06

نشأة القمر

Birth of the Moon

مقارنة بالسواد الأعظم من الأقمار الموجودة في نظامنا الشمسي، فإن قمر كوكب الأرض يختلف تمـام الاختلاف عنها. فحجمـه الهائل بالمقارنة بكوكبنا يشـير إلى أنه من المحتم أن أصول نشـأته وتكوينه لم تكن عادية إلى درجة كبيرة. بيد أن حقيقة أصول نشـأة القمر لم تتضح سوى بحلول ثمانينيات القرن الماضي، ولا تزال هناك بعض الأسئلة التي تتعلق بنشأته لم يتم التوصل لإجابة لها حتى الآن.

إن قمـر الأرض ضخم – حيث يبلغ حجمه ربع قطر الأرض، وهو إلى حد كبير يعد أكبر الأقمار لواحد من الكواكب الرئيسـية بالمقارنة بكوكبـه الأم. بيد أن طبيعتها الغريبة اتضحت بشكل تدريجي في القرون التي تلت اختراع التلسـكوب فقط. لم تتمكن نظريات نشأة النظام الشمسي (انظر ص 28) سـوى من تفسير عائلات أقمار الكواكب العملاقة باعتبارها أنقاضًا متبقية تجمعت في المدار (وهي نسـخة مصغرة من نشأة النظام الشمسي نفسه)، ولكن سرعان ما اتضح أن نموذج «التراكم المشترك» فشل في ذلك عندما تعلق الأمر بالأرض. بصرف النظر

الخط الزمني

1946م	1969 - 1972م	1974م
ر. أ. دالي أول مـن اقـترح أن أصل القمر ناتج عن تأثير نجم عملاق.	تم إحضار صخرة تزن 382 كجم على متن مركبة الفضاء المأهولة أبولو لدى عودتها إلى الأرض لأغراض تحليلها.	اقـترح نمـوذج هارتمـان وديفيس إمكانيـة وجود أصول لتأثير جسـم خارجي.

عن السـؤال الأساسي المتمثل في السـبب وراء امتلاك الأرض وحدها قدرًا من المواد الزائدة يكفـي لعمل قمر ضخم، فإنه من الواضح أن الزخـم الزاوي للنظام الذي يجمع بين الأرض والقمـر عالٍ للغاية بالمقارنة بالكواكب الأرضية الأخرى، وهو أمر لا يمكن توقعه إذا ما كان القمر قد تشكل في الأساس من قرص بطيء الدوران.

النظريات الأولى

سعيًا وراء الحصول على إجابات، توصل علماء الفلك في القرن التاسع عشر إلى نظريتين – هما الاستيلاء والانشطار. لمزيد من التوضيح، يشير نموذج الاستيلاء إلى أن القمر قد تكوّن في مكان ما داخل النظام الشمسي وتم الاستيلاء عليه فيما بعد من قبل الأرض أثناء أحد اللقاءات القريبة. ولكنه فشل في تفسير السـبب وراء كون كثافة القمر أقل بكثير من كثافة الأرض، مما استلزم وجود سيناريو لقاء غير محتمل. إن قدر الصعوبة الذي يمكن أن يواجهه كوكب صغير في الاسـتيلاء على قمر كبير يزيد عن ذلك الذي يمكن أن يواجهه أحد الكواكب العملاقة في فعل ذلك (وحتى هذا الوقت، لم نعرف سوى قمر واحد كبير فقط تم الاستيلاء عليه في النظام الشمسي الخارجي – ألا وهو قمر تريتون الجليدي الخاص بكوكب نبتون).

في هذه الأثناء، روج عالم الفلك الإنجليزي جورج داروين (ابن تشارلز داروين) لفرضية الانشـطار لأول مرة. لمزيد من التوضيح، درس داروين قوى المد والجزر بين الأرض والقمر، وأوضح أن مدار قمرنا يتجه ببطء نحو الخارج بحوالي 4 سـم (1.6 بوصة) في كل عام،

1976م

نمـوذج كامـبرون ووارد لديناميات الاصطـدام الـذي أدى إلى تشـكل القمر.

1994م

تكشـف بعثة كليمنتين التابعة لوكالة ناسـا عن بقـاء غير متوقـع لعناصر متطايرة في قشور الصخور القمرية.

2012م

ظهور دليل على التشابه الشديد بين مواد الأرض والقمـر، وهو الذي ألهم العلماء بنظريات جديدة لنشأة القمر.

بينما يتباطأ دوران الأرض على نحو تدريجي. وقد استنتج على نحو صحيح أن الأرض والقمر كانا في وقت ما قريبين من بعضهما البعض إلى حد كبير، وقال إنهما نشآ كجسم واحد يدور بسرعة: كما أن المواد التي شكلت القمر اندفعت من خط الاستواء الخاص بالأرض البدائية من قبل أن يندمج في المدار. بل إنه قال إن حوض المحيط الهادئ يمثل ندبة لا تزال ظاهرة حتى الآن كأثر من آثار هذا الانفصال العنيف. بوجه عام، انتشرت هذه النظرية لعقود عديدة في أوائل القرن العشرين، وهذا قبل أن تتوصل الدراسات الأخرى لقوى هذه العملية في عام 1930 تقريبًا إلى أن هذا السيناريو مستحيل من الأساس.

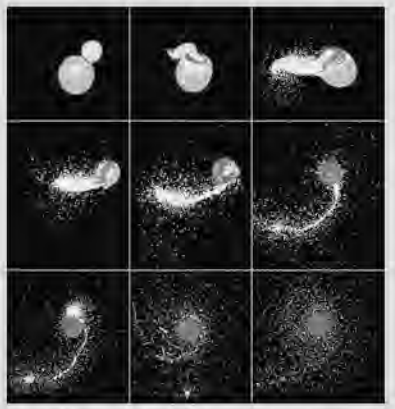
في السبعينيات، وصلت في النهاية أدلة جديدة على هيئة عينات الصخور جاءت بها بعثات أبولو التي سافرت إلى القمر. وقد أظهرت هذه العينات أن الصخور القمرية كانت جافة للغاية - ولم تكن المياه فقط العنصر الغائب عن الطبقات العلوية من قشرتها، بل أيضًا لم تكن المعادن الرطبة الموجودة على الأرض موجودة أيضًا. كما كانت الصخور مستنفدة بشكل كبير فيما يتعلق بالعناصر المتطايرة (أي العناصر التي تكون نقطة الانصهار الخاصة بها منخفضة)، مثل البوتاسيوم والرصاص والروبيديوم، وهذا بالمقارنة بالأرض وأنواع السدم الشمسية الأساسية الداخلية. على الجانب الآخر، برهنت الأدلة على أن القمر أكثر ثراءً في أكسيد الحديد من كوكب الأرض نفسه، وهذا بصرف النظر عن وجود قلب حديدي صغير فقط به.

الاصطدام الهائل

جددت هذه النتائج الملهمة الاهتمام بالنظرية المهملة التي كان قد طرحها عالم الجيولوجيا الكندي ريجينالد ألدورث دالي في وقت سابق في عام 1946: ألا وهي فرضية الاصطدام الهائل. في هذه النسخة المعدلة من نظرية الانشطار، تمثل القدر الأكبر من المواد التي شكلت كوكب القمر من مواد من الأرض، وهي التي لم تتطاير بفعل الدوران السريع بل بفعل الاصطدام الكواكبي الذي حدث عند اصطدام الأرض بأحد الأجسام التي كانت بحجم الكواكب.

تشكيل ثيا (Modelling Theia)

لقد برهنت الأدلة على أن كوكب القمر قد تشكل من مواد تشبه المواد الموجودة على الأرض بشكل أساسي، وهذا ما جعل أصول كوكب ثيا المصطدم أكثر تقيدًا من أي وقت مضى. ولأن نسبة النظائر الموجودة عبر السديم الشمسي كانت على درجة عالية من الحساسية بالنسبة للمسافة التي تبعدها عن الشمس (انظر ص 30)، فمن الواضح أنه لا بد أن كوكب ثيا قد تشكل في مكان قريب للغاية ومن نفس المزيج من المواد بشكل أساسي. على الرغم من ذلك، فإن جاذبية الأرض نفسها يمكن أن تكون قد أعاقت تشكيل أي أجسام أخرى في الفضاء القريب، فمن أين أتى كوكب ثيا؟ هناك نظرية تقول إن كوكب ثيا قد تشكل إما في النقطة L4 أو في النقطة L5 – وهي نقاط جاذبية جيدة موجودة على المدار نفسه الموجود عليه كوكب الأرض، ولكن على بعد درجة أمام أو خلف الكوكب الأكبر حيث يقل تأثير كوكب الأرض. وهنا، كان من الممكن أن يزيد حجم كوكب ثيا بمقدار 10 في المائة تقريبًا عن كتلة الأرض قبل أن يتعطل مداره المستقر في نهاية المطاف ويسقط على مسار وينتهي به الأمر إلى اصطدام لا مفر منه. وهذا يمكن أن يُعزى إليه سبب التشابه بين المواد الخام في كلا الكوكبين (على الرغم من أنه لا يزال هناك قدر من الشك في كون هذا التفسير كافيًا). علاوة على ما سبق، وبما أن الكوكبين كانا يتحركان في مدارات متشابهة إلى حد كبير، فإن طاقة الاصطدام كان من الممكن أن تكون أقل بكثير، وربما هذا ما يفسر سبب بقاء بعض العناصر المتطايرة على سطح القمر حتى يومنا هذا.



نماذج محاكاة بالحاسب الآلي لتشكل القمر الأولي في غضون بضع ساعات بعد الاصطدام الذي حدث بين كوكب بحجم كوكب المريخ وكوكب الأرض الصغير الذي كان حجمه يبلغ 90 في المائة من حجمه في الوقت الحالي.

وقد برهن كل من ويليام كيه. هارتمان ودونالد آر. ديفيس من معهد علوم الكواكب في توكسون بولاية أريزونا على معقولية وجود الأجسام الأخرى التي تشكلت بالقرب من كوكب الأرض الأولي، في الوقت الذي برهن فيه كل من إيه. جي. دبليو. كاميرون ووليام وارد من جامعة هارفرد على وجود نموذج التأثير نفسه، وهذا ما يشير إلى أن الأمر قد ينطوي على اصطدام جسم بحجم كوكب المريخ بالأرض عند التماس. ومثل هذا الحدث من شأنه أن ينتج

قـدرًا كبيرًا من العامل المؤثـر، بالإضافة إلى ذوبان جزء كبير مـن الأرض وخروجه إلى أحد المدارات، في الوقت الذي يجري فيه امتصاص معظم القلب الحديدي للجسـم المؤثر من قبل الأرض. كما أن الحرارة العالية والشـديدة لتأثير الاصطدام من شـأنها أن تفسر السبب وراء نقص المياه وغيرها من المواد المتطايرة في الصخور القمرية.

الأسئلة المعلقة

عـلى نطاق عريض، تقبل علماء الكواكب فرضية تأثـير الاصطدام الهائل منذ الثمانينيات. واعتقدوا أن الاصطدام من الممكن أن يكون قد وقع منذ ما يقرب من 4.45 مليار عامًا، حيث انحسر القمر بسرعة في غضون سـاعات من الاصطدام. وتم منح الكوكب المصطدم اسمًا غير رسمي، وهو ثيا على اسم أم إلهة القمر سيلين المذكورة في الأساطير اليونانية. على الرغم من ذلك، لا تزال هناك أسـئلة مهمة لم يتم البت فيها. لمزيد من التوضيح، أظهرت دراسة أكثر توثيقًا لعينات من الصخور القمرية أنها ليست خالية أو مستنفدة تمامًا من المواد المتطايرة على النحو الذي كان من المفترض أن تكون عليه عقب هذا الاصطدام الشـديد. وفي واقع الأمر، لا يبدو أن درجات الحرارة حتى قد زادت عن 950 درجة مئوية (ما يعادل 1740 درجة فهرنهايت). وفي الوقت نفسـه، ثبت وجود تشـابه كبير للغاية بين مزيج النظائر (وهي ذرات للعنصر نفسـه ولكن بـأوزان مختلفة، والتي تعد وفرتها النسـبية مؤشرًا غاية في الحساسية على وجود المواد الخام في سديم الشمس) وذلك الموجود على الأرض - وهو تشابه كبير يشير إلى عدم وجود أي مساهمة من كوكب ثيا في هذا الأمر.

«لقد اختلط كوكب ثيا بشكل تام في كل من الأرض والقمر، ولكنه تسبب كذلك في إبعادهما عن بعضهما البعض.»

إدوارد يونج

وفي سـبيل حل هذه المشـكلات، تم تقديـم العديد من النظريـات المتنوعة، ربما كانت أهمهـا تلك التي أقرت بالتحام كوكب الأرض وكوكب القمـر معًا نتيجة للاصطدام المبدئي

بين جســـمين أكثر بكثير، يزيد حجم كل جسم من هذين الجســـمين بمقدار خمس مرات عن حجم كوكب المريخ. وفي الوقت نفســـه، وفي عام 2016، قدم فريـــق بقيادة إدوارد يونج من جامعة كاليفورنيا بولاية لوس أنجلوس أدلة جديدة تمكنوا من الحصول عليها من خلال بعض عمليات المقارنة الكيميائية، وأشـــارت تلك الأدلة إلى أن كوكب ثيا اصطدم بكوكب الأرض بشـــكل مباشر، وهذا ما أدى إلى اختلاط موادهما بشـــكل تام وكامل. ويتضح لنا هنا أن أصل كوكب القمر – وربما كوكب الأرض نفسه – كان أكثر فوضى وتعقيدًا من التفسير الذي تقدمه لنا فرضية الاصطدام الهائل البسيطة.

الفكرة الرئيسة

نشأ كوكبنا من حادث تصادم بين الكواكب