09

الأقمار المحيطية

Ocean moons

تـــدور مجموعة كبيرة من الأقمار الجليدية حول كل كوكب من الكواكب العملاقة الموجودة في النظام الشمسي الخارجي، والتي تشكل العديد منها في الوقت نفســـه ومن المواد نفسها التي تشكلت منها تلك الكواكب. بيد أن هناك أدلـــة متزايدة على أن عددًا كبيرًا من هذه الأقمار لا يمتلك أعماقًا متجمدة كما يبدو لنا من الوهلة الأولى.

تم اكتشاف أكبر أقمار النظام الشمسي الخارجي عقب اختراع التليسكوب في أوائل القرن الســـابع عشر – فقد تم اكتشاف الأقمار الأربعة الكبيرة التي تدور حول كوكب المشتري في عام 1610، وتم اكتشاف قمر تيتان العملاق الذي يدور حول كوكب زحل في عام 1655. كما تم اكتشاف الكثير من الأقمار الأخرى منذ ذلك الحين حول كلا هذين الكوكبين، كما تم اكتشاف وجود مجموعات من الأقمار حول كل من كوكبـــي أورانوس ونبتون أيضًا. بيد أن طبيعة هذه الأقـــمار ظلت مجهولة حتى منتصف القرن العشرين، عندما اكتشـــفت عملية التحليل الطيفي

الخط الزمني

1971م

يقول لويـــس إن بعـــض الأقمار قـــد تكون ساخنة بالقدر الكافي من خلال الاضمحلال الإشـــعاعي، وهذا مـــا يجعلهـــا تحافظ على المحيطات السائلة أسفل قشرتها الجليدية.

1979م

أشـــار بيل إلى وجود عملية التســـخين المـــدي كآليـــة لتحريك النشاط الجيولوجي على أقمار المشتري الكبرى.

1979م

البعثة فوياجر 1 تكتشـــف نشـــاطًا بركانيًّـــا عـــلى القمر أيـــو، وقشرة جليدية على القمر أوروبا.

(انظر ص 94) باستخدام التلسكوبات الأرضية المتطورة أدلة على وجود كميات كبيرة من الجليد على العديد من أسطحها. وكقاعدة عامة، يتضاءل المحتوى الصخري للقمر حسب بعده عن الشمس، ولكن يظل الجليد المكون الأساسي في جميع الأقمار الصناعية الكبيرة تقريبًا. وهذا أمر متوقع فحسب، وذلك لأن جميع هذه العوالم نشأت خارج خط الثلوج في النظام الشمسي الأول، في منطقة يسود فيها الجليد على المواد الخام التي تتشكل منها الكواكب.

النظريات الأولى

في عام 1971، قبل عامين من وصول مسابير الفضاء الأولى إلى كوكب المشتري، نشر عالم الكواكب الأمريكي جون إس لويس أول تحليل مفصل لما يمكن أن يتوقع اكتشافه بين أقمار هذا الكوكب. وقد قال إن التحلل البطيء للمواد مثل اليورانيوم المشع داخل داخل المكون الصخري لهذه الأقمار يمكنه توليد كميات كبيرة من الحرارة-ربما تكون كافية لإذابة المواد الجليدية حول اللب الصخري وتكوين محيط كروي مغطى بقشرة مجمدة وقد بدأت الفكرة في اكتساب شعبية عندما أكدت الصور التي جاءت من «بايونيرز 10 و11» أن الأقمار الثلاثة الخارجية الكبيرة لكوكب المشتري- أوروبا، وجانيميد، وكاليستو ـ تتشارك مظهرًا جليديًا عامًا (على الرغم من وجود اختلافات ملحوظة). ومع ذلك، فإن القمر الداخلي «أيو» بدا مختلفًا اختلافًا

«جميع هذه العوالم لك، باستثناء أوروبا لا تحاول الهبوط هناك.»

«آرثر سي كلارك».
رواية «2010 الأوديسا 2»

1995 - 2003م

قياسات مسبار «جاليليو» تكشف عن طبقات من الماء السائل على أوروبا، وجانيميد، وكاليستو.

2005م

مسبار كاسيني يكتشف عمودًا شاسعًا من المياه الجليدية خارجًا من «إنسيلادوس».

2013م

تلسكوب هابل الفضائي يكتشف بخار ماء فوق القطب الجنوبي لأوروبا.

صارخًا وليس به علامات وجود ماء في تكوينه. لقد مثل «أيو» مشكلة واضحة، وطرحت تفسيرات مختلفة لاختلافه الصارخ طوال فترة السبعينيات.

ثم في عام 1979، قبل مجرد أيام من تحليق مسبار«فوياجر1» لكوكب المشتري- والذي كان من المقرر أن يشتمل على عمليات تحليق أكثر قربًا من أقمار المشتري- ظهر تفسير جريء جديد للاختلافات. قال «ستانون جيه بيل» من جامعة كاليفورنيا بـ«سانتا باربارا» جنبًا إلى جنب مع زميلين من ناسا إن الجاذبية القوية لكوكب المشتري تبذل تأثير تسخين مدي على أقماره الداخلية، وعلى الرغم من أن مداراتها تقريبًا دائرية إلا أن الاختلافات الطفيفة في المسافة تتسبب في جعل شكل الأقمار الداخلية («أيو»، و«أوروبا» على نحو ملحوظ) تنثني مع كل مدار. وهذا يولد احتكاكًا داخل صخورها ويجعلها تسخن أكثر كثيرًا مما يستطيع أن يفعل التحلل الإشعاعي وحده.

والأهم أن «بيل» اقترح أن «أيو» ينبغي أن يظهر إشارات لنشاط بركاني على سطحه، وهو تنبؤ وضع عندما أرسلت «فوياجر 1» صور تدفقات الحمم البركانية والعمود الضخم من مركبات الكبريت المنصهر التي انفجرت في الفضاء فوق القمر. وبدا من الواضح أن أي ماء يمكن أن يكون «أيو» قد احتوى عليه قد تبخر منذ وقت طويل.

الماء في كوكب المشتري

إن اكتشاف التسخين المدي القوي أحدث ثورة من الأفكار بشأن البيئة في النظام الشمسي الخارجي مع آثار كبيرة على أوروبا. أثبتت صور «فوياجر» وجود قشرة جليدية سميكة، لكنها أوضحت أيضًا أن السطح كان يجدد ويعاد ترتيبه بوضوح في فترة زمنية قصيرة (من الناحية الجيولوجية). بدت قشرة أوروبا، التي كانت ملطخة بشوائب يبدو أنها كانت تنبثق من الأسفل، أشبه بحزمة جليد مضغوطة من أن تكون قشرة جليدية ناعمة، وأفضل تفسير لهذه السمات هي أن الانفجارات البركانية تحت القشرة تطلق حرارة، مما يؤدي إلى تكوين محيط كروي من الماء السائل فوقه تزاح القشرة الصلبة ببطء وتموج بشدة.

لكن أحد السمات الأساسية في نموذج التسخين المدي هي أن تأثيراته تنخفض بسرعة مع المسافة من الكوكب الأم لذا بدا من غير المرجح أن يؤثر على جانيميد أو كاليستو الأكثر بعدًا، وفي الحقيقة، أشارت صور فوياجر إلى أن جانيميد يمكن أن يكون قد مر بمرحلة تشبه أوروبا في ماضيه المبكر قبل أن يتجمد ويتصلب، في حين أن داخل كاليستو ربما لم ينصهر قط من قبل وبالتالي كان من المفاجئ عندما وجدت بعثة جاليليو إلى كوكب المشتري دليلًا مغناطيسيًّا على وجود محيطات فوق سطحية على كلا القمرين (انظر المربع على اليسار).

الدليل المغناطيسي

بصرف النظر عن البحث عن نشاط سطحي أو آثار للماء من التاريخ الجيولوجي، يستطيع علماء الكواكب أن يبحثوا مباشرة عن المحيطات تحت الأرضية عن طريق دراسة المجالات المغناطيسية لمختلف الأقمار. إذا كان أحد الأقمار له طبقة من مادة متنقلة موصلة كهربيًّا تحت سطحه فإنه عندما يتحرك خلال المجال المغناطيسي لكوكبه الأم ستتولد حركات تسمى تيارات دوامية في الطبقة الموصلة. وهذا بدوره ينشئ مجالًا مغناطيسيًّا مستحثًّا مميزًا حول القمر يمكن اكتشافه بأجهزة القياس المغناطيسية المحمولة على مسابر فضاء عابرة. والمجال المستحث مختلف تمامًا عن أي مجال مغناطيسي أساسي مثل ذلك الناتج عن قلب حديدي، كما أن شكله وقوته يمكنهما الكشف عن عمق الطبقة الموصلة وخصائصها الكهربية. لم تكتشف المجالات المستحثة حول أوروبا وإنسيلادوس فحسب، بل أيضًا حول أكبر أقمار كوكب المشتري وهما جانيميد، وكاليستو وحول القمر العملاق لزحل والذي يطلق عليه «تيتان» وجميعها تشير إلى محيطات مالحة وعالية التوصيل للكهرباء وعلى أعماق متفاوتة.

وقد كانت هناك اكتشافات مذهلة أكثر تنتظر مركبة فضاء «كاسيني» عندما دخلت مدارًا حول زحل عام 2004. وقد كان من الأهداف الأولى للبعثة قمر زحل العملاق تيتان وهو عالم مجمد عليه يبدو أن الميثان يلعب دورًا مشابهًا لدور الماء على كوكب الأرض. ومع ذلك، فإن القمر قد يخفي غطاءً من الماء السائل والأمونيا في الأعماق تحت سطحه (انظر المربع في الجهة المقابلة).

أعمدة إنسيلادوس

لكن تسليط الضوء غير المتوقع لبعثة «كاسيني» تحول إلى قمر أصغر كثيرًا وهو إنسيلادوس.

هذا القمر الذي قطره فقط 504 كيلومترات (313 ميلًا) له واحد من أكثر الأسطح سطوعًا في النظام الشمسي، وعدد قليل من الصور من مسابر فوياجر تظهره بمظهر منظر طبيعي مغطى بثلج ناضر. ومع ذلك، كان لا يزال مفاجئًا، عندما تحركت كاسيني خلال رحلة طيران مبكرة خلال عمود شاسع من بلورات جليد الماء بالقرب من القطب الجنوبي للقمر. تسربت محتويات بعض الكتل في الفضاء لتشكل حلقة خارجية باهتة حول زحل لكن معظمها سقط عائدًا إلى إنسيلادوس نفسه.

تم الآن تحديد أكثر من 100 عمود منفرد، ومعظمها ينفجر على طول المعالم التي تشبه التوءات الجبلية المعروفة باسم خطوط النمر، وهي مناطق ضعيفة من القشرة عندها تسمح الشقوق للماء المالح السائل

البراكين الجليدية

قد يكون إنسيلادوس، وأوروبا هما العالمان الوحيدان اللذان بهما تسخين مدي كاف لإذابة الماء النقي لكن الكثير من أقمار المحيطات الأخرى في الأنظمة قد تكون مدينة لبيئاتها السائلة بوجود مواد كيميائية أخرى. إنها لحقيقة معروفة جيدًا أن الملح في محيطات كوكب الأرض يقلل من نقطة التجمد إلى حوالي 2- درجة مئوية (28 فهرنهيت) وهناك دليل جيد على أن الكثير من المحيطات تحت الأرضية الخارجية مالحة مثل تلك التي على كوكب الأرض. لكن وجود الأمونيا له تأثير أكبر أهمية فهي تخفض من نقطة الغليان بعشرات الدرجات- وهو ما يكفي للماء ليبقى سائلًا حتى في وجود تسخين مدي أضعف، وما يكفي للتبخر في صورة أعمدة تشبه الينابيع الساخنة التي ترى على إنسيلادوس. الأكثر من ذلك-لأن خليط الأمونيا والماء يبقى ذائبًا على نطاق أوسع من درجات الحرارة-يعتقد علماء الكواكب أنها يمكن أن تكون قد لعبت دورًا مشابهًا للصهارة البركانية الموجودة على كوكب الأرض والتي تنفجر من الشقوق ومناطق تجديد السطح للعديد من الأقمار. في العوالم مثل تيتان، وقمر بلوتو ونبتون الذي يدعى «تريتون» هذه البراكين الجليدية الباردة يمكن أن تكون لا تزال تحدث اليوم.

الذي بالأسفل أن يتحول إلى غاز في الفضاء. يبدو أن التسخين المدي هو السبب مجددًا، وفي هذه الحالة تتولد الحرارة لأن مدار إنسيلادوس ممنوع من أن يصبح دائريًا تمامًا بسبب جاذبية القمر المجاور للخارج، وهو ديون. على النقيض من أوروبا ، يبدو أن الظروف على هذا القمر تسمح بوجود الماء بالقرب من السطح بشكل ملحوظ ، مما يجعل إنسيلادوس واحدًا من أكثر الأماكن الواعدة في نظامنا الشمسي للبحث عن الحياة.

الفكرة الرئيسة

العديد من الأقمار الخارجية في نظامنا الشمسي تخفي محيطات عميقة