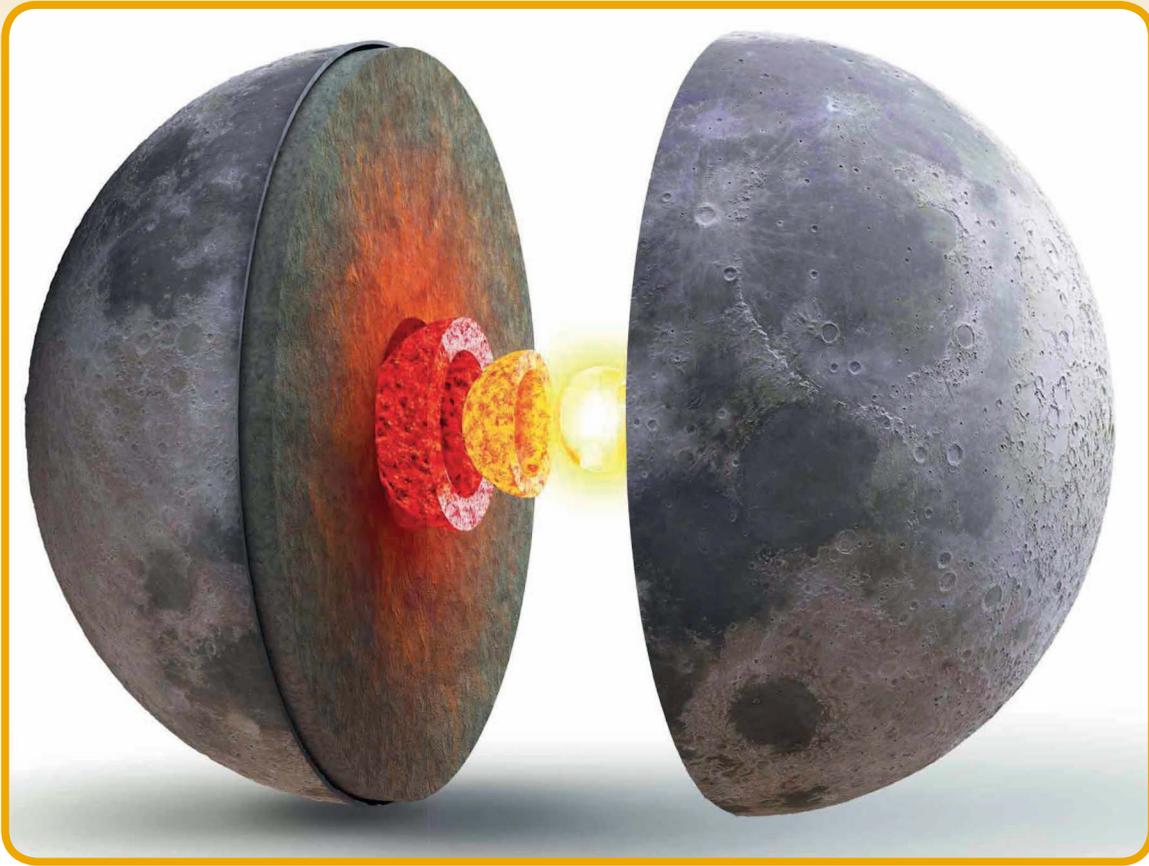


# جيولوجية القمر



عبد الله بن محمد العمري

قسم الجيولوجيا والجيوفيزياء - كلية العلوم - جامعة الملك سعود

١٤٤٤ هـ - ٢٠٢٣ م



www.alamrigeo.com





ح عبد الله بن محمد العمري، ١٤٤٣هـ

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

العمري ، عبدالله بن محمد سعيد

كتاب جيولوجية القمر. / عبدالله بن محمد سعيد العمري - ط ١ -

الرياض، ١٤٤٣هـ

١٥٢ ص ، ٢١،٥ X ٢٨

ردمك: ٣-٠٧٥٨-٠٤-٠٦٠٣-٩٧٨

١ - القمر ٢ - الجيولوجيا أ.العنوان ب.الموسوعة

١٤٤٣ / ٩١٢٦

ديوي ٥٥٩،٩١

رقم الإيداع ٩١٢٦ / ١٤٤٣

ردمك: ٣-٠٧٥٨-٠٤-٠٦٠٣-٩٧٨

### حقوق طبع الموسوعة محفوظة للمؤلف

مع عدم السماح ببيعها .. ويمكن إعادة طباعتها وتوزيعها مجاناً بدون أي تعديل في الاسم أو المحتوى

تطلب النسخة الورقية المجانية من المؤلف على العنوان التالي:

قسم الجيولوجيا والجيوفيزياء - جامعة الملك سعود ص.ب 2455 الرياض 11451

الإصدار الإلكتروني من خلال الموقع

[www.alamrigeo.com](http://www.alamrigeo.com)

للاستفسارات والملاحظات الاتصال على:

جوال +966505481215 هاتف +966 11 4676198

البريد الإلكتروني E.mail : [alamri.geo@gmail.com](mailto:alamri.geo@gmail.com)



الطبعة الأولى

١٤٤٤هـ / ٢٠٢٣م



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

﴿ وَفِي الْأَرْضِ آيَاتٌ لِلْمُوقِنِينَ ﴾

[سورة الذاريات : آية 20]

﴿ And on the Earth are Signs for  
Those Whose Faith is Certain ﴾



# الموسوعة العمري في علوم الأرض





## مَهَيِّبِك

الحمد والشكر لله الذي ساعدني في إنجاز هذا الجهد المتواضع المرتبط بتأليف الموسوعة العلمية العربية. تهدف الموسوعة العلمية الشاملة في علوم الأرض والبيئة والطاقة إلى تزويد وخدمة الباحثين وطلاب المدارس والجامعات وفئات المجتمع نظراً لمعاناة المهتمين من مشاكل ندرة المراجع العربية في هذا المجال. تشتمل الموسوعة المجانية والتي تعتبر الأضخم عالمياً على **30** كتاب علمي ثقافي موثوق ومدعم بالصور والأشكال التوضيحية المبسطة في **6000** صفحة تقريباً تغطي **خمسة أجزاء رئيسية:**

**الجزء الأول** مكون من ستة كتب يناقش عمر الأرض وشكلها وحركاتها وتركيبها الداخلي وثوراتها المعدنية والتعدينية والجاذبية الأرضية وعلاقتها بالمد والجزر:

- تقدير عمر الأرض
- شكل الأرض وحركاتها
- التركيب الداخلي للأرض
- المعادن والتعدين
- الجاذبية الأرضية وتطبيقاتها
- المد والجزر

**الجزء الثاني** من الموسوعة يشتمل على ستة كتب تربط علاقة الأرض بالنظام الشمسي وبالأخص القمر والأغلفة الجوية والمائية والحيوية المحيطة بالأرض. وكذلك دور الزلازل والتفجيرات والبراكين والتسونامي في التأثير على بنية الأرض وكيفية تقليل مخاطرها:

- موجات التسونامي
- الزلازل والتفجيرات
- البراكين وسبل مجابته
- جيولوجية القمر
- تقييم مخاطر الزلازل
- الأغلفة المحيطة بالأرض





**الجزء الثالث** يتألف من ستة كتب يربط كل ما يتعلق بالمشاكل والكوارث البيئية والطبيعية وحلولها والتغيرات المناخية وأهمية التشجير ومعالجة الاحتباس الحراري:

- |                                   |                                     |
|-----------------------------------|-------------------------------------|
| الانزلاقات والإنهيارات والفيضانات | المشاكل البيئية وحلولها             |
| الأمطار والسيول والسدود           | التغيرات المناخية والاحتباس الحراري |
| التصحّر والجفاف                   | التشجير: التحديات والحلول           |

**الجزء الرابع** يتكون من ستة كتب يناقش ارتباط علوم الأرض بالعلوم الأخرى نووياً وطبيعياً، وكذلك دور الطاقة المستدامة النظيفة اقتصادياً وبيئياً:

- |                                  |                         |
|----------------------------------|-------------------------|
| الجيوفيزياء النووية              | مستقبل الطاقة في عالمنا |
| الجيولوجيا الطبية                | الطاقة الحرارية الأرضية |
| دليل كتابة الرسائل والنشر العلمي | هل إنتهى عصر النفط؟     |

أما **الجزء الخامس** يتألف من ستة كتب متخصصة في العلوم الجيولوجية مكونة من 2020 سؤال وجواب لمساعدة طلاب الجامعات والباحثين وتهيئتهم للاختبارات الشاملة والتأهيلية للدراسات العليا ومزاولة المهنة:

321 سؤال وجواب في تطور الأرض	
358 سؤال وجواب في علم الصخور والجيوكيمياء والاستشعار عن بُعد والـ GIS	
358 سؤال وجواب في الثروات الطبيعية	
380 سؤال وجواب في المخاطر الجيولوجية	
303 سؤال وجواب في علم الزلازل والزلازلية الهندسية	
300 سؤال وجواب في الجيوفيزياء التطبيقية	

## المؤلف



## مُقَدِّمَةٌ

**بالتعريف؛ القمر هو جرمٌ يدور حول كوكب أو أي جرمٍ آخر ليس نجماً. وقد حبا المولى ﷺ كوكب الأرض بقمرٍ منيرٍ وحيدٍ ومفيدٍ لحياة الناس وكافة المخلوقات الأخرى في كل أطواره وأشكاله.**

**فالإيقاعات اليومية والشهرية للقمر الطبيعي للأرض، هي التي ترشد حُرَّاس الزمن منذ آلاف السنين. كما رُصد تأثيره في دورات الأرض، ولا سيَّما المد والجزر في محيطات وبحار الأرض، من قبل العديد من الثقافات في العديد من العصور.**

**قمر الأرض هو حجر الزاوية في علم الكواكب؛ إذ يحتفظ أقرب جيراننا في الفضاء هذا بسجل للتاريخ الجيولوجي الذي شكل نظامنا الشمسي كله، بما في ذلك كوكبنا.**

**وبالمقارنة مع الأرض، فإن القمر هو عالم نشط بهدوء. تؤدي قوى المد والجزر وصددمات النيازك والتغيرات الحرارية في الصخور بالقرب من السطح إلى اضطرابات زلزالية.**





سُجّلت أبرد درجات الحرارة في النظام الشمسي عند قطبي القمر. كما اكتشف أن بعض الحفر القطبية، المظلمة بظلال دائمة، تؤوي جليداً مائياً مخفياً.

وإذا تساءل البعض: ماذا سيحدث لو لم يكن هناك قمر للأرض؟ فإن الأرض ستكون مختلفة تماماً إذا لم يكن لها قمر. إذ تمنع جاذبية القمر كوكبنا من التذبذب حول محوره كثيراً، مما يساعد على استقرار مناخنا.



إذا اعتبرنا أن الأرض بحجم كرة القدم، فإن القمر سيكون بحجم كرة التنس. تُظهر هذه الصورة الحقيقية الجانب البعيد من القمر، الذي تضيئه الشمس، أثناء عبوره بين الكاميرا والتلسكوب الخاص بكاميرا التصوير متعدد الألوان (EPIC) للمركبة الفضائية ديسكوفر DISCOVER، والأرض، على بُعد مليون ميل. وقد التقطت في 5 أغسطس 2015.



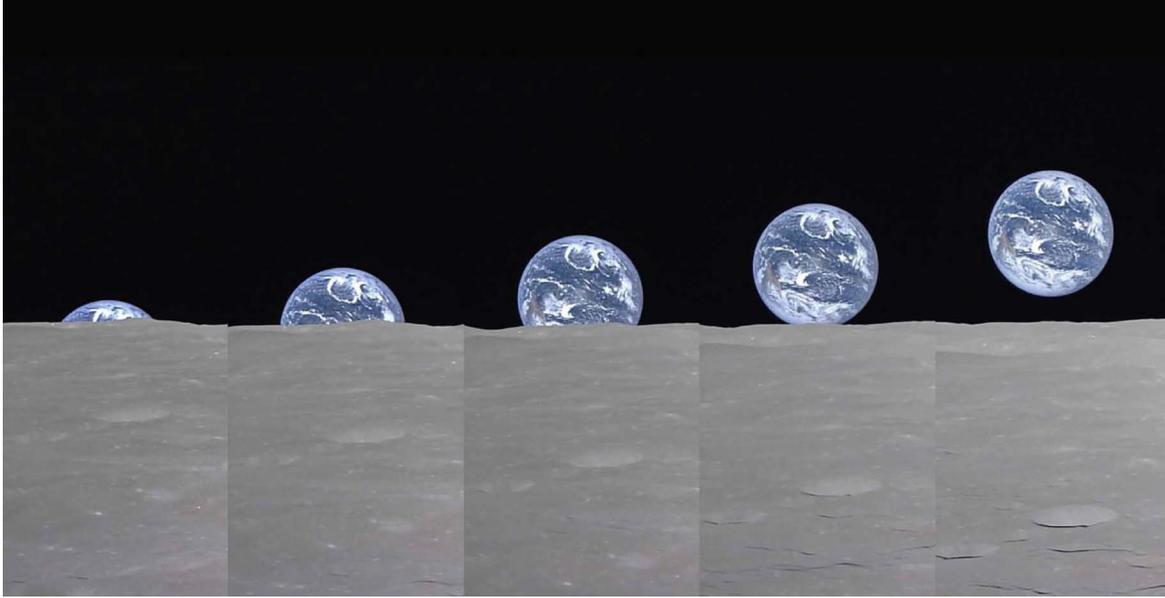


لقد مشى اثنا عشر شخصاً على سطح القمر (جميعهم رُؤاد الفضاء في برنامج أبولو التابع لوكالة ناسا في الستينيات والسبعينيات من القرن الماضي). والخطط جارية حالياً لعودة البشر إلى القمر من خلال برنامج أرتيميس Artemis التابع لوكالة الفضاء ناسا.

ليس كوكب الأرض هو من يملك قمراً فقط، وإنما لبعض الكواكب الأخرى أقمار أيضاً. ففي عام 2010، اكتشف علماء الفلك 166 قمراً تدور حول الكواكب في نظامنا الشمسي. حيث يحظى المشتري بحصّة الأسد من الأقمار، فهو يملك 63 قمراً، ويمتلك كوكب زحل 60 قمراً، وأورانوس لديه 27 قمراً، ونبتون لديه 13 قمراً، وكوكب المريخ لديه اثنان فقط، والأرض لها واحد فقط، وكوكبي الزهرة وعطارد ليس لديه أي قمر.

الكواكب القزمة هي أجرام تشبه الكواكب ولا تتناسب مع التعريف الكامل للكوكب ومع ذلك لدى بعضها أقمار أيضاً. بلوتو هو أشهر كوكب قزم، ولدى بلوتو ثلاثة أقمار. العديد من الأقمار الأخرى في نظامنا الشمسي تدور حول أجرام أصغر. ونظراً لأن الأقمار صغيرة نسبياً، لذلك لم يكتشف -حتى كتابة هذا العمل- أيٌّ منها خارج المجموعة الشمسية، ولكن من المحتمل وجود تريليونات من الأقمار في جميع أنحاء الكون.





الأرض وهي تشرق على القمر.

سنقوم من خلال هذا العمل برحلة مميزة نحو القمر، نجعلك تتعرف من خلالها، على نظرية نشأة القمر ونظام حركته في الفضاء وكل ما يتعلق بتضاريسه وطبقاته الصخرية وخصائصه الجيوفيزيائية.

## جاهز للرحلة؟ لنبدأ العد التنازلي: 1-2-3-4-5





## نشأة القمر

ظهر في أحد أفلام الخيال العلمي نظرية تقول إن القمر نشأ عن بيضة طائر فضائي! وهذه فرضية غريبة جداً! لا أظن أنك توافق عليها.

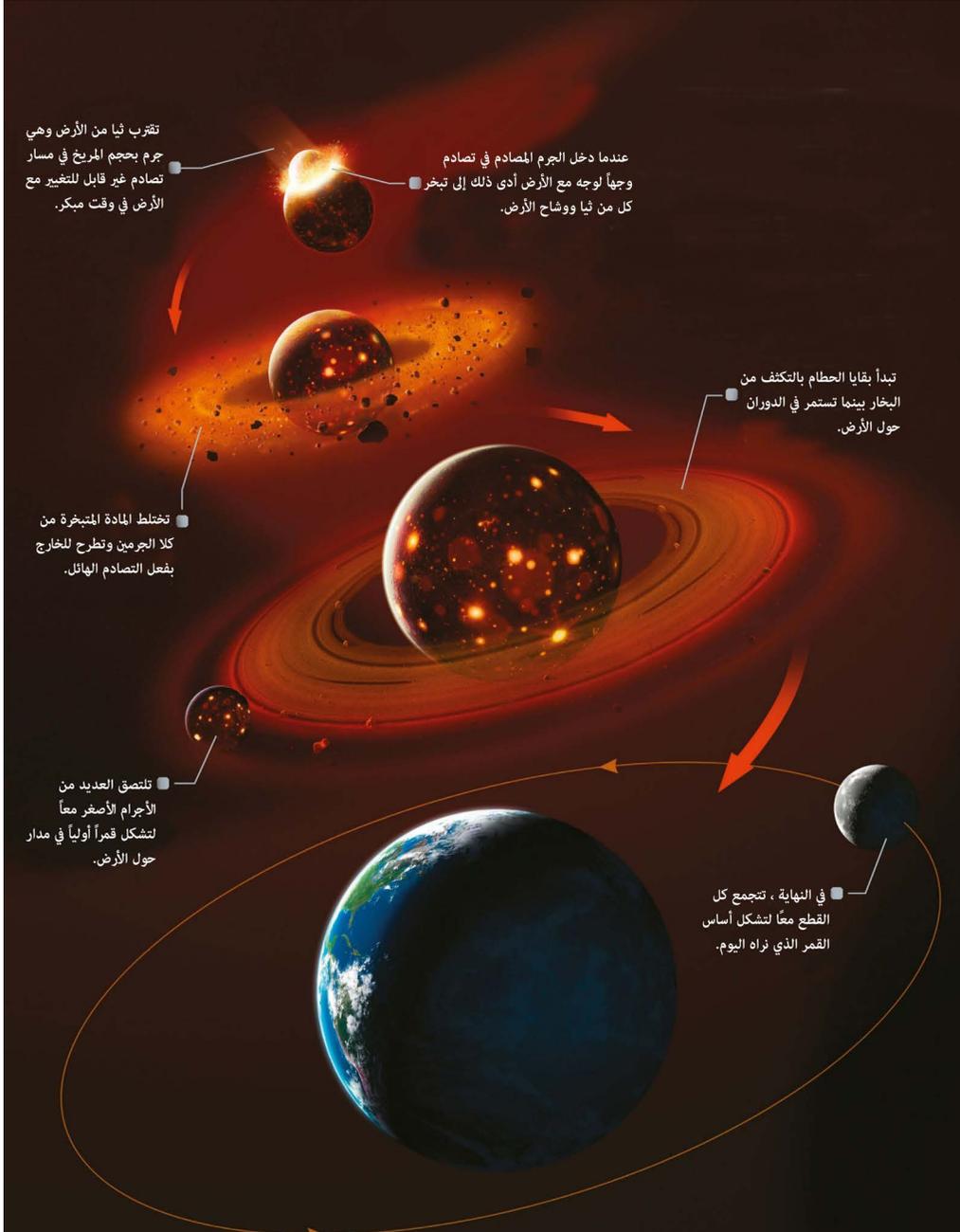
حسناً لنرَ ماذا يقول العلماء حول نشأة القمر.

كانت الأرض قبل 4.425 بليون سنة صخوراً وحمماً ملتهبة. تلملم شعثها، وتجمّع مادتها، وإذ بجرم طائش لا ينظر أمامه بحجم المريخ، يُدعى ثيا Theia، يصدم كوكب الأرض. أدى هذا الصدم العملاق Giant-Impact إلى تناثر كمية هائلة من الشظايا في مدار حول الأرض بشكل حلقة كبيرة. هرب جزء من هذه الشظايا إلى الفضاء، لكن الباقي تماسك بهيئة جرم كروي واحد في غضون نحو 100 مليون سنة في مدار حول الأرض، وهكذا ولد قمرنا العزيز.

في الواقع لم يسبب هذا الصدم العملاق إلى تشكيل القمر وحسب، وإنما جعل الأرض «تدوخ» ويميل محورها بمقدار 23.5 درجة، مما تسبب في حدوث فصول السنة.

الغريب في الأمر أن علماء الفلك اختاروا اسم (ثيا) لذلك الكوكب الأهوج الذي صدم الأرض، وهو اسم «مؤنث» وليس مذكراً، وصاحبه - كما ورد في الأسطورة اليونانية - مسؤولة عن «البصر!» ومنح الذهب والفضة والأحجار الكريمة بريقها ولمعانها! كما أن ثيا هي أم سيلين، آلهة القمر في الأساطير اليونانية.





نشأ القمر عن طريق التصادم بين الارض في بداية نشأتها مع كوكب بدائي بحجم كوكب المريخ





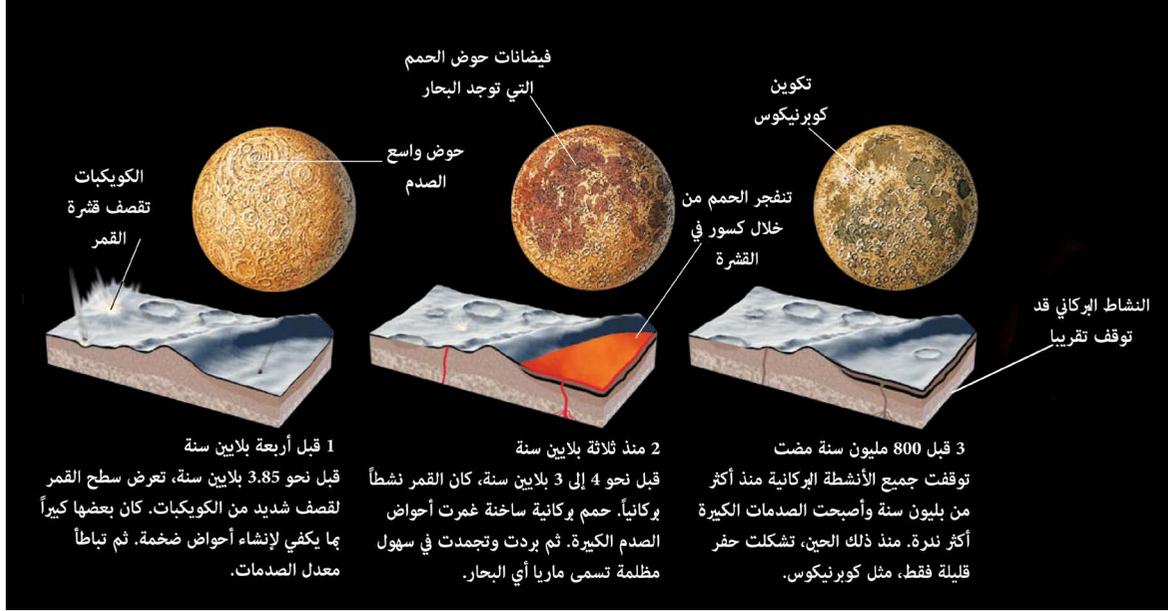
## • الدليل على نظرية الصدم العملاق

**فرضية الصدم العملاق** هذه مقبولة حالياً على نطاق واسع من قبل المجتمع العلمي. وذلك لأن نسب نظائر الأكسجين للقمر متطابقة بشكل أساسي مع نظائر الأرض. إذ نسب نظائر الأكسجين، التي يمكن قياسها بدقة شديدة، تقدم توفيقاً فريداً ومميزاً لكل جرم في النظام الشمسي. فلو كان ثيا كوكباً أولياً منفصلاً، فمن المحتمل أن يكون له توقيع نظيري أكسجين مختلف عن كوكب الأرض البدائي، كما هو الحال بالنسبة للمادة المختلطة المقذوفة. كما أن نسبة نظير التيتانيوم للقمر ( $50\text{Ti} / 47\text{Ti}$ ) تبدو قريبة جداً من نظير التيتانيوم للأرض (في حدود 4 أجزاء في المليون) لدرجة أن القليل من كتلة الجرم المتصادم من المحتمل أن تكون جزءاً من القمر.

**دعمت دراسة أجريت عام 2012** حول استنفاد نظائر الزنك على القمر أصل الصدم العملاق **للأرض والقمر**. وفي عام 2013، صدرت دراسة أشارت إلى أن الماء في الصحارة القمرية لا يمكن تمييزه عن الماء الموجود في الكوندريت الكربوني وتقريباً الماء الموجود نفسه في الأرض في التركيب النظيري.

لكن حدث تحدُّ **لفرضية** الصدم العملاق مرة أخرى في سبتمبر 2013، مع شعور متزايد من العلماء بأن أصول القمر أكثر تعقيداً.





عندما تشكل القمر أول مرة كان مغطىً بمحيط عميق من الصهارة الساخنة. قبل نحو 4.4 بليون سنة، بدأت بلورات الصخور في التصلب وغرقت البلورات الأكثر كثافة. في حين طفت بلورات صخرية أخف وبدأت في تكوين القشرة.

## كيف عرف العلماء أن حجم القمر كان بحجم المريخ؟

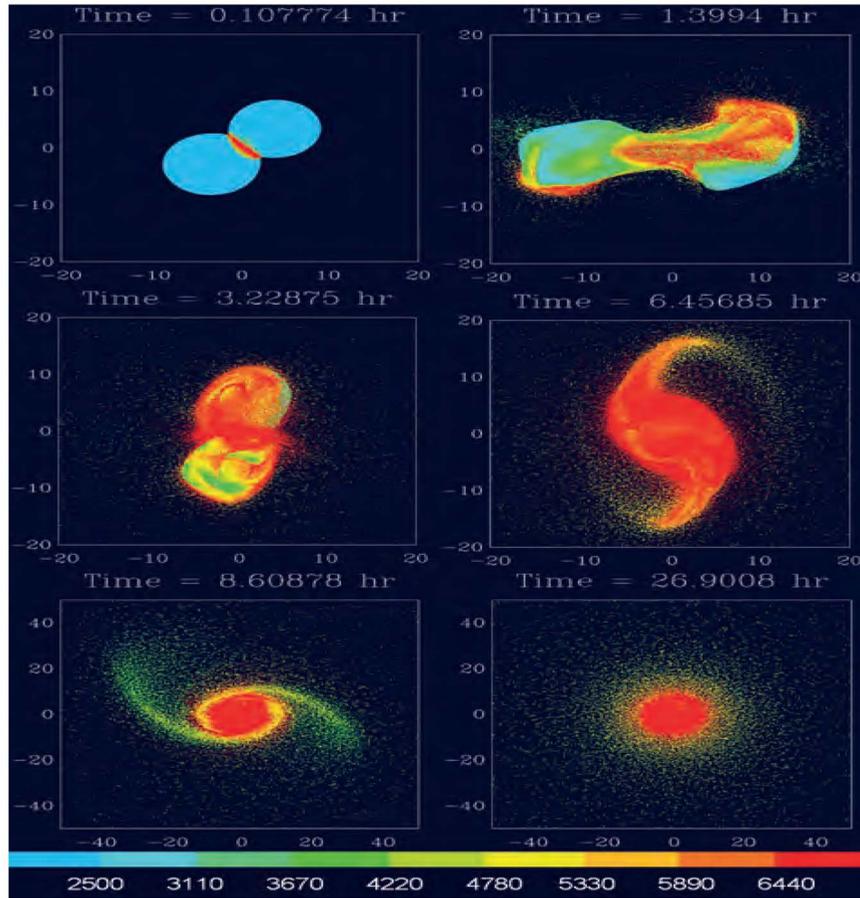
تتطلب فرضية الصدم العملاق حدوث تصادم بين الأرض البدائية (التي حجمها يعادل نحو 90% من حجم الأرض الحالية)، مع جرم آخر يعادل حجمه حجم المريخ (أي نصف حجم الأرض وعُشر كتلته). نسبة الحجم هذه ضرورية حتى يتشكل النظام الناتج عن زخم زاوي كافٍ لمطابقة التكوين المداري الحالي.

كما تظهر عمليات المحاكاة الحاسوبية الحاجة إلى ضربة خاطفة تجعل جزءاً من الصدم يشكل ذراعاً طويلاً من المادة التي تتفصل بعد ذلك. يؤدي الشكل غير المتماثل للأرض بعد الاصطدام إلى استقرار هذه المادة في مدارٍ





حول الكتلة الرئيسية. الطاقة المتضمنة في هذا الاصطدام مثيرة للإعجاب، لأنه ربما تكون تريليونات الأطنان من المواد قد تبخرت وذابت.

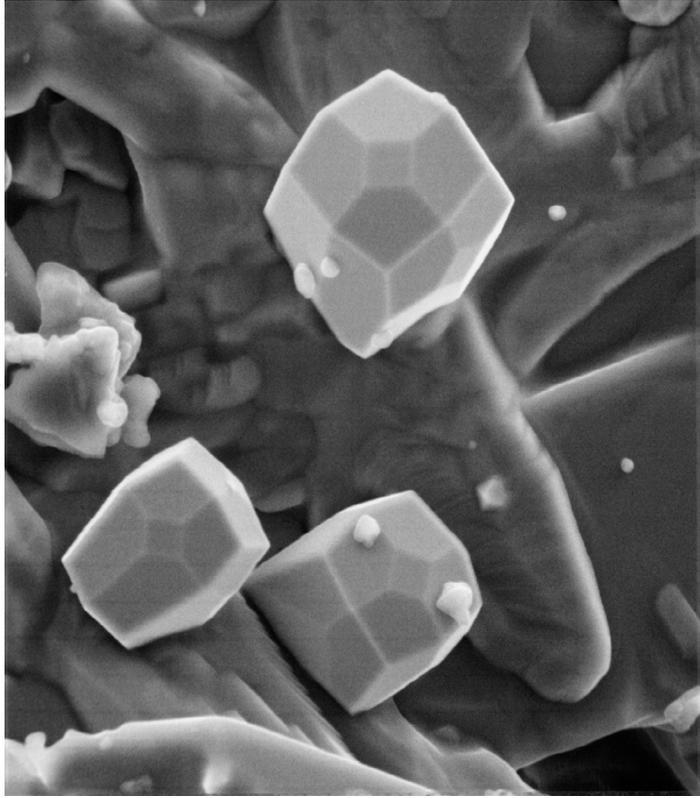


محاكاة حاسوبية لتصادم منخفض السرعة بعيداً عن المركز بين اثنين من الكواكب الصخرية الأولية التي تحوي على 45% و 55% من كتلة الأرض. يشير مقياس اللون إلى أن درجة حرارة الجسيمات ترتفع من نحو 2000 كلفن إلى أكثر من 6500 كلفن بعد الصدم الأولي، يتصادم الكوكبان الأوليان مرة أخرى، ويندمجان ويشكلان كوكباً أرضياً سريع الدوران محاطاً بقرص حطام فقير بالحديد. يمثل هذا القرص، الذي يحوي على نحو ثلاثة أضعاف الكتلة الحالية للقمر، خزان المواد التي يعتقد أن القمر تشكل منها. التركيب النهائي للقرص والكوكب متطابقان تقريباً.





تُفسّر النواة الحديدية الصغيرة نسبياً للقمر (مقارنة بالكواكب والأقمار الصخرية الأخرى في النظام الشمسي) من خلال اندماج نواة كوكب ثيا في الغالب مع نواة الأرض. كما يُفسّر نقص المواد المتطايرة في العينات القمرية جزئياً من خلال طاقة الاصطدام. كانت الطاقة المحررة أثناء إعادة تكوين المواد في مدار حول الأرض كافية لصهر جزء كبير من القمر، مما أدّى إلى تكوين محيط من الصحارة.



صورة بالمجهر الإلكتروني لمسح بلّورات الحديد التي تنمو في فجوة صغيرة أو تجويف في بريشيا معاد بلورتها (صخرة مجزأة) من موقع هبوط أبولو 15- هادلي أبينين على سطح القمر. أكبر بلورة يبلغ قطرها ثلاثة ميكرون. تشير البلورات المطورة تماماً مثل هذه إلى تكوين بطيء من بخار ساخن أثناء تبريد الصخور. تتركز البلورات على شبكة متشابكة من البيروكسين (وهو سيليكات الكالسيوم والمغنيسيوم والحديد).



كان القمر المشكل حديثاً يدور حول الأرض على مسافة تعادل عُشر المسافة التي يدور حولها اليوم، ويتباعد نحو الخارج بسبب احتكاك المد والجزر الذي ينقل الزخم الزاوي من دوران كلا الجرمين إلى الحركة المدارية للقمر.

وهكذا صار دوران القمر مقيداً بشكل مدي بالأرض، بحيث يواجه جانب واحد من القمر باستمرار تجاه الأرض. أيضاً، كان القمر قد اصطدم ودمج أقماراً صغيرة موجودة مسبقاً للأرض، التي كانت ستشارك في تكوين الأرض، بما في ذلك الوفرة النظرية. وبالتالي صارت جيولوجية القمر منذ ذلك الوقت أكثر استقلالية عن الأرض.





## القمر عند العرب

احتفل العرب بالقمر كثيراً، فاهتموا بشروقه وغروبه، فكان رفيق دروبهم في ليالي السفر، وأدخلوه أشعارهم وأمثالهم. من هذه الأمثال قولهم (وهل يخفى القمر؟) الذي يضرب للأمر المشهور.

ومن المؤكد أن قمر العرب لا يخفي شهرتهم وإنجازاتهم التي حققوها علمياً في موضوع القمر. فقد توصل أبو الوفاء البوزجاني (قبل تيخو براهي) إلى أن هناك شيئاً من الخلل في حركة القمر يعود إلى الجاذبية وخواص الجذب، وقد كانت هذه الدراسات، على بساطتها، ممهدة لمن أتى بعده ليكتشف قانون الجاذبية ويضع أبحاثها في إطار أكثر علمية.

وشرح ابن سينا والحسن بن الهيثم الهالة التي تحيط بالقمر، وعزا ابن الهيثم وجودها للانكسار، حينما يكون الجو مشبعاً بالبلورات الصغيرة من الثلج أو الجليد، فإن الضوء الذي يمر خلالها ينكسر وينحرف بزاوية معلومة، ومن ثم يصل الضوء إلى العين كأن مبعثه فقط حول الشمس أو القمر.

وتحدث أبو جعفر الفلكي المسعودي والبيروني عن ظاهرة المد والجزر في البحار والأنهار وعزوها إلى التغير الدوري لوجه القمر. وقرر البيروني أن القمر جرمٌ معتمٌ لا يضيء بذاته وإنما يضيء بانعكاس أشعة الشمس عليه. وكان البيروني يشرح كل ذلك بوضوح تام، ودقة متناهية في تعبيرات سهلة لا تعقيد فيها ولا التواء.

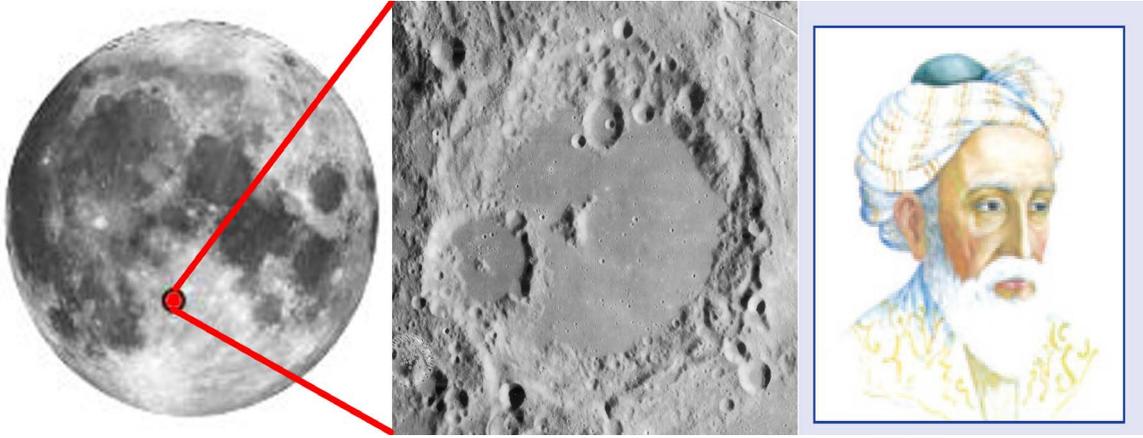
ودرس كل من البتاني (بطليموس العرب) وابن باجة والقزويني الخسوف والكسوف، وقد اعتمد الأوربيون على نتائج البتاني في ذلك لدراسة حركة





القمر. وقد أثبت ابن يونس الصّفيدي المصري من خلال دراسته الخسوفات والكسوفات أن حركة القمر تتزايد.

وفي مرصد أبناء موسى بن شاذان في بغداد الذي أقاموه على طرف الجسر المتصل بباب الطاق، تمكنوا من استخراج حساب العرض الأكبر من عروض القمر.



تكريماً لجهود علماء الفلك العرب والمسلمين فقد أطلقت أسماؤهم على العديد من الفوهات القمرية. في الصورة فوهة البتاني وموقعها على القمر.

## • منازل القمر

لشهور الهجرية نظام ثابت محكم مرتبط بسير القمر في منازلته بتقدير من الله سبحانه وتعالى ﴿ وَالْقَمَرَ قَدَرْنَاهُ مَنَازِلَ حَتَّىٰ عَادَ كَالْعُرْجُونِ الْقَدِيرِ ﴾ (يس: 39).

منازل القمر هي صور نجوم (بما فيها صور البروج)، وكل برج يحوي منزلتين وثلاثاً. ينتقل القمر بين هذه النجوم بدقة بمقدار 12,8 درجة على وجه التقريب؛



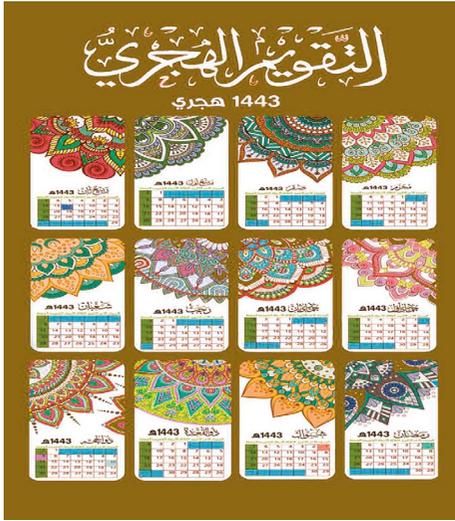


أي أنه ينزل كل ليلة في منزلة من هذه المنازل، ويعود إلى موقعه الأصلي بعد 28 منزلة، ثم يستتر ليلة 28 إذا كان الشهر 29 يوماً، أو ليلة 29 إذا كان الشهر 30 يوماً. ولعل قوله تعالى ﴿هُوَ الَّذِي جَعَلَ الشَّمْسُ ضِيَاءً وَالْقَمَرَ نُورًا وَقَدَرَهُ مَنَازِلَ لِتَعْلَمُوا عَدَدَ السِّنِينَ وَالْحِسَابَ﴾ (يونس: 5). هي التي جعلت المسلمين يتمسكون بجعل القمر كميّارٍ للزمان في تقويمهم.

وقد أعطى العرب لمنازل القمر أسماء منذ القدم وما تزال تُعرف بهذه الأسماء حتى اليوم مع تعديل طفيف في بعضها وهي: الشرطان، البطين، الثريا، الدبران، الهقعة، الهنعة، الذراع، النثرة، الطرف، الجبهة، الزبرة، الصرفة، العوا، السماك، الغفر، الزيانا، الإكليل، القلب، الشولة، النعائم، البكدة، سعد الذابح، سعد بلع، سعد السعود، سعد الأخبية، الفرع المقدم، الفرع المؤخر، الرشاء.

ورد لفظ (القمر) في القرآن الكريم خمس مرات، تناولت حجمه ونوره وانشاقه وخسوفه ومداره، وورد لفظ (الأهلة) مرة واحدة واستخدامها في عملية التوقيت. وقد اعتمدت فريضتان من أصل خمس على حركة القمر الشهرية هما الحج والصيام، في حين اعتمدت فريضة الصلاة على حركة الشمس اليومية. لذلك فقد دفع هذا الترابط بين العبادة وحركة الأجرام بالعلماء العرب والمسلمين ليركزوا على دراسته بكل الوسائل والتقانات المتاحة بين أيديهم.





يعتمد التقويم الإسلامي على الأشهر القمرية. نظراً لأن 12 شهراً قمرياً تستغرق نحو 354 يوماً فقط، وتقع الأعياد الإسلامية المقدسة قبل 10 أو 11 يوماً من كل عام حسب التقويم المشترك. وغالباً ما يرتبط رمز الهلال بالإسلام. وقد بدأ هذا الارتباط عندما فتح العثمانيون المسلمين مدينة القسطنطينية (إسطنبول الحالية) عام 1453 واعتمدوا الهلال كشعار لهم.

ومع تدرج القمر في هذه المنازل فقد أعطيت له أسماء عديدة نذكر منها:  
الهلال، والطارع، والرمد، والقمر، الباهر، البدر، الطوس، الجلم، الغاسق، الوياص،  
ونمير، والزيرقان، والمنشق، الواضح، الباحور، الأبرص، الزمهرير، السنمار،  
الساهور، والسهرة، وطويس، وأويس، وزريق، وذخير، والعقيب، وسمير.





يرسم لنا المؤلف عثمان ناكاش (القرن 16م) في كتابه (مطالع السعادة وينابع السيادة) كيفية حدوث أطوار القمر خلال الشهر العربي.



## تنقسم منازل القمر إلى قسمين:

1. **منازل شامية:** وعددها 14 نجماً، وتبدأ من نجم الشرطين في فصل الربيع حتى نجم السماك في فصل الخريف.
2. **منازل يمانية:** وعددها كذلك 14 نجماً تبدأ من نجم الغفر في فصل الخريف حتى نجم الرشاء في فصل الربيع، ولا يجتمع نجم يمانى مع نجم شامى في وقت واحد.

الثريا هو أشهر منازل القمر وتسمى بالنجم فإذا أطلق النجم ولم يضاف فالمراد به الثريا. وهي أول طوالع فصل الصيف وهي ستة نجوم صغار متقاربة تشبه عنقود العنب لذلك شُبِّهت بالعنقود بالشعر القديم: في وقتها يشتد الحر وتكثر العواصف وتقل الأمطار وحينما أقول تقل الأمطار لا يعني ذلك أنها هي المسببة لقلّة الأمطار وإنما هي علامة يُهتدى بها فقط، كما يجف العشب وتختفي الحشرات الربيعية ويتكون طلع النخيل في هذا الوقت كما أشتهر أو أنه أيضاً بسرعة براء الجروح وفي نوء الثريا تكون غزارة الأمطار بإذن الله تعالى.

**تقول العرب:** «إذا طلع النَّجْم - يعني الثريا - فالحرُّ في حَدِّم، والعُشْبُ في حَطْم، والعانات في كَدْم».

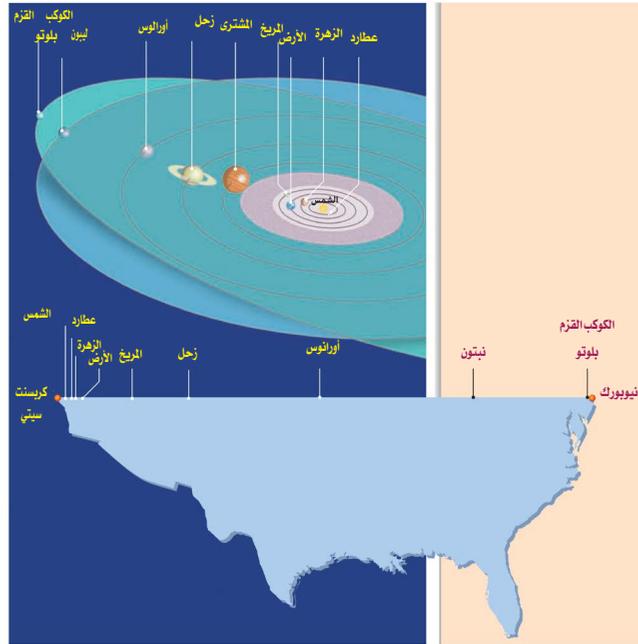






## حركة القمر في الفضاء

كان يسود في أوروبا في القرن التاسع عشر اعتقاد أن منتصف الشهر القمري وعندما يصير القمر بديراً فإنه يثير الاضطرابات العقلية لدى المرضى النفسيين، لذلك كان المجانين يتعرضون للضرب في المصحات قبل اكتمال القمر وأثناء ذلك وبعده لتهديتهم. وقد نسبت كلمة «مجنون» في اللاتينية إلى «القمر»، «لونا»، عبر الكلمة الفرنسية القديمة «Lunatique» التي ظهرت لأول مرة باللغة الإنجليزية في القرن الثالث عشر وتشير إلى الاعتقاد الخاطئ بأن القمر عندما يكون بديراً يمكن أن يجعل الناس مجانين.

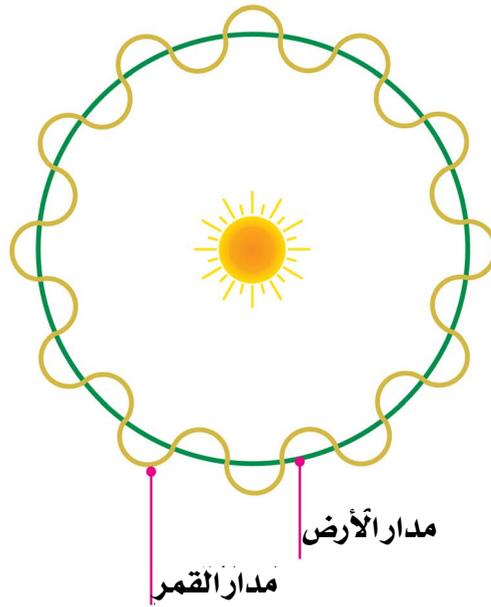


توضح خريطة الولايات المتحدة الأمريكية هذه المسافات النسبية للكواكب من الشمس، فإذا كانت الشمس موجودة في مدينة كريستنت سيتي في ولاية كاليفورنيا والكوكب القزم بلوتو في مدينة نيويورك. فإن موقع الأرض والقمر سيكون تقريباً في ولاية نيفادا.





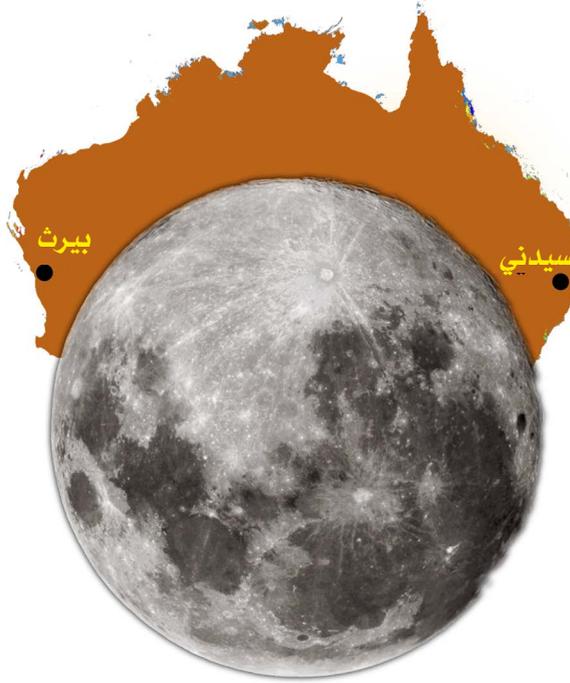
**تخيل أنك في مركبة فضائية**، تتبعد عن الأرض. بينما تبصر إلى الأمام، ترى كوكبنا وقمره متماسكين معاً في أحضان الجاذبية اللانهائية والدائرية. يمنحك العرض البعيد منظراً فريداً للقمر يصعب تخيله من الأرض، حيث يبدو القمر وكأنه يكتسح السماء ككرة متغيرة باستمرار.



يشبه مسار القمر حول الشمس عجلة مسننة.

**من وجهة نظر رائد الفضاء الخاص بك**، يمكنك أن ترى أن القمر يبعد وسطياً عن الأرض (384399 كيلومتر)، وهو يسافر حول كوكبنا مرة واحدة كل 27.322 يوماً في مدار بيضاوي الشكل، أو دائرة مستطيلة. ينغلق القمر تدريجياً مع الأرض، مما يعني أنه يدور حول محوره مرة واحدة بالضبط في كل مرة يدور حول كوكبنا. لهذا السبب، يرى الناس على الأرض جانباً واحداً فقط من القمر. نسمي هذه الحركة بـ (الدوران المتزامن).

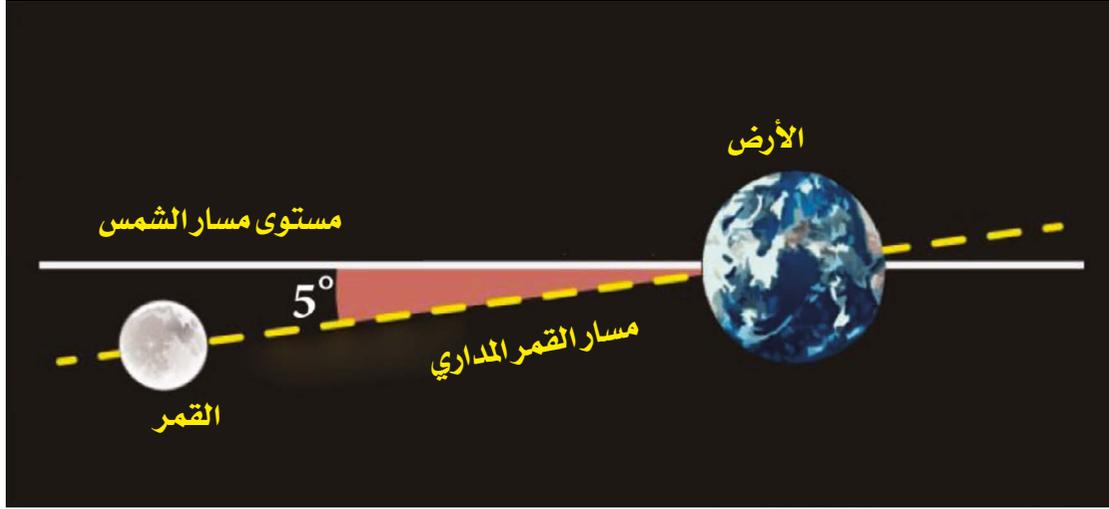




يبلغ قطر القمر نحو 3476 كم، أو نحو ربع قطر الأرض. فلو وضع القمر. مثلاً. على قارة أستراليا لامتد من مدينة سيدني إلى ما بعد مدينة بيرث. قطر القمر أصغر من قطر الشمس بنحو 400 مرة. وهذا ما يسبب حدوث الكسوف الكلي، أي تطابق قرص الشمس مع قرص القمر.

قد يكون الانصهار الجزئي لوشاح القمر وتمركز أحجار البازلت الفيضانية في محيط العواصف قد تسببا في إمالة محورية للقمر منذ 3 بلايين سنة، وخلال هذه الفترة انتقل قطبا القمر إلى موقعيهما الحديثين بمقدار (201 كيلومتر). يُستدل على هذا التجوال القطبي من رواسب الهيدروجين القطبية التي تكون مضادة للأوجه وتزاح بالتساوي من كل قطب على طول خطي طول متعاكسين.





يميل مدار القمر نحو 5 درجات مقارنة بمستوى مدار الأرض حول الشمس. بسبب هذا الميل، يمر القمر عادةً فوق أو أسفل الشمس عندما يمر بيننا وبين الشمس، كما يُرى من منظور الأرض. يمنعنا ميل مدار القمر من رؤية حدوث خسوف شهري للشمس والقمر.

## • أطوار القمر

تعد الشمس الجرم الوحيد الذي يضيء من نفسه في نظامنا الشمسي بكامله. يشع هذا الضوء دائماً على الأرض والقمر من ناحية الشمس، فيضيء نصف كوكبنا في مداره وينعكس عن سطح القمر لإنشاء ضوء القمر.

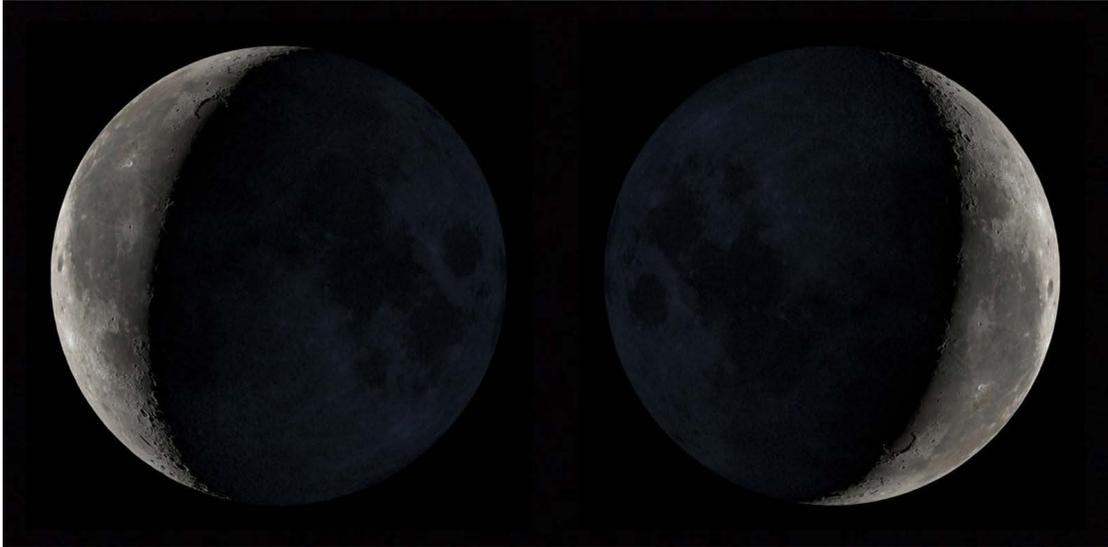
سُميت الأطوار الثمانية للقمر باسم «الأشكال» التي يتخذها القمر في سماء الليل. بالطبع، لا يتغير شكل القمر أبداً. يبدو الأمر كذلك، اعتماداً على مقدار إضاءة الجانب القريب من القمر بوساطة الشمس في أوقات مختلفة في مدار القمر.





يرى جميع الناس وفي كل مكان على الأرض أطوار القمر نفسها. مع ذلك، يرى الناس المقيمين شمال وجنوب خط الاستواء الطور الحالي للقمر من زوايا مختلفة. إذا سافرت إلى النصف الآخر من الكرة الأرضية، فسيكون القمر في الطور نفسه كما هو الحال في بلدك، لكنه سيظهر رأساً على عقب مقارنة بما اعتدت عليه!

على سبيل المثال، في 8 مارس 2021، كان القمر في طور الهلال المتناقص. فظهر الهلال المتناقص على الجانب الأيسر من القمر عند رؤيته من نصف الكرة الشمالي. وظهر الهلال المتناقص من نصف الكرة الجنوبي على اليمين.



هلال القمر المتناقص كما يُرى من نصف الكرة الشمالي (يسار) ونصف الكرة الجنوبي (يمين) في يوم 8 مارس 2021.





وكما هو حال الأرض، للقمر جانب نهارى وجانب ليلي يتغيران مع دوران القمر. تضيء الشمس دائماً نصف القمر بينما يبقى النصف الآخر مظلماً، ولكن إلى أي مدى يمكننا أن نرى ذلك النصف المضيء يتغير مع مرور القمر عبر مداره.

دعونا نلقي نظرة على أطوار القمر كل واحدة منها على حدة، وكيف تظهر حركات القمر والشمس لنا ونحن نشاهد من نصف الكرة الشمالي على الأرض:

## 1. القمر الجديد New Moon

هذه هو الطور غير المرئي من القمر، حيث يواجه الجانب المضيء من القمر الشمس والجانب الليلي مواجهاً للأرض. في هذا الطور، يكون القمر في الجزء نفسه من السماء الذي توجد فيه الشمس ويشرق ويغرب مع الشمس. لا يقتصر الأمر على الجانب المضيء بعيداً عن الأرض، بل إنه أيضاً مضاء أثناء النهار! تذكر، في هذا الطور، لا يمر القمر عادة مباشرة بين الأرض والشمس، بسبب ميل مدار القمر. إنه يمر بالقرب من الشمس فقط من منظورنا على الأرض.

## 2. الهلال المتزايد Waxing Crescent

يحدث قرن الموز الفضي هذا من القمر عندما يوجد نصف القمر المضيء في الغالب بعيداً عن الأرض، مع وجود جزء صغير فقط مرئي لنا من كوكبنا.





إنه **ينمو يومياً** نظراً لأن مدار القمر يجعل منظر القمر بعيداً عن الأنظار. كل يوم، يرتفع القمر بعد قليل.

### 3. التربيـع الأول First Quarter

**يمر القمر حالياً بربع الطريق خلال رحلته الشهرية** وترى نصف جانبه المضيء. قد يطلق الناس على هذا عرضاً اسم نصف القمر، لكن تذكر أن هذا ليس فعلاً ما تشاهده في السماء. أنت ترى فقط شريحة من القمر بكامل نصف نصفه المضيء. يرتفع قمر التربيـع الأول عند الظهيرة ويغيب نحو منتصف الليل. إنه مرتفع في السماء في المساء ويتيح مشاهدة ممتازة.

### 4. الأحدثب المتزايد Waxing Gibbous

**لقد ظهر الآن معظم أيام القمر**، ويظهر القمر أكثر إشراقاً في السماء.

### 5. البدر Full Moon

هذا أقرب ما يكون إلى رؤية إضاءة الشمس لكامل الجانب النهاري من القمر (من الناحية الفنية، سيكون هذا هو نصف القمر الحقيقي). القمر هو عكس الشمس، كما يُنظر إليه من الأرض، ويكشف عن جانب أيام القمر. يرتفع القمر المكتمل عند غروب الشمس ويغيب عند شروق الشمس. سيظهر القمر ممتلئاً لبضعة أيام قبل أن ينتقل إلى الطور التالي.





## 6. الأحدب المتناقص Waning Gibbous

عندما يبدأ القمر رحلته عائداً نحو الشمس، يعكس الجانب الآخر من القمر حالياً ضوء القمر. يبدو أن الجانب المضيء يتقلص، لكن مدار القمر ينفذه ببساطة خارج نطاق الرؤية من منظورنا. القمر يشرق في وقت لاحق وبعد ذلك كل ليلة.

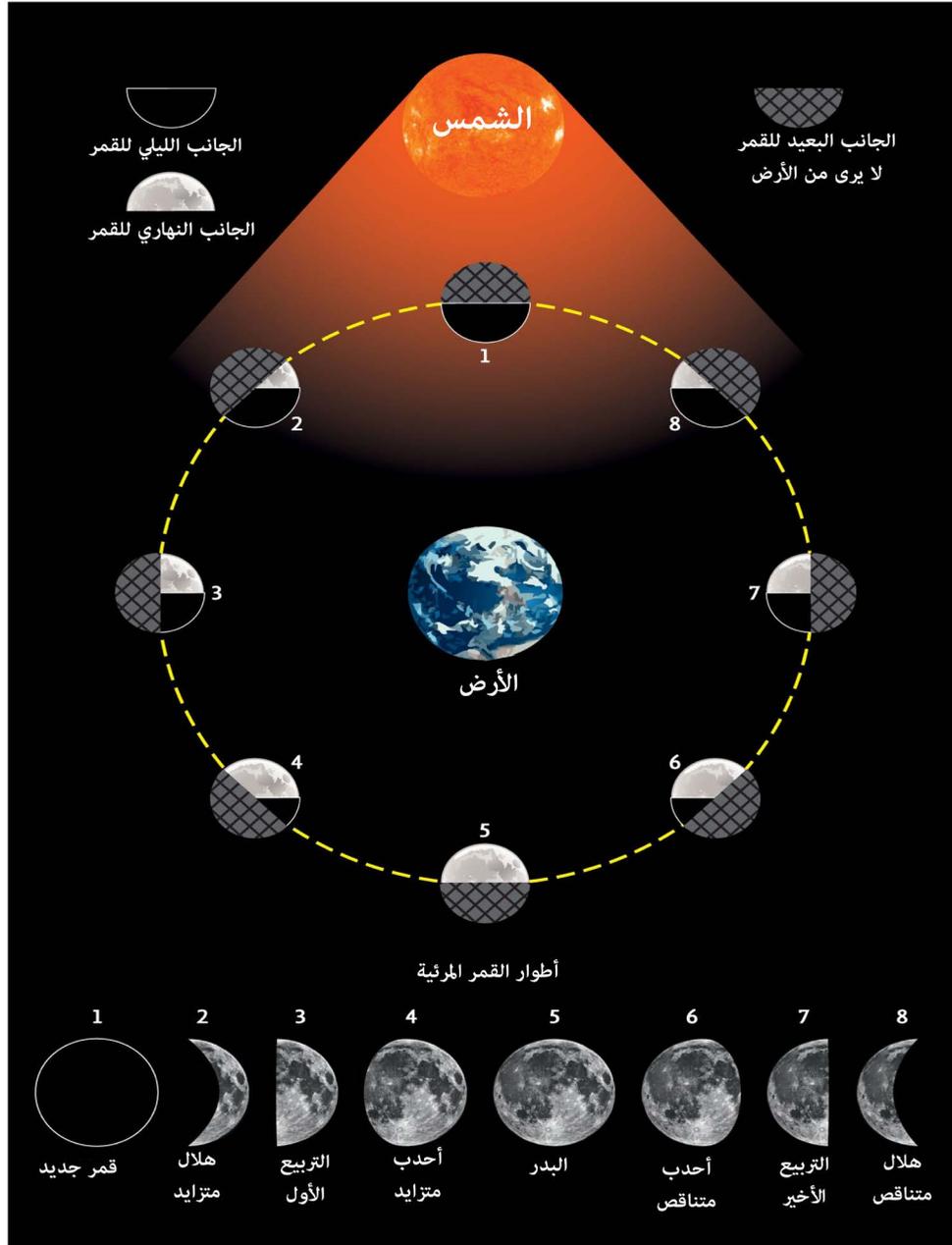
## 7. التربع الأخير Last Quarter

يبدو القمر وكأنه نصف مضاء من منظور الأرض، لكنك في الحقيقة ترى نصف نصف القمر الذي تضيئه الشمس أو ربعه. يرتفع قمر التربع الأخير، المعروف أيضاً باسم قمر الربع الثالث، حيث يشرق في منتصف الليل تقريباً ويفرب في الظهيرة.

## 8. الهلال المتناقص Waning Crescent

لقد عاد القمر تقريباً إلى النقطة في مداره حيث يواجه جانبه اليومي الشمس مباشرة، وكل ما نراه من منظورنا هو مُنحَن رفيع.





يوضح هذا الرسم موقع القمر والشمس خلال كل طور من أطوار القمر والقمر كما يظهر من الأرض خلال كل طور.

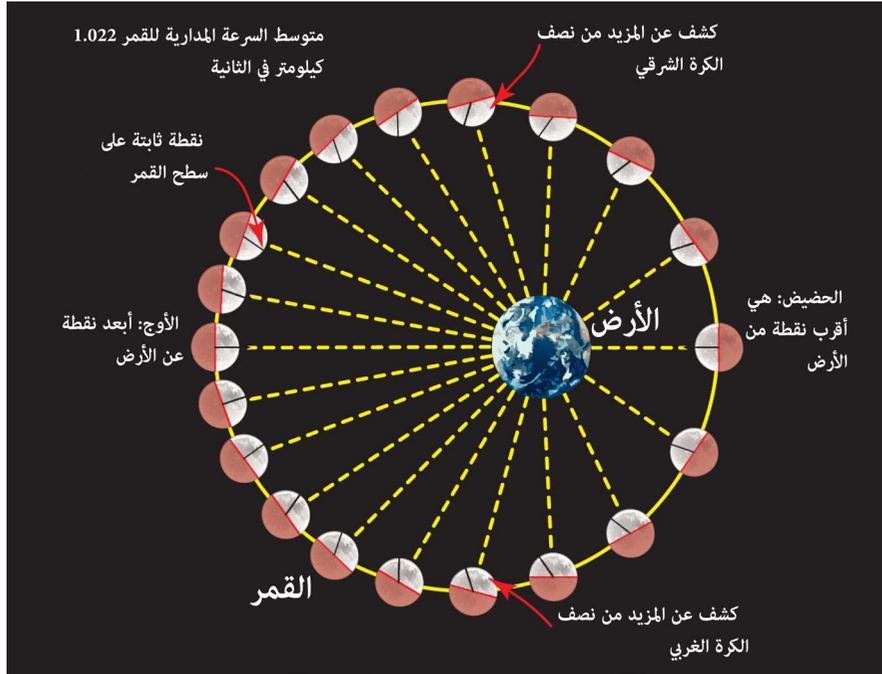




## ميسان القمر

عندما نفكر في الطريقة التي يبدو أن القمر يتغير بها على مدار شهر، فإننا نفكر في الأطوار. لكن المراقبين المتكررين للقمر يعرفون أن القمر يبدو أيضاً وكأنه يلتف ويهتز ويتدحرج قليلاً أثناء رحلته عبر السماء، مما يسمح لنا بإلقاء نظرة خاطفة على طرف القمر والتقاط لمحات من الجانب البعيد. هذه الظاهرة تسمى ميسان القمر Libration.

نظراً لأن مدار القمر ليس دائرياً تماماً، فإن المسافة بينه وبين الأرض وسرعته في المدار تتغير قليلاً على مدار الشهر. ومع ذلك، فإن معدل دوران القمر حول محوره يبقى ثابتاً دائماً.



رسم تخطيطي لميسان القمر الناتج عن الشكل الإهليلجي لمدار القمر.





عندما يكون القمر في أقرب نقطة له من الأرض (الحضيض) ويتحرك بأقصى سرعة على طول مساره المداري، فإن القمر نفسه لا يدور بسرعة كافية لإبقاء الجانب نفسه بالكامل في مواجهتنا، وسنرى المزيد من الجانب الشرقي من القمر. عندما يكون القمر أبعد ما يكون عن الأرض (الأوج) يدور في أبطأ درجاته، فإن دورانه يتقدم قليلاً، ونرى جانبه الغربي أكثر قليلاً. نسمي هذه الحركة (ميسان خطوط الطول).

يؤدي أيضاً ميل مدار القمر بمقدار 5 درجات إلى ظهوره على شكل إيماءة، كما لو كان يقول «نعم». يؤدي الميل أحياناً إلى رفع القمر فوق نصف الكرة الشمالي للأرض، وأحياناً أسفل نصف الكرة الجنوبي للأرض، مما يسمح لنا برؤية المزيد من نصفي الكرة الشمالي أو الجنوبي للقمر. نسمي هذه الحركة (ميسان خطوط العرض).

أخيراً، يبدو أن القمر يميل للأمام والخلف مثل بندول الإيقاع. يساهم ميل مدار القمر في هذا، ولكن يرجع ذلك في الغالب إلى ميل الأرض. تميل الأرض بمقدار 23.5 درجة على محورها، مما يعني أنه عندما نلاحظ القمر من الأرض، فإنه يشبه إلى حد ما أننا نقف جانباً على منحدر. إذا نظرت إلى اليسار، فإن المنحدر ينحدر Ramp Slopes Down. إذا نظرت إلى اليمين، فإن المنحدر ينحدر. أمامك الأفق يبدو أعلى يميناً وأسفل يساراً. إذا استدرت، يبدو أن الأفق يميل في الاتجاه المعاكس.

يعمل المنحدر المائل Tilted Ramp بالطريقة نفسها لعمل (المنصة المائلة) للأرض تحت أقدامنا. كل أسبوعين، علينا أن ننظر في الاتجاه المعاكس لرؤية القمر، ثم تميل الأرض تحت أقدامنا في الاتجاه المعاكس أيضاً.





## • إشراق الأرض Earthshine

في بعض الأحيان، عندما يكون القمر في أحد أطوار الهلال، بإمكاننا رؤية المنطقة المظلمة من قُرب القمر وهي تتألق بشكل خافت. هذا التأثير ناتج عن انعكاس ضوء الشمس عن سطح الأرض على وجه القمر. نظراً لأن الأرض في تلك النقطة من مدارها تكون (بدرًا كاملاً) تقريباً من منظور القمر، فإن الضوء الذي تعكسه، والذي يُسمى إشراق الأرض، يكون ساطعاً بدرجة كافية لإضاءة السطح المظلم بشكل خافت.



مع أن القمر في طور الهلال في هذه الصورة، إلا أن معظم الجانب المظلم المواجه للأرض من القمر لا يزال مرئياً بشكل خافت، مضاء بضوء الشمس المنعكس عن كوكبنا وهو في (طور البدر). يسمى هذا الضوء المنعكس (إشراق الأرض).





## • قمر النهار

مع أن القمر غالباً ما يُنظر إليه على أنه زائر ليلي، إلا أنه يُرى أيضاً في أثناء النهار على أنه حضور باهت شاحب. أفضل الأوقات لرؤية القمر خلال النهار ربما تكون خلال مرحلتي التربيع الأول والأخير، عندما يكون القمر مرتفعاً بدرجة كافية فوق الأفق وعلى زاوية 90 درجة تقريباً من الشمس في السماء. يساعد هذا في جعل ضوء الشمس المنعكس ساطعاً بدرجة كافية لرؤيته أثناء انعكاسه عن القمر.

يمكن رؤية القمر في سماء النهار في أي طور باستثناء القمر الجديد، عندما يكون غير مرئي لنا، وعندما يكون تحت الأفق أثناء النهار. يكون الهلال خلال الأطوار التربيعية مرتفعاً في السماء أثناء النهار، ولكن لا يمكن رؤية الأطوار المحدبة في النهار إلا قبل غروب الشمس مباشرة.



القمر المشرق يرتفع فوق سلسلة من التلال في جبال واساتش بولاية يوتا.

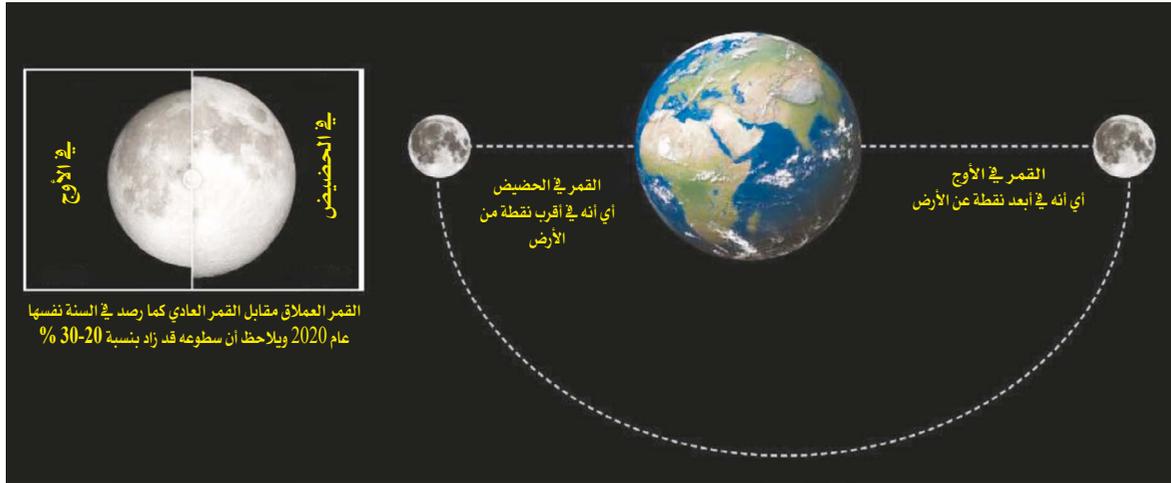




## • القمر العملاق

يحدث القمر العملاق Supermoon أو القمر عندما يتزامن القمر المكتمل مع أقرب اقتراب للقمر من الأرض في مداره الإهليلجي، وهي نقطة تعرف باسم نقطة الحضيض. خلال كل دورة مدتها 27 يوماً حول الأرض، يصل القمر إلى أقرب نقطة، أو الحضيض، على بُعد نحو (363300 كيلومتر) من الأرض، وأبعد نقطة، أو الأوج، على بُعد (405500 كيلومتر) من الأرض.

القمر العملاق ليس مصطلحاً فلكياً رسمياً، ولكنه يستخدم عادةً لوصف اكتمال القمر الذي يقع ضمن 90% على الأقل من نقطة الحضيض.



يحدث القمر العملاق من ثلاث إلى أربع مرات فقط في السنة، ودائماً يظهر بشكلٍ متتالٍ. في معظم مدار الأرض حول الشمس، لا يتداخل الحضيض والقمر.

عند أقرب نقطة له، يظهر البدر أكبر بنحو 17% ويكون بنسبة 30% أكثر سطوعاً من أضعف قمر في العام، الذي يحدث عندما يكون في مداره أبعد ما يكون





عن الأرض. مع أن 17 % لا تحدث فرقاً كبيراً في الحجم القابل للاكتشاف، فإن القمر العملاق الكامل يكون أكثر سطوعاً قليلاً من الأقمار الأخرى على مدار العام. قد يكون من الصعب اكتشاف قمر عملاق بصرياً، لكن له تأثير في الأرض. نظراً لأن القمر في أقرب نقطة له من الأرض، فقد يتسبب في حدوث مد أعلى من المعتاد.

### • القمر الأزرق

يشير مصطلح القمر الأزرق Blue Moon إلى توقيت اكتمال القمر (بدر)، وليس لونه.

تستغرق الدورة القمرية 29.5 يوماً، ولكن نظراً لأننا لا نقيس نصف يوم في أشهرنا، فإن تقاويمنا لا تتم مزامنتها دائماً مع القمر. لذلك، سيظهر البدر مرة كل ثلاث سنوات تقريباً مرتين في شهر تقويمي واحد، ونسمي الظهور الثاني بـ (القمر الأزرق).

يحدث القمر الأزرق مرة كل عامين ونصف تقريباً. لذلك سيظهر القمر الأزرق في أغسطس 2023 ومايو 2026 وديسمبر 2028.





إن ترشيح ضوء الشمس عبر الغلاف الجوي للأرض بزاوية منخفضة منح القمر الأزرق لشهر يوليو 2015 درجة اللون البرتقالي في هذا المنظر من واشنطن العاصمة. هذا التأثير شائع عندما يظهر القمر بالقرب من الأفق.

## • قمر الحصاد أو قمر الصياد

(قمر الحصاد) و (قمر الصياد) اسمان تقليديان للقمر الكامل في أواخر الصيف وفي الخريف في نصف الكرة الشمالي، عادةً في سبتمبر وأكتوبر على التوالي. يحتفل به من خلال مهرجان منتصف الخريف الصيني، الذي يتزامن مع العام الصيني الجديد.





يرجع لون قمر الحصاد البرتقالي إلى تشتت رايلي الكبير عندما يظهر القمر قريباً فوق الأفق.

## • الخسوف والكسوف

في أي مكان من أربع إلى سبع مرات في السنة، تصطف أرضنا والقمر والشمس تماماً لإنشاء عرض الظل الكوني المعروف باسم الكسوف. وعندما يكون مدار القمر حول الأرض مائل بالنسبة إلى مدار الأرض حول الشمس. فإن هذا الميل هو السبب في حدوث خسوف عرضي بدلاً من الخسوف كل شهر.

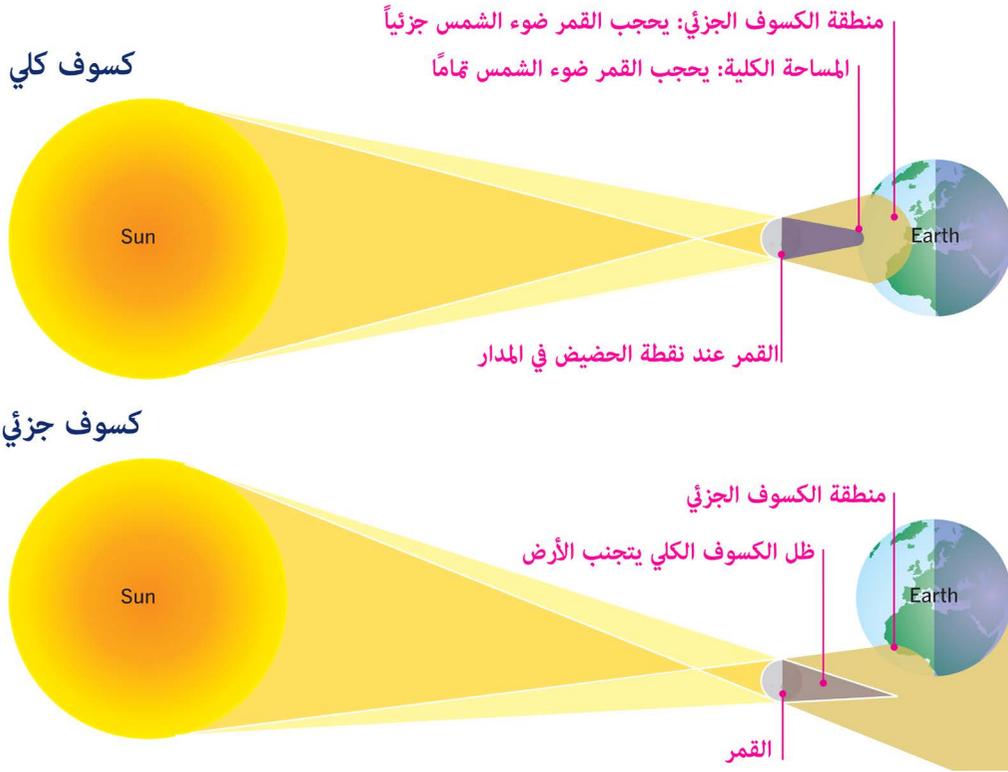
هناك نوعان من عروض الظل الكونية هذه: الكسوف الشمسي والخسوف القمري. أثناء كسوف الشمس، يحجب القمر الشمس عن الرؤية. وأثناء خسوف القمر، يحجب ظل الأرض القمر.





## 1. كسوف الشمس

يحدث كسوف الشمس فقط في طور القمر الجديد، عندما يكون القمر بين الأرض والشمس. أثناء كسوف الشمس، يلقي القمر بظلاله على الأرض، ويمنع رؤيتنا للشمس أو يحجبها جزئياً. مع أن حدوث كسوف الشمس في كثير من الأحيان مثل خسوف القمر، إلا أنه من النادر رؤيته من منطقة صغيرة من الأرض في كل مرة يكون من النادر جداً مواجهتها.





**وأثناء كسوف الشمس**، يبلغ عرض ظل القمر على سطح الأرض نحو (480 كيلومتراً) فقط. يتكون الظل من جزأين: الظل، حيث تحظر الشمس تماماً، وشبه الظل، حيث تحجب الشمس جزئياً. سيرى الناس في منطقة الظل كسوفاً كلياً، بينما سيرى الأشخاص في الظل كسوفاً جزئياً. مع أن الظل ضيق وأن الكسوف الكلي يستمر لدقائق فقط، إلا أن كوكبنا يدور بسرعة كافية لإخراج الظل ثلث المسافة حول سطح الأرض قبل أن يتحرك القمر بعيداً عن المحاذاة مع الشمس.



يُنظر إلى أثر خرزات بيلى Bailey's Beads عندما يقوم القمر بتحركه الأخير فوق الشمس خلال الكسوف الكلي للشمس في 21 أغسطس 2017 فوق مدراس بولاية أوريغون. يحدث هذا الأثر عندما تسمح الفجوات في التضاريس الوعرة للقمر لضوء الشمس بالمرور في بعض الأماكن قبل الطور الكلي للكسوف مباشرة.





غالباً ما نحصل على مثل هذه الكسوفات الشمسية المثيرة للإعجاب على الأرض، وهي فرصة محظوظة للطبيعة. الشمس أكبر بكثير من القمر؛ يبلغ قطرها نحو 400 ضعف قطر القمر. لكن القمر أقرب إلى الأرض بنحو 400 مرة. هذا يجعل من الممكن للقمر أن يحجب الشمس تماماً عندما يتماشى كل شيء.

يمكنك معاينة الكسوف الحلقي أيضاً، عندما تتحاذى الشمس والقمر والأرض ولكن مدار القمر يضعه بعيداً جداً عن الأرض لحجب قرص الشمس تماماً. أثناء الكسوف الحلقي، تأخذ السماء شكل الشفق، لكن بعض الشمس لا تزال تظهر.



كسوف حلقي للشمس جرى تصويره في 20 مايو 2012. يحدث كسوف للشمس عندما يمر القمر أمام الشمس كما يرى من الأرض. يحدث الخسوف الحلقي عندما يكون القمر بعيداً بما يكفي عن الأرض في مداره بحيث لا يبدو القمر كبيراً بما يكفي لتغطية قرص الشمس بالكامل، تاركاً «حلقة من النار».

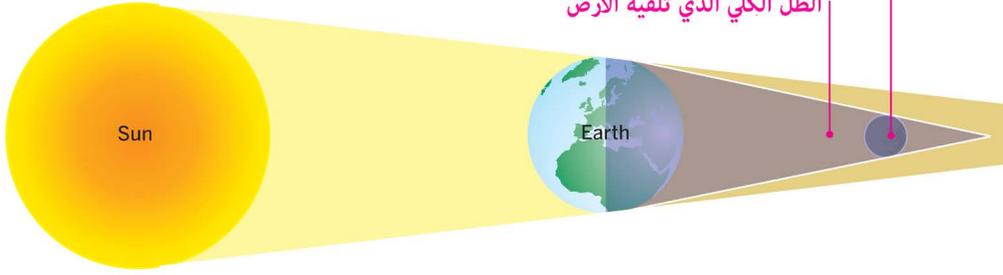




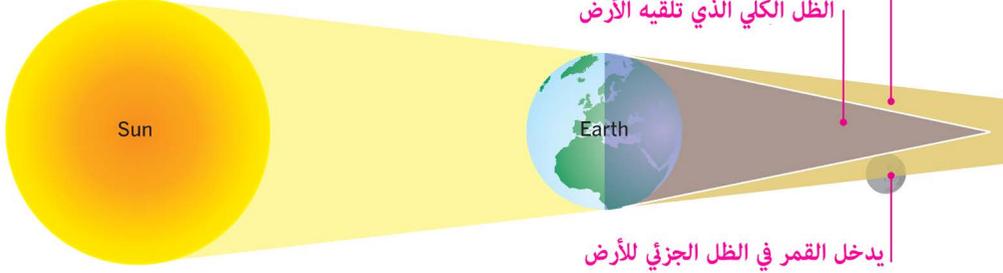
## خسوف القمر

يحدث خسوف القمر في طور اكتمال القمر. عندما تتوضع الأرض بدقة بين القمر والشمس، يسقط ظل الأرض على سطح القمر، مما يؤدي إلى تعتمه، وفي بعض الأحيان يحول سطح القمر إلى اللون الأحمر اللافت للنظر على مدار ساعات قليلة.

### خسوف كلي



### خسوف جزئي





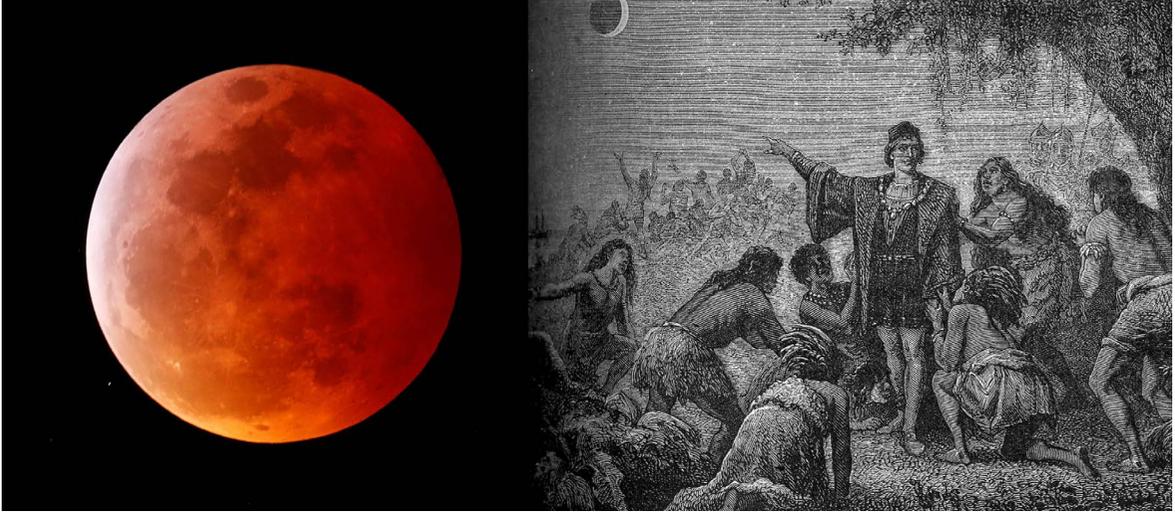
## يوجد ثلاثة أنواع مختلفة من خسوف القمر:

### أ) الخسوف الكلي للقمر Total lunar eclipse

يتحرك القمر إلى الجزء الداخلي من ظل الأرض أو الظل. يصل بعض ضوء الشمس الذي يمر عبر الغلاف الجوي للأرض إلى سطح القمر ويضيئه بشكل خافت. تنتشر الألوان ذات الأطوال الموجية الأقصر - الأزرق والبنفسجي - بسهولة أكبر من الألوان ذات الأطوال الموجية الأطول، مثل الأحمر والبرتقالي. نظراً لأن الأطوال الموجية الأطول تمر عبر الغلاف الجوي للأرض، وتبعثر الأطوال الموجية الأقصر، يظهر القمر باللون البرتقالي أو المحمر أثناء خسوف القمر. كلما زاد الغبار أو الغيوم في الغلاف الجوي للأرض أثناء الخسوف، ظهر القمر أكثر احمراراً.

يحدث قمر الدم Blood Moon عندما يكون قمر الأرض في حالة الخسوف الكلي للقمر. في حين أنه ليس له أهمية فلكية خاصة، فإن المنظر في السماء مذهل حيث يتحول القمر الأبيض عادة إلى اللون الأحمر أو البني المائل إلى الحمرة.





(لليمين) رسم يوضح كيف تنبأ كريستوف كولومبوس بخسوف القمر للجوامايكيين الأصليين يوم 1 مارس عام 1504 وقد كان قمر دم أحمر، واستغل جهلهم ليأخذ ما يريد منهم. (ليسار) صورة قمر الدم.

### ب) خسوف القمر الجزئي Partial Lunar Eclipse

وهو ينتج عن المحاذاة غير الكاملة للشمس والأرض والقمر، حيث إن القمر يمر عبر جزء فقط من ظل الأرض. ينمو الظل ثم يتراجع دون تغطية القمر بالكامل.

### ج) خسوف الظل الجزئي Penumbral eclipse

هنا يسافر القمر عبر شبه ظل الأرض، أو الجزء الخارجي الباهت من ظلها ويتضاءل بشكل طفيف بحيث يصعب ملاحظته.





(1) الخسوف الكلي للقمر، (2) الخسوف الجزئي للقمر، (3) خسوف الظل الجزئي.





## • المد والجزر

وأنت تمشي على طول الشاطئ والأصداف البحرية والأخشاب الطافية والأعشاب البحرية التي خلفتها حركة المد والجزر عند قدميك. انظر إلى القمر، وسترى السبب الرئيسي لارتفاع وتراجع المحيطات من شواطئنا. بقدر ما قد يبدو القمر بعيداً، فإن لجاذبيته على الأرض أثراً كبيراً في تكوين ظاهرة المد والجزر.

### 1. المد والجزر على الأرض

عندما ترى المد يتدحرج إلى الداخل أو الخارج، فإن ما تراه حقاً هو دورة من التغييرات الصغيرة في توزيع محيطات كوكبنا. عندما تسحب الجاذبية القمرية على الأرض، فإنه يغير كتلة الأرض، ويشوه شكلها بشكل طفيف إلى شكل كرة القدم أمريكية؛ ممدودة عند خط الاستواء ومضغوطة عند القطبين. يمكن اكتشاف هذا الأثر على الأرض الصلبة بواسطة الأدوات العلمية، ولكن يمكننا مشاهدة نفس التغييرات في محيطات الأرض بمجرد زيارة الشاطئ.

قد يبدو غريباً أن ينتفخ المحيط على الجانب الأبعد عن القمر وكذلك الجانب الأقرب إليه. يحدث هذا لأن جاذبية القمر تؤثر في الأرض بكاملها، حيث تسحب في كل نقطة على كوكبنا. يحدث السحب الأقوى في النقاط الأقرب للقمر، والأضعف في النقاط الأبعد، ولكن كل جزء من الماء يتأثر.





**عندما تسحب جاذبية القمر الأرض،** لا يطفو الماء إلى الخارج، بل يتم دفعه وضغطه حول الكرة الأرضية، موجهاً بوساطة كل من الجاذبية والقوى الأخرى، حتى ينتهي في النهاية بالانتفاخ على الجانب الأقرب للقمر والجانب الأبعد.

**عندما تدور الأرض داخل هذه الطبقة من الماء،** فإن كتلتها تمر عبر الانتفاخات. هذه الانتفاخات هي المد والجزر العالية للأرض. تشهد معظم الشواطئ مد وجزر مرتفع ومنخفض في اليوم. تستغرق دورة المد والجزر المرتفعة أو (دورة المد والجزر المنخفضة إلى المد والجزر) ما يزيد قليلاً على 12 ساعة.

**هل يمكننا بسهولة التنبؤ بالمد والجزر باتباع مسار القمر؟** ليس تماماً، نظراً لأن القمر يدور في اتجاه دوران الأرض نفسه، فإن الأمر يستغرق وقتاً إضافياً لأي نقطة على كوكبنا لتدور وتنتهي بالضبط أسفل القمر. هذا يعني أن النتوءات المرتفعة للمد والجزر لا تصطف أبداً بشكل مباشر مع القمر، ولكن خلفها قليلاً.

**بالإضافة إلى ذلك،** فإن الأرض ليست كرة مثالية وسلسلة. تتأثر ظاهرة المد والجزر التي نراها بالفعل على شواطئنا بكل شيء من شكل قارات الأرض إلى الرياح والعواصف، فللحصول على تقدير حقيقي للمد والجزر بالقرب منك، سيكون عليك التحقق من توقعات المد والجزر المحلية.

**حالياً القمر هو صاحب التأثير الأكبر في المد والجزر على الأرض بسبب قربه -** لكنه ليس التأثير الوحيد، فالشمس - التي تبلغ كتلتها نحو 27 مليون ضعف كتلة القمر - هي دائماً الغوريلا الموجودة في الغرفة عندما يتعلق الأمر بمعادلات النظام الشمسي. لكنها غوريلا بعيدة، تبعد بنحو 390 مرة عن الأرض من بُعد القمر، مما يعطيها أقل بقليل من نصف قوة توليد المد والجزر على القمر. ومع ذلك، لها دور.





مرتان في الشهر، عندما تصطف الأرض والشمس والقمر، تتحد قوى الجاذبية لكل منهما لتكوين مد وجزر مرتفع بشكل استثنائي حيث تحدث الانتفاخات، والتي تسمى المد الربيعي، وكذلك المد والجزر المنخفض جداً حيث يزيح المياه. بعد نحو أسبوع، عندما تكون الشمس والقمر في زاويتين قائمتين مع بعضهما بعضاً، يعمل سحب الجاذبية للشمس ضد شد الجاذبية للقمر ويلغيه جزئياً، مما يؤدي إلى حدوث موجات مد معتدلة.

يمكنك معرفة وقت حدوث المد الربيعي أو المد والجزر دون الوجود في أي مكان بالقرب من الماء. يحدث المد الربيعي دائماً عندما يكون القمر في طور كامل أو جديد، أي عندما تكون الشمس والقمر والأرض في محاذاة. المد والجزر يحدث حول طور الربع الأول والأخير من القمر، عندما يجعله مداره حول الأرض عمودياً على الشمس.

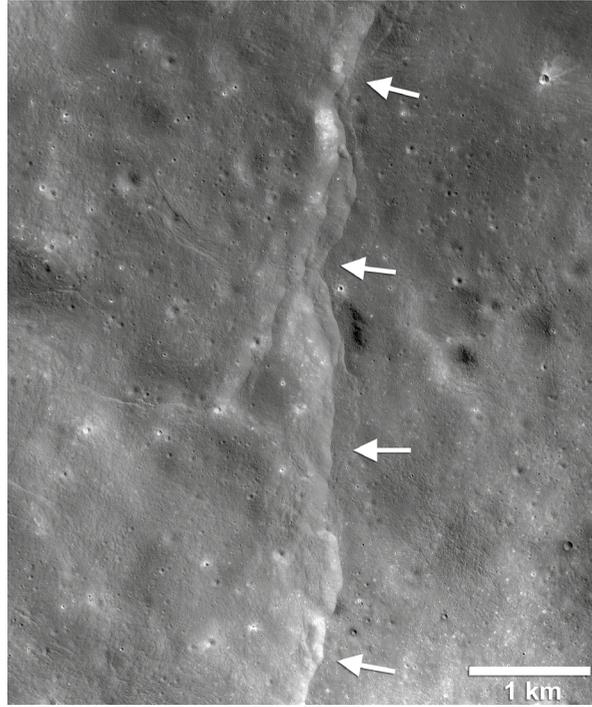
## 2. المد والجزر على القمر

لقد تحدثنا كثيراً عن تأثير جاذبية القمر في الأرض. ولكن ماذا عن تأثير الجاذبية الأكبر للأرض في القمر؟ تبلغ كتلة الأرض 80 ضعف كتلة القمر. حسناً، تماماً كما يتسبب سحب القمر في تشويه كرة الأرض قليلاً، فإن جاذبية الأرض تشوه شكل القمر قليلاً. إنها ليست دراماتيكية مثل المد والجزر في المحيط، ولكن هذه المد والجزر على القمر قابل للقياس باستخدام الليزر، وفي بعض الحالات يكون له آثار مرئية.





تتشكل المنحدرات الصغيرة على القمر، التي تسمى الندبات الفصوصية، نتيجة لانكماش القوى المشتركة للقمر حيث يبرد باطنه الساخن وتضغط جاذبية الأرض على السطح. يتسبب الانكماش في التواء قشرة القمر، ودفعها معاً وأعلى لتشكيل المنحدرات، لكن العلماء الذين فحصوا هذه الشقوق لاحظوا أن مواقعهم مرتبطة بجاذبية الأرض.



كُشف عن الآلاف من الندبات الصغيرة الفصوصية. تشبه المنحدرات الفصوية مثل هذه الموضحة هنا، درجات سلم في المشهد الطبيعي. تتشكل عندما تنضغط قشرة القمر معاً وتتسخر وتدفع لأعلى لتكوين منحدر. يتسبب تبريد الجزء الداخلي للقمر الذي لا يزال ساخنًا في تقلص القمر، لكن نمط اتجاهات المنحدرات يشير إلى أن جاذبية الأرض تسهم في تكوين هذه الشقوق.





## التربة القمرية

يحب كل الأطفال على الأرض اللعب بالتراب عن طريق مزجه بالقليل من الماء وتحويله إلى صلصال، ولكن الأجيال القادمة التي ستسكن على القمر لن تستطيع - للأسف - اللعب بالتراب القمري، وسأخبركم لماذا.

التربة القمرية هي الجزء الناعم من الثرى الموجود على سطح القمر. وتختلف خصائصها بشكل كبير عن خصائص التربة الأرضية. الخواص الفيزيائية للتربة القمرية هي في الأساس نتيجة التفكك الميكانيكي للصخور البازلتية والأنورثوسيتية، الناجم عن الصدمات النيزكية المستمرة والقصف بواسطة الجسيمات الذرية المشحونة بين النجمية والشمسية على مدى بلايين السنين. هذه العملية هي إلى حد كبير عملية التجوية الميكانيكية حيث تُطحن الجسيمات إلى حجم أدق تدريجياً بمرور الزمن. يتناقض هذا الحال بشكل أساسي مع تكوين الأتربة الأرضية، بواسطة وجود الأكسجين الجزيئي ( $O_2$ ) والرطوبة والرياح الجوية ومجموعة قوية من العمليات البيولوجية الأخرى.

تشير التربة القمرية عادةً إلى الجزء الأكثر دقة من الثرى القمري Regolith، والذي يتكون من حبيبات يبلغ قطرها 1 سم أو أقل. ويشير الغبار القمري Lunar Dust عموماً إلى مواد أدق من التربة القمرية. لا يوجد تعريف رسمي لحجم الحبيبات التي تشكل «غباراً»؛ البعض يضع الحبيبات التي بقطر أقل من 50 ميكرومتر، بينما يضعه البعض الآخر في أقل من 10 ميكرومتر.





**الزمان: 20 يوليو 1969. المكان: منظر عن قرب لبصمة حذاء رائد فضاء في التربة القمرية، جرى تصويرها أثناء نشاط رواد بعثة أبولو11- خارج المركبة (EVA) على القمر. هذه هي الخطوة الصغيرة لإنسان والقفزة العملاقة التي حققتها البشرية، أو كما قال رائد الفضاء نيل أرمسترونغ.**





## إذا العمليات الرئيسية المشاركة في تكوين التربة القمرية هي:

- **التكسير Cracking**: أي التكسير الميكانيكي للصخور والمعادن إلى جسيمات أصغر بوساطة النيازك وصددمات النيازك الدقيقة.

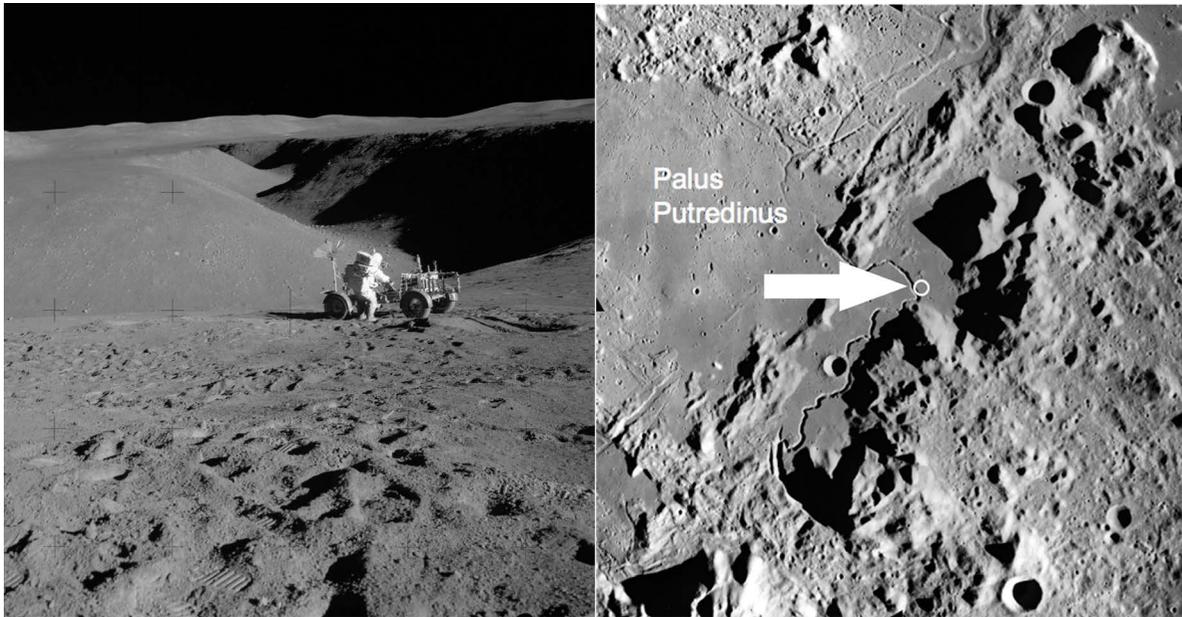
- **التراص Agglutinate**: أي التحام الأجزاء المعدنية والصخرية معاً بوساطة الزجاج الناجم عن ارتطام النيزك الدقيق.

كما يسهم تلاشي الرياح الشمسية وتشظي الأشعة الكونية نتيجة اصطدام الأيونات والجسيمات عالية الطاقة بسطح القمر، في عملية التكوين هذه.

تستمر هذه العمليات في تغيير الخصائص الفيزيائية والبصرية للأتربة بمرور الزمن، وتُعرف بـ (اسم التجوية الفضائية) Space Weathering.

بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تخلق نوافير النار Fire Fountains، حيث ترتفع الحمم البركانية وتبرد إلى حبيبات زجاجية صغيرة قبل أن تسقط مرة أخرى على السطح، مشكلةً رواسب صغيرة ولكنها مهمة في بعض المواقع، مثل الأتربة البرتقالية الموجودة في حفرة شورتي Shorty Crater في وادي طوروس-ليترو Taurus-Littrow بوساطة بعثة أبولو 17-، والزجاج الأخضر الموجود في منطقة هادلي أبينين Hadley-Apennine بوساطة بعثة أبولو 15-. يُعتقد أيضاً أن رواسب الخرز البركاني هي أصل رواسب الوشاح المظلم Dark Mantle Deposits (DMD) في مواقع أخرى حول القمر.





(لليمين) صورة مدارية لموقع هادلي-أبينين؛ موقع هبوط بعثة أبولو15- محدد بدائرة بيضاء. (لليسار) أحد رُؤاد الفضاء من بعثة أبولو15- وهو يأخذ عينة تراب وصخور من موقع هادلي.





## • بنية التربة القمرية

تتكون التربة القمرية من أنواع مختلفة من الجسيمات بما في ذلك شظايا الصخور، وشظايا أحادية المعدن، وأنواع مختلفة من الزجاج بما في ذلك الجسيمات المترakمة، والبراكين، وكريات الصدم. تتشكل **المتراصات** على سطح القمر من خلال صدمات **النيازك الدقيقة** التي تسبب انصهاراً على نطاق صغير يدمج المواد المجاورة مع بقع صغيرة من عنصر الحديد المضمنة في الغلاف الزجاجي لكل جسيم من الغبار. بمرور الوقت، تُخلط المواد **عمودياً وأفقياً** من خلال **عمليات الصدم**. تعتبر مساهمة المواد من المصادر **الخارجية الضئيلة نسبياً**، بحيث يعكس تكوين الأتربة في أي موقع معين إلى حد كبير تكوين **الأساس الصخري المحلي**.

**يوجد نوعان من الاختلافات العميقة في كيمياء الثرى القمري والأتربة من المواد الأرضية:**

- **الأول:** هو أن **القمر جاف جداً**. ونتيجةً لذلك، فإن هذه المعادن التي تحوي على الماء كجزء من بنيتها (الترطيب المعدني) مثل: الطين والميكا والأمفيبولات غائبة عن سطح القمر.

- **الثاني:** هو أن **الثرى القمري** والقشرة يجري **تقليلهما كيميائياً**، بدلاً من التأكسد بشكل كبير مثل **قشرة الأرض**. في حالة الثرى، يرجع ذلك جزئياً إلى القصف المستمر لسطح القمر بالبروتونات من الرياح الشمسية. وإحدى نتائج هذا القصف هي أن الحديد على القمر موجود في حالات الأكسدة الأولية (+1) والكاتيونية (+2)، بينما يوجد الحديد على الأرض بشكل أساسي في حالات الأكسدة (+2 و +3).





لا شك بأن أهمية **اكتساب المعرفة** المناسبة بخصائص التربة القمرية كبيرة. إذ ستعتمد إمكانية بناء المستعمرات مستقبلاً، وشبكات النقل البري، وأنظمة التخلص من النفايات، على **سبيل المثال لا الحصر**، على البيانات التجريبية الواقعية التي جرى الحصول عليها من اختبار **عينات التربة القمرية**. تعد **قدرة الأتربة** على حمل **الأوزان** عامل مهم في تصميم مثل هذه **البنى في الواقع**.

بسبب صدمات النيازك التي لا تعد ولا تحصى (مع **سرعات في حدود 20 كيلومتر / ثانية**)، يكون سطح القمر مغطى بطبقة رقيقة من الغبار، ويكون الغبار مشحوناً كهربائياً **ويلتصق بأي سطح يتلامس معه**.

تبلغ كثافة الثرى القمري نحو **1.5 جم / سم<sup>3</sup>**. [8] **وصير الأتربة كثيفة جداً تحت الطبقة العليا من الثرى**.



قطعة قماش بيضاء عليها غبار قمري (يشبه الغبار حشرة القمل ويبيضها عندما تنتشر في شعر الإنسان). تعود هذه القطعة لبعثة أبولو 16.





تشمل العوامل الأخرى التي قد تؤثر في خصائص التربة القمرية الفروق الكبيرة في درجات الحرارة، ووجود فراغ شديد، وعدم وجود مجال مغناطيسي قمري كبير، مما يسمح لجزيئات الرياح الشمسية المشحونة بالضرب المستمر على سطح القمر.

## • نوافير غبار القمر

تخيل معي وأنت تسكن في منزلك القمري في الجانب المضيء، وفي وسطه نافورة قمرية، وأمامك طاولة فارغة من كل شيء. فقط تتأمل النافورة! للأسف لا يمكنك احتساء كوب من القهوة أمام هذا المشهد «القائم».

يوجد بعض الأدلة على أن القمر لديه طبقة ضعيفة من جزيئات الغبار المتحركة التي تقفز باستمرار من سطح القمر وتهبط إليه، مما يؤدي إلى ظهور (الغلاف الجوي الغباري) الذي يبدو ثابتاً ولكنه يتكون من جزيئات الغبار المتحركة باستمرار.

وقد استخدم مصطلح (نافورة القمر) لوصف هذا الأثر عن طريق قياس تيار جزيئات الماء في النافورة التي تتبع مساراً منحنياً بينما تظهر ثابتة بسبب ثبات التيار. وفقاً لنموذج اقترح في عام 2005 من قبل مختبر فيزياء خارج الأرض في مركز غودارد لرحلات الفضاء التابع لناسا، فإن هذا الأثر ناتج عن التحليق الكهربائي الساكن أو (الارتفاع الكهروستاتيكي Electrostatic Levitation in The Moon).



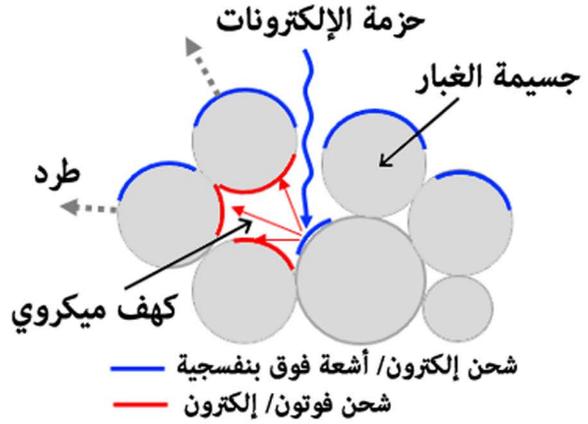


## ماذا يعني ذلك التحليق الكهربائي الساكن؟

في الجانب المضاء بالنهار من القمر، تكون الأشعة فوق البنفسجية والأشعة السينية القاسية للطاقة الشمسية نشطة بما يكفي لطرد الإلكترونات من الذرات والجزيئات في تربة القمر. تتراكم الشحنات الموجبة حتى تصدم أصغر جسيمات الغبار القمري (التي يبلغ قياسها 1 ميكرومتر أو أصغر) من السطح وترتفع في أي مكان من عدة أمتار إلى عدة كيلومترات، مع وصول أصغر الجسيمات إلى أعلى الارتفاعات. في النهاية تتراجع نحو السطح وتتكرر العملية. في الجانب الليلي، يشحن الغبار سلباً بواسطة إلكترونات الرياح الشمسية.

في الواقع، يشير نموذج النافورة إلى أن الجانب الليلي سيحقق اختلافات في التوتر الكهربائي أكبر من جانب النهار، وربما يطلق جزيئات الغبار إلى ارتفاعات أعلى. يمكن تعزيز هذا التأثير بشكل أكبر خلال جزء من مدار القمر الذي يمر عبر الذيل المغناطيسي للأرض، وهو جزء من المجال المغناطيسي للقمر. يمكن أن يكون هناك مجالات كهربائية أفقية كبيرة عند نقطة النهاية تتشكل بين مناطق الليل والنهار، مما يؤدي إلى انتقال أفقي للغبار، وهو شكل من أشكال (العواصف القمرية) Lunar Storms.





(لليمين) آليات شحن الغبار وإطلاقه بالشحن الكهربائية. (ليسار) صورة تبين ارتفاع الغبار نتيجة تعرضه فعلياً لحزمة شعاع إلكتروني.

هناك بعض الأدلة على هذا التأثير. في أوائل ستينيات القرن الماضي، أعادت المركبة **سورفيور-7** والعديد من المركبات الفضائية السابقة لها التي هبطت بهدوء على القمر صوراً تظهر توهجاً واضحاً منخفضاً للشفق فوق الأفق القمري وهو يستمر إلى بعد غروب الشمس. وعلى عكس توقعات الظروف الخالية من الهواء مع عدم وجود ضباب جوي، فإن الأفق البعيد بين الأرض والسماء لا يبدو حاداً تماماً.

رأى رُوَاد فضاء أبولو-17 الذين كانوا يدورون حول القمر في عام 1972 مراراً ما أطلقوا عليه اسم «الشرائط» أو «اللافتات» أو «أشعة الشفق» لمدة 10 ثوان تقريباً قبل شروق أو غروب الشمس على القمر. أبلغ عن مثل هذه الأشعة أيضاً رُوَاد الفضاء على متن أبولو 8 و 10 و 15. وقد تكون هذه الأشعة مشابهة للأشعة الشفقية على الأرض.





كما أجرى رواد أبولو - 17 تجربة على سطح القمر تسمى تجربة القذف القمري والنيازك (LEAM)، وهي اختصار لعبارة Lunar Ejecta and Meteorites Experiment. حيث جرى تصميمها للبحث عن الغبار الناتج عن اصطدام النيازك الصغيرة بسطح القمر. وقد كان الجهاز يحوي على ثلاثة مستشعرات يمكنها تسجيل سرعة وطاقة واتجاه الجسيمات الدقيقة: أحدها يشير إلى الأعلى، والشرق، والغرب.

رصد جهاز LEAM عدداً كبيراً من الجسيمات كل صباح، يأتي معظمها من الشرق أو الغرب - وليس من أعلى أو أسفل - وغالباً ما يكون أبطأ من السرعات المتوقعة للمقذوفات القمرية. بالإضافة إلى ذلك، زادت درجة حرارة التجربة إلى ما يقرب من 100 درجة مئوية بعد ساعات قليلة من شروق الشمس على القمر، لذلك كان لا بُدَّ من إيقاف تشغيل الوحدة مؤقتاً بسبب ارتفاع درجة حرارتها. من المتوقع أن يكون هذا نتيجة لالتصاق غبار القمر المشحون كهربائياً بجهاز LEAM، مما يؤدي إلى تعقيم سطحه بحيث تمتص حزمة التجربة ضوء الشمس بدلاً من عكسها. ومع ذلك، لم يتمكن العلماء من تحديد مصدر المشكلة بشكل واضح، حيث عمل LEAM لفترة وجيزة فقط قبل انتهاء برنامج أبولو.





جهاز تجربة القذف القمري والنيازك (LEAM)، هي إحدى تجارب بعثات أبولو على سطح القمر التي نفذتها بعثة أبولو 17- بعد الهبوط في نوفمبر 1972. الغرض من هذه التجربة هو قياس المعاملات الفيزيائية للجسيمات الأولية والثانوية التي تؤثر في سطح القمر.

من الممكن أن تكون هذه العواصف قد رُصدت من الأرض؛ إذ لعدة قرون، كانت هناك تقارير عن أضواء متوهجة غريبة على القمر، تُعرف باسم (الظواهر القمرية العابرة) أو TLPS. لوحظ بعضها بشكل ومضات مؤقتة، وصار حالياً من المقبول عموماً أن تكون دليلاً مرئياً على اصطدام النيازك على سطح القمر. لكن البعض الآخر ظهر على شكل توهجات حمراء أو بيضاء غير متبلورة أو حتى كمناطق ضبابية داكنة تغير شكلها أو تختفي خلال ثوانٍ أو دقائق. قد تكون هذه نتيجة لضوء الشمس المنعكس من الغبار القمري المعلق.





في 16 ديسمبر 2020، عادت مهمة تشانغ-5 الصينية إلى الأرض بحمولةة نحو 2 كيلو غرام من الصخور والأترية التي التقطتها من القمر. إنها أول عينة من الثرى القمري تعود إلى الأرض منذ عام 1976. والصين هي الدولة الثالثة في العالم التي أعادت مثل هذه المواد إلى الأرض.

## • درجة حرارة القمر

بدون غلاف جوي وغلاف مغناطيسي، يتم التحكم في درجة الحرارة على سطح القمر من خلال دورات تسخين الشمس والتبريد في الفضاء ليلاً. متوسط درجة حرارة القمر في النهار هو (107 درجات مئوية)، على الرغم من ارتفاعها إلى (123 درجة مئوية)، وفي الليل يبرد السطح إلى (-153 درجة مئوية)، ويحد أقصى (- 233 درجة مئوية) في حوض القطب الجنوبي المظلل بشكل دائم.

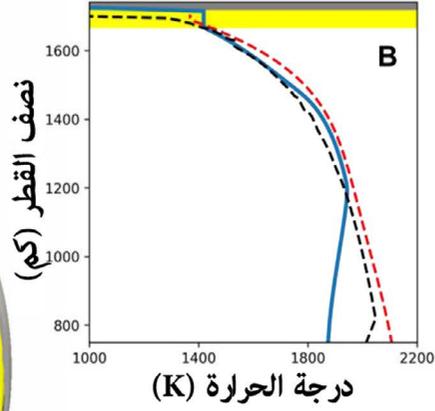
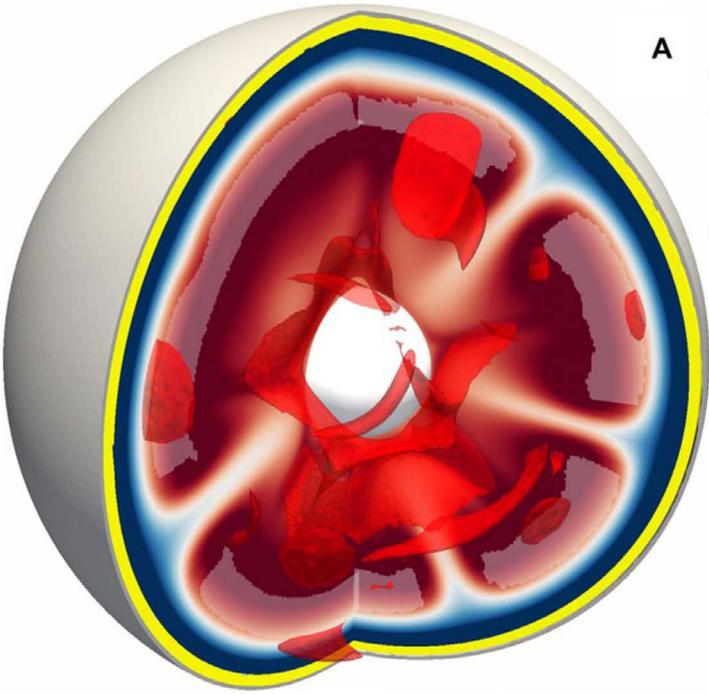




كانت درجة الحرارة الدنيا النموذجية في موقع هبوط أبولو 15 غير القطبي (-181 درجة مئوية). هذه التقلبات الشديدة في درجات الحرارة من 200 إلى 300 درجة بين الليل والنهار تجعل سطح القمر مكاناً غير مضياف ومجهد جداً على المواد.

تستخدم أداة المتبئ Diviner (أداة لقياس درجات الحرارة) سبع قنوات حرارية للأشعة تحت الحمراء لقياس درجات الحرارة على سطح القمر. تمثل هذه الخرائط درجات حرارة سطح القمر في نقاط مختلفة في مدار القمر حول الأرض، جُمعت من البيانات المأخوذة من المركبة المدارية لاستطلاع القمر. نظراً لأن أداة المتبئ لا يمكنها سوى أخذ شرائط رقيقة من البيانات مع كل مدار، فقد احتاج العلماء إلى دمج البيانات التي جُمعت على مدار ثلاث سنوات لإعادة إنشاء لقطة سريعة لدرجة الحرارة العالمية.





- متوسط درجة الحرارة المتراكمة
- - - صلبة
- - - درجة حرارة التبلور
- القشرة الطافية
- محيط الصهارة

درجة الحرارة المتراكمة (K)

1600 1650 1700 1750 1800 1850 1900

الحالة الحرارية للقمر عندما كان عمره 100 مليون سنة.

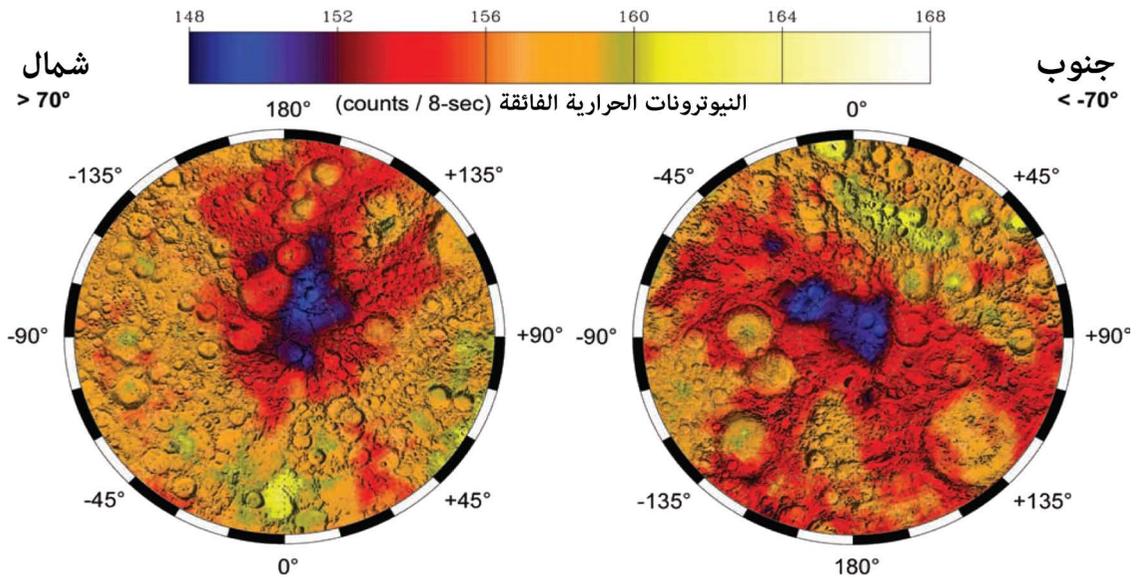
بينما يتحرك القمر حول الأرض، تُضاء أجزاء مختلفة من سطح القمر بضوء الشمس، مما يتسبب في ظهور أطوار القمر وتغير كبير في درجة حرارة السطح. يمكن أن تصل المناطق التي تضيئها الشمس (البيضاء والحمراء) إلى درجات حرارة عالية بما يكفي لغلي الماء، بينما تصل درجات حرارة المناطق المظلمة (الزرقاء) إلى ما دون المتئين من الدرجات تحت الصفر.

تعتبر بيئة درجات الحرارة القصوى على القمر ذات أهمية للتخطيط لبعثات استكشاف بشرية وروبوتية مستقبلية لأن المهندسين يجب أن يصمموا معدات لتحمل التحولات الجذرية في درجات الحرارة على مدار اليوم القمري (28 يوماً)





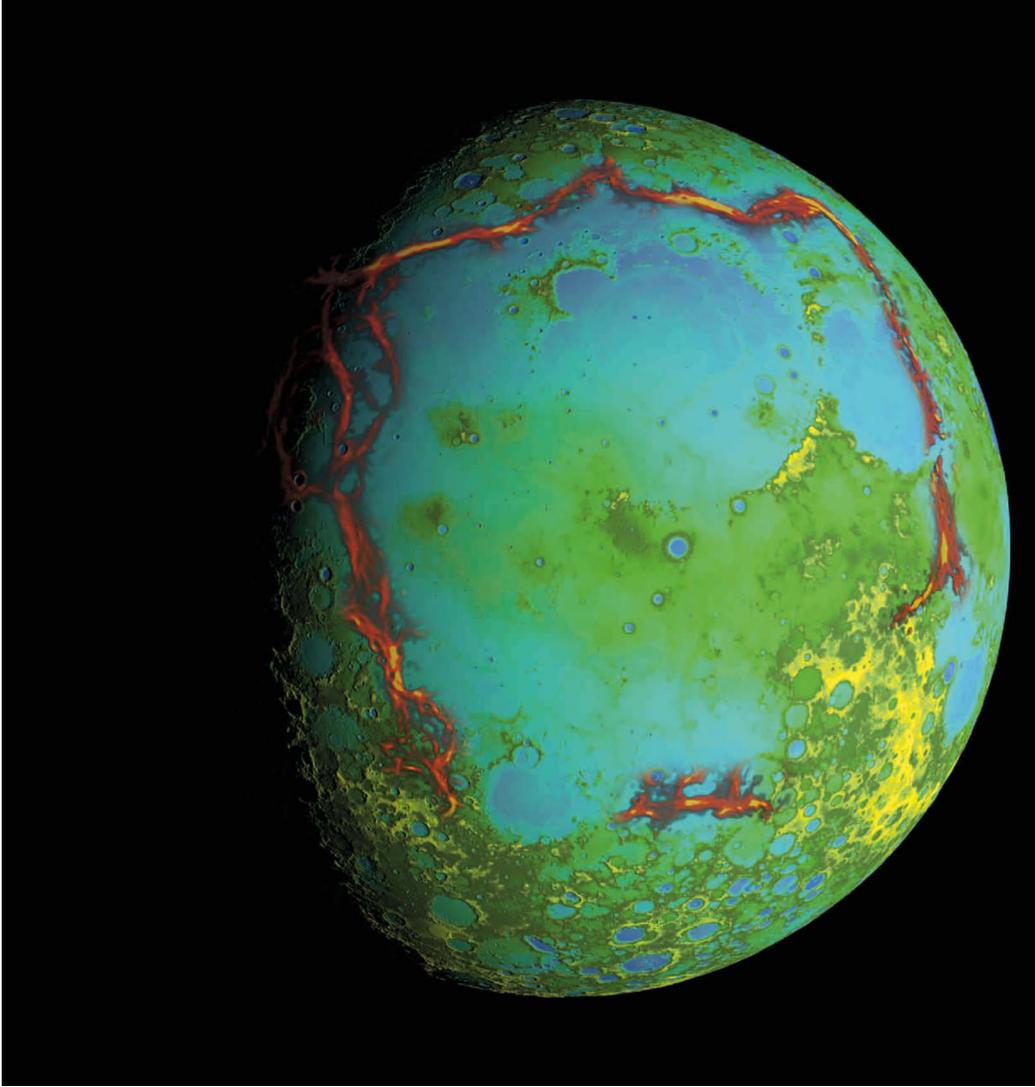
أرضياً). يدرس العلماء أيضاً درجة حرارة القمر لتحديد المكان الذي يمكن أن يكون فيه الماء مستقرًا عند السطح أو تحته. حددت أداة المتبني المناطق المظلمة بشكل دائم داخل حواف الحفرة بالقرب من المناطق القطبية باعتبارها الأماكن الأكثر احتمالاً للعثور على جليد المياه السطحي وتحت السطحي.



الخرائط القطبية لمعدلات عد النيوترونات الحرارية الفائقة Epithermal Neutron على سطح القمر. تشير المناطق المظلمة إلى مواقع وفرة الهيدروجين المحسنة.

تقوم أداة المتبني أيضاً برسم خرائط الاختلافات التركيبية في الصخور القمرية والترية عن طريق قياس شدة ضوء الأشعة تحت الحمراء المقاس في ثلاث قنوات مختلفة عن القنوات الحرارية الموضحة أعلاه. تساعد هذه المعلومات العلماء في كشف التاريخ الجيولوجي للقمر وفهم كيفية تشكله.





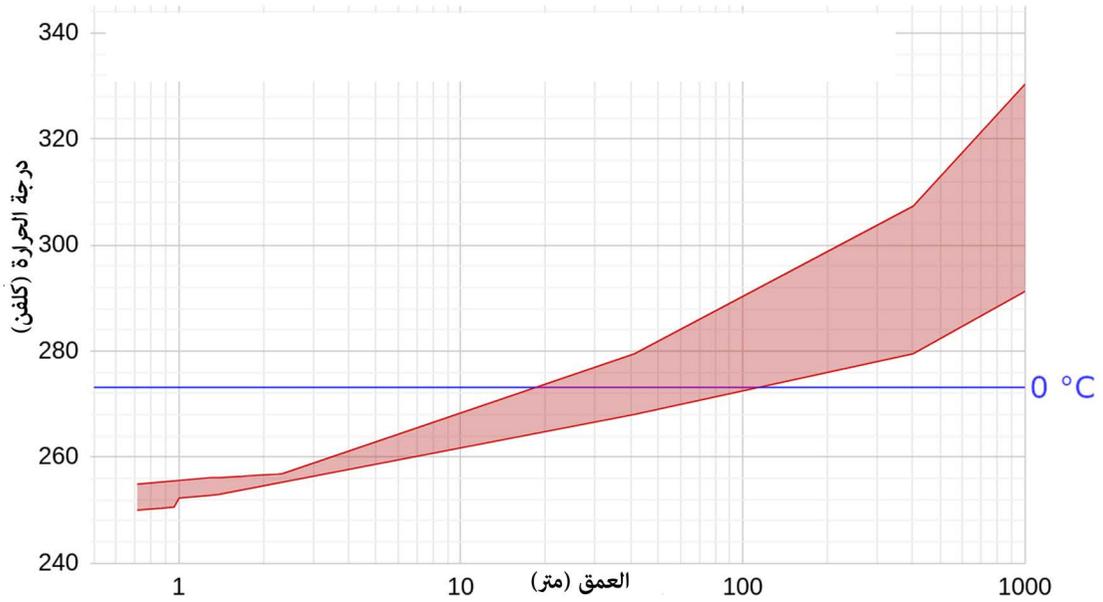
محيط العواصف Procellarum هي منطقة واسعة تقع في الجانب القريب للقمر تتميز بارتفاعات منخفضة وقشرة رقيقة وتركيزات عالية على السطح من العناصر المنتجة للحرارة، مثل: اليورانيوم والثوريوم والپوتاسيوم. فسرت منطقة العواصف على أنها حوض اصطدام قديم يبلغ قطره نحو 3200 كم.





## • التدرج الحراري على الطبقات الخارجية للقمر

قام رُوَاد الفضاء في بعثة أبولو 15- بتثبيت ثلاثة مزدوجات حرارية على أعماق متعددة تصل إلى 3 أمتار من سطح القمر. وقد قاموا بإجراء هذه التجربة نظراً لأهمية التدرج الحراري في التعرف على منشأ القمر والبنية الداخلية للقمر. أولى النتائج التي توصلوا إليها هي أن الناقلية الحرارية لطبقة الثرى القمري أقل بكثير من الطبقة الصخرية التي أسفل منها.

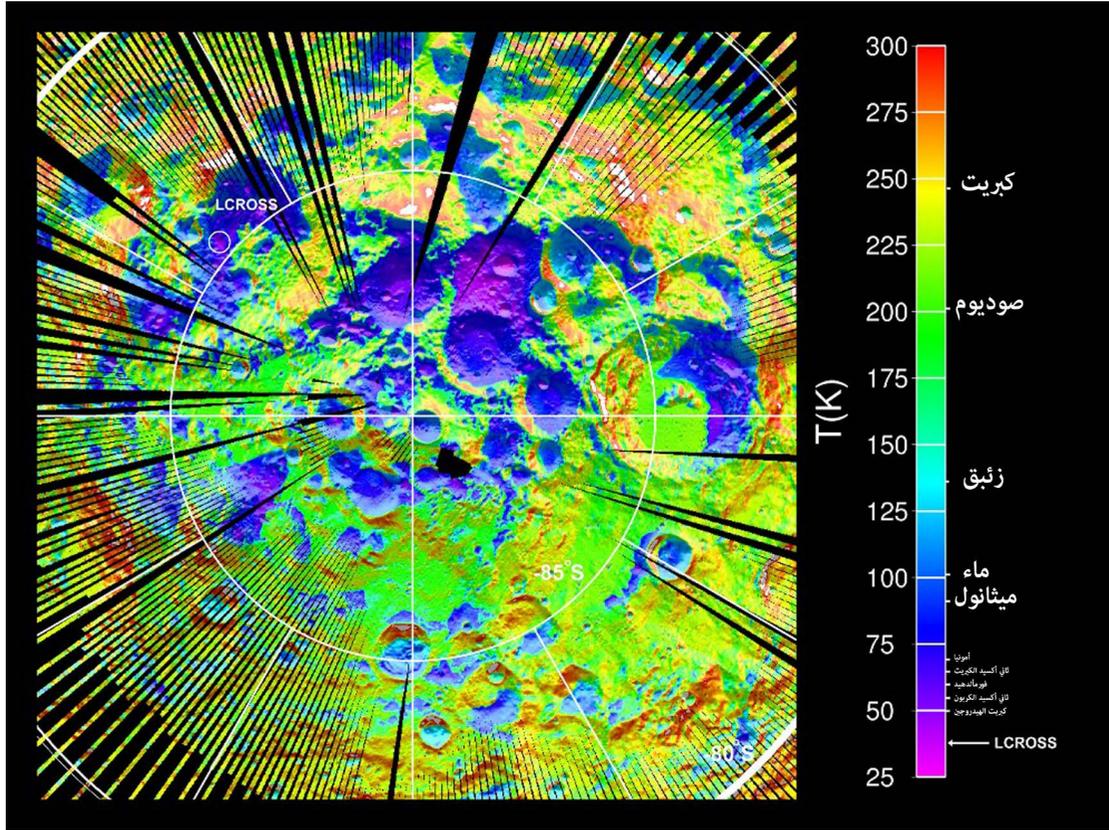


منحنٍ تدرج الحرارة من سطح القمر نحو الأعماق. بناءً على قياسات بعثتي أبولو 15 و 17. ويلاحظ ازدياد درجة الحرارة مع الازدياد في العمق بـ 1 متر.





في الواقع تتغير درجات الحرارة في جميع أنحاء القمر، حيث يتعرض الجانبان القريب والبعيد لضوء الشمس كل عام قمري بالنسبة لمراقب على القمر، أو شهر أرضي بالنسبة لنا كمراقبين، بسبب الدوران القمري.



خريطة تجريبية مقياس الإشعاع القمري LRO Diviner Lunar Radiometer التي تظهر درجة حرارة سطح المنطقة القطبية الجنوبية للقمر. حصل العلماء على البيانات خلال شهري سبتمبر وأكتوبر 2009، عندما كانت درجات حرارة القطب الجنوبي قريبة من قيمها السنوية القصوى. تظهر الخريطة مواقع العديد من الحفر ذات الصدم شديد البرودة، التي تعتبر مصائد باردة محتملة للجليد المائي بالإضافة إلى مجموعة من المركبات الجليدية الأخرى التي يجري ملاحظتها بشكل شائع في المذنبات.





## معالم سطح القمر

لقد كان رائد الفضاء الأمريكي نيل أرمسترونغ أول إنسان يطأ بقدميه **سطح القمر**، وقد أمضى هناك - بصحبة رائد الفضاء باز ألدرين - مدة ساعتين ونصف يجريان التجارب ويجمعان العينات ليعودا بها إلى الأرض، وكان آخر ما فعلاه هو وضع بطاقة تذكارية في الحفرة الشرقية تحمل أسماء رؤّاد الفضاء المتوفيين الذين ضحوا بأنفسهم من أجل العلم. ويعتقد العلماء أن بصمات أقدامهم ستبقى -على الأقل- لمدة عشرة آلاف سنة، نظراً لعدم وجود رياح - مثل الأرض- تمحو أثرها.

**تُعرف المناطق المضيئة على القمر باسم (المرتفعات)**، أما المعالم المظلمة، التي تسمى ماريا؛ أي (البحار)، فهي أحواض صدم امتلأت بالحمم البركانية منذ 4.2 إلى 1.2 بليون سنة. تمثل هذه المناطق الفاتحة والمظلمة صخوراً مختلفة التكوين والأعمار، التي تقدم دليلاً على كيفية تبلور القشرة المبكرة من محيط الصحارة القمرية. توفر الفوهات نفسها، التي حافظت على نفسها لبلايين السنين، تاريخاً لصدم القمر والأجسام الأخرى في النظام الشمسي الداخلي.

اليوم، وبعد 53 سنة من هبوط أول إنسان على القمر سنتعرف معاً على كل معالم القمر التي اكتشفت.





## • تسمية المعالم القمرية

للتحدث بشكل له معنى عن مكان ما، فمن الضروري أن يكون لديك أسماء للتضاريس المهمة. يعود النظام الحالي للتسميات القمرية إلى عالم الفلك الإيطالي جيوفاني باتيستا ريتشيولي G. B. Riccioli، الذي أضاف في عام 1651 أسماء إلى المعالم المصورة على خريطة القمر التي رسمها تلميذه غريمالدي. استخدم ريتشيولي أسماء لاتينية للبحار عكست فكرة تأثير القمر في طقس الأرض. وهكذا، هناك بحر فريجوريس Maria Frigoris، (بحر من البرد) هوموروم Humorum (رطوبة)، وبحر إمبريوم Imbrium (زخات)، وبحر نيوبيوم Nubium (غيوم). وأطلق بعض الأشخاص الآخرين تسميات على أساس الحالات الذهنية للإنسان Serenitatis (الصفاء) و Tranquillitatis (الهدوء) - أو أشياء أخرى مثل Nectaris (الرحيق) و Crisium (الأزمات).

كما أطلق ريتشيولي على الفوهات أسماء علماء الفلك المشهورين، فوضع أسماء الإغريق القدماء في الشمال، وأسماء العلماء الأكثر حداثة في الجنوب. لم يكن متواضعاً، فقد وضع اسمه واسم غريمالدي على حفر كبيرة بالقرب من الطرف الغربي.

ومنذ عصر ريتشيولي، أضيفت العديد من الأسماء إلى القمر بحيث يوجد حالياً نحو 1240 اسماً على الجانب المواجه للأرض و 690 اسماً على الجانب البعيد. خصص الاتحاد الفلكي الدولي أسماءً للمعالم القمرية لأكثر من 80 عالماً، بشرط أن يكون الشخص الذي يُحتفل به عالماً بارزاً مات منذ 3 سنوات على الأقل. قد يأمل العلماء في الحصول على شرف الحصول على اسم لفوهة بركان، ولكن ليس في وقت قريب جداً!

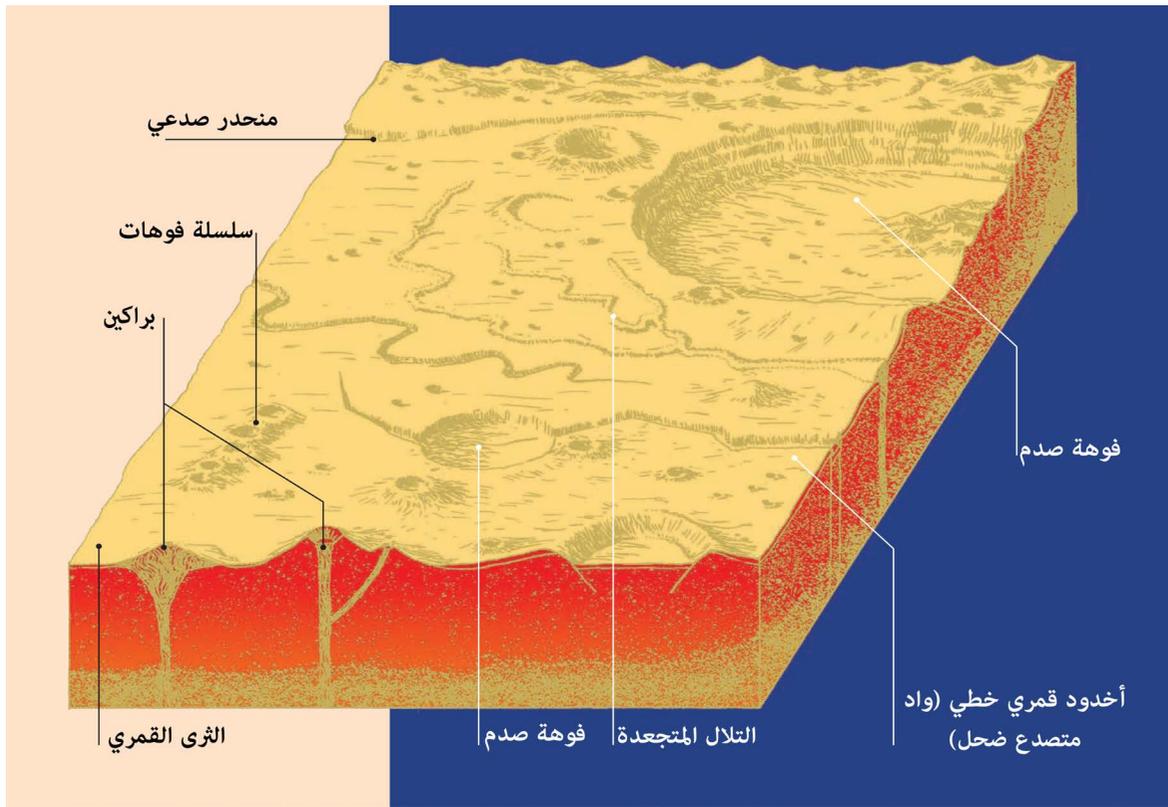




هناك العديد من الحفر على القمر أكثر من أن تستحق اسماً، والكثير منها لديه فقط تسميات بالأحرف. وهكذا، فإن الفوهات التي تقع بالقرب من فوهة كوبرنيكوس تسمى كوبرنيكوس أ، وكوبرنيكوس ب، ... إلخ.

ونظراً لأن العديد من الكتب التي درست القمر في القرن التاسع عشر كانت باللغة الإنجليزية، فإن الأسماء الرسمية للمعالم - بخلاف الحفر- كانت باللغة الإنجليزية. لكن تغير هذا في عام 1960، عندما أدخلت اللاتينية للمصطلحات القمرية. ولأن كلاً من الأسماء الإنجليزية واللاتينية لا يزالان مستخدمين على نطاق واسع، فإننا ندرج كليهما في هذا العمل ولكن نستخدم الأسماء العربية في النص. فيما يأتي جدول بالأسماء اللاتينية والإنكليزية والعربية الأكثر شيوعاً لأنواع التضاريس القمرية المذكورة في هذا العمل.

الاسم اللاتيني	اللفظ العربي	الاسم الإنكليزي	الاسم العربي
Catena	كاتينا	Crater Chain	سلسلة حفر
Dorsum	دورسوم	Mare Ridge	تلال متجعدة
Lacus	لاكوس	Lake	بحيرة
Mare, (pl. maria)	ماري	Sea	بحر
Mons, (pl. montes)	مونس	Mountain	جبل
Oceanus	أوشينوس	Ocean	محيط
Palus	بالوس	Marsh	مستنقع
Promontorium	برومونتوريوم	Cape	الرأس
Rima	ريما	Rille	أخدود
Rupes	روبيس	Scarp	منحدر
Sinus	سينوس	Bay	خليج
Vallis	فالييس	Valley	وادي



يُظهر هذا الرسم التخطيطي المعالم النموذجية التي تنتشر على سهل بازلتي قمري. جزء كبير منه مغطى بالثرى القمري؛ من الغبار إلى الصخور الناتجة عن اصطدام كويكب قديم.

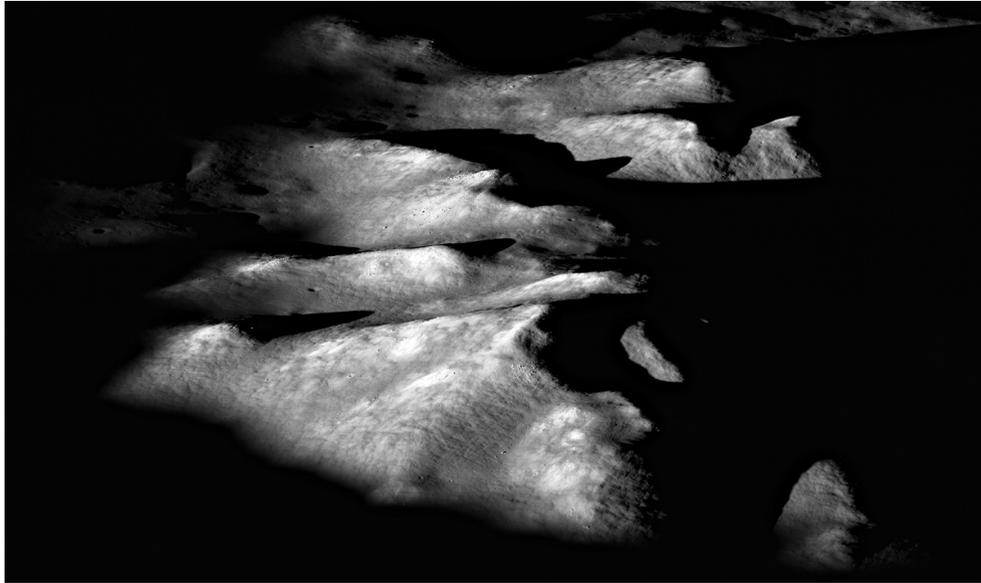




## • الجبال القمرية

تحدث الجبال على القمر بشكل فردي (بالنظر إلى البادئة Mons في اسمها) أو في مجموعات أو نطاقات (Montes). وقد تشكل العديد من سلاسل الجبال القمرية من جدران الأحواض الكبيرة. على سبيل المثال، تشكل جبال أبينين (Montes Apenninus) إحدى أعلى سلاسل الجبال على سطح القمر، وتشكل جزءاً من حوض الزخات Imbrium.

عُثر على واحدة من أروع سلاسل جبال القمر بالقرب من القطب الجنوبي. ترتفع جبال ليبنتز (Montes Leibnitz) إلى نحو 9000 متر فوق سطح القمر الطبيعي. يصعب رؤية هذه الجبال من الأرض لأنها تقع على أطراف القمر ولكن يمكن رؤيتها عند اهتزاز مناسب. تحوي جبال الصخرة (Montes Rock)، التي تظهر من خلال الاهتزاز على الطرف الشرقي للقمر، على قمم يبلغ ارتفاعها 4800 - 7800 متراً.



تتشكل معظم الجبال على سطح الأرض عندما تصطدم الصفائح التكتونية وتلتف القشرة. لكن الأمر ليس كذلك بالنسبة للقمر، حيث تتشكل الجبال نتيجة للصدمات النيزكية.





ويبلغ ارتفاع جبل هايغنز Huygens في سلسلة جبال أبينين 5500 متر. تشمل سلاسل الجبال البارزة الأخرى على الجانب القريب، جبال البرانس (Montes Pyrenaeus) على الجانب الشرقي من بحر الرحيق (Mare Nectaris)، وجبال الألب (Montes Alpes) بالقرب من القطب الشمالي، وجبال جارا (Mon-tes Jura) على الجانب الشمالي الغربي من بحر الزخات (Mare Imbrium) وجبال الكاربات (Montes Carpatus) بالقرب من فوهة كوبرنيكوس وجبال القوقاز (Montes Caucasus) على الجانب الشمالي الغربي من بحر الصفاء (Mare Serenitatis).

الجبال القمرية ليست شديدة الانحدار كما تظهر في التلسكوب. يمكن رؤية الأجزاء المرتفعة من الجبال القمرية بشكل أفضل عندما تلقي بظلالها تحت الإضاءة المائلة بوساطة ضوء الشمس. يمكن تحديد ارتفاع الجبال حسابياً من طول ظلها وزاوية ضوء الشمس.



عُثر على جبال أبينين (Montes Apenninus) في المنطقة الشمالية الوسطى من القمر. تمتد على طول نحو 600 كيلومتر تشكل الشاطئ الجنوبي الشرقي لبحر الزخات. توجد فوهة البركان إراتوستينس في أعلى اليمين.





## • الواديان القمريّة

يحوي القمر على عدد من الوديان التي تشبه المضيق (فاليس Vallis اللاتينية). يُنظر إلى الوادي عموماً على أنه مساحة فارغة بين ارتفاعين، مثل: التلال أو الجبال. يمكن أن يتشكل الوادي أيضاً عندما تتفصل منطقتان عن بعضهما وينحسر القسم الأوسط. وعثر على معظم الوديان في المرتفعات القمرية. أكبر الوديان وأكثرها بروزاً، هما: وادي جبال الألب العظيم (Vallis Alps) ، و وادي ريتا (Vallis Rheita).

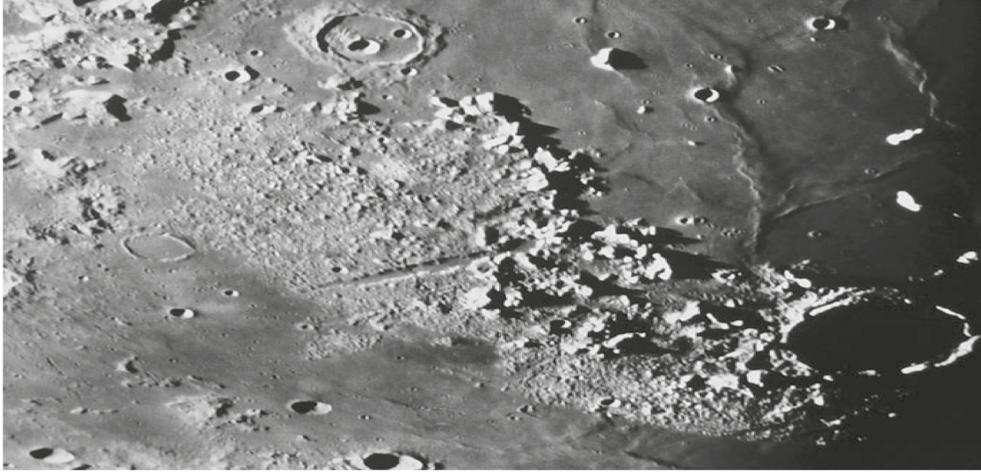
يمر وادي جبال الألب عبر سلسلة جبال الألب بين بحر الزخات وبحر البرد. يبلغ عرض أرضية الوادي نحو 10 كيلومترات وطولها 180 كيلومتراً. يُعتقد أن الوادي قد تشكل عندما غرقت الأرض الواقعة بين صدعين متوازيين. من المحتمل أن تكون العيوب قد تكونت استجابة للضغط في القشرة من صدمة بحر الزخات.

ويقع وادي ريتا في المرتفعات الجنوبية الشرقية، وهو أوسع بكثير وأقل عمقاً من وادي جبال الألب، وله جوانب منحدرّة بلطف. يبلغ عرضه نحو 25 كيلومتراً ويمتد لمسافة نحو 180 كيلومتراً. للوادي أصول مختلفة عن وادي جبال الألب. يبدو أنها تشكلت من عدة حفر متداخلة.

من المحتمل أن تكون الحفر عبارة عن فوهات ثانوية ناتجة عن مادة بحر الزخات المقذوفة.

من الأفضل رؤية الوديان عندما تلقي أشعة الشمس بظلالها عليها، ولكن هذا قد يكون لفترة قصيرة فقط. على سبيل المثال، من الأفضل رؤية وادي ريتا بعد يومين أو ثلاثة أيام من اكتمال القمر (البدر).



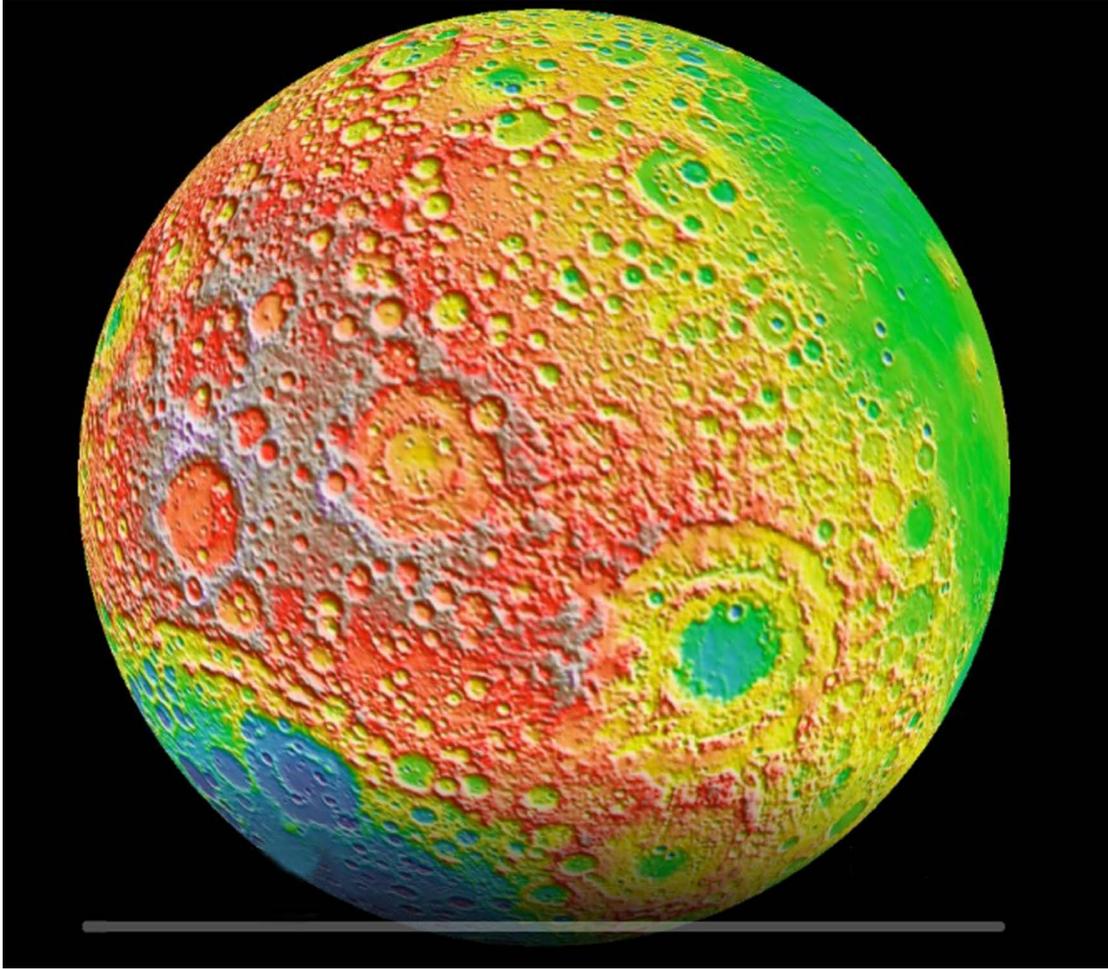


وادي ريتا أوسع بكثير وأقل عمقاً من وادي جبال الألب (يمتد عمودياً في وسط هذه الصورة). من المحتمل أن يكون الوادي قد تشكل من خط من الحفر الثانوية المتداخلة. تقع فوهة البركان ريتا (بعرض 70 كيلومتراً) في الجانب الأيسر السفلي من الوادي.

## • المرتفعات القمرية

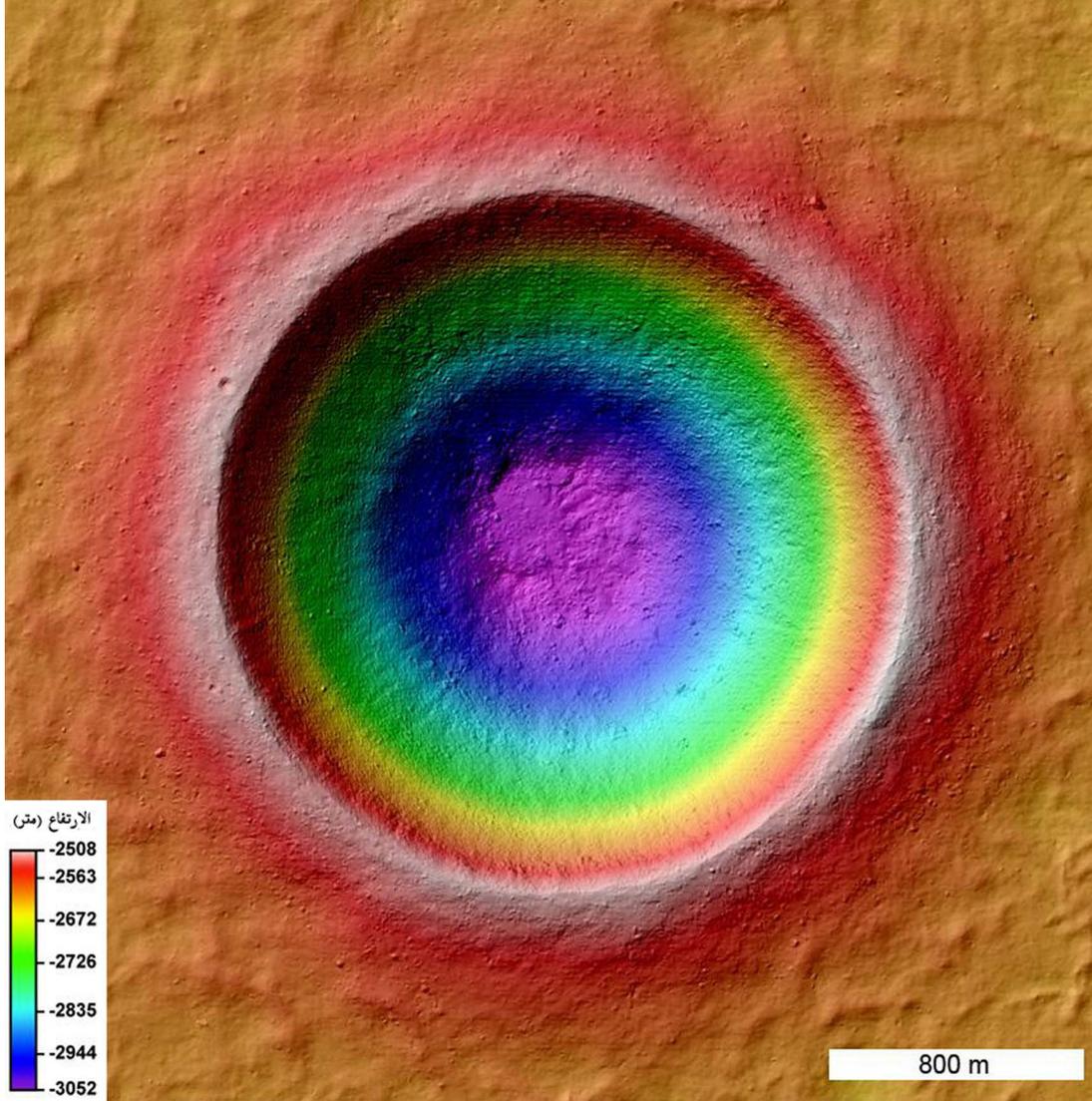
على عكس البحار المظلمة، فإن المرتفعات ذات الألوان الفاتحة أو التضاريس هي مناطق مرتفعة تشكل نحو 83% من سطح القمر. بعض المرتفعات عبارة عن جبال أو تلال بقايا حواف أحواض كبيرة تشكلت من مواد رُفعت بعد الصدمات النيزكية.





تعرض مجموعة البيانات هذه تضاريس القمر. قامت أداة LOLA الموجودة على متن المركبة الفضائية LRO بقياس ارتفاع أكثر من 6 بلايين نقطة على سطح القمر، بحيث صار لدى العلماء حالياً تضاريس للقمر أفضل من أي جرم كوكبي آخر في النظام الشمسي! يشير اللون الأحمر والأبيض إلى الارتفاعات العالية ويشير اللون الأزرق والأرجواني إلى الارتفاعات المنخفضة.





خريطة تضاريس مرمزة بالألوان لحفرة لينيه Linné، قطرها (2.2 كيلومتر)، صُممت من نموذج طبوغرافي أنشئ باستخدام بيانات المركبة الفضائية Lunar Reconnaissance Orbiter. تمثل الألوان الارتفاعات: الألوان الباردة (الأزرق والأخضر والفيروزي) هي الأدنى والألوان الحارة (الأحمر والأصفر والبرتقالي) هي الأعلى.





أحد أنواع صخور المرتفعات هو الأنورثوسيت Anorthosite الخفيف (الفلدسبار) الغني بالكالسيوم والألمنيوم. عشر على بعض صخور المرتفعات التي أعيدت إلى الأرض من بعثات أبولو لتكون بمثابة (بريكياس) وهي مركبات من صخور مختلفة اندمجت معاً نتيجة لصدّات النيزك. النوع الرئيسي الآخر من الصخور الموجودة في المرتفعات هو ما يسمى KREEP. هذا اختصار للبتواسيوم (رمزه الكيميائي K) والعناصر الأرضية النادرة (REE) والفوسفور (رمزه الكيميائي P).

أظهر التأريخ الإشعاعي لصخور القمر أن صخور البحر يتراوح عمرها بين 3.1 و 3.8 مليون سنة، بينما يتراوح عمر صخور المرتفعات بين 4.0 و 4.3 بليون سنة.

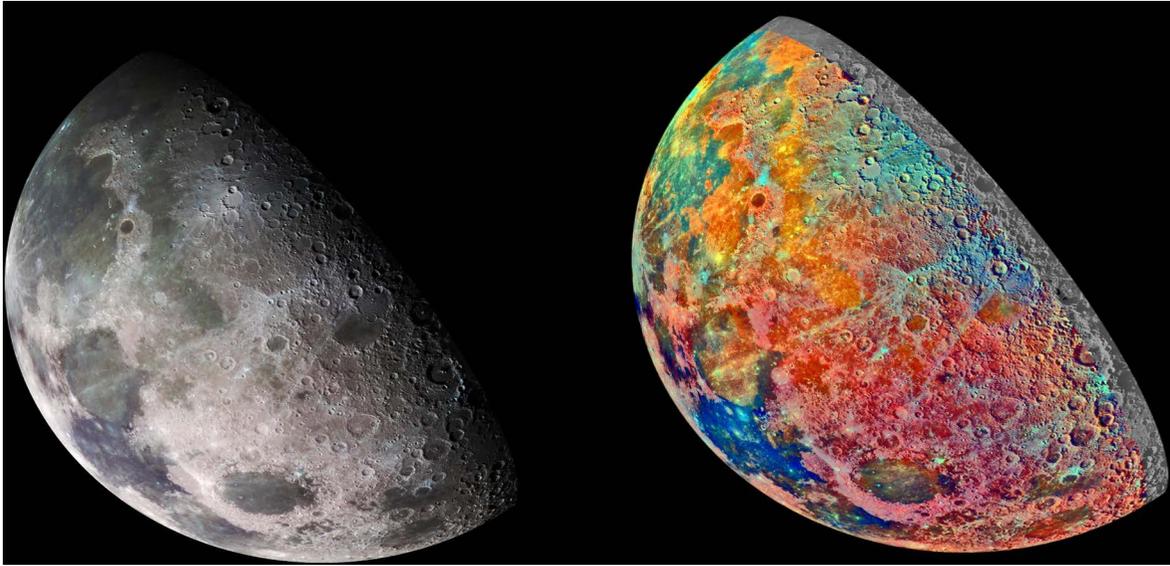


تبين الصورة صخرة أحضرت من بحر بازلتي إلى الأرض بوساطة رواد فضاء أبولو 15. تغطي الثقوب الصغيرة السطح مما يشير إلى أن الغاز يجب أن ينحل تحت الضغط في الحمم البركانية التي تجمدت منها هذه الصخور. أحد الاختلافات الرئيسية بين البازلت القمري وتلك الموجودة على الأرض، هو أن البازلت القمري لا يحوي على أي أثر للماء.



## طبقات القمر

قبل الهبوط على القمر ومنذ عام 1638، كانت تنتشر فكرة فولكلورية بين العديد من ثقافات العالم مفادها أن «القمر مصنوع من الجبن الأخضر»، وتشير هذه الفكرة إلى الشخص البسيط الذي يرى انعكاس القمر في الماء ويخطئ في ذلك، ظاناً أنه قرص جبن مستدير. وقد وجدت الفكرة طريقها أيضاً إلى فولكلور الأطفال والثقافة الشعبية الحديثة. لكن الغريب في الأمر أنه عندما أجريت دراسة استقصائية عام 1902 في الولايات المتحدة الأمريكية من قبل عالم النفس ستانلي هول حول تربية الأطفال وجد أن معظم الأطفال الصغار لم يكونوا متأكدين من تكوين القمر، وقد كان تفسيرهم الوحيد الأكثر شيوعاً هو أنه مصنوع من الجبن!



تظهر الصورة الملونة (لليمين) معالم جيولوجية مختلفة وأكثر دقة من الصورة المأخوذة بالضوء العادي وبعض المرشحات (لليسار).





تختلف **جيولوجية القمر** Selenology تماماً عن جيولوجية الأرض. إذ يفتقر القمر إلى الغلاف الجوي الحقيقي الذي يقضي على التعرية بسبب الطقس. ليس لديه أي شكل معروف من أشكال الصفائح التكتونية، وله جاذبية أقل، وبسبب صغر حجمه، فإنه تبرد بشكل أسرع. لقد تشكلت الجيومورفولوجيا المعقدة لسطح القمر من خلال مجموعة من العمليات، وخاصة حفر الصدم والبراكين. القمر جرم متميز، له قشرة، ووشاح، ونواة.

**تستند الدراسات الجيولوجية للقمر** إلى مجموعة من أرصاد التلسكوب الأرضية، والقياسات من المركبات الفضائية المدارية، والعينات القمرية التي جُلبت من هناك، والبيانات الجيوفيزيائية. أُخذت عينات من ستة مواقع مباشرة خلال عمليات هبوط برنامج أبولو المأهولة من عام 1969 إلى عام 1972، التي أعادت 380.96 كيلو غرام من الصخور والتربة القمرية إلى الأرض. بالإضافة إلى ذلك، أعادت ثلاث مركبات فضائية سوفيتية روبوتية اسمها لونا ما وزنه 326 غراماً أخرى بين عامي 1970 إلى 1976، وأعاد الروبوت الصيني تشانغ-5 عينة وزنها 1731 غراماً في عام 2020.

**القمر هو الجرم الوحيد خارج كوكب الأرض** الذي لدينا عينات منه بسياق جيولوجي معروف. جرى التعرف على حفنة من النيازك القمرية على الأرض، مع أن مصدر الحفر على سطح القمر غير معروف. لكن لم يكتشف جزء كبير من سطح القمر، ولا يزال هناك عدد من الأسئلة الجيولوجية دون إجابة.

**يُتحكم في الألوان على القمر بشكل كبير** من خلال الاختلافات في محتوى الحديد والتيتانيوم. مناطق البحار لها انعكاس منخفض لأنها تحوي على كميات عالية نسبياً من أكسيد الحديدي (FeO). تحوي بعض البحار على البازلت





بكميات عالية بشكل غير عادي من أكسيد التيتانيوم ( $TiO_2$ ) بالإضافة إلى أكسيد الحديد، مما يجعل الانعكاس أقل. يغير أكسيد التيتانيوم أيضاً لون البحر من الأحمر إلى الأزرق.

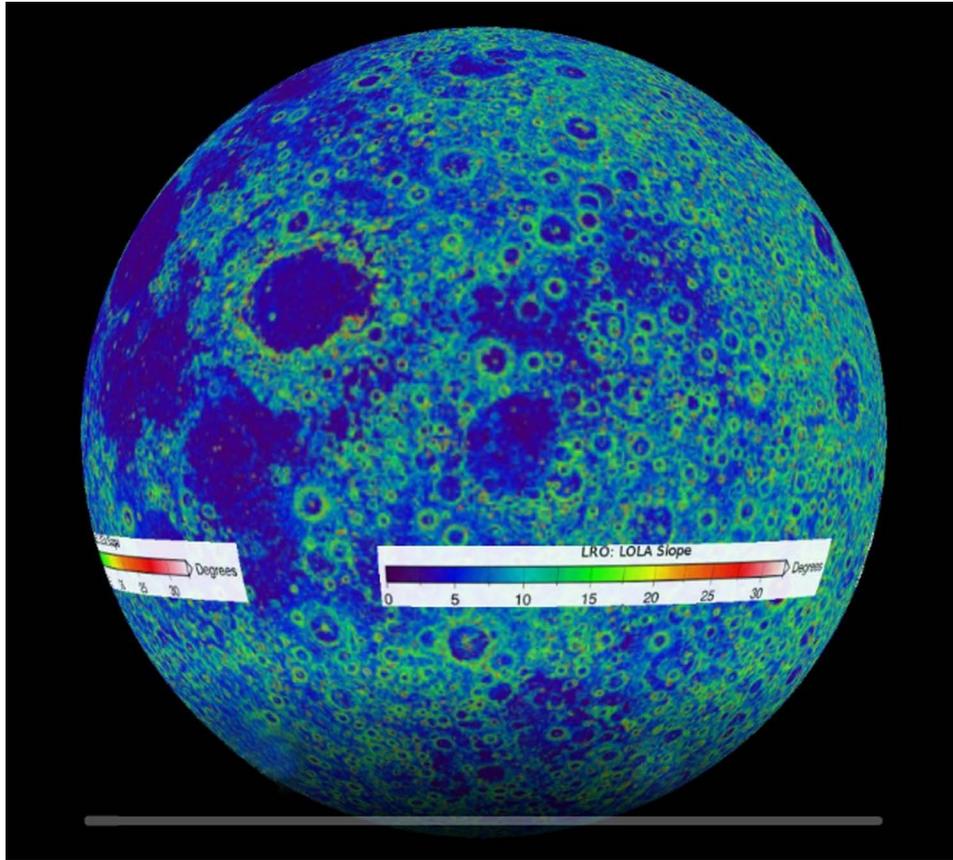
**درس العلماء بازلت بحر السكون Mare Tranquillitatis بالتفصيل من الصخور** التي أعادها رُوّاد فضاء أبولو 11-؛ ولا يُعرف تكوين **صخور بحر الصفاء** إلا من خلال **الاستشعار عن بعد في المدار**. ويكمن سبب الاختلاف الكبير في الحالة **الفيزيائية للمادة**؛ إذ تختلط في التربة في هذه المنطقة نسبة عالية من مواد الحمم البركانية (الحمم التي جرى تفجيرها من فتحة التهوية وتساقطت على مساحة واسعة). تبردت قطرات الصهارة أثناء الطيران وشكلت حبات صغيرة من الزجاج والبلّورات الصغيرة. تحوي هذه الخرزات على وفرة عالية من التيتانيوم وهي منخفضة جداً في الانعكاس، مما يمنح هذه المنطقة توقيعها الداكن المميز.





## • الصخور القمرية

بالمقارنة مع الأرض، تحوي صخور القمر على عدد قليل نسبياً من العناصر المتطايرة وتقريباً لا توجد مياه جوهريّة. هذا دعم قوي لفرضية الصدم العملاق القائلة بأن القمر الأولي كان منصهراً، جزئياً على الأقل.



تُظهر مجموعة البيانات هذه خشونة سطح القمر. وتشير الأسطح الخشنة إلى وجود صخور كبيرة، وهو أمر مهم يجب مراعاته عند التخطيط لبعثات مستقبلية لاستكشاف سطح القمر حيث تشكل الصخور الكبيرة مخاطر على مركبات الهبوط على سطح القمر. الأسطح الأكثر خشونة باللونين الأحمر والأبيض بينما تكون المناطق الأكثر نعومة باللون الأزرق.



من بين 382 كيلو غرام من الصخور التي جُمعت بواسطة بعثات أبولو، هناك مجموعتان متميزتان: البازلت البحري في سهول الحمم البركانية والأورثوسيت في المرتفعات الجبلية. يبلغ عمر البازلت البحري تقريباً من (3.2 ~ 3.8 بليون سنة) في حين أن الأورثوسيت أقدم، ويصل عمره إلى 4.4 بليون سنة. البازلت البحري والأورثوسيت مجرد مصطلحات عامة من الصخور؛ يمكن تسميتها على وجه التحديد من خلال وفرتها المعدنية.



صخرة من أوليفين البازلت جُمعت بواسطة رحلة أبولو 15-

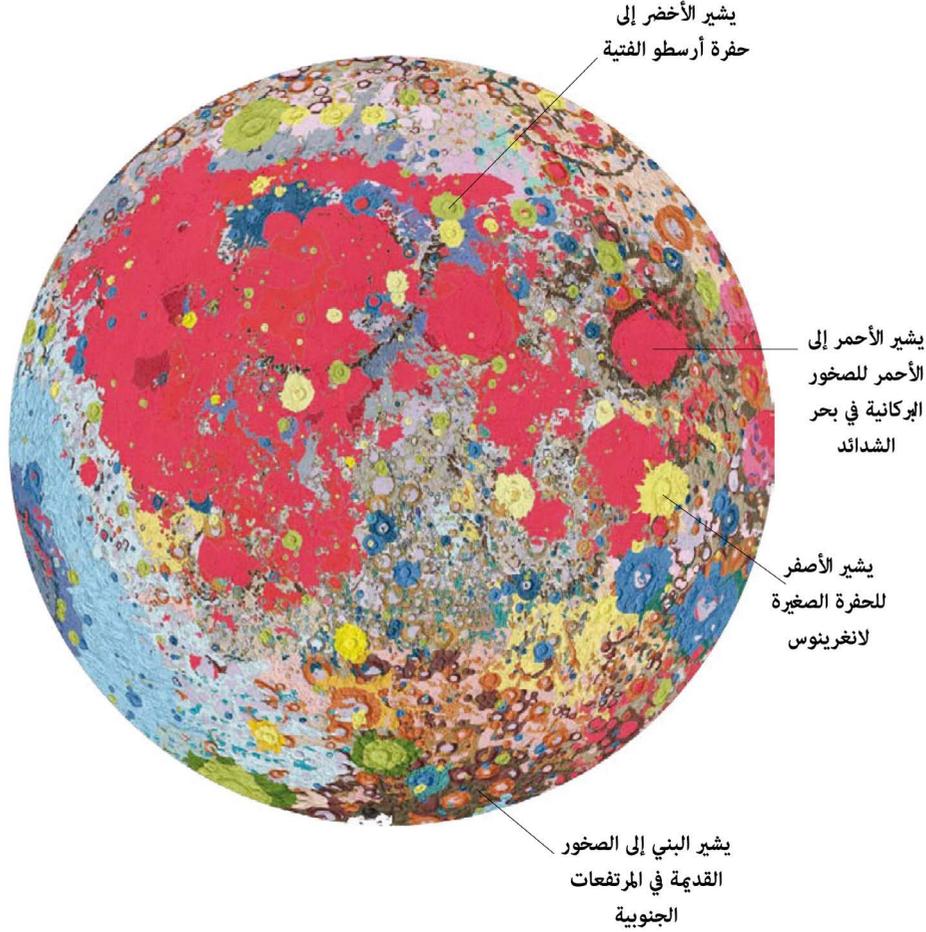




تتكون الصخور من أنواع مختلفة من الركام تسمى المعادن. يقرأ مراقبو القمر أحياناً المصطلحات المألوفة على الصخور والمعادن. على سبيل المثال، يصف الجيولوجيون أحياناً صخرة المرتفعات القمرية «الأنورثوسيت» بأنها «بلاجيوجلاز الفلدسبار» لأن الصخور يهيمن عليها المعدن المسمى بـ (بلاجيوجلاز الفلدسبار).

في هذه الحالة، يشير الفلدسبار والأنورثوسيت والبلاجيوجلاز إلى الشيء نفسه. يعني البازلت جوهرياً أي صخرة داكنة صلبة من تدفق الحمم البركانية. هنا يتم التأكيد على «البازلت البحري» لتعكس الوفرة السائدة في بحار القمر. إذا حدث شبيه البازلت لاحتواء عناصر KREEP المشعة (موضحة في فقرات أخرى)، يطلق عليه بازلت الكريب KREEP Basalt أو ببساطة KREEP بالمعنى الواسع.

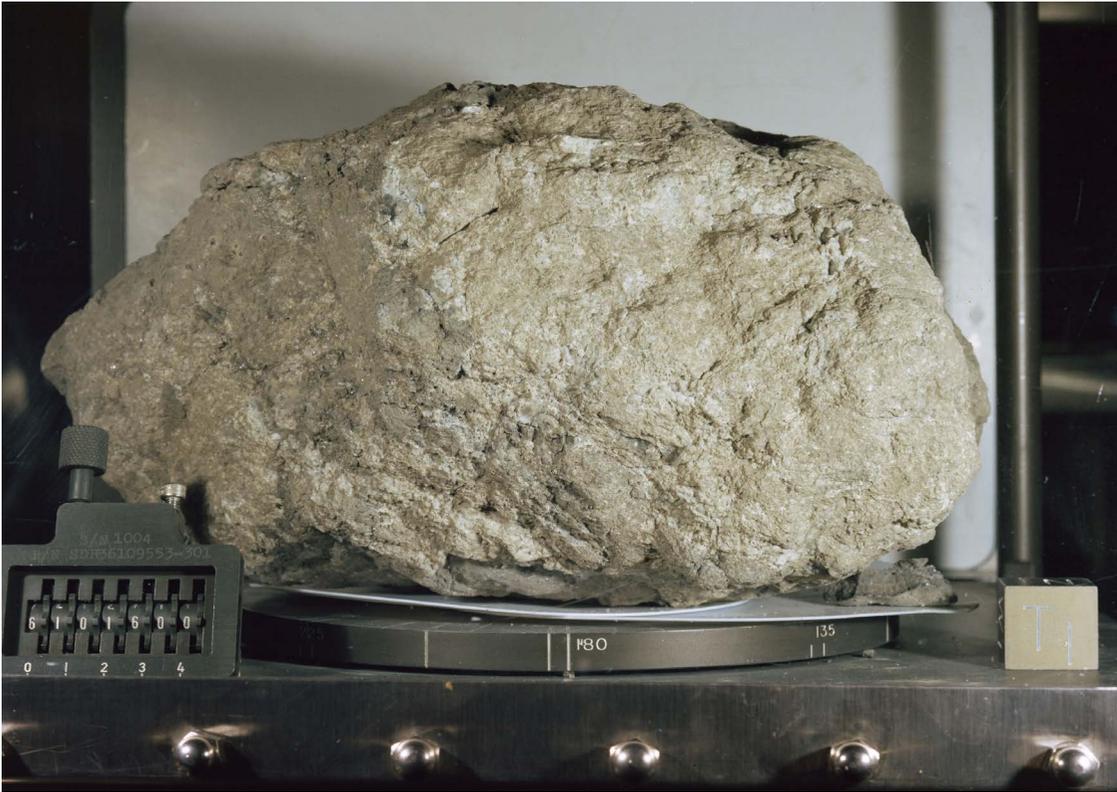




تستخدم هذه الخريطة الجيولوجية للجانب القريب من القمر ألواناً مختلفة لإظهار أنواع الصخور الموجودة على السطح والمدة التي قضتها هناك. المناطق الحمراء الكبيرة هي مناطق بحرية حيث تكون الصخور عبارة عن **حُمم بركانية صلبة**. تبدو الفوهات التي تشكلت مؤخراً والمواد المقذوفة من حولها كبقع صفراء. بعض الصخور الأقدم بقليل ملونة باللون الأخضر. **المنطقة الزرقاء الباهتة** على اليسار هي جزء من **حوض الصدم الضخم** الذي يوجد في وسطه البحر الشرقي **Mare Orientale**. تظهر أقدم الصخور باللون البني الداكن والوردي.



اكتشفت العينة القمرية رقم 61016، المعروفة باسم صخرة مولي الكبيرة Big Muley ، من قبل فريق بعثة أبولو 16- في عام 1972 في مرتفعات ديكرت، على حافة فوهة انبثاق صهاري، بالقرب من فوهة العلم (المحطة 1). إنها أكبر عينة عادت من القمر كجزء من برنامج أبولو. يبلغ وزنها 11.7 كيلو غرام، وتتكون أساساً من أنورثوسيت مصدوم مرتبط بجزء من الصخور الذائبة التي تسمى (التروكتوليتية) Troctolitic ] الذي يتكون أساساً من كميات كبيرة ولكن متغيرة من الزيرجد الزيتوني البلاجيوجلاز الكلسي مع القليل من البيروكسين].



يُقَدَّر عمر صخرة مولي الكبيرة بنحو  $3.97 \pm 0.25$  بليون سنة.

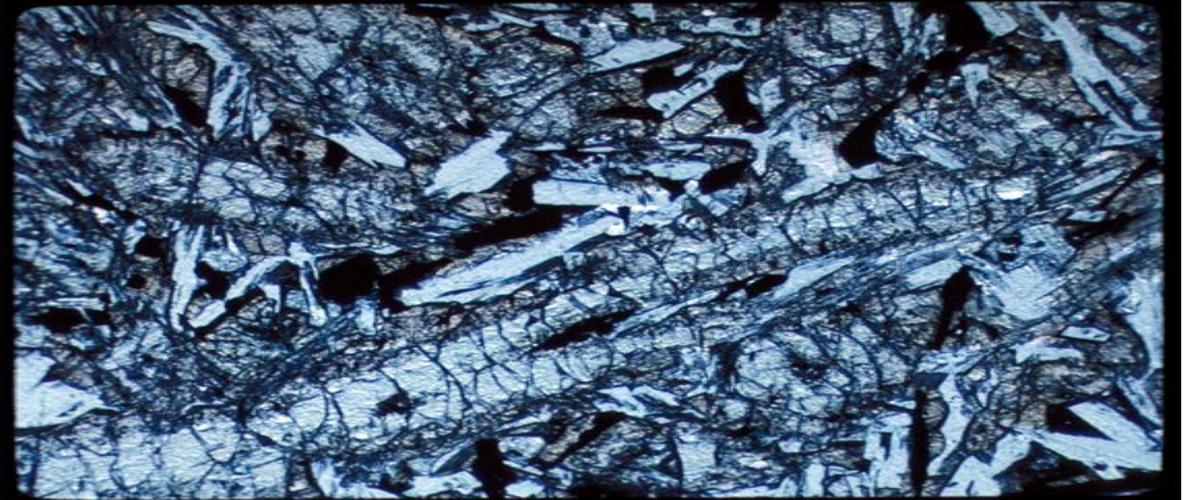




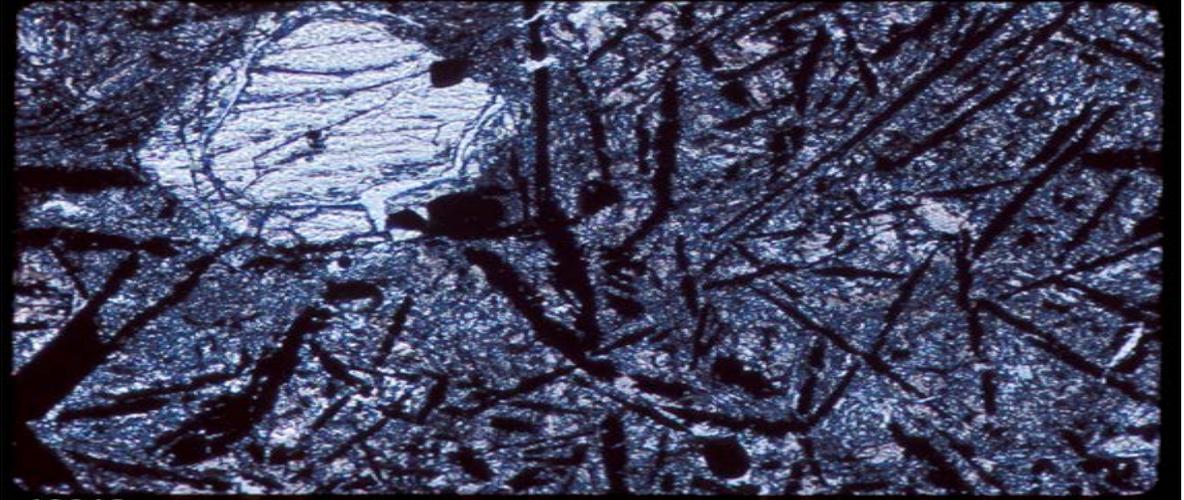
**لقد كانت عينات أبولو12- (ذات الرقم 12017) تفتقر عموماً إلى الإلمنيت Ilmenite بينما كانت عينات أبولو11- البازلتية (ذات الرقم 10018) تحوي على نسبة عالية منه بشكل غير عادي. نسبة الوزن الإجمالي لثاني أكسيد التيتانيوم في صخور أبولو11- تتجاوز 10%. كيف يقارن هذا مع البازلت الأرضي؟ يحوي معظمها على أقل من 1%  $TiO_2$ ، بينما يعتبر البازلت الأرضي بنسبة 3% مرتفعاً جداً.**

**إذن ما الأمر مع هذا التنوع القمري؟** يأتي البازلت من ذوبان صخور الوشاح التي تضغط على السطح. أخذ عينات البازلت طريقة مناسبة لأخذ عينات من الوشاح! حقيقة إن البازلت القمري يحوي أحياناً على نسبة عالية جداً من التيتانيوم يخبر العلماء أن العمليات التي تعمل على فصل العناصر في الوشاح معقدة جداً؛ وأن القمر ليس جرمًا بسيطاً. في الوقت الحالي، لا يُفهم جيداً التاريخ المعقد لتشكل القمر وكيف تطور باطنه. من خلال تحديد المناطق على السطح الذي يحوي على كميات متفاوتة من التيتانيوم باستخدام LROC WAC، يمكن لمخططي البعثات المستقبلية التخطيط بشكل أفضل لأخذ العينات للبشر والروبوتات.





12017



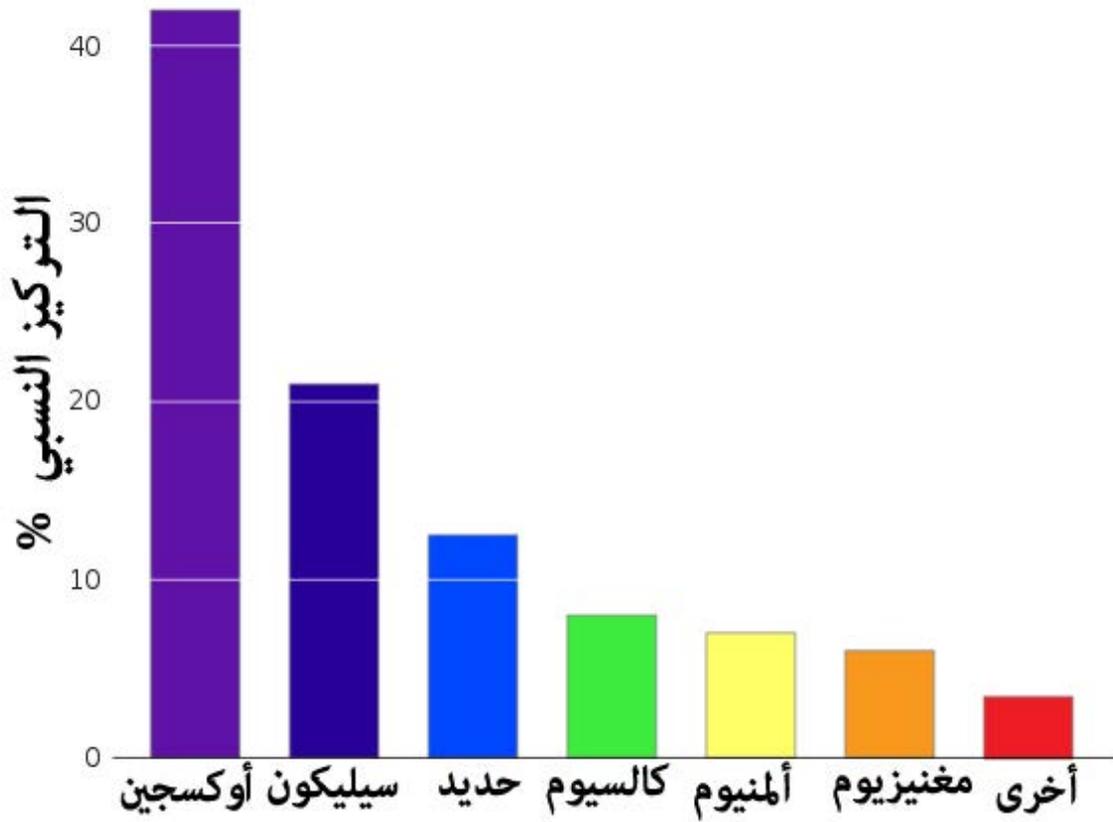
10018

عادت الصخور من موقعي أبولو11- وأبولو12- حيث سيطر البازلت على كليهما. يكمن الاختلاف الرئيسي بين الموقعين في وفرة معدن الإلمنيت. المعادن السوداء المستطيلة في القسم الرقيق لأبولو 11 (القاع) هي الإلمنيت، وهو معدن أسود يتكون من أكسيد تيتانيوم الحديد، الذي يعتبر خامه الرئيسي.





تشمل العناصر المعروفة بوجودها على سطح القمر، من بين العناصر الأخرى: الأكسجين (O) والسيليكون (Si) والحديد (Fe) والمغنيسيوم (Mg) والكالسيوم (Ca) والألمنيوم (Al) والمنغنيز (Mn) والتيتانيوم (Ti). وأكثرها وفرة الأكسجين والحديد والسيليكون. يقدر محتوى الأكسجين بنسبة 45% (بالوزن). يبدو أن الكربون (C) والنيتروجين (N) موجودان فقط بكميات ضئيلة من الترسيب بواسطة الرياح الشمسية.



التركيز النسبي للعناصر المختلفة في تربة القمر (بالوزن%).



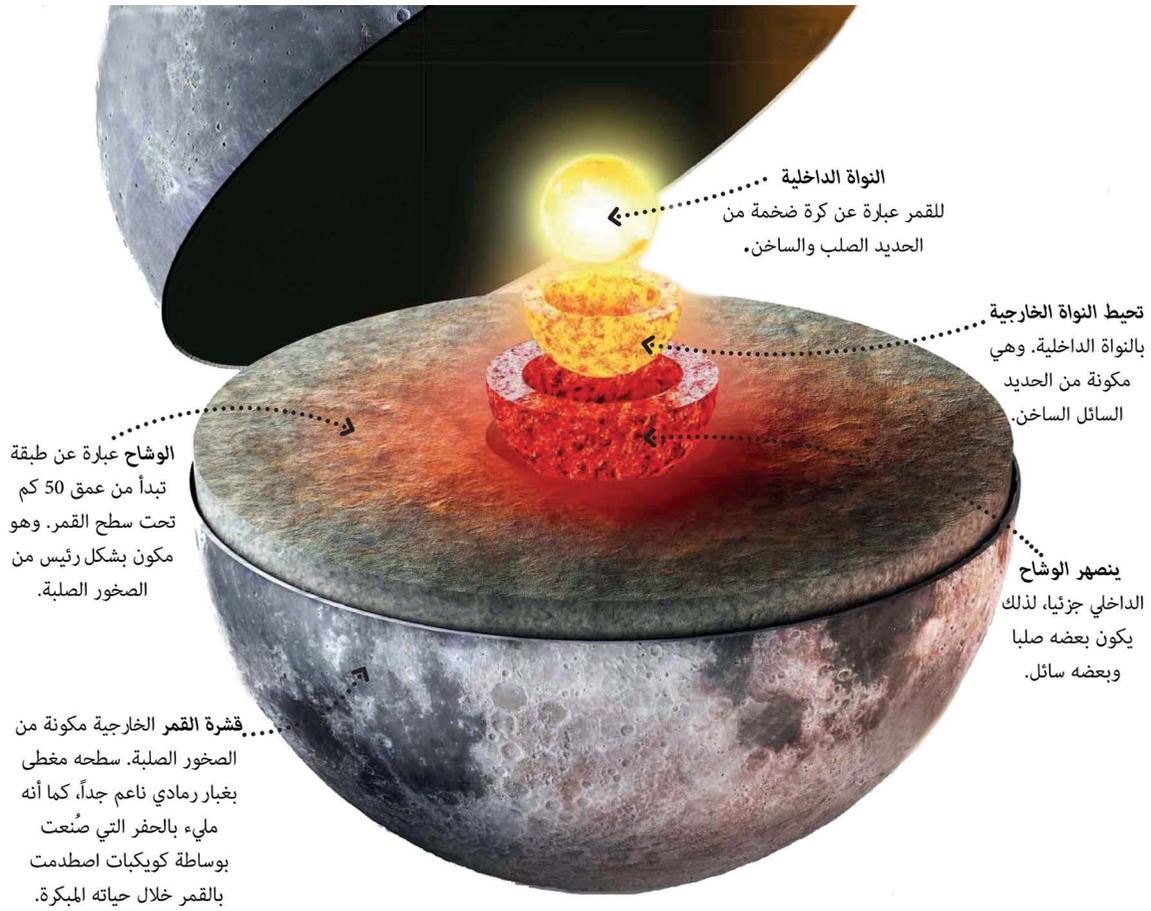


## • البنية الداخلية للقمر

**القمر عالم متميز**، وهذا يعني أنه يتكون من طبقات مختلفة ذات تركيبات مختلفة. حيث غرقت أثقل المواد في مركز القمر، وارتفعت المواد الأخف وزناً إلى الطبقة الخارجية. سمحت لنا دراسات قياس الزلازل والدوران والجاذبية باكتساب رؤى حول الطبقات المختلفة داخل القمر.

**يبلغ متوسط كثافة القمر** 3346.4 كيلو غرام / م<sup>3</sup>، وهو يتكون من قشرة ووشاح ونواة متميزة من الناحية الجيوكيميائية. يُعتقد أن هذا التركيب قد نتج عن التبلور الجزئي لمحيط الصحارة بعد وقت قصير من تكوينه منذ نحو 4.5 بليون سنة. كان من الممكن أن يؤدي تبلور محيط الصحارة هذا إلى ظهور طبقة مافيك (Mafic) (دخيلة) وقشرة غنية بالبلاجيوغلاز.





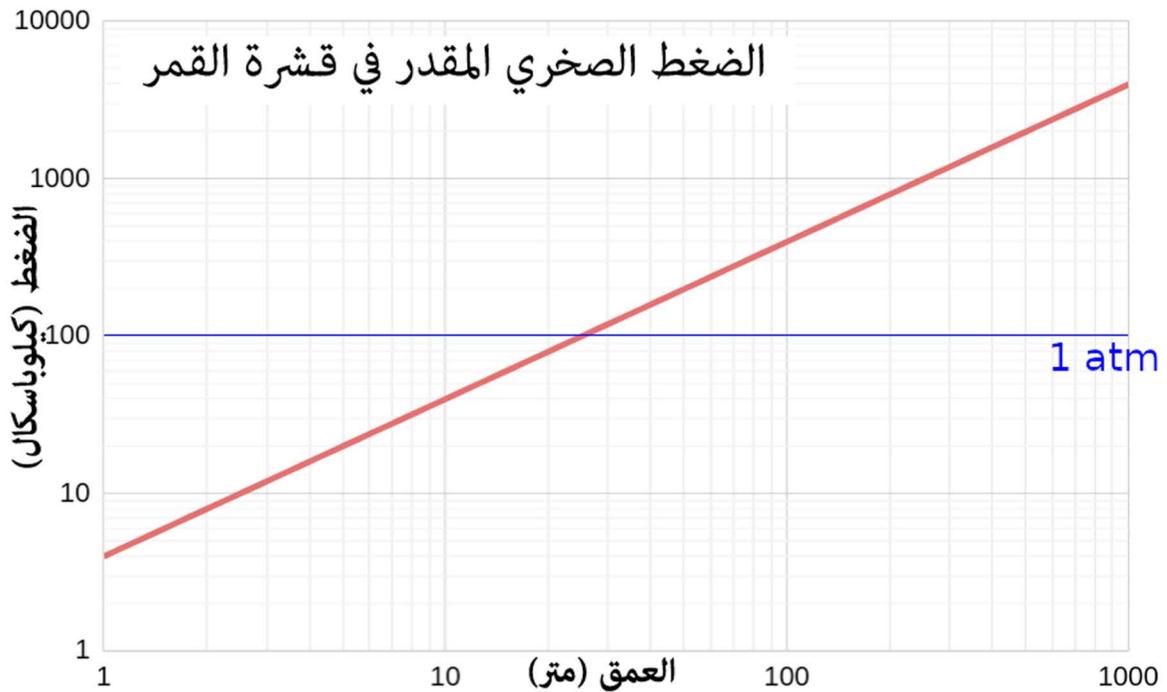
### البنية الداخلية للقمر





## القشرة

تتبلور المعادن الأخف، ولا سيَّما الفلدسبار والبلاجيوغلاز والأنورثوسيت، وتطفو على السطح لتشكل قشرة القمر. الوشاح، الذي يبلغ سمكه نحو 1350 كيلومتراً، هو أكثر اتساعاً من القشرة التي يبلغ متوسط سمكها نحو 50 كيلومتراً. ومن المثير للاهتمام، أن قشرة القمر تبدو أرق على جانب القمر المواجه للأرض، وأكثر سمكاً على الجانب البعيد. لا يزال الباحثون يعملون لتحديد سبب ذلك.

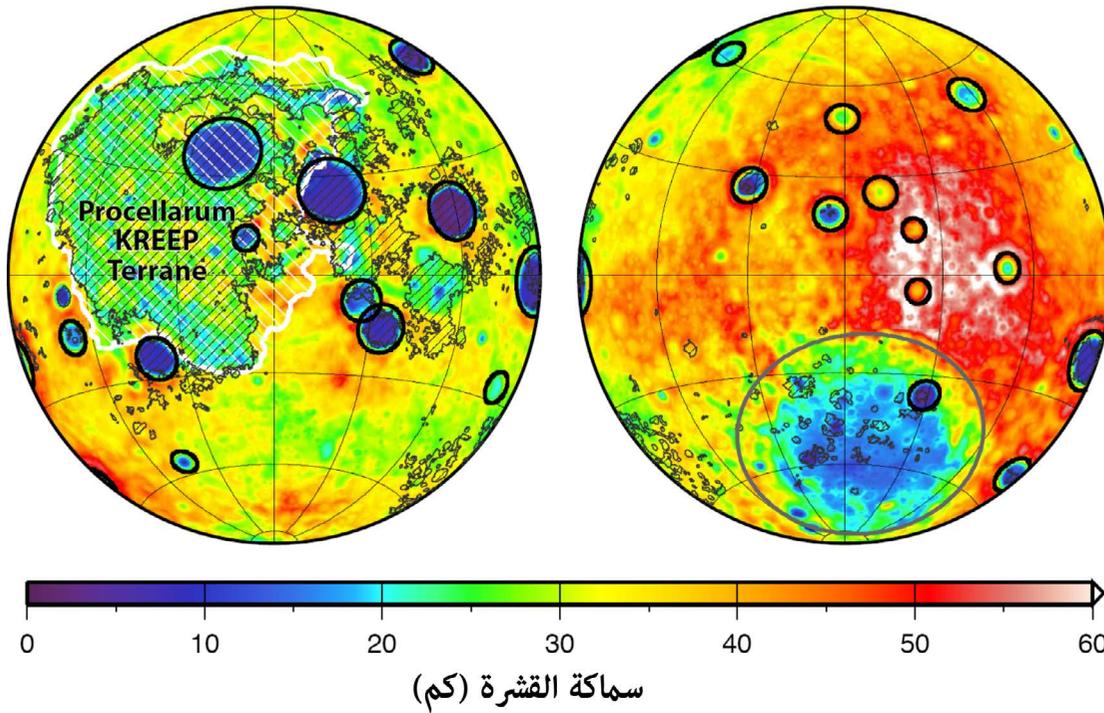


تزداد درجة حرارة وضغط باطن القمر مع زيادة العمق.





يشير رسم الخرائط الجيوكيميائية من المدار إلى أن قشرة القمر متجانسة إلى حد كبير في التكوين، بما يتوافق مع فرضية المحيط الصحاري. من ناحية العناصر، تتكون القشرة القمرية بشكل أساسي من الأكسجين والسيليكون والمغنيسيوم والحديد والكالسيوم والألمنيوم، ولكن توجد أيضاً عناصر ثنوية ونزرة مهمة، مثل: التيتانيوم واليورانيوم والثوريوم والبوتاسيوم والهيدروجين. بناءً على التقنيات الجيوفيزيائية، تقدر سماكة القشرة في المتوسط بنحو 50 كم.



خريطة عالمية لسماك قشرة القمر مستمدة من بيانات الجاذبية التي حصلت عليها مركبة الفضاء غريل GRAIL التابعة لناسا. يتم تمثيل الجانب القريب من القمر في نصف الكرة الأيسر. يتم تمثيل الجانب البعيد في نصف الكرة الأيمن. والمنطقة المعروفة باسم (Procellarum KREEP Terrane) التي تتوافق مع محيط العواصف Oceanus Procellarum وبحر الزخات Mare Imbrium والمنطقة الجنوبية.





## 1. الوشاح

تبين الاختلافات في التكوينات بين هذه الطبقات قصة أن القمر تكون بشكل كبير، أو حتى كلياً، من محيط عظيم من الصحارة في تاريخه المبكر جداً. عندما بدأ محيط الصحارة يبرد، بدأت البلّورات تتشكل داخل الصحارة. والبلّورات من معادن الوشاح الأكثر كثافة، مثل: الزبرجد الزيتوني والبيروكسين، غرقت في قاع المحيط.

أدى الانصهار الجزئي داخل وشاح القمر إلى ظهور ثوران البازلت البحري على سطح القمر. تشير تحليلات هذه البازلت إلى أن الوشاح يتكون في الغالب من معادن الزبرجد الزيتوني والأورثويبيروكسين والكلينوبروكسين، وأن الوشاح القمري غني بالحديد أكثر من الغلاف الأرضي. تحوي بعض صخور البازلت القمري على كميات عالية من التيتانيوم (الموجود في معدن الإنليت)، مما يشير إلى أن الوشاح غير متجانس بشكل كبير في التركيب.

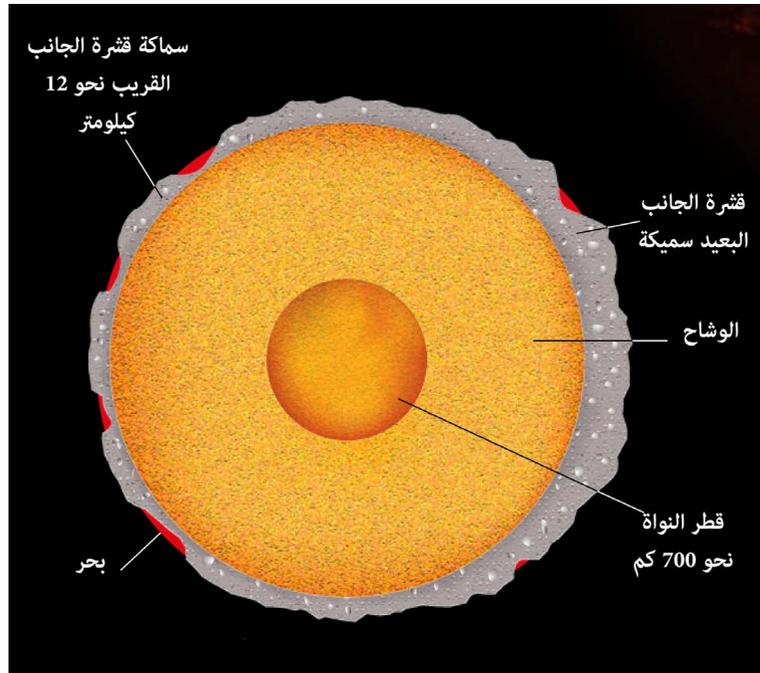
## 2. النواة

يوجد في مركز القمر نواة معدنية كثيفة. تتكون النواة بشكل كبير من الحديد وبعض النيكل. النواة الداخلية كتلة صلبة يبلغ قطرها نحو 480 كم. يحيط بالنواة الداخلية الصلبة نواة خارجية سائلة، مما يجعل القطر الإجمالي للنواة يصل إلى نحو 660 كم. نواة القمر صغيرة (نحو 20% من قطر القمر) على عكس العوالم الأرضية الأخرى، مثل (الأرض) التي تكون بنوى تقترب من 50% من أقطارها.





في عام 2010، أكد إعادة تحليل بيانات أبولو الزلزالية القديمة على الزلازل العميقة باستخدام طرق المعالجة الحديثة أن القمر يحوي على نواة غنية بالحديد نصف قطرها  $330 \pm 20$  كم. أثبت التحليل نفسه أن النواة الداخلية الصلبة المكونة من الحديد النقي يبلغ نصف قطرها  $240 \pm 10$  كم، والنواة محاطة بطبقة مصهورة جزئياً (10 إلى 30%) من الوشاح السفلي بنصف قطر  $480 \pm 20$  كيلو متراً (سمك  $\sim 150$  كيلو متراً). تشير هذه النتائج إلى أن 40% من النواة من حيث الحجم قد تجمد. تبلغ كثافة النواة الخارجية السائلة نحو 5 غرام / سم<sup>3</sup> ويمكن أن تحوي على ما يصل إلى 6% من الكبريت بالوزن. من المحتمل أن تكون درجة الحرارة في القلب نحو (1330-1430 درجة مئوية).



يتكون الجزء الداخلي للقمر من طبقات ولكننا لسنا متأكدين من بنيتها تماماً تبلغ سماعة القشرة الخارجية 20-120 كيلو متراً ولكن الجانب القريب أرق في المتوسط. تشكل المزيد من البحار في الجانب القريب، ربما بسبب وصول الحمم البركانية إلى السطح بسهولة أكثر من خلال القشرة الرقيقة. تقع القشرة فوق طبقة عميقة من الصخور الأكثر كثافة. تتكون النواة الصغيرة بشكل أساسي من الحديد وقد تكون منصهرة جزئياً.





## المجال المغناطيسي والغلاف الجوي للقمر

يصف أول عمل خيالي معروف رحلة إلى القمر قام بها السوري لوقيان Lucian السمسياتي في سنة 160 بعد الميلاد. لم يكن يقصد بالأصل من عمله الخيال العلمي وإنما هو مسرحية هزلية، تدعى (القصة الحقيقية). تقدم حتى اليوم لنا قراءة ممتعة. وهي تتحدث عن حكاية مستكشفين يونانيين يبحرون في الأطلسي وفي أثناء عاصفة عاتية، تصير سفينتهم ضمن دوامة في الهواء بفعل إعصار مائي (على غرار الإعصار في ويزارد من أوز). انتهى بهم الأمر بعد رحلة دامت ثمانية أيام إلى القمر. كان القمر مأهولاً بالسكان القمريين وهم في حالة حرب مع سكان الشمس، الذين يعيشون على الشمس. تقتل المجموعتان على ملكية نجمة الصباح (كوكب الزهرة). ينتصر الشمسيون في نهاية المطاف، وذلك بوضع خسوف دائم للقمر، ويجبرون القمريين أن يوقعوا على معاهدة سلام حيث جرى الاتفاق فيها على أن نجمة الصباح تبقى أرضاً محايدة وغير محتلة.

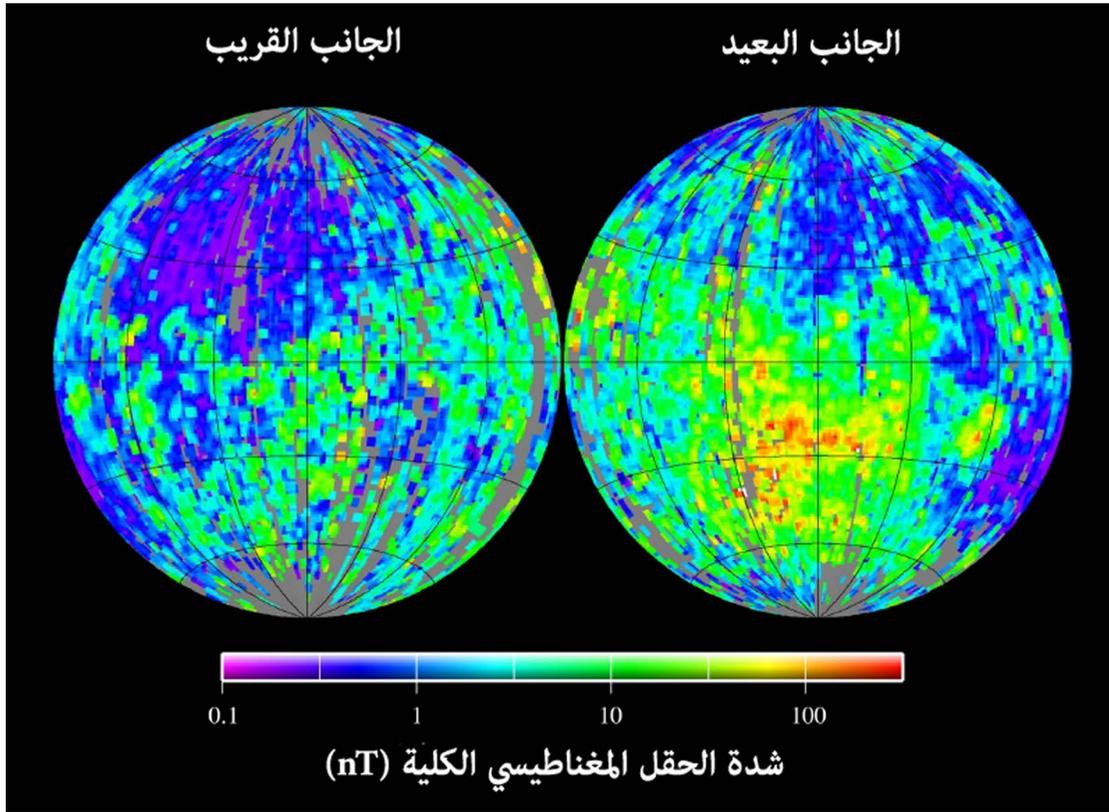
## المجال المغناطيسي للقمر

المجال المغناطيسي للقمر ضعيف جداً بالمقارنة مع المجال المغناطيسي الأرضي. الاختلاف الرئيسي هو أن القمر لا يحوي حالياً على مجال مغناطيسي ثنائي القطب (الذي ينشأ بوساطة جيودينامو في نواته)، بحيث تتنوع المغنطة الحالية (انظر الصورة) ويكون أصلها قشرياً بالكامل في الموقع؛ لذلك من الصعب المقارنة





كنسبة مئوية مع الأرض. ولكن اكتشفت إحدى التجارب أن الصخور القمرية التي تشكلت منذ 1 - 2.5 بليون سنة قد نشأت في حقل تبلغ شدته نحو 5 ميكروتسلا، مقارنةً بحقل الأرض الحالي الذي يبلغ 50 ميكروتسلا.



إجمالي شدة المجال المغناطيسي على سطح القمر كما جرى استنتاجها من تجربة مقياس انعكاس الإلكترون Lunar Prospector. إجمالي شدة المجال المغناطيسي على سطح القمر، التي جرى قياسها بواسطة المركبة الفضائية Lunar Prospector (المناطق الرمادية تتوافق مع المناطق التي لا توجد فيها بيانات). تتوافق أقوى الانحرافات المغناطيسية، على الجانب البعيد من القمر، مع حافة حوض القطب الجنوبي أيتكين - أحد أكبر البنى الصدمية في النظام الشمسي - وتفسر على أنها بقايا معدنية للاصطدام. على العكس من ذلك، تتوافق معظم مناطق المجال المغناطيسي المنخفض مع حشوة بحار قريبة من الجانب، لا سيما داخل حوضي محيط العواصف Procellarum والبحر الشرقي Orientale.





وخلال برنامج أبولو، أخذت عدة قراءات لشدة المجال المغناطيسي بقراءات تتراوح من  $6 \gamma$  ( $6nT$ ) في موقع أبولو-15 إلى الحد الأقصى  $313\gamma$  ( $0.31\mu T$ ) في موقع أبولو - 16، لاحظ أن هذه القراءات جرى تسجيلها بوحدات غاما ( $\gamma$ ) وهي وحدة قديمة لكثافة التدفق المغناطيسي تعادل  $nT1$ .

تقول إحدى الفرضيات إن مغناطيسات القشرة الأرضية قد اكتسبت في وقت مبكر من تاريخ القمر عندما كان الجيودينامو لا يزال يعمل. أظهر تحليل صخور القمر الممغنطة التي جلبها رواد فضاء أبولو إلى الأرض أن القمر يجب أن يكون لديه مجال مغناطيسي قوي (فوق  $110\mu T$ ) منذ  $4.25$  بليون سنة على الأقل، الذي انخفض بعد ذلك إلى مستوى  $20 \mu T$  خلال فترة  $3.6 - 3.1$  بليون سنة.

ومع ذلك، فإن الحجم الصغير للنواة القمرية يمثل عقبة محتملة أمام تعزيز هذه الفرضية في الحالة النظرية. ومع ذلك، فإن حبيبات السيليكات المفردة ذات الشوائب المغناطيسية من صخور أبولو التي تشكلت قبل  $3.9$  و  $3.6$  و  $3.3$  و  $3.2$  بليون سنة قد ثبت أنها قادرة على تسجيل المجالات المغناطيسية القوية ولكنها لا تفعل ذلك. يدعم هذا الفرضية البديلة القائلة بأن القمر لم يكن لديه مطلقاً جيودينامو أساسي طويل الأمد، بما يتوافق مع نقص الطاقة اللازمة للحفاظ على الحقل.

من الممكن أن تتولد مجالات مغناطيسية عابرة على جرم خالٍ من الهواء مثل القمر خلال أحداث التصادم الكبيرة. على وجه الخصوص، أسفرت دراسة





صدم زجاج أبولو المرتبط بفوهة صغيرة عمرها مليوني عام عن مغناطيسية قوية يمكن مقارنتها بشدة المجال المغناطيسي للأرض. لا يمكن أن يكون هذا التمغنت قد نشأ في قلب القمر، ويتوافق مع التنبؤات من المجالات المرتبطة ببلازما الصدمة.

أدت هذه الأرصاد إلى فرضية مفادها أن التقارير السابقة عن نقاط القوة العالية للحقول القديمة من عينات أبولو تسجل صدمات، وليس الجيودينامو الأساسي. الأهم من ذلك، أن الافتقار إلى جيودينامو قمري طويل الأمد والغلاف المغناطيسي القديم كان من المفترض أن يسمح للهليوم  $^3\text{He}$  والمياه والموارد المتقلبة الأخرى المكتسبة من الرياح الشمسية والغلاف المغناطيسي للأرض على مدى نحو 4 بلايين سنة بالتراكم في التربة القمرية.

وقد لوحظ أيضاً أن أكبر مغناطيسات القشرة الأرضية يبدو أنها تقع بالقرب من الأضداد Antipodes لأحواض التصادم العملاقة. وقد اقترح أن مثل هذه الظاهرة يمكن أن تنتج عن التوسع الحر لسحابة بلازما ناتجة عن الاصطدام حول القمر في ظل وجود مجال مغناطيسي محيط.

على سبيل المثال، قامت المركبة الفضائية تشاندرایانا-1 برسم خريطة للغلاف المغناطيسي الصغير عند النقطة المضادة في بحر الشدائد Crisium على الجانب البعيد من القمر، باستخدام أداة Sub-keV Atom Reflecting Analyzer SARA. يبلغ عرض الغلاف المغناطيسي الصغير 360 كيلومتراً عند السطح وتحيط به منطقة تبلغ سماكتها 300 كيلومتر من تدفق البلازما الناتج عن تدفق الرياح الشمسية حول الغلاف المغناطيسي الصغير.





يوجد أدلة متزايدة على أن الجسيمات الدقيقة لغبار القمر قد تطفو بالفعل، **مقذوفة** من سطح القمر عن طريق التحليق الكهروستاتيكي. وقد يصنع هذا الأمر (جواً ليلياً) مؤقتاً من الغبار. قد يتجمع الغلاف الجوي لغبار القمر أيضاً بشكل رياح شفافة. نظراً للاختلافات في تراكم الشحنة القمرية، فإن الغبار العائم سوف يطير بشكل طبيعي من الجانب الليلي السلبي بشدة إلى جانب النهار السلبي الضعيف.

**سيكون تأثير (العاصفة الترابية) أقوى عند نهاية القمر.** الكثير من هذه التفاصيل لا تزال تخمينية، لكن المركبة الفضائية Lunar Prospector اكتشفت تغيرات في الجهد الليلي القمري أثناء معابر الذيل المغناطيسي، حيث قفزت من -200 فولت إلى -1000 فولت. أجري المزيد من التوصيف لهذه الظاهرة بواسطة المركبة الفضائية Lunar Atmosphere and Dust Environment Explorer في أواخر عام 2013.

**صفحة البلازما Plasma sheet** عبارة عن بنية ديناميكية جداً، في حالة حركة ثابتة، لذلك عندما يدور القمر عبر الذيل المغناطيسي، يمكن لصفحة البلازما أن تجتاحه عدة مرات مع لقاءات تستمر في أي مكان من دقائق إلى ساعات أو حتى أيام.





## الغلاف الجوي للقمر

القمر ليس له غلاف جوي تقريباً حالياً، هناك منطقة صغيرة حول القمر فيها عدد قليل من الغازات الضعيفة، مكونة من غاز الرادون وبعض العناصر الأخرى المنبعثة من باطن القمر ومن الرياح الشمسية نفسها، تسهم الرياح الشمسية بشكل أساسي بالهيدروجين والهيليوم على سطح القمر.

**قاس رُوَاد أبولو17-** الغلاف الجوي للقمر على وجه التحديد، ووجدوا أن الغازات الأولية الثلاثة في الغلاف الجوي للقمر هي النيون والهيليوم والهيدروجين بكميات متساوية تقريباً. كما يوجد الميثان وثاني أكسيد الكربون والأمونيا والماء بكميات أقل. اكتشف الأرغون أيضاً، ويبدو أن وفرته تتزامن مع الزلازل على القمر.

**قد تتسبب الزلازل القمرية** في حدوث كسور جديدة في القشرة القمرية، مما يسمح للأرغون ( $^{40}\text{Ar}$ ) بالهروب من الجزء الداخلي للقمر، الذي كان ينتج سابقاً عن طريق اضمحلال البوتاسيوم ( $^{40}\text{K}$ ). كل ذرة في الغلاف الجوي للقمر لها عمر بضعة أشهر فقط في المتوسط قبل أن تهرب إلى الفضاء.

**ومع ذلك، فإن بعض الذرات أو الجزيئات** تعلق في (الفخاخ الباردة)، أي المناطق الباردة في ظل دائم أو شبه دائم حيث تتجمد الجزيئات ومن غير المحتمل أن تصطدم بالجسيمات النشطة أو تسخن بالإشعاع. يمكن أن تبقى هذه الجزيئات عالقة في الفخاخ الباردة إلى أجل غير مسمى.

**على عكس المريخ،** الذي بدأ على ما يبدو بغلاف جوي مهم، فمن المحتمل أن القمر لم يكن له غلاف جوي مطلقاً في الأصل. كان مجال الجاذبية الصغير





للقمر بشكل شبه مؤكد غير قادر على الاحتفاظ بأي غلاف جوي بعد الاصطدام العملاق الذي تسبب في تكوين القمر، ففي وقت الاصطدام كانت كل المواد نشطة جداً وعرضة للضياع في الفضاء أو في مجال الجاذبية الأكبر على الأرض.

**يُعتقد أن الحرارة الاستثنائية لتكوين القمر** قد تسببت في التخلص من جزء من الأكسجين الموجود على الكوكب. مع عدم وجود غلاف جوي للأكسجين وبدخله مستنفد للأكسجين، يقلل القمر بدرجة كبيرة، مما يعني أن عدد الذرات المرتبطة بالأكسجين أقل مما هو موجود على الأرض.

**عندما يكون الحديد على الأرض مرتبطاً** بشكل شائع بالأكسجين مثل  $Fe_2O_3$  أو  $FeO$ ، غالباً ما يقلل الحديد على القمر لدرجة أنه مجرد حديد معدني. علماً أن الحديد المعدني الموجود على سطح الأرض يتأكسد بسرعة ويتحول إلى صدأ.

**كما يشير تحليل عينات الصهارة القمرية** التي استرجعتها بعثات أبولو إلى أن البراكين على القمر أنتجت غللاً جويّاً كثيفاً نسبياً للقمر لمدة 70 مليون سنة ما بين 3 و 4 بلايين سنة مضت. كان هذا الغلاف الجوي، الذي حصل عليه من الغازات المنبعثة من الانفجارات البركانية القمرية، ضعف سمك غلاف المريخ في الوقت الحاضر. لقد افترض، في الواقع، أن هذا الغلاف الجوي القديم كان من الممكن أن يدعم الحياة، مع عدم العثور على دليل على الحياة. في النهاية جردت الرياح الشمسية الغلاف الجوي للقمر القديم وتشتت في الفضاء.



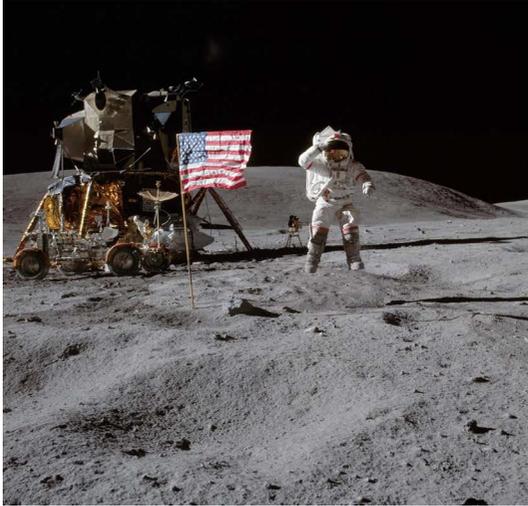


## جاذبية القمر

جميعنا يعلم أن ذكر الكنغر يمكنه أن يقفز إلى أطوال وأبعاد كبيرة تصل إلى 9 أمتار وبارتفاع يصل إلى 3 أمتار، ولعل الكثير منا قد شاهد رُؤاد الفضاء الأوائل كيف يتحركون على القمر، بالقفز مثل الكنغر.

### لكن لماذا فعلوا ذلك؟

السبب هو جاذبية القمر؛ فالقمر له جاذبية ضعيفة لأن كتلته أقل من كتلة الأرض، ولذلك فإن جاذبيته تكون أضعف (نحو سدس جاذبية الأرض). على سطح القمر، ستكون قادراً على القفز نحو ستة أضعاف ارتفاعك على الأرض، لكنك ستبقى تعود للأسفل!



تشبه قفزة الكنغر على الأرض قفزة رائد الفضاء جون يونغ، قائد بعثة أبولو 16، على سطح القمر وهو يحيي علم الولايات المتحدة في موقع هبوط ديكارت خلال أول نشاط لأبولو 16 خارج المركبة.

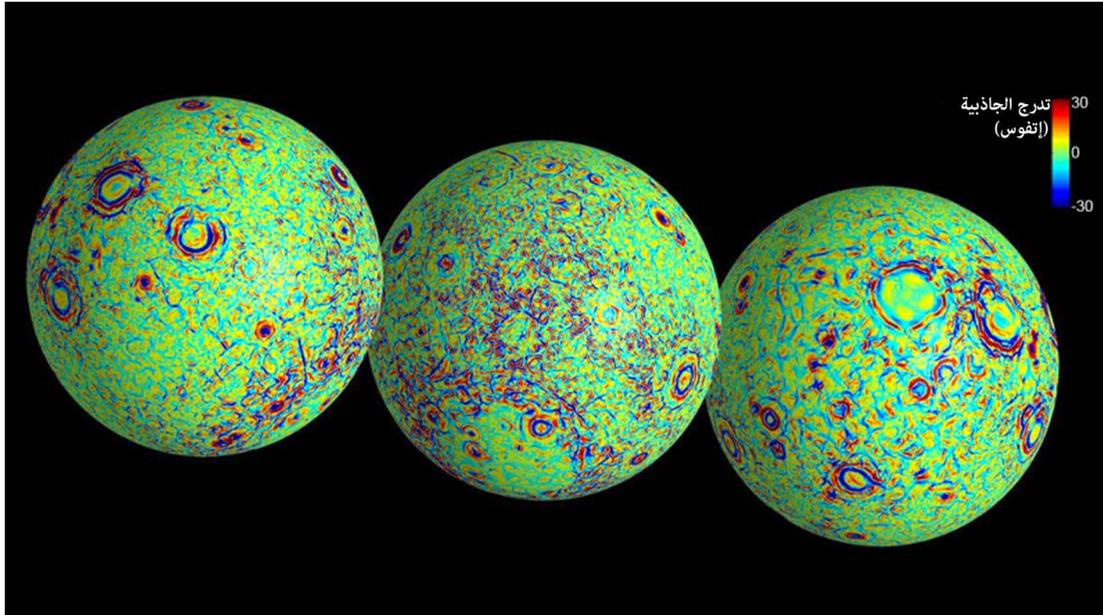




يبلغ التسارع الناتج عن الجاذبية على سطح القمر نحو 1.625 متر / ثا<sup>2</sup>، أي نحو 16.6% من التسارع على سطح الأرض أو (0.166 ثابت جاذبية الأرض). ويكون التباين في تسارع الجاذبية على سطح القمر بكامله نحو 0.0253 متر/ ثا<sup>2</sup> (1.6% من تسارع الجاذبية). لأن الوزن يعتمد بشكل مباشر على تسارع الجاذبية، فإن الأشياء على القمر تزن فقط سدس مما تزنه على الأرض كما ذكرنا سابقاً.

**جرى قياس مجال جاذبية القمر** من خلال تتبع الإشارات الراديوية المنبعثة من المركبات الفضائية التي تدور في مدارات. يعتمد المبدأ المستخدم على تأثير دوبلر، حيث يمكن قياس تسارع المركبة الفضائية على خط البصر من خلال التحولات الصغيرة في تردد الإشارة الراديوية، وقياس المسافة من المركبة الفضائية إلى المحطة الأرضية. ونظراً لأن مجال جاذبية القمر يؤثر في مدار المركبة الفضائية، فيمكن للمرء استخدام بيانات التتبع هذه لاكتشاف شذوذات الجاذبية.





تُظهر هذه الخرائط للجانبين القريب والبعيد من القمر تدرجات الجاذبية كما جرى قياسها بواسطة بعثة ناسا غريل GRAIL. تشير المناطق الحمراء والزرقاء إلى تدرجات أقوى بسبب الشذوذات الكتلية الكامنة.

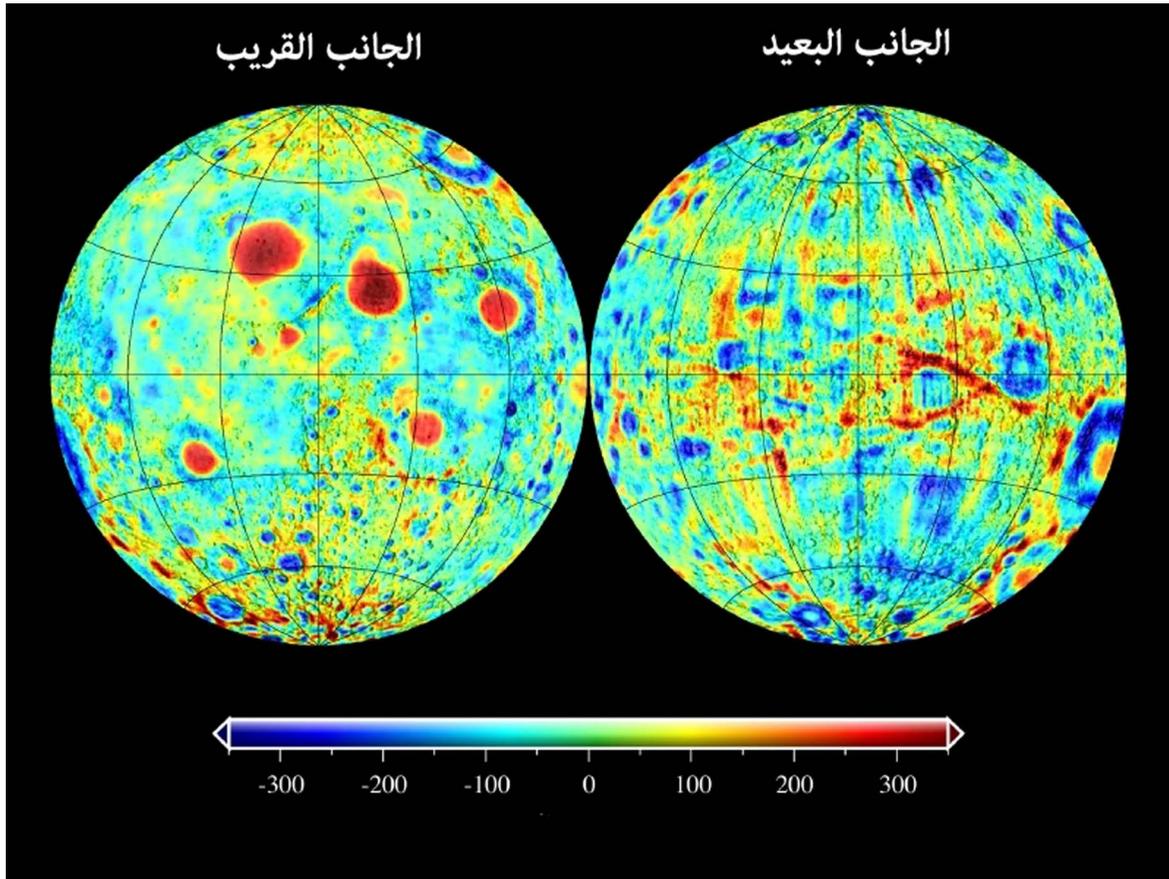




معظم المدارات القمرية المنخفضة غير مستقرة. وقد أظهرت البيانات المفصلة التي جُمعت أنه بالنسبة للمدار القمري المنخفض، فإن المدارات المستقرة الوحيدة تكون عند ميل قربية من 27 درجة، و 50 درجة، و 76 درجة، و 86 درجة. بسبب الدوران المتزامن للقمر، ليس من الممكن تتبع المركبات الفضائية من الأرض بعيداً عن أطراف القمر، لذلك حتى بعثة استعادة الجاذبية والمختبر الداخلي (غريل GRAIL) لم يكن حقل الجاذبية البعيد مخططاً جيداً.

**السمة الرئيسية لحقل الجاذبية للقمر** هي وجود الماسكونات Mascons (تركيزات الكتلة)، وهي شذوذات كبيرة في الجاذبية الإيجابية مرتبطة ببعض أحواض التصادم العملاقة. تؤثر هذه الحالات الشاذة بشكل كبير في مدار المركبات الفضائية حول القمر، ومن الضروري وجود نموذج جاذبية دقيق في التخطيط لكل من البعثات المأهولة وغير المأهولة. اكتشفت الماسكونات في البداية من خلال تحليل بيانات التتبع Lunar Orbiter وأظهرت اختبارات الملاحظة قبل برنامج أبولو أخطاء تحديد المواقع أكبر بكثير من مواصفات البعثة.





شدوذات الجاذبية الشعاعية على سطح القمر بوحدة (ميكروغال mGal).





ترجع الماسكونات جزئياً إلى وجود تدفقات الحمم البازلتية الكثيفة التي تملأ بعض أحواض التصادم. ومع ذلك، لا يمكن لتدفقات الحمم البركانية في حد ذاتها أن تفسر بشكل كامل الاختلافات في الجاذبية، كما أن رفع السطح البيني القشري مطلوب أيضاً. استناداً إلى نماذج الجاذبية Lunar Prospector، فقد اقترح وجود بعض الماسكونات التي لا تظهر دليلاً على البراكين البازلتية البحرية.

الامتداد الضخم للبراكين البازلتية البحرية المرتبطة بمحيط العواصف Oceanus Procellarum لا يسبب شذوذاً إيجابياً في الجاذبية. لا يتطابق مركز جاذبية القمر تماماً مع مركزه الهندسي، ولكنه ينزاح نحو الأرض بنحو 2 كيلومتر.

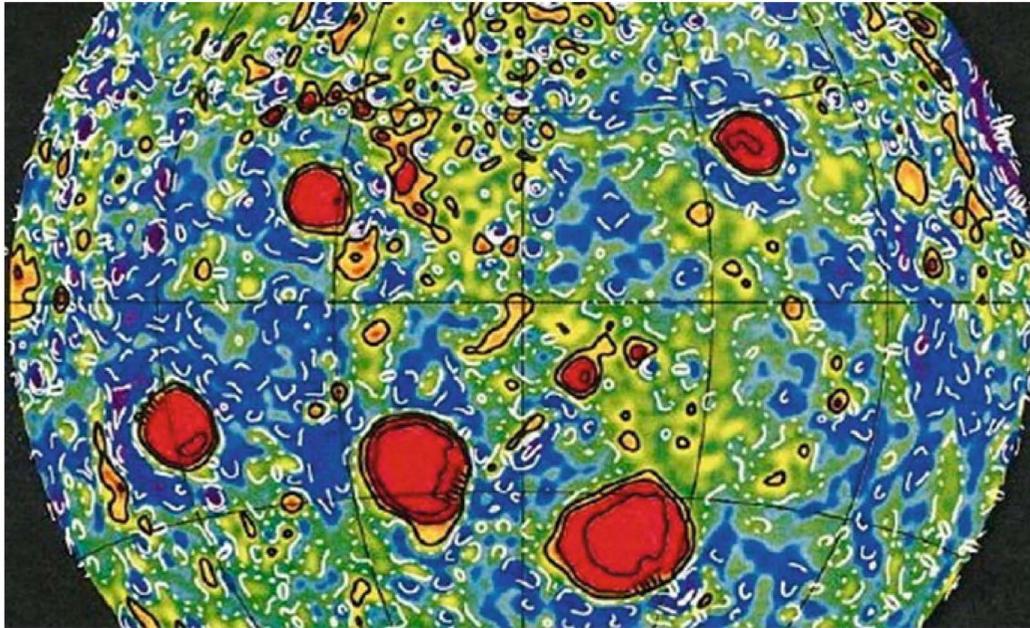
ثابت الجاذبية  $G$  أقل دقة من ناتج  $G$  وكتل الأرض والقمر. وبالتالي، من المعتاد التعبير عن الكتلة القمرية  $M$  مضروبة في ثابت الجاذبية  $G$  القمري

$$GM = 4902.8001 \text{ km}^3 / \text{s}^2 \text{ وفقاً لتحليلات GRAIL.}$$

كتلة القمر =  $7.3458 \times 10^{22}$  كيلو غرام ومتوسط الكثافة 3346 كيلو غرام / م<sup>3</sup>.

اكتشف بول مولر وويليام سجووergen من مختبر الدفع النفاث التابع لناسا هذه الماسكونات في عام 1968. ولو كان القمر مرناً، فإن هذه الماسكونات كانت ستغرق حتى يستعيد حقل الجاذبية إلى التوازن. ولكن حقيقة استمرارها اليوم تشير إلى أن القمر بارد جامد.





عشر على الماسكونات في أحواض الأزمات Crisium والرحيق Nectaris والصفاء Serenitatis  
والزخات Imbrium على الجانب القريب من القمر.





حالياً دعونا نعود لسؤال قديم طرحه الفيزيائي البريطاني إسحاق نيوتن عندما كان جالساً تحت شجرة التفاح وقال: لماذا تسقط التفاحة على الأرض ولا يسقط القمر؟

بغض النظر عن أن هذا السؤال قد أوصله إلى قانون الجاذبية العالمية، فإن القمر لن يسقط على الأرض كما صورته فلم الخيال العلمي (سقوط القمر Moonfall) حتى لو كان يسبح بمفرده في الفضاء.

سأخبركم لماذا؛ لأنه يوجد نقطة توازن بين الأرض والقمر، وتسمى مركز الأبعاد المتناسبة Barycentre والجرمان يدوران حولها. وهذه النقطة أقرب إلى الأرض من القمر داخل سطح الأرض. الأمر يشبه إلى حد ما أرجوحة التوازن Seesaw. إذا كان لديك شخص ثقيل فعلاً من جهة وآخر خفيف الوزن من جهة أخرى، فيجب أن تكون نقطة التوازن أكثر تجاه الشخص الأكبر وزناً.

إذا كنوا مطمئنين ولا داعي للقلق، وسيبقى فلم (سقوط القمر) مجرد خيال علمي.



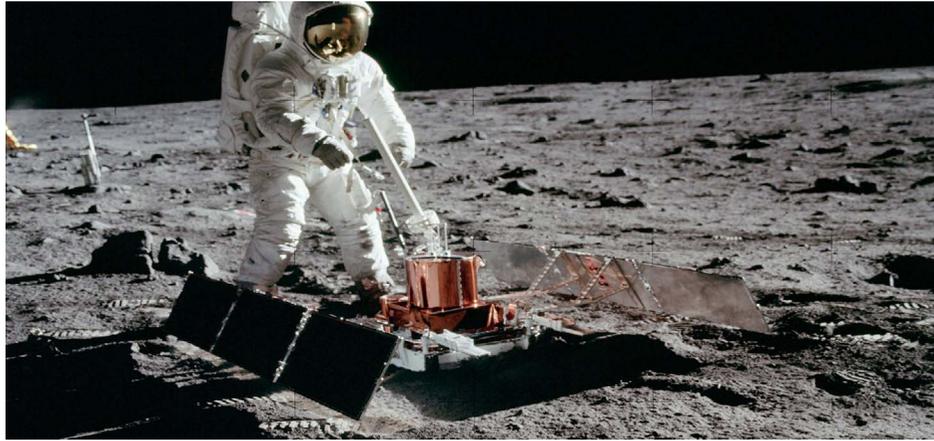




## الزلازل القمرية

ظهرت في عام 1835 سلسلة مكونة من ستة مقالات يومية، ونشرت بين 25 و31 أغسطس تحت عنوان (الاكتشافات الفلكية الكبرى) ونُسبت إلى الفلكي جون هرشل. لكن من كتبها هو مراسل جريدة نيويورك ريتشارد آدم لوك بهدف زيادة توزيع الجريدة، وكان في الوقت ذاته يسخر من المراقبين الآخرين في العصر الفكتوري الأكثر جدية الذين ألمحوا إلى وجود دليل لديهم يقترح أن القمر كان مسكوناً «بالقمرين». وقد أطلق على هذه «الاكتشافات» حالياً اسم (خدعة القمر الكبرى).

**بالعودة إلى الواقع العلمي الحقيقي:** فقد كشفت مقاييس الزلازل التي تركها رواد فضاء أبولو على سطح القمر أن القمر يعاني فعلاً من زلازل على سطحه. الزلازل القمرية Moonquakes العميقة، التي تحدث على نطاق واسع على بُعد نحو 700 كيلومتر تحت سطح القمر هي أحداث مديدة ناتجة عن سحب الجاذبية الأرضية وشد البنى الداخلية للقمر.

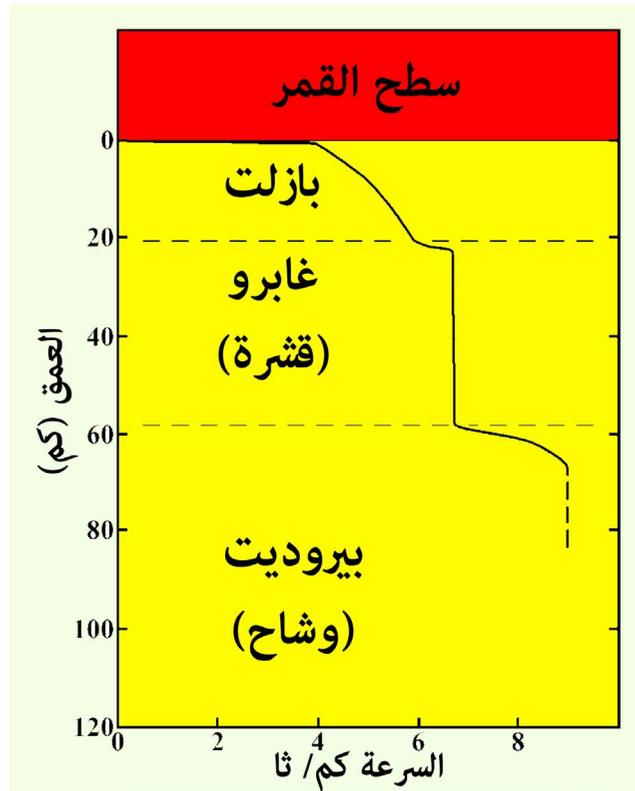


رائد فضاء أبولو 11- باز ألدرين في التجربة الزلزالية. انتشرت الألواح الشمسية على اليسار واليمين، وجرى توجيه الهوائي نحو الأرض. يقع عاكس الليزر خلف الهوائي، وفي المسافة، تظهر كاميرا التلفزيون بظلالها على السماء السوداء. توجد كاميرا التقريب الاستريو بالقرب من الحافة اليمنى لهذه التفاصيل.





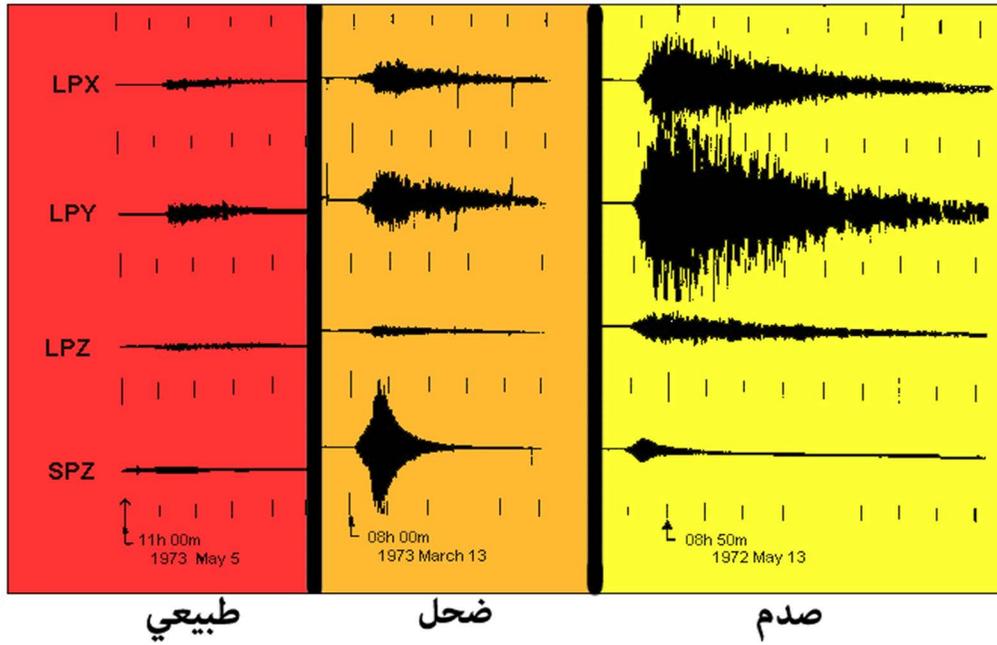
يمكن أن تحدث الزلازل القمرية التي تنشأ على السطح أو بالقرب منه بسبب صدمات النيازك على القمر. يمكن أن يأتي نوع آخر من الزلازل القمرية الضحلة جداً من التمدد الحراري وانكماش الصخور على السطح أو بالقرب منه حيث ينتقل من ليلة القمر شديدة البرودة إلى نهار القمر شديد الحرارة. نوع رابع من الزلازل القمرية ينشأ على أعماق ضحلة قليلاً تتراوح بين 20 و 30 كيلو متراً، ويمكن أن تصل إلى 5.5 درجة على مقياس ريختر، ويمكن أن يستمر لأكثر من 10 دقائق! لا تزال أسباب هذا النوع الرابع من الزلازل قيد التحقيق.



منحن يوضح سرعة الموجات الزلزالية P إلى عمق نحو 100 كيلومتر تحت سطح القمر في شرق محيط العواصف Oceanus Procellarum. تعزى الزيادات في السرعة عند نحو 20 و 60 كيلومتراً إلى التحولات من البازلت البحري إلى الغابرو الأنورثوسيتي عند 20 كيلومتراً ومن الغابرو إلى البريدوتيت (الزبرجد الزيتوني والبيروكسين) عند 60 كيلومتراً. تحدث طبقة البازلت فقط في مناطق البحار وهي غير موجودة في المرتفعات.



كما كُشف عن عدد قليل من الزلازل القمرية الضحلة التي تقع على بُعد نحو 100 كيلومتر تحت السطح، ولكنها تحدث بشكل غير متكرر ويبدو أنه لا علاقة لها بالمد والجزر على سطح القمر.

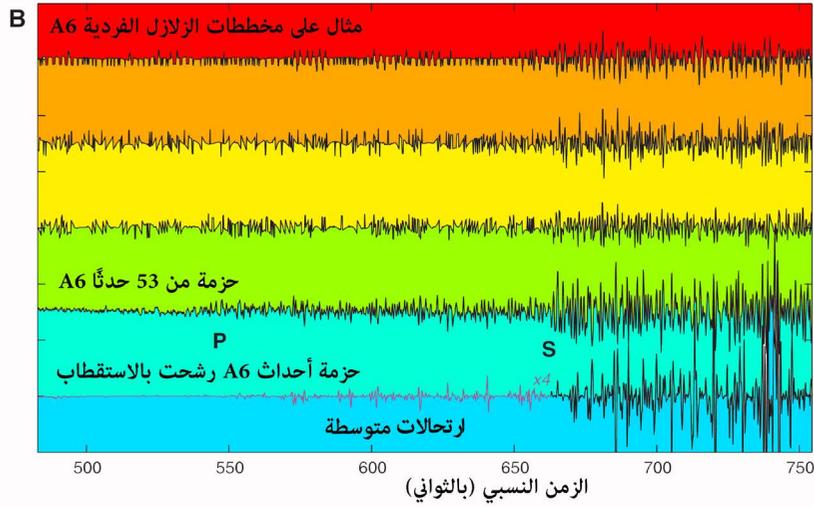
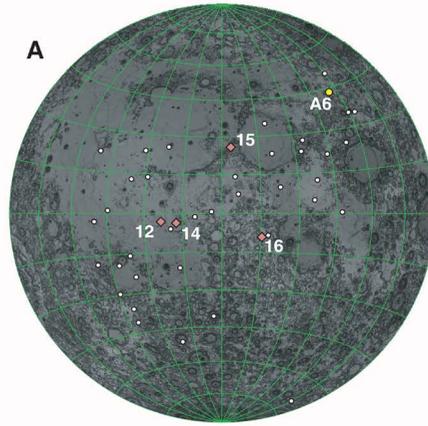


يوجد على القمر ثلاثة مصادر للزلازل (كما سجلتها محطات بعثات أبولو): إما ناجمة عن صدم النيازك وهي أعنفها، أو ضحلة، أو طبيعية.

يمكن أن تحدث الزلازل الضحلة بسبب صدم النيازك على القمر. يمكن أن يأتي نوع آخر من الزلازل الضحلة جداً من التمدد الحراري وانكماش الصخور على السطح أو بالقرب منه حيث يخضع لتغيرات شديدة في درجات الحرارة.



أما الزلازل القمرية العميقة، التي تحدث على نطاق واسع على بُعد نحو (700 كيلومتر) تحت سطح القمر هي أحداث مدية ناتجة عن سحب الجاذبية الأرضية وتمديد البنى الداخلية للقمر.



(A) خريطة للقمر القريب توضح مواقع محطات أبولو الزلزالية (الماس الأحمر) وتوزيع بؤر الزلازل العميقة المستخدمة في هذه الدراسة (الدوائر البيضاء).

(B) مخططات الزلازل المكونة من R للمحطة 15 من ثلاثة أحداث A6 (أعلى ثلاثة آثار)، مقارنة بمجمّع الأحداث A6 على المكون R للمحطة 15 (الرابع من الأعلى)، ومجمّع الأحداث نفسه بعد ترشيح الاستقطاب (الأسفل).





لقد أفرد العلماء اليوم للزلازل القمرية علماً قائماً بحد ذاته أطلقوا عليه اسم (علم الزلازل القمري) Lunar seismology وهو دراسة الحركات الأرضية للقمر والأحداث التي تثيرها، وعادة ما تكون الصدمات أو الزلازل القمرية.

وقد كان أحد الاكتشافات الرئيسية للزلازل القمرية هو الفهم المحسن لتركيب باطن القمر العميق، بما في ذلك وجود نواة داخلية صلبة وحدود حادة من نواة الوشاح وطبقة منصهرة جزئياً في قاعدة الوشاح القمري.

لقد أجريت تجارب الانكسار الزلزالي بنجاح على القمر بواسطة رُوَاد فضاء أبولو خلال البعثات 14 و 16 و 17 كجزء من مجموعة متكاملة من التجارب الجيوفيزيائية تدعى ALSEP (وتعني حزمة تجارب أبولو على سطح القمر). وقد كان الهدف الرئيسي من تجارب الانكسار الزلزالي القمري هو تحديد الخصائص المرنة بالقرب من سطح القمر. تم تناول العديد من الأسئلة المحددة. ما عمق الطبقة المجزأة، الثرى القمري، التي تغطي معظم سطح القمر؟ ما تركيب الثرى (هل هو متعدد الطبقات؟ هل هو متجانس جانبياً؟). كيف تزداد السرعة الزلزالية مع زيادة العمق في أعلى 5 كيلو مترات من القمر - بشكل سلس أم متدرج؟

يمكن تلخيص الاستنتاجات الرئيسية من التجارب الزلزالية النشطة على القمر على النحو الآتي: استنتج أن السرعات الزلزالية البالغة 104 و 108 و 92 و 114 و 100 متر / ثا للثرى القمري في مواقع هبوط أبولو 12 و 14 و 15 و 16 و 17، على التوالي. وتشير هذه البيانات إلى أن عملية التفتيت والتفكك بواسطة

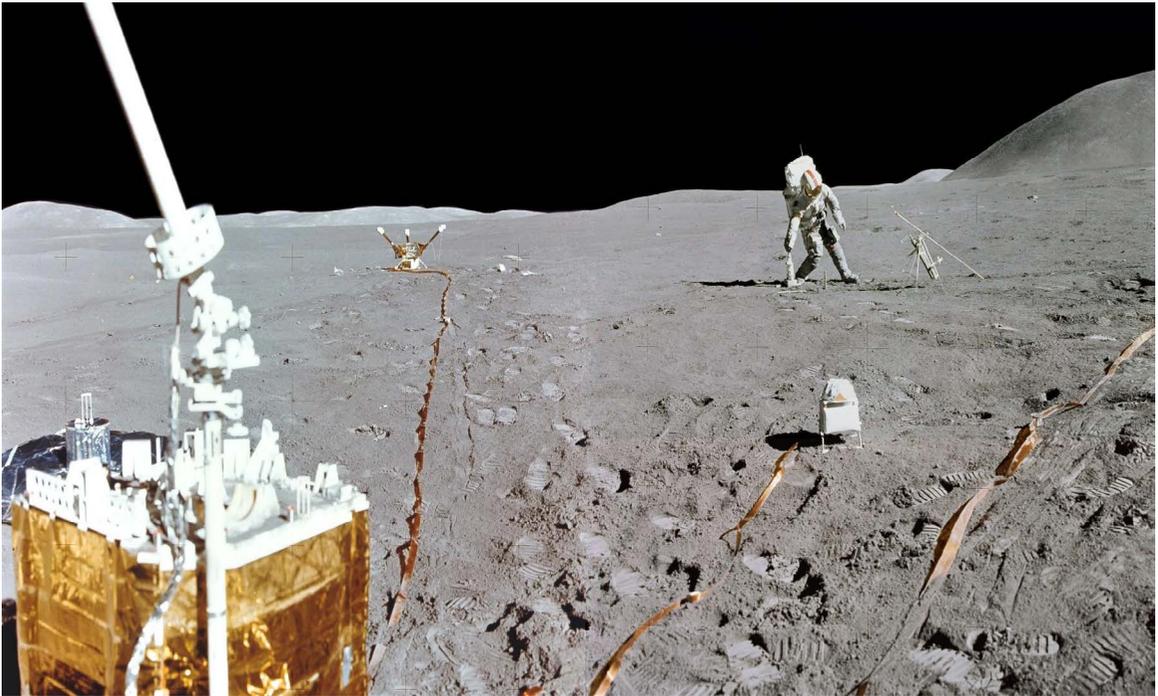




صدّات **النيازك** قد أنتجت طبقة ذات خصائص **زلزالية موحدة** بشكل ملحوظ على مستوى **القمر**. يعتبر التفسير والمسامية **العالية** من الأسباب **المحتملة** للسرعات المنخفضة جداً التي لوحظت في **الثرى القمري**.

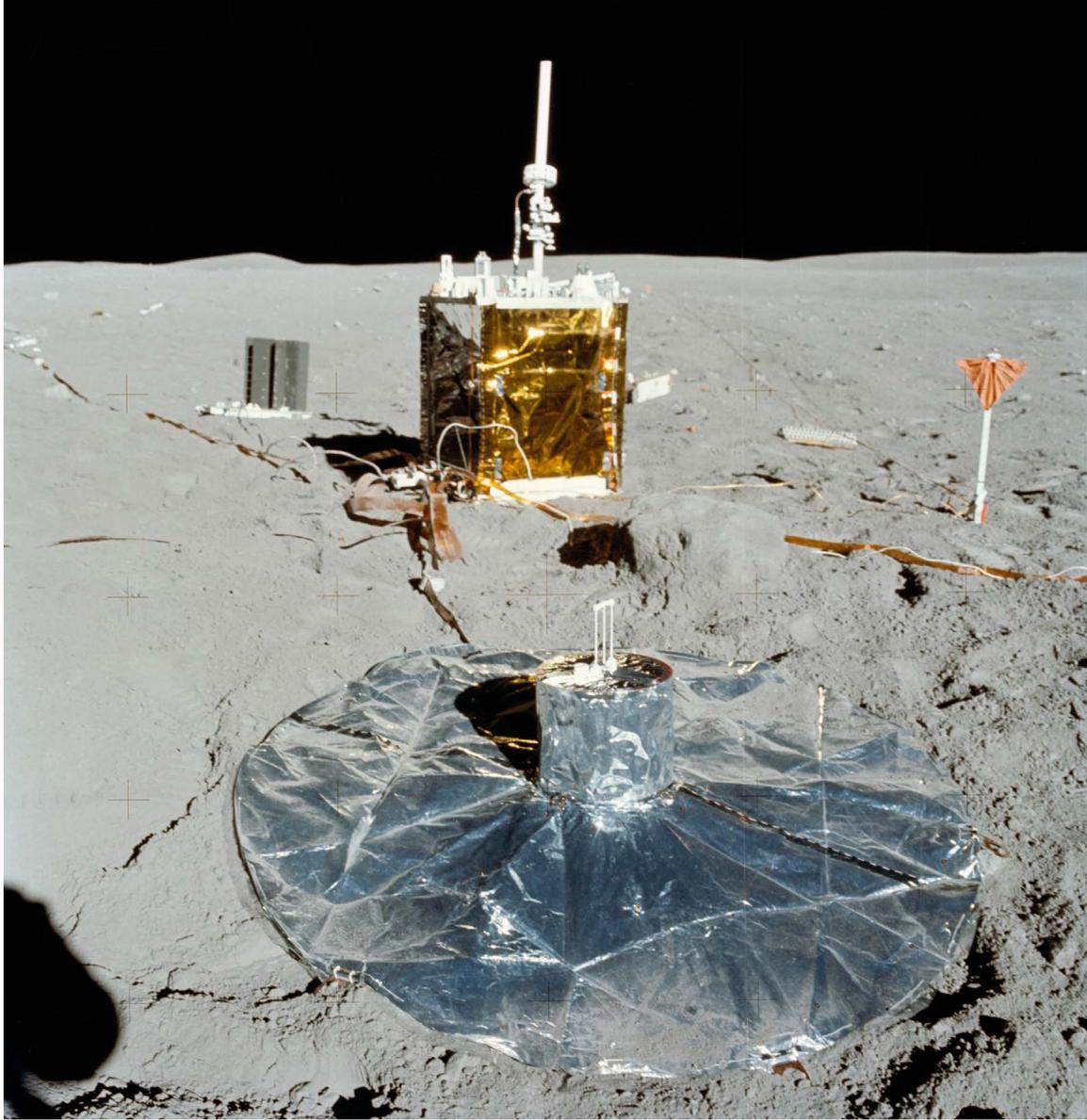
كشفت البيانات الزلزالية لأبولو 17- أن السرعة الزلزالية تزداد بسرعة كبيرة مع زيادة العمق في السطح القريب من القمر إلى 4.7 كيلو متر/ ثانية على عمق 1.4 كيلو متر. لا تتوافق هذه البيانات مع فكرة أن مسحوق الصخور الباردة يمتد إلى عمق كيلومتر واحد أو نحو ذلك في القمر. يتغير القدر الملحوظ لهذه السرعة مع العمق وتدرج عمق السرعة الحاد الضمني بمقدار أكبر من 2 كيلو متر/ ثانية، وهو كم أكبر بكثير مما لوحظ في التجارب العملية على المواد الحبيبية. مثل هذا التغيير الكبير في السرعة يوحي أكثر بالتغيرات التركيبية وبالنظر إلى الملاحظات الجيولوجية يتوافق هذا مع نموذج التدفقات البازلتية المتصدعة التي تعلق البريشيا المفترضة التي يُفترض أنها تشكل المرتفعات القمرية. كما رُصدت الزلازل القمرية «الحرارية» في موقع أبولو 17-، وصارت متكررة بشكل متزايد بعد شروق الشمس ووصلت إلى الحد الأقصى عند غروب الشمس. تبقى آلية مصدر هذه الزلازل لغزاً، لكن انزلاق الأرضية القمرية يمكن أن يكون المانع من تدهور كامل لجميع المنحدرات القمرية.





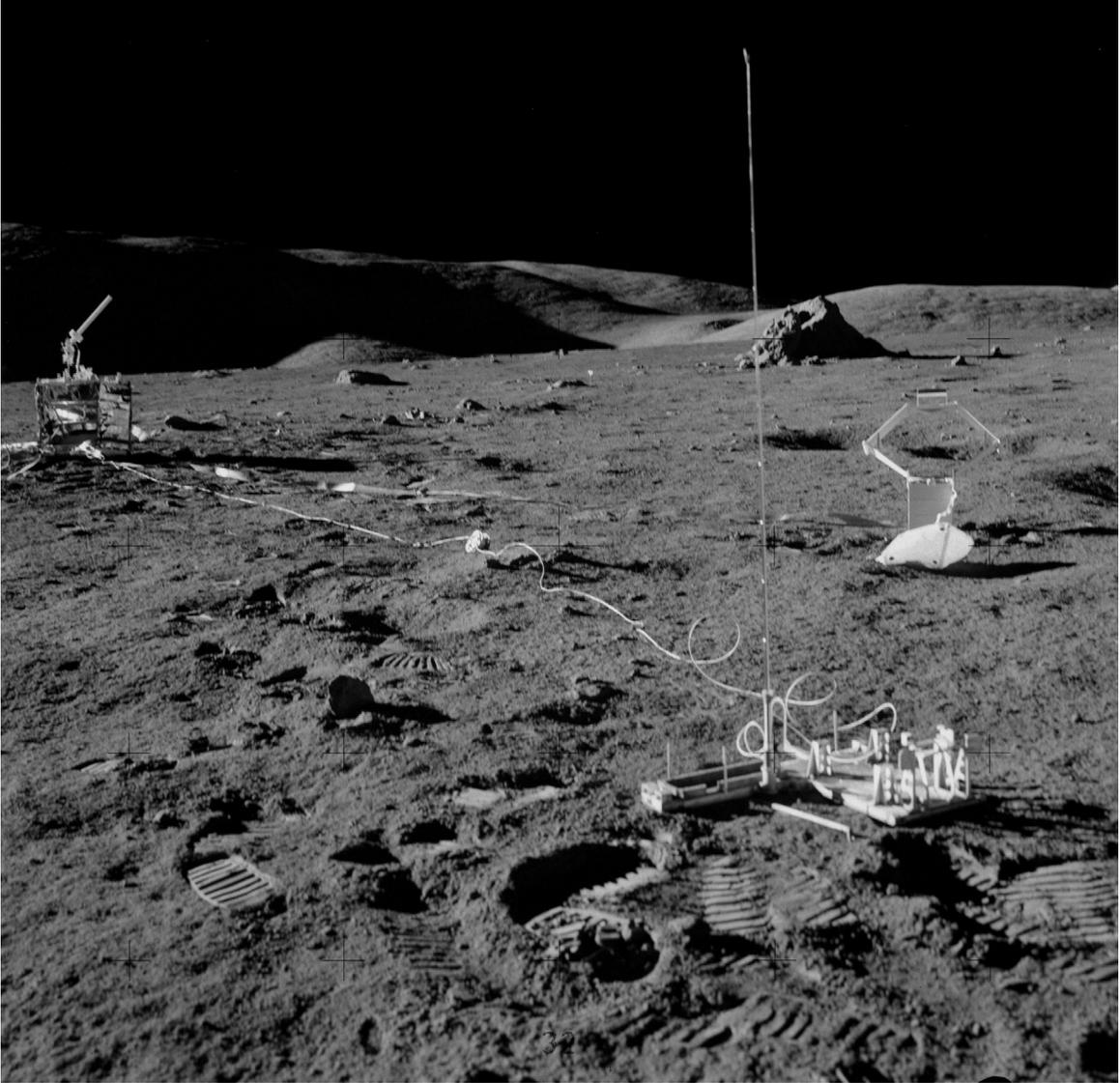
تُظهر الصورة محطة ALSEP المركزية في المقدمة التي وضعتها بعثة أبولو-15، والتجربة الزلزالية السلبية خلف الجانب الأيسر، ومقياس المغناطيسية على سطح القمر في الخلفية بالقرب من المركز. يميل قائد البعثة ديفيد سكوت إلى يمينه، ويقوم بإدخال مثقاب أبولو للسطح القمري المستخدم لأخذ العينات الأساسية وإعداد تجربة تدفق الحرارة. مطياف الرياح الشمسية في المقدمة اليمنى.





وضعت محطة أبولو - 16 الزلزالية السلبية (PSE) على سطح القمر بواسطة بعثة أبولو - 16 كجزء من حزمة أبولو لتجارب سطح القمر (ALSEP). وقد صممت هذه المحطة لاكتشاف الاهتزازات وإمالة سطح القمر وقياس التغيرات في الجاذبية في موقع الجهاز.





بالنسبة لأبولو - 17 أجريت تجربة التنميط القمري الزلزالي (LSPE) باستخدام الجيوفون في المحطة المبينة في الصورة، لاكتشاف النشاط الزلزالي القريب. وقد زودت المحطة بهوائي لإرسال البيانات للأرض. كما استخدم جهاز LSPE للكشف عن المتفجرات التي سيجري تفجيرها بواسطة الأوامر الأرضية بمجرد مغادرة رواد الفضاء للقمر.





## البراكين القمرية

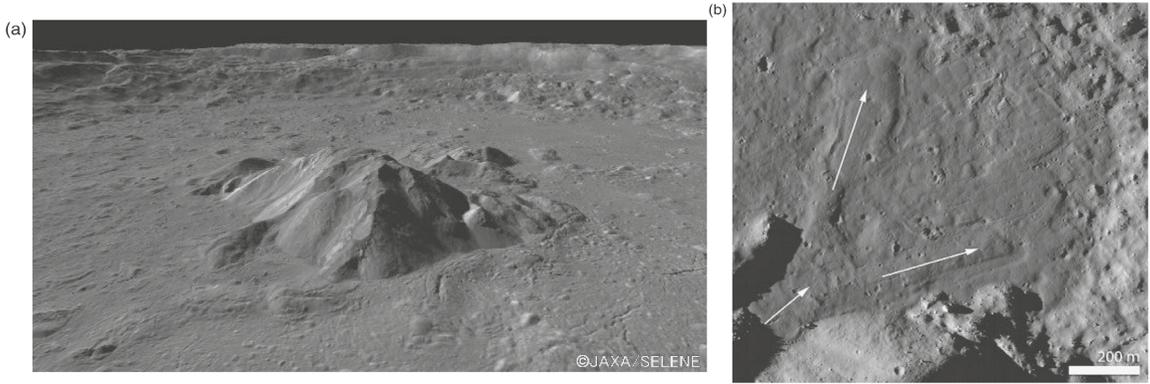
استمرت ادعاءات الحياة على القمر حتى وصول السابر الروسي في ستينيات القرن العشرين. وبينما كان العلماء متفقين على أن القمر لا يستطيع دعم حياة الحيوانات الكبيرة، ادعى البروفسور وليم بكرينغ، وهو عالم فلك كان يحظى باحترام في عصره، أنه رأى دليلاً على وجود أسراب كبيرة من الحشرات التي تعج وتضج على سطح القمر. وقد رصد بين سنتي 1919 و1924 من مرصده الشخصي في ماندفيل في جامايكا، بقع متفاوتة في الحجم على سطح القمر. نسب في البداية هذه البقع إلى الثلج والجليد وفيما بعد إلى الغطاء النباتي، وذكر بعد ذلك أن «البقع» غيرت من موقعها، وأن «المسافة المعنية حوالي عشرين ميلاً، وأنها تمت في اثني عشر يوماً.. حيث كما رأينا ينطوي ذلك على حيوانات صغيرة». نشرت هذه الأرصاد عن «الحشرات القمرية» بشكل واسع، ونظراً لمكانة البروفسور بكرينغ كفلكي محترم، لم يأخذ أحد هذه التقارير على محمل الجد أو فكر بدحض أرصاده المفصلة. تمت تسمية حفرة باسم البروفسور بكرينغ على سطح القمر. فكرة وجود حياة معقدة مثل الحشرات يمكن إيجادها على القمر لم تعد مقبولة بحلول ستينيات القرن العشرين، إنما الحياة على سطح القمر لا زالت ممكنة، وتم تصور أن البقع مثلت نباتاً بسيطاً أو كائنات حية مجهرية توسعت وتلاءمت مع أقصى درجات حرارة للقمر.

تتمثل ظاهرة البركنة Volcanism على القمر في وجود البراكين ورواسب الحمم البركانية وسهول الحمم البركانية الشاسعة على سطح القمر. عادة ما تكون البراكين على شكل قباب وأقماع صغيرة تشكل مجمعات بركانية كبيرة





وصروح معزولة. الكالديرات Calderas أو البحيرات البركانية، معالم الانهيار واسعة النطاق التي تشكلت بشكل عام في وقت متأخر من حلقة ثوران بركاني، نادرة بشكل استثنائي على القمر.



(a) منظر للقمة المركزية لتيخو صورتها المركبة المدارية اليابانية كاغويا. وهي فوهة بركان صغيرة جداً ذات أشعة ساطعة في نصف الكرة الجنوبي القريب من الجانب ويبلغ قطرها 85 كم. (b) صورة عالية الدقة من كاميرا الاستطلاع المداري القمرية تظهر الرواسب الذائبة على أرضية تيخو واتجاه الحركة أثناء انزلاق الذوبان في مكانه.

**ترسبات الحمم البركانية القمرية** هي نتيجة ثوران نافورة الحمم البركانية من الصحارة البازلتية المتطايرة التي تصعد بسرعة من مصادر الوشاح العميقة وتندلع كرهاذ من الصحارة، مكونة حبات زجاجية صغيرة. ومع ذلك، يُعتقد أيضاً أن رواسب الحمم البركانية التي تكونت عن طريق الانفجارات المتفجرة غير البازلتية الأقل شيوعاً موجودة على سطح القمر. تغطي سهول الحمم القمرية مساحات شاسعة من سطح القمر وتتكون أساساً من تدفقات بازلتية ضخمة. تحوي على عدد من المعالم البركانية المتعلقة بتبريد الحمم البركانية، بما في ذلك أنابيب الحمم البركانية Lava tubes، والأخاديد القمرية Rilles والتلال المتجعدة Wrinkle ridges.





الخرزات الداكنة عبارة عن زجاج بركاني من عينة تربة أبولو 15- القمرية، حيث تغطي الحبة المركزية بواسطة التراص، وهو مزيج من مكونات التربة الذائبة الناتجة عن الحرارة من الخرزة عند هبوطها، أو ربما بسبب تأثير صغير منفصل.

**لقد كان القمر نشطاً بركانياً معظم تاريخه،** حيث حدثت أولى الانفجارات البركانية منذ نحو 4.2 بليون سنة. كان النشاط البركاني أكثر شدةً بين 3.8 و 3 بلايين سنة، وخلال هذه الفترة تشكلت الكثير من سهول الحمم القمرية. كان يُعتقد في الأصل أن هذا النشاط قد تلاشى منذ نحو بليون عام، ولكن تشير الأدلة الحديثة إلى أن البراكين على نطاق أصغر ربما حدثت في الخمسين مليون سنة الماضية. حالياً لا يحوي القمر على براكين نشطة مع وجود كمية كبيرة من الصهارة تحت سطح القمر.





بعد تشكل الحفرة الناتجة عن الصدم، تعد البراكين هي العملية الأكثر انتشاراً التي أدت إلى تعديل القشرة القمرية. جرى الحفاظ على الكثير من هذا التعديل بسبب عدم وجود الصفائح التكتونية على القمر، كما أن سطح القمر قد تغير بشكل طفيف طوال التاريخ الجيولوجي للقمر. اقتصرت البراكين القمرية في الغالب على الجانب القريب من القمر حيث تعتبر سهول الحمم البازلتية هي السمة البركانية المهيمنة. في المقابل، لا تمثل المعالم الطبوغرافية البركانية، مثل: القباب والأقماع والدروع سوى جزء ضئيل من السجل البركاني القمري. لقد عثر على البراكين وسهول الحمم البركانية على جانبي القمر.

## • سهول الحمم البركانية

البحار القمرية هي سهول بازلتية كبيرة تغطي أكثر من 15% من سطح القمر. إنها أكثر المعالم البركانية وضوحاً على القمر، وتظهر على شكل معالم طبوغرافية داكنة عند رؤيتها بالعين المجردة. يميل الكثير منها إلى تغطية أراضي أحواض التصادم الكبيرة، وبالتالي فهي عادة ما تكون دائرية في الخطوط العريضة، مع بعض البحار الأصغر التي تملأ قيعان الحفر الناتجة عن الاصطدام.

يتراوح قطر البحار القمرية الرئيسية بين أكثر من 200 كيلومتر و 1400 كيلومتر ولا يتفوق عليها إلا المحيط الأكبر حجماً (محيط العواصف)، الذي يبلغ قطره نحو 2590 كيلومتراً. يتراوح سمكها عادةً بين 500 و 1500 متر، مع تدفقات حمم فردية تتراوح بين 10 و 20 متراً سميكاً. يشير هذا إلى أن كل بحر هو نتاج العديد من الأحداث البركانية المتداخلة.





حُدِّدَت أعمار البحار البازلتية عن طريق التأريخ الإشعاعي المباشر وتقنية عد الحفر. تتراوح أعمار القياسات الإشعاعية بين 3.16 و 4.2 بليون سنة، في حين أن الأعمار الأصغر التي جرى تحديدها من خلال تعداد الحفر هي نحو 1.2 بليون سنة. ومع ذلك، يبدو أن غالبية البحار البازلتية قد اندلعت منذ نحو 3 إلى 3.5 بليون سنة.

الانفجارات البازلتية القليلة التي حدثت على الجانب البعيد من القمر قديمة، في حين عُثِر على التدفقات الأصغر داخل محيط العواصف على الجانب القريب. وبينما العديد من البازلت إما اندلع داخل أو تدفق إلى أحواض منخفضة الصدم، فإن أكبر امتداد للوحدات البركانية هو محيط العواصف، لا يتوافق مع أي حوض صدم معروف.

لا يزال سبب وجود البحر البازلتي في الغالب في نصف الكرة القريب من القمر موضع نقاش من قبل المجتمع العلمي. استناداً إلى البيانات التي جرى الحصول عليها من بعثة Lunar Prospector، يبدو أن نسبة كبيرة من مخزون القمر من العناصر المنتجة للحرارة (في شكل KREEP) يقع داخل مناطق محيط العواصف وحوض الزخات، وهي مقاطعة جيوكيميائية فريدة يشار إليها حالياً بالاسم (PKT).

في حين أن التحسين في إنتاج الحرارة داخل (PKT) يرتبط بالتأكيد بطول العمر وشدة البراكين الموجودة هناك، إلا أنه لم يتفق على الآلية التي جرى من خلالها تركيز KREEP داخل هذه المنطقة.





## القباب القمرية

يوجد عدد من القباب القمرية Lunar Domes والأقماع على سطح القمر، ولكن من المحتمل أن تكون هذه المعالم مختلفة عن تلك الموجودة على الأرض. نظراً لأن الجاذبية على القمر لا تزيد على سدس الجاذبية الموجودة على الأرض، فإن البراكين القمرية قادرة على إلقاء المزيد من المقذوفات، مما يترك القليل ليتراكم بالقرب من الفتحة. بدلاً من تشكل المخروط البركاني، يجب أن تشكل هذه الانفجارات القمرية طبقة واسعة ورقيقة حول الفتحة. على الأرض، تتكون قباب الحمم البركانية من الحمم السميقة جداً. الحمم البازلتية أكثر سيولة وتميل إلى تكوين تدفقات حمم بركانية واسعة ومسطحة. على سطح القمر، يبدو أن معظم القباب والأقماع مصنوعة من البازلت. نتيجة لذلك، من غير المحتمل أن تكون قد تشكلت مثل قباب الأرض من الحمم السميقة غير البازلتية. بدلاً من ذلك، قد تشير القباب والأقماع القمرية إلى الأماكن التي كانت فيها البازلت المنفجرة بالكاد منصهرة.

نادراً ما توجد قباب القمر معزولةً. بدلاً من ذلك، تتشكل بشكل أكثر شيوعاً في مجموعات في جميع أنحاء سهول الحمم القمرية. من الأمثلة البارزة تلال ماريوس، وهي واحدة من أكبر المجمعات البركانية على القمر. وهي تتكون من عدة أقماع وقباب تحتل قمة تضخم طوبوغرافي عريض، الذي قد يكون مكافئاً للبركان الدرعي على سطح القمر. يرتفع المجمع من 100 إلى 200 متر من السهول المحيطة ويشكل على مساحته قدرها 35000 كيلومتر مربع هضبة من الحمم البركانية. جرى تحديد ما مجموعه 59 مخروطاً و 262 قبة يتراوح قطرها بين 2 و 25 كيلومتراً.





**جبل رومكر هو مجمع أصغر يشبه** في مظهره تلال ماريوس. وهي تتألف من هضبة تبلغ مساحتها نحو 2000 كيلومتر مربع وترتفع 200 إلى 1300 متر فوق السطح المحيط. تم تحديد ثلاث وحدات بازلتية رئيسية تتراوح أعمارها بين 3.51 و 3.71 بليون سنة في جبل رومكر، مع أن أصغر المعالم البركانية قد تكون قباباً شديدة الانحدار على سطح الهضبة. يوجد أكثر من 20 قبة فوق الهضبة وهي أبرز التضاريس البركانية لجبل رومكر.

**يوجد معلم يشبه المخروط البركاني**، يُسمى القبة الشرقية، بالقرب من حافة كالديرا الشرقية. لديها اتجاه أكثر أو أقل بين الشمال والجنوب، بطول 12 كيلومتراً وعرض 7 كيلومترات. وإلى الشمال مباشرة من كالديرا يوجد معلم يسمى القبة الصغيرة Little Dome، يبلغ قطرها 500 متر. وإلى الشمال توجد قبة مستطيلة، موجهة نحو الشمال والجنوب، تسمى القبة الوسطى. يبلغ طولها 2.5 كيلومتر وعرضها 0.6 كيلومتر. تحوي كل من القبة الصغيرة والقبة الوسطى على صخور في الأعلى قد تكون كتل بركانية. تقع القبة الكبيرة، والمعروفة أيضاً باسم القبة الشمالية، في أقصى الشمال عند حافة CBVC. يبلغ قطرها 2.5 كيلومتر مع انخفاض في القمة. أعطى توزيع تغير حجم الحفرة الصغيرة نتائج غير حاسمة لتوقيت النشاط البركاني CBVC، حيث تتراوح الأعمار من أقل من بليون سنة إلى أكثر من 3 بلايين سنة.





## • أنابيب الحمم البركانية

مع أن أنابيب الحمم البركانية Lava tubes معروفة منذ فترة طويلة بوجودها على الأرض، إلا أنه لم يجر التأكد إلا مؤخراً نسبياً من وجودها أيضاً على القمر. يُكشف عن وجودها أحياناً من خلال وجود (كوة)، وهو المكان الذي انهار فيه سقف الأنبوب، تاركاً ثقباً دائرياً يمكن رصده بواسطة المركبات المدارية القمرية.

المنطقة التي تعرض أنبوب الحمم هي منطقة ماريوس هيلز. في عام 2008، ربما جرى اكتشاف فتحة لأنبوب الحمم البركانية في هذه المنطقة بواسطة مركبة الفضاء اليابانية كاغويا Kaguya. جرى تصوير الكوة بمزيد من التفصيل في عام 2011 بواسطة مركبة الاستطلاع المدارية القمرية التابعة لناسا، التي تُظهر أن الحفرة التي يبلغ عرضها 65 متراً وأرضية الحفرة على بُعد 36 متراً أسفل منها. قد تكون هناك أيضاً أنابيب حمم بركانية في بحر الصفاء Mare Serenitatis.

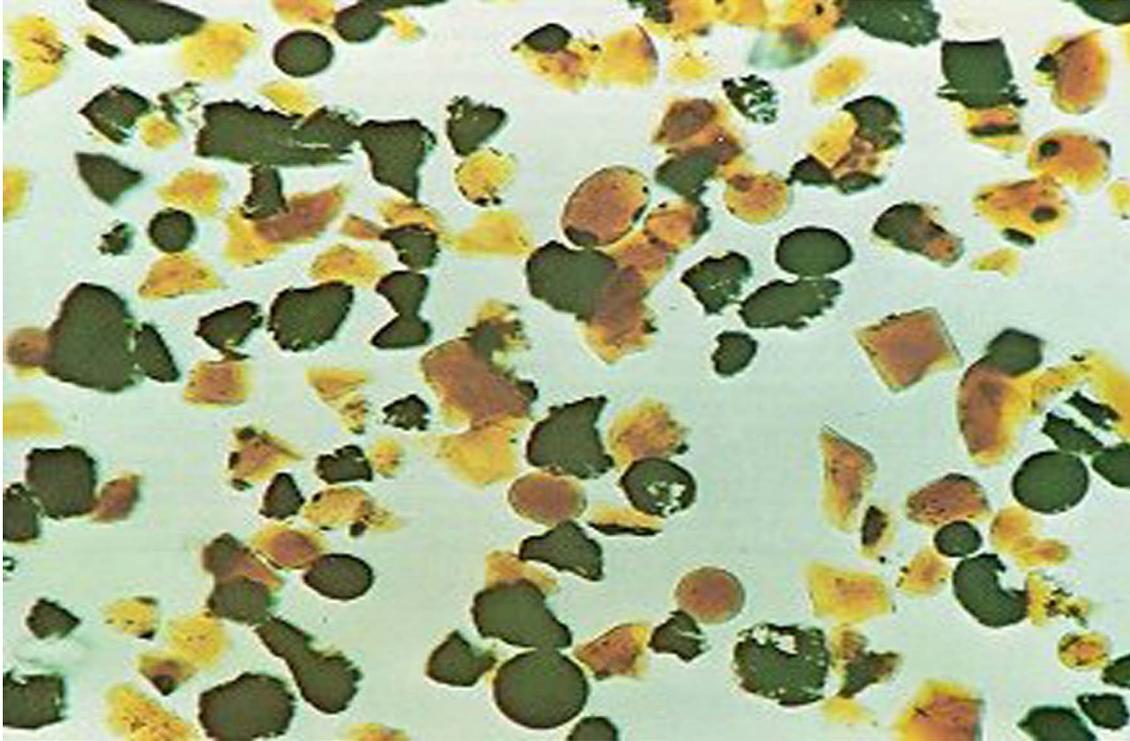
قد تكون أنابيب الحمم القمرية بمثابة تجمعات سكنية للبشرية مستقبلاً. قد توجد أنفاق يزيد قطرها على 300 متر، وتقع تحت 40 متراً أو أكثر من البازلت، مع درجة حرارة ثابتة تبلغ 20- درجة مئوية. توفر هذه الأنفاق الطبيعية الحماية من الإشعاع الكوني، والإشعاع الشمسي، والنيازك، والنيازك الدقيقة، والمقذوفات من الصدمات. وهي معزولة عن التغيرات الشديدة في درجات الحرارة على سطح القمر ويمكن أن توفر بيئة مستقرة للسكان.





## • رواسب البيروكلاستيك

بالقرب من حواف البحار القمرية توجد طبقات داكنة من المواد تغطي عدة آلاف من الكيلومترات المربعة. تحوي على العديد من الكرات الصغيرة من الزجاج البرتقالي والأسود التي ربما تكونت من الحبات الصغيرة من الحمم البركانية التي بردت بسرعة كبيرة. يُعتقد أن هذه الحبات ناتجة عن ثورات بركانية نافورة الحمم البركانية التي كانت أكبر من تلك الموجودة على الأرض. أكبر الرواسب المعروفة تحدث في منطقة طوروس-ليترو، وهضبة أريستارخوس في الجانب القريب من القمر.



حبات زجاجية أنتجتها الانفجارات البركانية القديمة على القمر وجمعها رُؤاد بعثات أبولو.





يبلغ قطر العديد من رواسب الحمم البركانية الصغيرة بضعة كيلومترات فقط وتقع دائماً بالقرب من البحار أو في أرضيات حفرة كبيرة، مع أن العديد منها يقع أيضاً على طول خطوط صدوع واضحة. من المحتمل أن تكون ناتجة عن انفجارات بركانية صغيرة لأن معظمها يحوي على حفرة عادية أو حفرة مركزية صغيرة ممددة أو غير منتظمة الشكل. حفظ الأمثلة على طول حافة أرضية فوهة ألفونسو، وهي فوهة صدمية على الحافة الشرقية لبحر الغيوم. تمتد نحو 7 كيلومترات من الشرق إلى الجنوب الشرقي من CBVC وهي منطقة عاكسة جداً قد تكون رواسب تدفق الحمم البركانية. وتظهر البقايا المتفجرة أيضاً منتشرة في الشرق لنحو 300 كيلومتر، تغطي مساحة 70000 كيلومتر مربع. يرجع الحجم الكبير لهذا الرواسب البركانية إلى الجاذبية المنخفضة للقمر، وكما أن الانفجار البركاني العملاق من CBVC كان قادراً على نشر الحطام على مساحة أكبر بكثير مما يمكن أن يكون ممكناً على الأرض.

## • الأخاديد القمرية

هي المنخفضات الطويلة والضيقة في سطح القمر والتي تشبه القنوات. لا يزال يتعين تحديد تكوينها الدقيق، ولكن من المحتمل أن تكون قد تشكلت من خلال عمليات مختلفة. على سبيل المثال، تتعرج الأخاديد القمرية في مسار منحني مثل النهر الأرضي، ويُعتقد أنها تمثل قنوات الحمم البركانية أو بقايا أنابيب الحمم المنهارة. عادة ما تبدأ من هياكل حفرة صغيرة يُعتقد أنها كانت فتحات بركانية. وادي شروتر بين بحر الزخات ومحيط العواصف هو أكبر الأخاديد القمرية. مثال بارز آخر هو أخدود هادلي، الذي تشكل منذ ما يقرب من 3.3 بليون سنة.





تتميز الأخاديد القمرية المقوسة بمنحنٍ سلسٍ، وتوجد على حواف البحار القمرية المظلمة. ويعتقد أنها تشكلت من تدفقات الحمم البركانية التي أوجدت بحراً، تبرد وتقلص وغرق. عُثر على هذه الأخاديد في جميع أنحاء القمر، ويمكن رؤية أمثلة بارزة منها بالقرب من الحدود الجنوبية الغربية لبحر الهدوء وعلى الحدود الجنوبية الشرقية الغربية لبحر الرطوبة.

## • أحواض الصدم

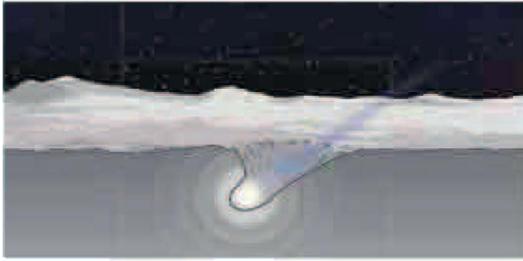
تتحكم أحواض الصدم Impact basins في جزء كبير من جيولوجيا القمر. الأحواض الكبيرة (بعرض 300-2500 كيلومتر) هي منخفضات دائرية تقريباً على القمر تشكلت عندما ضربت نيازك أو كويكبات أو مذنبات كبيرة جداً سطح القمر منذ بلايين السنين. تنتج مثل الصدمات الكبيرة تصدعات وتشوهات أخرى في القشرة الأرضية على أجزاء كبيرة من القمر.

المواد المقذوفة من الأحواض مبعثرة على مساحات واسعة. العديد من الأحواض متعددة الحلقات حيث تحوي على سلسلة من الحافات متحدة المركز. يعد الحوض الشرقي، الذي يبلغ عرضه 1000 كيلومتر، والذي يقع على الطرف الغربي (بعيداً عن المنظر التلسكوبي)، مثلاً رائعاً على حوض متعدد الحلقات. تبدو حلقاته مثل موجات الصدمة المجمدة أو التموجات في القشرة القمرية. تشكل الحلقتان الداخليتان جبال الروك Rook Mountains الداخلية والخارجية، بينما تشكل الحلقة الخارجية التي يبلغ قطرها 930 كيلو متراً جبال كوردلييرا Cordillera Mountains. يعد الحوض الشرقي أصغر حوض صدم رئيسي (يبلغ



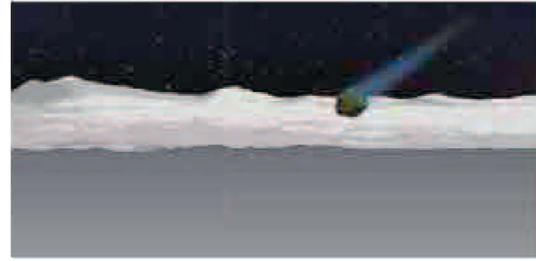


عمره 3.84 مليار سنة) وله تركيب محفوظ جيداً يتضمن رواسب ضخمة من المقذوفات. يحوي الحوض على كمية صغيرة فقط من **بازلت البحار** تغطي الجزء الداخلي منه.



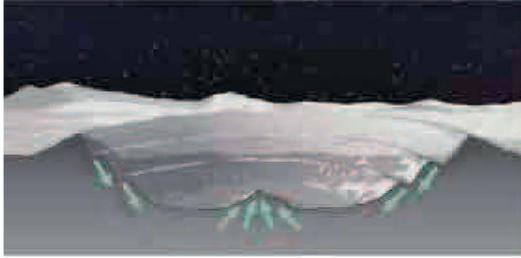
2 التأثير الأولي

يخلق التأثير موجة صدمة تبخر النيوزك وتموجات في القشرة ، وتضغطها وتسخنها على طول مقدمة صدمية على شكل وعاء.



1 صخرة قادمة من الفضاء

تقترب النييازك من سطح القمر بسرعات متنوعة ، اعتماداً على ما إذا كانت تلحق بالقمر أو تقابله وجهاً لوجه.



4 حفرة

والنتيجة هي انخفاض سطحي. في فوهة بركان كبيرة ، قد تتردد القشرة لتشكيل قمة مركزية ؛ قد تنهار الجوانب تحت ثقلها لتشكيل المدرجات.



3 دثار الطرد

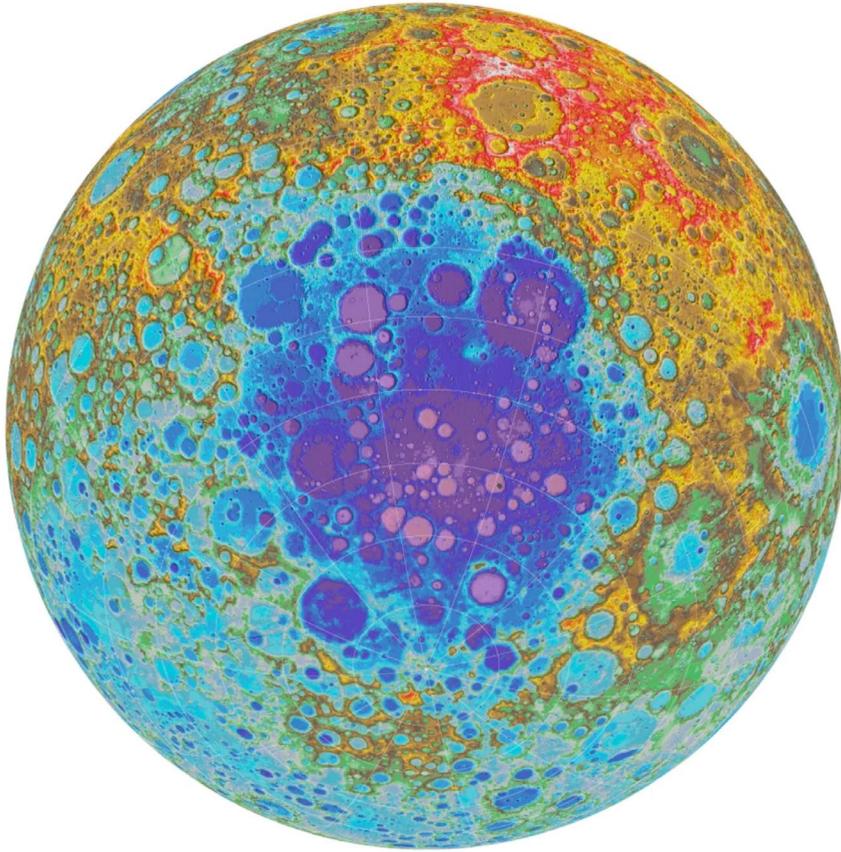
مع مرور موجة الصدمة ، يتم إلقاء المواد من موقع الهبوط ، مما يشكل طبقة من الحطام على المناظر الطبيعية المحيطة المعروفة باسم دثار الطرد.

لقد قدمت فوهات الصدم المحفوظة بشكل جيد على القمر لعلماء الفلك فهماً تفصيلياً لعملية تكوين الفوهة. يُحدّد حجم وشكل الحفرة بشكل أساسي من خلال الطاقة الحركية للجسم الوارد (مزيج من سرعته وكتلته).





أما أكبر حوض صدم فهو حوض القطب الجنوبي - أيتكين (SPA) South Pole-Aitken Basin. يبلغ عرضه 2500 كيلومتر وعمقه 12 كيلومتراً، ويقع في القطب الجنوبي على الجانب الآخر من القمر. كما عثر على حوض الزخات (عرضه 1800 كيلومتر)، وحوض الأزيمات (عرضه 1100 كيلومتر) على الجانب القريب.

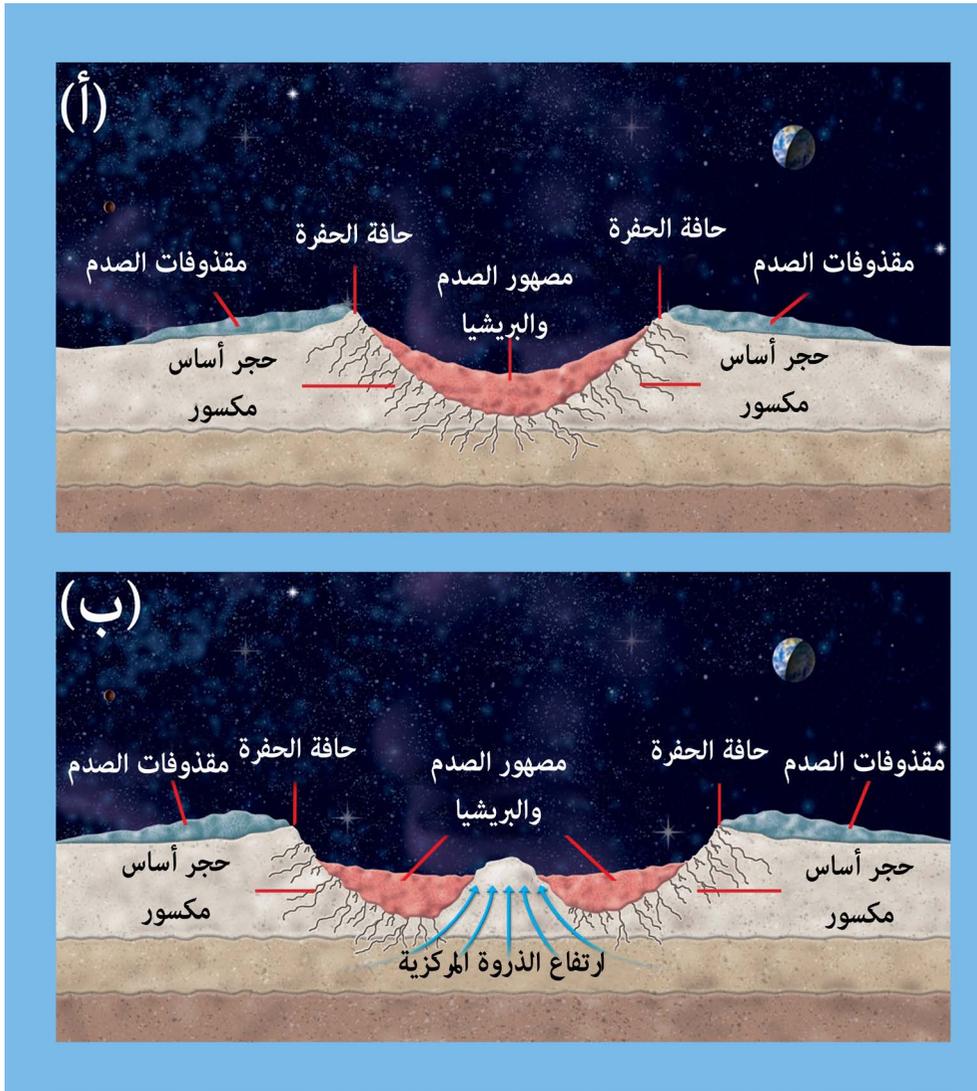


يُعد حوض القطب الجنوبي - أيتكين على الجانب البعيد من القمر أحد أكبر وأقدم معالم الصدم في النظام الشمسي. يمكن رؤيته بسهولة في بيانات الارتفاع. المركز المنخفض هو الأزرق الداكن والأرجواني. الجبال على حافتها، بقايا حلقات خارجية، حمراء وصفراء.





من الصعب رؤية الأحواض الأصلية اليوم لأن العديد منها قد تآكل بعيداً عن طريق صدمات النيازك اللاحقة ومُلىء بالحطام المتناثر وتدفقات الحمم البركانية من الانفجارات البركانية.



نوعا الفوهات: (أ) البسيطة، و(ب) المعقدة.



## • النشاط البركاني الأخير

في عام 2014، أعلنت وكالة ناسا عن (دليل واسع النطاق على وجود براكين قمرية فتية) في 70 بقعة بحر غير منتظمة جرى تحديدها بواسطة مركبة الاستطلاع المدارية القمرية، التي يقل عمر بعضها عن 50 مليون سنة. يثير هذا احتمال ارتفاع درجة حرارة الوشاح القمري أكثر مما كان يُعتقد سابقاً، على الأقل في الجانب القريب حيث تكون القشرة العميقة أكثر دفئاً بسبب التركيز الأكبر للعناصر المشعة. قبل ذلك بقليل، قدم دليل على مدى 2-10 مليون سنة من البراكين البازلتية الأصغر سناً داخل فوهة البركان لويل، الواقعة في المنطقة الانتقالية بين الجانبين القريب والبعيد من القمر. يمكن أن يكون الوشاح الأكثر سخونة في البداية و / أو التخصيب المحلي للعناصر المنتجة للحرارة في الوشاح مسؤولاً عن الأنشطة المطولة أيضاً على الجانب البعيد من الحوض الشرقي.





## الماء على القمر

تناقلت الأجيال الكثير من قصص انعكاس صورة القمر على الماء. مثل قصة الثعلب والهرة التي استطاعت أن تُفلت من الثعلب الشرير الذي يريد أن يفترسها بأن دلتته على مخزن الجبن في البحيرة، التي كانت عبارة عن انعكاس صورة القمر على سطح ماء البحيرة، قفز الثعلب، ويبدو أنه كان لا يجيد السباحة، فغرق ونفق.

**ولكن اليوم،** فقد ثبت للعلماء أن الماء موجود على القمر، ويمكنك أن تصنع منه بركة ماء مستقبلاً وتسبح فيها!

**لكن كيف يمكن للماء أن يوجد على القمر مع أنه أكثر جفافاً من الصحراء الكبرى بمائة مرة؟**

في عام 2020، أكدت بيانات بعثة صوفيا SOFIA التابعة لوكالة ناسا وجود الماء في المنطقة المضاءة بنور الشمس على سطح القمر كجزئيات من الماء مضمنة داخل حبيبات الغبار القمري أو ربما تلتصق بسطحها.

يمكن أن تبقى جزئيات الماء المنتشرة على سطح القمر المضاءة بنور الشمس، كما اكتشفه مرصد صوفيا التابع لناسا في عام 2020. يتحلل بخار الماء تدريجياً بفعل ضوء الشمس، مما يؤدي إلى فقدان الهيدروجين والأكسجين في الفضاء الخارجي. وجد العلماء جليداً مائياً في الحفر المظلمة بشكل دائم في أقطاب القمر. توجد جزئيات الماء أيضاً في الغلاف الجوي القمري الرقيق جداً.

**الماء (H<sub>2</sub>O)، ومجموعة الهيدروكسيل المرتبطة كيميائياً (OH-)**، موجودة في أشكال مرتبطة كيميائياً مثل هيدرات وهيدروكسيدات مع معادن قمرية (بدلاً



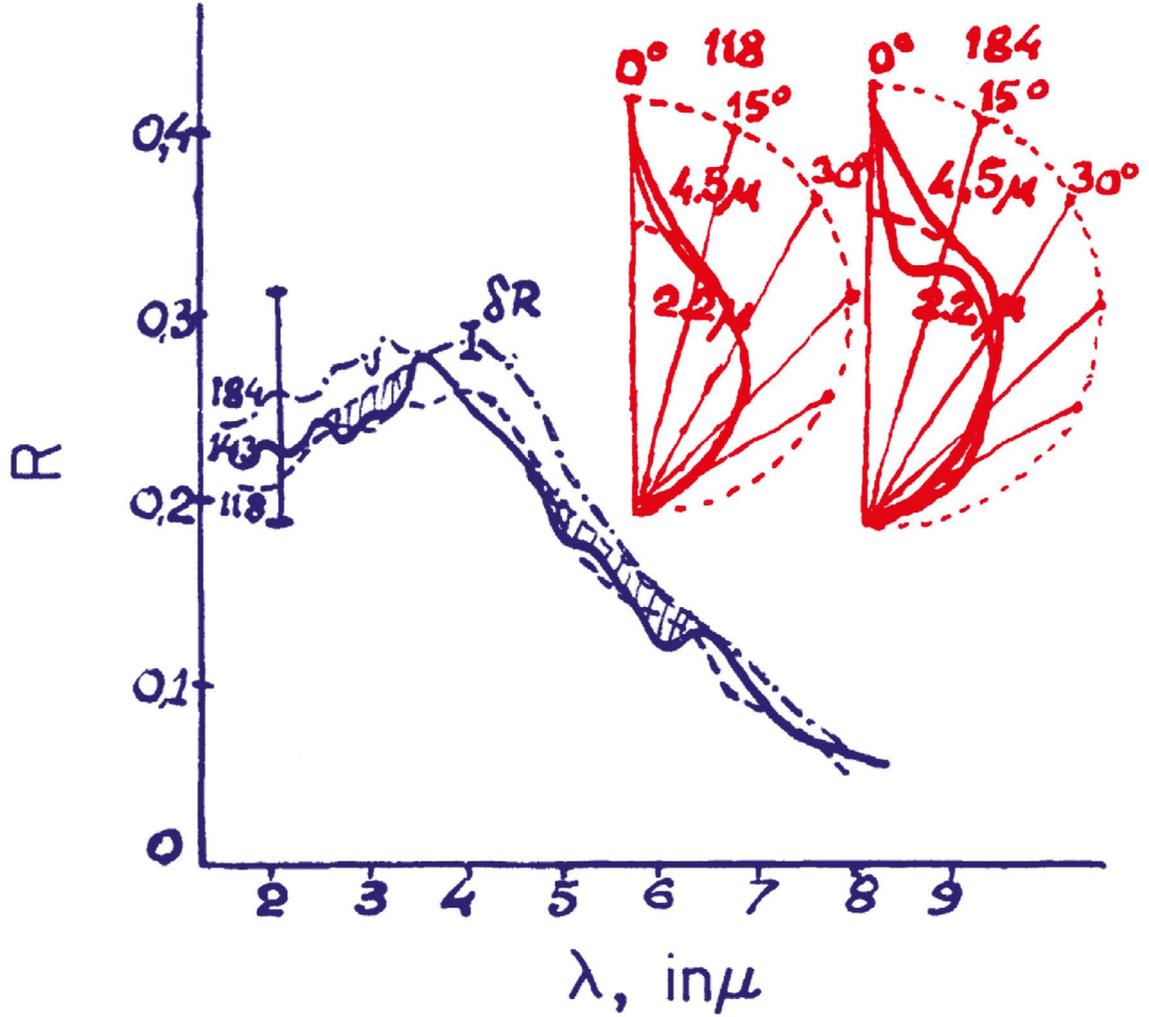


من الماء الحر)، وتشير الأدلة بقوة إلى أن هذا هو الحال في التركيزات المنخفضة كما هو الحال بالنسبة للكثير من مناطق سطح القمر.

في الواقع، بالنسبة للمادة السطحية، يُحسب وجود الماء المتمز بتركيزات ضئيلة تتراوح بين 10 و 1000 جزء في المليون. كما تراكمت أدلة غير قاطعة على وجود جليد مائي حر في القطبين القمريين خلال النصف الثاني من القرن العشرين من خلال مجموعة متنوعة من الملاحظات التي تشير إلى وجود هيدروجين مرتبط.

في 18 أغسطس 1976، هبط السابر السوفيتي Luna 24 في بحر الشدائد، وأخذ عينات من أعماق 118 و 143 و 184 سم من الثرى القمري، ثم أعادها إلى الأرض. في فبراير 1978، نُشر أن التحليل المختبري لهذه العينات أظهر أنها تحوي على 0.1% ماء من الوزن.

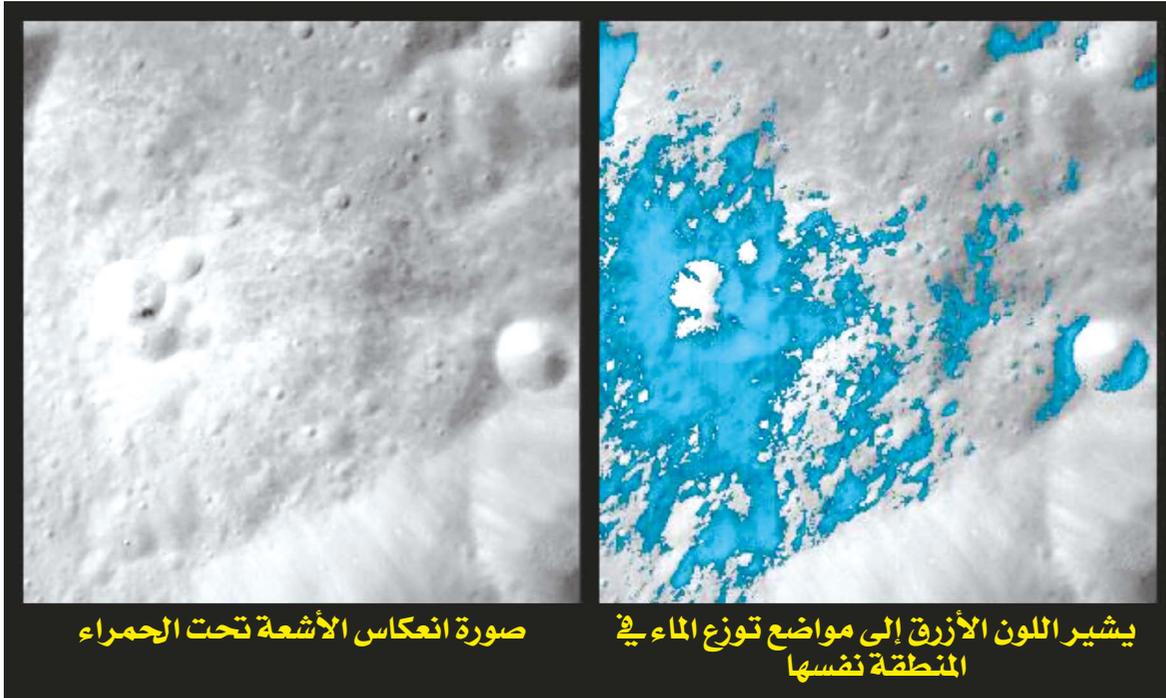




أطياف الانعكاس المنتشرة لعينات الثرى القمري المستخرجة على أعماق 118 و 184 سم بوساطة المسبار السوفيتي Luna 24 لعام 1976 الذي يظهر الحدود الدنيا بالقرب من 3 و 5 و 6 ميكرومتر، نطاقات اهتزاز التكافؤ لجزيئات الماء.



في 24 سبتمبر 2009، أفيد أن مطياف Moon Mineralogy Mapper (M3) التابع لوكالة ناسا على متن مسبار ISRO Chandrayaan-1 الهندي قد اكتشف ميزات امتصاص قريبة من 2.8-3.0 ميكرومتر على سطح القمر. في 14 نوفمبر 2008، صنعت الهند سابر صدم القمر على متن المركبة المدارية Chan-drayaan-1 وهبط في فوهة شاكلتون وأكدت وجود جليد مائي. بالنسبة لأجسام السيليكات، تُسبب هذه الميزات عادةً إلى الهيدروكسيل و / أو المواد الحاملة للماء. في أغسطس 2018، أكدت وكالة ناسا أن مطياف (M3) أظهر وجود جليد مائي على السطح عند أقطاب القمر. جرى تأكيد وجود الماء على سطح القمر المضاء بنور الشمس بواسطة وكالة ناسا في 26 أكتوبر 2020.



صورة انعكاس الأشعة تحت الحمراء

يشير اللون الأزرق إلى مواضع توزع الماء في المنطقة نفسها

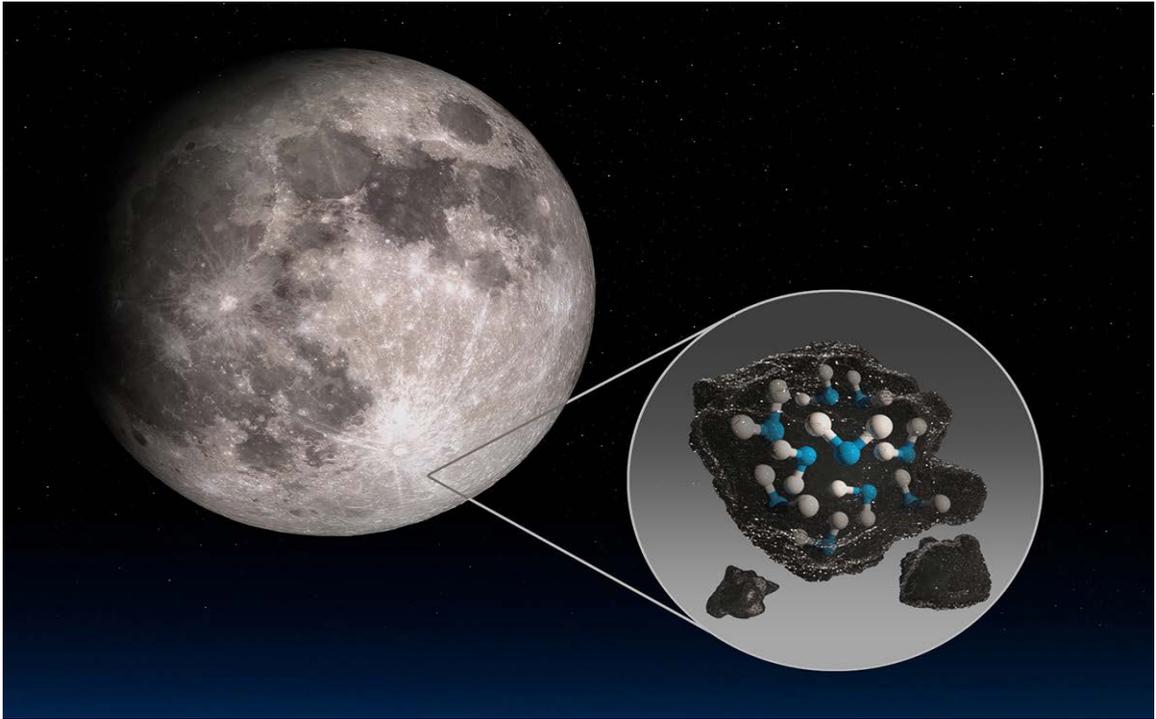
تُظهر هذه الصور فوهة قمرية صغيرة جداً على الجانب البعيد، كما تم تصويرها بواسطة Moon Mineralogy Mapper على متن Chandrayaan-1.





ربما وصل الماء إلى القمر على مدى فترات زمنية جيولوجية عن طريق القصف المنتظم للمذنبات الحاملة للماء والكويكبات والنيازك أو تم إنتاجه باستمرار في الموقع بواسطة أيونات الهيدروجين (البروتونات) للرياح الشمسية التي تؤثر في المعادن الحاملة للأكسجين.

اجتذب البحث عن وجود المياه القمرية اهتماماً كبيراً وحفز العديد من الرحلات القمرية الأخيرة، ويرجع ذلك إلى حد كبير إلى فائدة المياه في جعل السكن على القمر على المدى الطويل أمراً ممكناً.



رسم توضيحي لجزيئات الماء على سطح القمر. أكدت مركبة الفضاء صوفيا SOFIA التابعة لوكالة ناسا وجود الماء على سطح القمر المضاء بنور الشمس في عام 2020.





## العودة لاستكشاف القمر

نشر كاتب الخيال العلمي ه. ج. ويلز. عام 1901 روايته (الرجال الأوائل على القمر) وهي تروي قصة اثنين من المسافرين: أحدهما عالم وهو السيد كافور، والآخر رجل أعمال شاب هو السيد بيدفورد، اللذان يسافران إلى القمر. يصير في عصرهما القيام بالسفر محتمل وذلك من خلال تطوير معدن ثوري جديد له خصائص مضادة للجاذبية. يطيران بمركبتهما الفضائية بتحكم اتجاهي للمعدن الجديد، ويهبطان على القمر تماماً قبل الفجر، عندما كانت درجة حرارة السطح باردة جداً حيث الجو القمري يصل إلى درجة التجمد. على أية حال، وعندما يعود ضوء الشمس في أثناء النهار، ينفجر السطح صاعداً بوفرة من الغطاء النباتي. تستهلك هذا الغطاء وحوش نباتية عملاقة ترعاها مخلوقات تشبه النمل بحجم إنسان وتعيش أسفل السطح القمري في كهوف كبيرة واسعة محاطة بمحيط شاسع داخلي. ينتهي الأمر بمخترع نظام الدفع الذي تقطعت به السبل على القمر بينما يعود الشاب إلى الأرض. يرسل العالم المأسور سلسلة من الرسائل إلى الأرض، حيث يصف حياته في هذا المجتمع الجديد. تتوقف في نهاية الأمر هذه الرسائل ولم يعد هناك استعمال أكثر لخصائص المعدن الجديد.

هذا عن أخبار الرجال الأوائل على القمر، لكن ماذا عن أخبار الرجال والنساء الأواخر؟

لقد حددت وكالة الفضاء ناسا الأولويات العلمية لبعثة أرتيميس 3 Artemis III، التي سترسل أول امرأة وأول رجل غير أبيض إلى القمر في عام 2024. تم تضمين الأولويات ومجموعة الأنشطة المرشحة في تقرير جديد.





كانت الوحدة القمرية لأبولو 17-، تشالنجر، ورائدا الفضاء **جين سيرنان** (في الصورة) و**جاك شميت** (ينعكس في خوذة سيرنان) في وادي **توروس ليترو** على القمر آخر من قاما برحلات طويلة في عام 1972، ويبدو أنهما لن يكونا الأخيرين.





من خلال بعثات أرتيميس، ستهبط ناسا على سطح القمر باستخدام تقنيات مبتكرة لاستكشاف المزيد من سطح القمر أكثر من أي وقت مضى. ستتعاون مع شركاء تجاريين ودوليين وتؤسس أول وجود طويل الأمد على سطح القمر. بعد ذلك، سوف تستخدم ما تعلمته حول القمر لاتخاذ القفزة العملاقة التالية: إرسال رواد الفضاء الأوائل إلى المريخ.

ستعود إلى القمر من أجل الاكتشافات العلمية والفوائد الاقتصادية والإلهام لجيل جديد من المستكشفين: إنه جيل أرتيميس. مع الحفاظ على الريادة الأمريكية في الاستكشاف، ستبني تحالفاً عالمياً وتستكشف الفضاء السحيق لصالح الجميع.

ستساعد هذه التحقيقات ذات الأولوية العالية العلماء على فهم أفضل للعمليات الكوكبية الأساسية التي تعمل عبر النظام الشمسي وخارجه. بالإضافة إلى ذلك، أعطى الفريق الأولوية للتحقيقات التي ستساعد ناسا على فهم المخاطر والموارد المحتملة للقطب الجنوبي للقمر، حيث تأمل الوكالة في تأسيس مفهوم معسكر قاعدة أرتيميس بحلول نهاية العقد.

سنقوم ببناء معسكر قاعدة أرتيميس على السطح والبوابة في مدار حول القمر. ستسمح هذه العناصر للروبوتات ورواد الفضاء باكتشاف المزيد وإجراء المزيد من العلوم أكثر من أي وقت مضى.





سيقوم رواد الفضاء في مشروع أرتيميس بالتحضير لإنشاء مستعمرة على سطح القمر.





## ها قد عُدنا من رحلتنا...

في كل يوم تنظر فيه إلى القمر وهو يزهو في السماء  
- خصوصاً يوم 14 - اشكر الله على أن أوجده، واحلم بأن  
يكون لك على سطحه يوماً ما منزل للسياحة والاصطياف.





## المراجع

Alan Chu, (2011), Photographic Moon, Hong Kong.

APOLLO 14 AND 16 (April 1976). Active Seismic Experiments and APOLLO 17 Lunar Seismic Profiling, NASS, Houston.

Bastin, J. A., Pandya, S. J., & Upson, D. A., Thermal Gradients in the Outer Lunar Layers, The Moon, Proceedings from IAU Symposium no. 47 held at the University of Newcastle-Upon-Tyne England, 22-26 March, 1971. Edited by S. K. Runcorn and Harold Clayton Urey. International Astronomical Union. Symposium no. 47, Dordrecht, Reidel, p.372

Claudio Vita-Finzi & and Dominic Fortes, (2013). Planetary Geology, 2nd edition, Dunedin Academic Press Ltd, London.

Edgar Williams, (2014), Moon, Reaktion books, London.

Gunter Faure & Teresa Mensing, (2007). Introduction to Planetary Science: The Geological Perspective, Springer, Dordrecht.

Jacqueline Mitton, DK, (2009). Eyewitness Moon, London.

John Wilkinson (2010), The Moon in Close-up, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

Linda T. Elkins-Tanton, (2006), Earth and the Moon, Chelsea House, New York.

Motomaro Shirao & Charles A. Wood, (2011), The Kaguya Lunar Atlas, Springer, New York.





Renee C. Weber, Pei-Ying Lin, Edward J. Garnero, Quentin Williams, Philippe Lognonné (2011), Seismic Detection of the Lunar Core, SCIENCE, VOL 331 21 JANUARY.

Ronald Greeley, (2013). Introduction to Planetary Geomorphology, , Cambridge University Press, 1st edition, Cambridge.

Scott, Elaine (2015), Our moon, Clarion Books, New York.

Smithsonian Institution, (2017). Super Earth Encyclopedia, DK, London.

Smithsonian Institution, (2011), Violent Earth, DK, London.

Smithsonian Institution, (2014), The Planets, DK, London

The Moon, (2019), 1st edition, Future PLC, Dorset.

Tom Kerss, HarperCollins Publishers, (2018). Moongazing: Beginner's Guide, New York.

<https://moon.nasa.gov/>





# الموسوعة العمري في علوم الأرض







# أ.د. عبد الله بن محمد العمري

www.alamrigeo.com E.mail : alamri.geo@gmail.com Cell : +966505481215

## المناصب الإدارية والفنية

- ❖ دكتوراه في الجيوفيزياء عام 1990 م من جامعة مينيسوتا - أمريكا.
- ❖ المشرف على مركز الدراسات الزلزالية- جامعة الملك سعود.
- ❖ المشرف على كرسي استكشاف الموارد المائية في الربع الخالي.
- ❖ المشرف على مركز الطاقة الحرارية الأرضية بجامعة الملك سعود.
- ❖ رئيس الجمعية السعودية لعلوم الأرض.
- ❖ رئيس قسم الجيولوجيا والجيوفيزياء - جامعة الملك سعود.
- ❖ مؤسس ورئيس تحرير المجلة العربية للعلوم الجيولوجية AJGS.
- ❖ رئيس فريق برنامج زمالة عالم مع جامعة أوريغون الحكومية ومعهد ماكس بلانك الألماني.

## الاستشارات والعضويات

- مستشار مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية.
- مستشار هيئة المساحة الجيولوجية وهيئة المساحة العسكرية والدفاع المدني.
- مستشار مدينة الملك عبدالله للطاقة الذرية والمتجددة.
- مستشار هيئة الرقابة النووية والإشعاعية.
- باحث رئيس في عدة مشاريع بحثية مدعمة من مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية وشركة أرامكو.
- باحث رئيس في مشاريع مدعمة من وزارة الطاقة الأمريكية وجامعة كاليفورنيا ومعهد ليفرمور الأمريكي LLNL.
- عضو الجمعية الأمريكية للزلازل.
- عضو الاتحاد الأمريكي للجيوفيزياء.
- عضو الاتحاد الأوروبي للجيولوجيين.
- عضو لجنة كود البناء السعودي وعضو المنتدى الخليجي للزلازل GSF.
- عضو لجنة تخفيف مخاطر الزلازل في دول شرق البحر الأبيض المتوسط RELEMR.
- باحث رئيسي ومشارك في مشاريع بحثية مع جامعات الاباما وبنسلفانيا وأوريغون الأمريكية.
- ضمن قائمة (المنجزون البارزون العرب) من قبل منظمة ريفاسيمنتو الدولية.
- ضمن قائمة Who's Who في قارة آسيا للتميز العلمي.
- ضمن قائمة Who's Who في العالم للإسهامات العلمية.

## النشر العلمي والتأليف

- ❖ نشر أكثر من 200 بحثاً علمياً في مجلات محكمة.
- ❖ ألف 35 كتاباً علمياً.
- ❖ أصدر موسوعة رقمية في علوم الأرض من 14 مجلداً و 107 ملفات علمية.

## المشاريع البحثية

- ❖ أنجز 40 مشروعاً بحثياً محلياً و 16 مشروعاً بحثياً دولياً و 74 تقريراً فنياً.

## المؤتمرات والندوات

- ❖ شارك في أكثر من 125 مؤتمراً محلياً ودولياً و 75 ندوة وورشة عمل متخصصة.

## التعاون الدولي

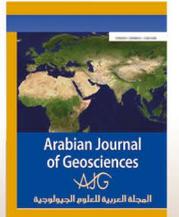
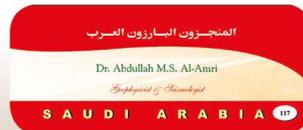
- ❖ باحث رئيسي في 13 مجموعة عمل أمريكية وألمانية.

## الجوائز

- ❖ حصل على جائزة المراعي للإبداع العلمي عام 2005 م.
- ❖ حصل على جائزة التميز الذهبي من مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية عام 2006 م.
- ❖ حصل على جائزة أبها التقديرية للإسهامات العلمية عام 2007 م.
- ❖ حصل على جائزة جامعة الملك سعود للتميز العلمي عام 2013 م.
- ❖ حصل على جائزة الاتحاد الأمريكي للجيوفيزياء للتعاون الدولي والنشاط البحثي عام 2013 م.
- ❖ حصل على جائزة جامعة السلطان قابوس للإسهامات العلمية عام 2013 م.
- ❖ حصل على جائزة الملك سعود لإدراج المجلة العربية للعلوم الجيولوجية في قائمة ISI.
- ❖ حصل على جائزة أفضل رئيس تحرير مجلة علمية عام 2017 من الناشر الألماني SPRINGER.
- ❖ حصل على جائزة ألبرت نيلسون ماركيز للإنجاز مدى الحياة عام 2018 من منظمة Who's Who العالمية.

## درع التكريم

- ❖ حصل على 85 درعاً تكريمياً وشهادات تقدير من المملكة وعمان والكويت والإمارات والأردن ومصر وتونس والجزائر وألمانيا وأمريكا.





# موسوعة أمري في علوم الأرض



## Al-Amri's Encyclopedia of Earth Sciences



المد  
والجزر



المعادن  
والتعدين



التركيب  
الداخلي للأرض



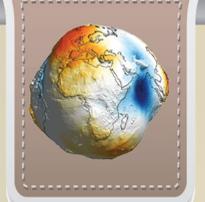
الجاذبية  
الأرضية وتطبيقاتها



شكل  
الأرض وحركاتها



تقدير  
عمر الأرض



الأغلفة  
المحيطة بالأرض



جيولوجية  
القمر



البراكين  
وسبل مجابقتها



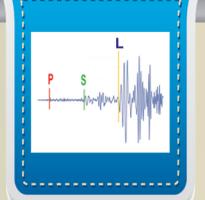
تقييم  
مخاطر الزلازل



الزلازل  
والتفجيرات



موجات  
التسونامي



التصحّر  
والجفاف



الأمطار  
السيول والسدود



الانزلاقات  
والانهيارات والفيضانات



التشجير  
التحديات والحلول



التغيرات المناخية  
والاحتباس الحراري



المشاكل  
البيئية وحلولها



دليل كتابة  
الرسائل والنشر العلمي



الجيولوجيا  
الطبية



الجيوفيزياء  
النووية



هل انتهى  
عصر النفط؟



الطاقة  
الحرارية الأرضية



مستقبل  
الطاقة في عالمنا



300 سؤال وجواب  
في الجيوفيزياء  
التطبيقية



303 سؤال وجواب  
في علم الزلازل  
والزلزالية الهندسية



380 سؤال وجواب  
في المخاطر  
الجيولوجية



358 سؤال وجواب  
في الثروات  
الطبيعية



325 سؤال وجواب  
في علم الصخور  
والجيوكيمياء



321 سؤال وجواب  
في تطور  
الأرض



www.alamrigeo.com

