون ليصبح بعد أورانوس للمرة الأولى. ويعتقد أنه خلال هذا الحدث كذلك، اكتسب كوكب أورانوس محوره المائل المعروف به حاليًا، والذي يدور على جانبه كوكب غازي عملاق، أي يدور كالكرة المتدحرجة على النقيض من حركة «الدوامة» التي تحدث للكوكب الأخرى.

إزاحة حزام كايبر

على الرغم مما سبق، فقد أرسلت المدارات الجديدة لكوكبي أورانوس ونبتون مباشرة إلى حزام كايبر الأولي، حيث حدثت المزيد من اللقاءات مع العوالم الجليدية الصغيرة، والتي ساهمت في تعميم مدارات الكواكب الجليدية العملاقة على مسافات أبعد من الشمس. كذلك، خرجت العديد من العوالم الأصغر حجماً إلى منطقة عرفت باسم القرص المبعثر، بينما أرسلت أجسام أخرى نحو الجزء الداخلي من النظام الشمسي، وهذا ما جعلها تتسبب في الحدث الكارثي الذي عرف باسم القصف العنيف المتأخر (انظر المربع الموجود على اليمين).

إن نموذج نيس من النماذج التي تأسر الألباب، ليس لأنه فقط يعد بالكشف عن بعض الأمور الغامضة مثل ميل كوكب أورانوس،

القصف العنيف المتأخر

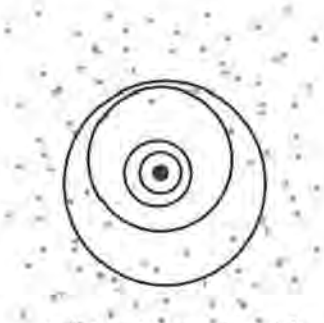
بفضل التأريخ الإشعاعي للصخور القمرية الذي قام به رواد الفضاء في بعثة أبولو، يعتقد العديد من علماء الفلك أن النظام الشمسي الداخلي قد مر بمرحلة صادمة منذ ما يقرب من 3.9 بليون سنة، حيث عانت عوالم مثل القمر من قصف مكثف من الكويكبات الكبيرة. وعلى سطح القمر، تم امتلأت الحفر الناجمة عن تلك الاصطدامات فيما بعد بالحمم البركانية الناتجة عن الانفجارات البركانية، وهذا ما أدى إلى نشأة «البحار» القمرية المستوية المظلمة التي تسود الجانب القريب من القمر في وقتنا الحالي.

عقب اكتشافه في أواخر سبعينيات القرن الماضي، حدث أنه افترض لوقت طويل أن هذا القصف العنيف المتأخر كان ببساطة مجرد مرحلة من مراحل التطهير التي حدثت في نهاية عملية تراكم الكواكب، بيد أن هناك الكثير من الأدلة الحديثة التي تشير إلى أن المرحلة الأساسية من تكوّن الكواكب قد انتهت في وقت مبكر عن ذلك بكثير. فبدلاً من ذلك، أصبحت الاختلالات التي نجمت عن تغيير الكواكب العملاقة لمداراتها في نموذج نيس الآن التفسير المفضل. على الرغم من ذلك، أشار بعض المتشككين إلى أن القصف لم يحدث قط على النطاق الذي تصوره البعض، مدعين بدلاً من ذلك أن القصف قد أدى إلى ذوبان العينات التي جمعها رواد بعثة أبولو والتي نتجت في الأصل عن حدوث تصادم كبير واحد فقط.

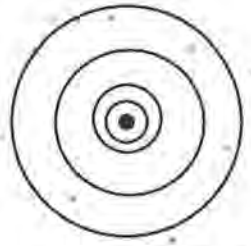
ومكان الكواكب الغازية العملاقة والقصف العنيف المتأخر، بل لأن بإمكانه تقديم الآليات التي يمكن اتباعها لالتقاط كويكبات طروادة التي تشارك كواكب المشتري وأورانوس وزحل في مداراتها. بيد أنه ليس بالنموذج المثالي: حيث ينطوي على قدر من الصعوبة في تفسير السبب الذي جعل كوكب المشتري ينتهي به الحال مع عائلته الكبيرة الحالية من الأقمار الملتقطة، وكيف أن تأثير الجاذبية المشترك لكوكبي المشتري وزحل في فترة الرنين المداري التي مرا بها (مع الاقترابات الوثيقة التي حدثت لهما) قد تسبب في حدوث بعض المشكلات. في واقع الأمر، أظهرت بعض عمليات المحاكاة حدوث آثار عنيفة مثل الإقصاء الكامل لكوكب المريخ وعدم استقرار الكواكب الأخرى - وهي موضوعات على درجة كبيرة من الأهمية لدرجة جعلتها تتسبب في تعديل هذا النموذج إلى حد كبير. بالمثل، فقد نتج عن التردد الذي نتج عنه اقتراب كوكبي المشتري وأورانوس أو نبتون والذي انتهى بإقصاء

منذ 4.5 بليون سنة، كانت الكواكب العملاقة موجودة على المدار الحالي لكوكب زحل، محاطة بحزام كايبر الأولي الكبير.

منذ 4.1 بليون سنة، نجم عن تأثير كل من كوكبي المشتري وزحل طرد كوكبي نبتون وأورانوس إلى المدارات البيضاوية التي بدأت في إحداث خلل في حزام كايبر الأولي.



منذ فترة تتراوح بين 4.1 و3.8 بليون سنة، وصل كل من كوكبي نبتون وأورانوس إلى الحد الأقصى من اللامركزية، وغيرا من ترتيب أماكنهما من الشمس. وتوزعت أجسام حزام كايبر في جميع الاتجاهات، قاصفة النظام الشمسي الداخلي.



منذ 3.5 بليون سنة، أصبحت مدارات كوكبي أورانوس ونبتون دائرية إلى حد ما، واتخذ النظام الشمسي شكله وتكوينه الحالي.

العالم الأصغر حجمًا من النظام الشمسي تمامًا أن قام بعض علماء الفلك بالدفاع عن فكرة وجود نظام شمسي قديم معه ثلاثة كواكب جليدية عملاقة.

بصرف النظر عن هذه المشكلات، فإن نموذج نيس أو أي من النماذج المشابهة له لا يزال جزءًا أساسيًّا من الأفكار السائدة حاليًّا حول تاريخ نظامنا الشمسي. وهناك علماء فلك آخرون يطبقون الفكر نفسه للتوصل لإجابة عن الأسئلة الأخرى. مثلاً، لِمَ لم يزد حجم كوكب المريخ ليصبح في حجم كوكب الأرض، ومن أين أتت المياه الوفيرة التي تغطي كوكبنا؟ تكمن الإجابة عن كل هذه الأسئلة في نظرية التراكم الكبرى (Grand Tack)، والتي استندت إلى وجود مسار افتراضي يسير فيه كوكب المشتري الذي تشكل مؤخرًا في البيئة الغنية بالغازات والخاصة بالسديم الشمسي القديم للغاية (انظر ص 31). طبقًا لهذه النظرية، نجم عن التفاعل مع السديم انجراف مدار كوكب المشتري نحو الداخل أولاً ثم نحو الخارج. في هذه العملية، تسببت جاذبية الكوكب العملاق في إحداث خلل في (بل سرقة) قدر كبير من المواد التي تتشكل منها الكواكب والموجودة حول مدار كوكب المريخ، كما أثرت حزام الكويكبات الخارجي بالأجسام الجليدية من أبعد أجزاء النظام الشمسي. وبمجرد إزاحتها، كان من الممكن أن تسقط على الأرض، محضرة معها المياه التي جعلت كوكبنا صالحًا للعيش عليه في يومنا الحالي.

الفكرة الرئيسة

لا تتبع الكواكب دائمًا المدارات نفسها