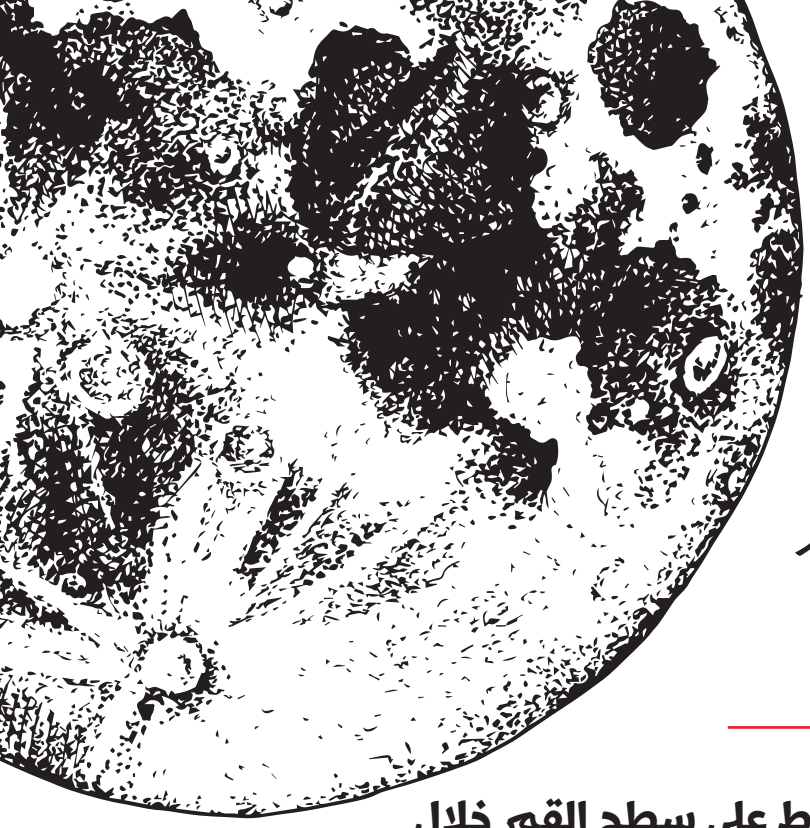


قاعدة على سطح القمر

حسن الخاطر
كاتب في الشؤون العلمية

منذ أن نجح الإنسان في الهبوط على سطح القمر خلال القرن العشرين والعلماء يتطلعون لزيارة القمر وإنشاء قاعدة قمرية للمستوطنين في المستقبل؛ ولكي تكون محطة إطلاق للرحلات الفضائية لاستكشاف المجموعة الشمسية والفضاء السحيق. ستشكل القاعدة القمرية أيضاً مختبراً للتجارب والأبحاث العلمية. فهل يشهد المستقبل القريب وجود قاعدة على سطح القمر، وأن يكون كذلك مصدراً للطاقة المتجددة نظراً لتوفر مادة الهيليوم فيه مقارنة بسطح الأرض.

سرعة الإفلات

لفهم أهمية القاعدة القمرية، لا بد من توضيح بعض الحقائق العلمية المتعلقة بالرحلات خارج الأرض. ومن ذلك سرعة الانفلات (Escape Velocity) التي تعرف بأنها السرعة التي يكون فيها مجموع الطاقة الحركية للجسم (Kinetic Energy) والطاقة الكامنة (Potential Energy) مساوية للصفر، أي السرعة التي يجب أن يسافر بها الجسم ليتحرر من جاذبية أي كوكب.

تبلغ سرعة الإفلات لكوكب الأرض 11.2 كم في الثانية أي ما يعادل 40 ألف كم في الساعة. وهذه السرعة كافية للتغلب على قوة الجاذبية الأرضية، التي تعمل على سحب الأجسام لها. لذا يجب أن تصل سرعة الصواريخ إلى هذا الرقم لتتحرر من جاذبية الأرض؛ وهذا يعني استخدام كمية كبيرة من الوقود قبل أن يبدأ الصاروخ بالانطلاق إلى وجهته نحو كوكب آخر، ولكن عند العودة من القمر فالانطلاق أسهل بكثير.

إن سرعة الهروب تعتمد على كتلة الكوكب (القمر) الذي ستنطلق منه المركبة الفضائية؛ وتكون الجاذبية فيه ضعيفة لذا فهو يمتلك سرعة هروب أقل من كوكب الأرض. وعلى النقيض من ذلك، فإن سرعة الهروب من كوكب المشتري كبيرة جداً بسبب ضخامته. فالقمر يمتلك سرعة هروب تقدر بـ 2.38 كم في الثانية أي ما يعادل تقريباً 8600 كم في الساعة، أي أن

يوضح هذا الرسم التوضيحي الذي أنشأته وكالة الفضاء الأوروبية (ESA) كيف يمكن إنشاء قاعدة قمرية مستقبلية، مع هياكل مبنية بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد. انضم الشركاء الصناعيون بما في ذلك الشركة المعمارية (Foster & Partners) إلى وكالة الفضاء الأوروبية لاختبار الإمكانية.

الطاقة التي تحتاجها المركبة للتحرر من جاذبية القمر ستكون منخفضة، بالمقارنة مع غيره. وهذا بدوره ينعكس إيجابياً على التكلفة الاقتصادية مقارنة بالأرض.

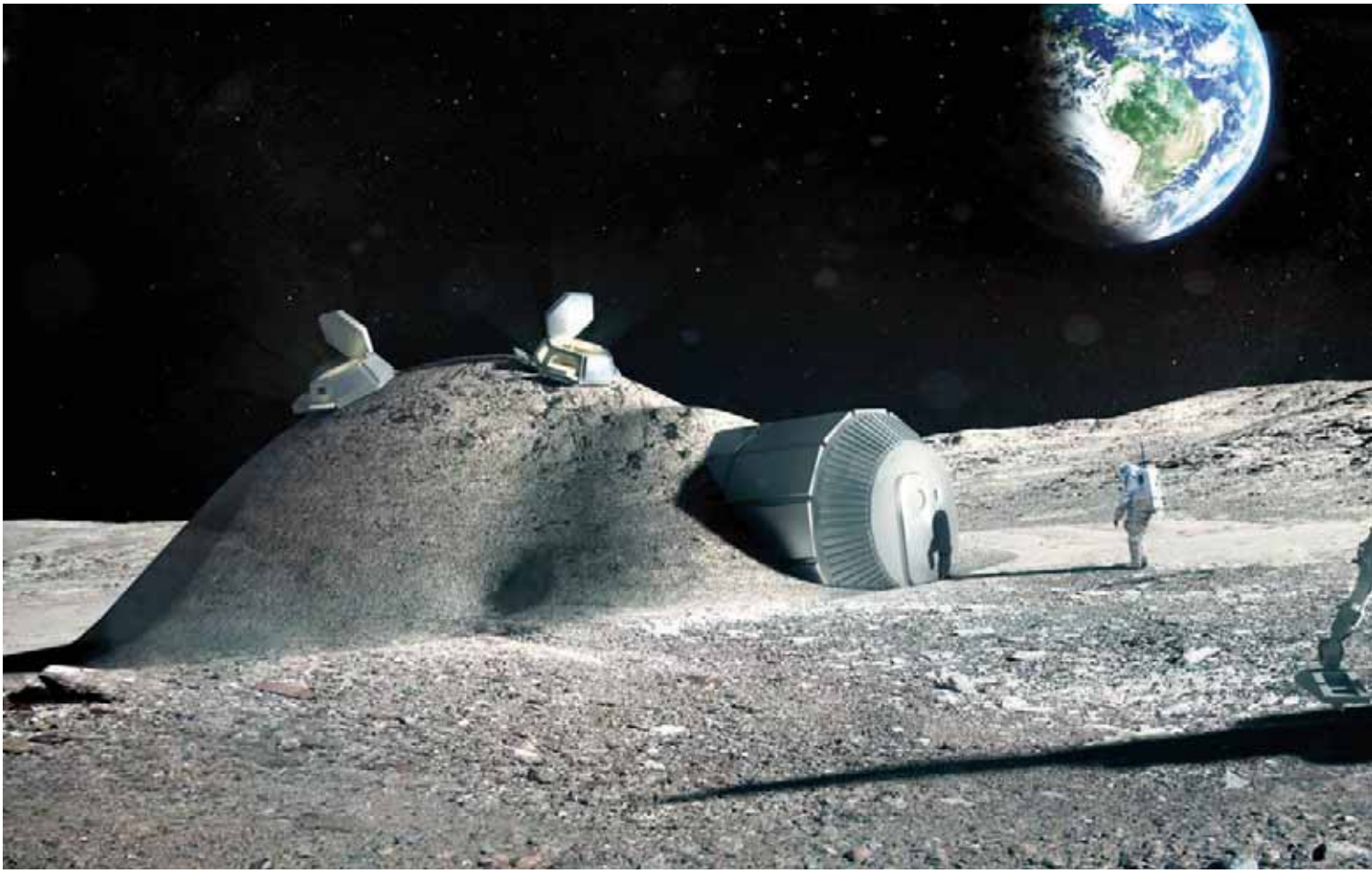
إنتاج الأكسجين من الغبار القمري

استناداً إلى عينات الصخور القمرية، التي تمت دراستها وتحليل بياناتها، وجد العلماء أن الأكسجين يشكل نسبة كبيرة منها، تصل إلى 45%، أي إنه العنصر الأكثر وفرة على سطح القمر. لكن هذه الوفرة لا تعني أنه جاهز للاستعمال؛ لأنه لا يوجد بشكل مستقل؛ بل يجب إنتاجه لتصبح الحياة ممكنة على سطحه؛ وهذا يشكل أهم التحديات التي تواجه الإنسان في بناء القاعدة القمرية.

ومن المعلوم أن القمر لا يحتوي على غلاف جوي كما هي حال الأرض، ولكنه يحتوي على كميات كبيرة من الأكسجين الممتزج مع الغبار الموجود على سطحه في شكل أكاسيد. ولذلك فقد فكر العلماء الأوروبيون في وكالة الفضاء الأوروبية (ESA) ولفترة طويلة في كيفية الحصول على الأكسجين من الغبار القمري (Regolith). ففي عام 2019م قاموا بإجراء تجربة محاكاة في المركز الأوروبي لأبحاث وتقنيات الفضاء (ESTEC) الموجود في هولندا على عينات أبولو القمرية؛ وهي عينات نادرة ولا يمكن استخدامها إلا بكميات صغيرة جداً. وقد تمت التجربة باستخدام تقنية تسمى التحليل الكهربائي للأملاح المنصهرة، حيث يتم وضع الغبار القمري في حاوية معدنية ويضاف إليه ملح كلوريد الكالسيوم المنصهر، ثم تسخينه إلى 950 درجة مئوية - وهذه الدرجة لا تذيب هذه المادة - ثم استخدام تيار كهربائي لتحرير الأكسجين من الخليط، حيث ينتقل الملح إلى القطب السالب المصعد (Anode) الذي يمكن إزالته بسهولة. وبهذه الطريقة يتم استخراج الأكسجين الموجود في الغبار القمري. وقد أظهرت نتائج الدراسة أن ما يصل إلى 96% من الأكسجين الموجود في الغبار القمري المُحاكى، تم استخراجه من خلال التجارب. أما المواد المتبقية من هذه العملية كنواتج ثانوية فهي مزيج من السبائك المعدنية. وقد استغرق الأمر حوالي 50 ساعة لاستخراج 96% من الأكسجين المرتبط كيميائياً بمواد أخرى، حيث أن 75% من الأكسجين تم استخراجه في أول 15 ساعة. ستفتح هذه النتائج الطريق أمام العلماء في المستقبل نحو التعدين القمري واستخراج المعادن من القمر. وقد دفع هذا النجاح وكالة الفضاء الأوروبية إلى وضع خطة، تُنفذ في منتصف العشرينيات من القرن الحالي، لتصميم مصنع لإنتاج الأكسجين على سطح القمر، مما يسمح للمستوطنين بالبقاء بشكل دائم والحصول على السبائك المعدنية. الجدير بالذكر هنا، أن ناسا وضعت هدفاً لبقاء البشر لفترات طويلة على سطح القمر في عام 2024م.

وعلى نفس الصعيد، من عام 2019م، أعلن مركز كيندي للفضاء التابع لناسا في فلوريدا عن خططه لتطوير جهاز من شأنه أن يذيب الغبار القمري لاستخراج الأكسجين من خلال تسخينه إلى أكثر من 1600 درجة مئوية. أما التحليل الكهربائي للغبار القمري فسيحدث تفاعلاً كيميائياً فيه يقسمه إلى أكسجين ومعادن.

إن حصول المستوطنين لسطح القمر على الأكسجين سيساهم بشكل في توفير الطاقة للصواريخ؛ لأنه يشكل نسبة كبيرة



يوضح هذا الرسم التوضيحي الذي قدمته وكالة ناسا يوم الجمعة، 16 أغسطس 2019م تصميماً مقترحاً لمركبة صعود برنامج Artemis تغادر سطح القمر، منفصلة عن مركبة هبوط.

من وزنه. وهذا يعني أن الصواريخ التي يتم إطلاقها من القمر ستكون ذات كفاءة واستدامة في مهماتها الاستكشافية إلى المريخ والنظام الشمسي. كما ستزود الأقمار الصناعية التي تدور حول الأرض بالطاقة، وهذا يعني توفيراً كبيراً في النفقات مما لو تم إطلاقها من كوكب الأرض.

الجدير بالذكر أن العمليات السابقة لإنتاج الأكسجين لا تنتج نفايات، وفي هذا يقول "ألكساندر موريس" (Alexandre Meurisse) عالم المواد في وكالة الفضاء الأوروبية: "هذا جانب مفيد آخر للبحث لمعرفة السبائك الأكثر فائدة والتطبيقات التي يمكن الاستفادة منها، وهل يمكننا أن نستخدمها في الطباعة ثلاثية الأبعاد بشكل مباشر أو أنها بحاجة إلى تكرير؟".

إنتاج الماء على سطح القمر

يعد الماء من الموارد الحيوية الهامة للمستوطنين لكي يستطيعوا العيش على سطح القمر، لأن حصولهم على الماء سيمكنهم من تصميم بيئة زراعية واستخدام نباتات وحيوانات معدلة وراثياً. كما أن الماء مهم في صناعة وقود الصواريخ بواسطة التحليل الكهربائي، حيث يتم تقسيمه إلى مكوناته الهيدروجين والأكسجين، وهناك طرق أخرى يمكن من خلالها إنتاج الماء على سطح القمر.

يمثل الحصول على الأكسجين الحصول على الماء؛ لأن الماء هو مركب من أكسجين وهيدروجين. ونستطيع الحصول على الهيدروجين عن طريق إرساله من الأرض بسبب كثافته الخفيفة، كما يمكننا الحصول عليه عن طريق التفاعل الكيميائي على سطح القمر. كما يمكن الحصول على الماء من صخور القمر بعد تعرضها للرياح الشمسية. وقد قام الباحثون بمحاكاة العمليات الكيميائية التي من خلالها نستطيع تصنيع الماء باستخدام البرامج الحاسوبية. فقد وجدوا أن الشمس تحمل إلى القمر تيارات من البروتونات من خلال الرياح الشمسية. تتفاعل هذه الجسيمات مع الإلكترونات الموجودة على سطح القمر مُكوِّنة الهيدروجين. مما يمكنها من التفاعل مع ذرات الأكسجين الوفيرة في التربة القمرية مُكوِّنة الماء. وفي هذا المجال يقول "ويليام فاريل" (William Farrell)، الذي ساعد في تطوير هذه المحاكاة أن: "كل صخرة لديها القدرة على صنع الماء، خاصة بعد أن تتعرض لها الرياح الشمسية".

كما تشير الدراسات العلمية إلى أن المنطقة الجنوبية من القمر مليئة بالماء على شكل جليد وعلى وجه التحديد في الحفر القمرية شديدة البرودة، التي لا يصلها ضوء الشمس أبداً نتيجة الزاوية المنخفضة التي يضرب بها سطح القمر في المناطق القطبية (درجة ميلان القمر على محوره 1.54 درجة فقط أقل بكثير من الأرض). إضافة إلى عدم وجود غلاف جوي للقمر يساعد على تسخين سطحه. وبالتالي يمكن تحويل الجليد إلى الحالة السائلة باستخدام مرايا لتوجيه أشعة الشمس إلى قاع هذه الفوهات.

تدشين القاعدة القمرية

بناء على ماسبق فإن القطب الجنوبي للقمر سيكون المنطقة المحتملة لتدشين القاعدة القمرية. وهناك عدة أسباب وجيهة لاختيار هذا الموقع بالإضافة إلى وجود الماء على شكل جليد، وهو أن القاعدة القمرية ستعتمد في مرحلة تأسيسها على الطاقة الشمسية لتشغيل أدواتها؛ لذلك يعد تعريضها للشمس أمراً ضرورياً. ومن المعلوم أن الأرض تدور حول نفسها دورة كاملة كل 24 ساعة، لكن القمر يحتاج إلى ثلاثين يوماً تقريباً لإتمام دورة كاملة مما يعني أن كلاً من النهار والليل على سطح القمر سيستمر لمدة أسبوعين. وكما هو الحال في أقطاب الأرض فإن المناطق القطبية القمرية تمر بفترات طويلة من أشعة الشمس. ومن ناحية أخرى فإنه من المعلوم أن القمر لا يوجد به أيضاً مجال مغناطيسي ولا غلاف جوي، وهذا يعني أنه معرض للنيازك الصغيرة والكبيرة والأشعة الكونية. ولكن الحمم البركانية

غبار القمر قبل (يسار) وبعد (يمين) استخلاص الأكسجين.

والفوهات الموجودة فيه ستوفر له هذه الحماية وهي بمثابة الكهوف تحت سطح القمر. كما يمكنهم استخدام وحدات قابلة للنفخ وتغطيتها بالتربة القمرية وتجهيزها كمسكن لعدد قليل من الأفراد.

ومن الآن وحتى يتم بناء القاعدة القمرية ربما ستكون تقنيات حقول القوة التي يطورها العلماء الآن بواسطة موجات كهرومغناطيسية أو بلازما قد أصبحت متطورة جداً. حيث يعول عليها العلماء لاستخدامها في حماية الأرض في المستقبل من المخاطر الكونية، كذلك استخدامها على سطح القمر.

مختبر للتجارب العلمية

يفتقر القمر للغلاف الجوي ولا وجود للهواء إطلاقاً، أي أنه محاط بالفراغ. وهذه الميزة مهمة في كثير من الدراسات العلمية مثل سقوط الأجسام. فقد استنتج جاليليو أن تأثير قوة الجاذبية الأرضية على الأجسام الساقطة نحو الأرض هو نفسه بصرف النظر عن كتلتها، أي أن الأجسام تتسارع في سقوطها بنفس المعدل. وفي حالة عدم وجود أي مقاومة للسقوط الحر كالهواء يجب أن يسقط أي جسمين بنفس المعدل بغض النظر عن كتلتهما. ولقد تم بالفعل التحقق من ذلك من قبل الفيزيائي "برايان كوكس" (Brian Cox) في عام 2014م بولاية أوهايو، وفي أكبر غرفة مفرغة من الهواء تابعة لناسا، تم إسقاط كرة وريشة ووصلتا إلى الأرض في نفس اللحظة. فلو كنا على سطح القمر سنصل إلى نفس النتيجة لكن سيختلف زمن السقوط بسبب اختلاف الجاذبية. فالأجسام تتساقط على سطح القمر بمعدل أبطأ، ذلك أن جاذبية القمر تساوي سدس جاذبية الأرض. وقد جرت هذه التجربة بالفعل على سطح القمر في بعثة أبولو 15 التي أرسلتها ناسا في عام 1971م، حيث قام رائد الفضاء "ديفيد سكوت" (David Scott) بإسقاط مطرقة وريشة من نفس الارتفاع وقد ضرب كلا الجسمين الأرض القمرية في الوقت نفسه.

إضافة إلى ذلك سيكون القمر منطقة مناسبة جداً للرصد الفضائي من خلال التلسكوبات. وليس هذا فحسب؛ بل يمكننا النظر إلى القمر كسجل تاريخي للمجموعة الشمسية. كما تمثل المنطقة الجنوبية بشكل خاص فرصة للعلم والاستكشاف، حيث يقع القطب الجنوبي على حافة حوض أيتكين (Aitken Basin) وهي أكبر حفرة في النظام الشمسي. وسيشكل هذا الحوض مختبراً طبيعياً لعلماء الفلك، من خلال فحص المواد والمعادن الموجودة التي تمثل سجلاً تاريخياً ونظرة ثاقبة لمعرفة كيف تكون القمر والكواكب في المجموعة الشمسية، كما يمكن استخدامها كمورد للبعثات المستقبلية.

> يعد الماء من الموارد الحيوية الهامة للمستوطنين لكي يستطيعوا العيش على سطح القمر؛ لأن حصولهم على الماء سيمكنهم من تصميم بيئة زراعية واستخدام نباتات وحيوانات معدلة وراثياً.

القمر كمصدر للطاقة المتجددة

غاز الهليوم 3 (أحد نظائر غاز الهليوم) نادر على كوكب الأرض لكنه يتوفر بكثرة على سطح القمر. فقد قُصف القمر بكميات هائلة من الهليوم 3 بواسطة الرياح الشمسية، على عكس الأرض المحمية بمجالها المغناطيسي الذي يحول دون وصول الرياح الشمسية المحتوية على الهليوم ويدفعها باتجاه القمر والكواكب الأخرى.

إن هذا النظير يوفر طاقة نووية أكثر أماناً في مفاعلات الاندماج النووي لأنه غير مشع ولا ينتج نفايات خطيرة، وكفاءته عالية جداً. وذلك من خلال اندماجه مع الديتريوم نظير الهيدروجين الذي تحتوي نواته على بروتون واحد ونيوترون واحد. ويقدر الباحثون أن الولايات المتحدة الأمريكية تحتاج إلى 25 طن فقط من الهليوم 3 لتزويد طاقتها بأكملها لمدة سنة كاملة. ولقد قدر العلماء بمعهد تقنية الاندماج بجامعة ويسكونسن في عام 1986م أن التربة القمرية تحتوي على مليون طن من الهليوم 3، وهي مادة يمكن استخدامها كوقود لإنتاج الطاقة بواسطة الاندماج النووي وفقاً للدراسة، وهذه الكمية يمكنها توفير احتياجات البشرية من الطاقة النظيفة لعدة قرون.

ومن المؤمل أن يستخدم الهليوم 3 كوقود مثالي لمفاعلات الاندماج النووي المستقبلية، وبذلك سيكون القمر مصدراً لطاقة لا حدود لها، نظيفة وخالية من التلوث أي لاتنبعث منها الغازات الدفيئة المسببة للاحتباس الحراري؛ حيث من المتوقع أن تساهم هذه القدرة العالية في حل مشاكل الطاقة على الأرض. فمهما كانت التحديات التي سنواجهها في استيراد الهليوم 3 من القمر، كالتكلفة الاقتصادية على سبيل المثال؛ إلا أن التعدين القمري سيكون الأكثر احتمالاً في المستقبل! وهذا هو الخيال العلمي الذي يساهم في حل مشاكلنا المستقبلية التي نواجهها تجاه الطاقة. كما أن وجود المصعد الفضائي (تحدثت عنه بعض قصص الخيال العلمي) سيساعد في استيراد الموارد الطبيعية من القمر إلى الأرض، وبالمقابل ستصدر بعض المواد من الأرض إلى القمر، وسوف يشكل هذا المصعد طريقاً تجارياً بين الأرض والقمر.

المراجع:

1. https://www.sciencealert.com/scientists-have-figured-out-how-to-extract-oxygen-from-moon-dirt
2. https://learningenglish.voanews.com/a/researchers-report-success-creating-oxygen-from-moon-dust/5267060.html
3. https://www.sciencedaily.com/releases/2019/02/190220121932.htm
4. https://www.nasa.gov/feature/moon-s-south-pole-in-nasa-s-landing-sites
5. https://laughingsquid.com/feather-and-bowling-ball-dropped-at-same-time/
6. https://www.mentalfloss.com/article/22913/hammer-and-feather-drop-moon
7. https://inhabitat.com/could-mining-helium-3-from-the-moon-solve-earths-energy-problems/
8. https://www.bbvaopenmind.com/en/science/physics/helium-3-lunar-gold-fever/