

## ПЛОЩАДКИ И ПРОБИ, СЛУЖЕЩИ ЗА КАЛИБРИРАНЕ НА ДАННИ ОТ ОПТИЧЕСКИ ДИСТАНЦИОННИ ИЗСЛЕДВАНИЯ НА ЛУНАТА

Искрен Иванов, Лъчезар Филчев

*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките  
e-mail: iso.ivanov@space.bas.bg, lachezarhf@space.bas.bg*

**Ключови думи:** Калибриране, хиперспекрален спектрометър, Луна, Аполо 16, проба 62231

**Резюме:** Хиперспектралните спектрометри предоставят ценна информация за състава и историята на лунната повърхност, като позволяват нейното подробно дистанционно изследване и картографиране. Лунните проби, върнати на Земята от мисиите Аполо, Луна и Chang'E-5, отразяват характеристиките на конкретния лунен регион, от който произхождат. За да се създаде глобално калибриран набор от данни, който позволява кръстосано калибриране на различни мултинационални инструменти са избрани осем площадки за калибриране намиращи се на лунната повърхност. Площадка „Аполо 16“ е поставена на първо място в списък с Международни цели за научна координация/калибриране (L-ISCT) като част от международно сътрудничество и координационни усилия. Тя е избрана заради нейните оптимални калибрационни характеристики, които са определени чрез лабораторен анализ на лунна проба от повърхността 62231 от мисия Apollo 16. Площадка Apollo 16 и проба 62231 са от ключово значение за калибриране на данни получени от дистанционни изследвания на лунната повърхност във видимата и близката инфрачервена области на електромагнитния спектър. Калибрирането на данни от дистанционни изследвания на лунната повърхност в съответствие с предишни лунни мисии значително подпомага тяхното тълкуване и анализ.

## CALIBRATION SITES AND SAMPLES FOR OPTICAL REMOTE SENSING OF THE MOON

Iskren Ivanov, Lachezar Filchev

*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences  
e-mail: iso.ivanov@space.bas.bg, lachezarhf@space.bas.bg*

**Keywords:** Calibration, Imaging spectrometer, Moon, Apollo 16, 62231 soil sample

**Abstract:** Hyperspectral spectrometers provide valuable information about the composition and history of the lunar surface, enabling detailed remote sensing and mapping. Lunar samples returned to Earth by the Apollo, Luna, and Chang'E-5 missions reflect the characteristics of the particular lunar region from which they originated. To create a globally calibrated dataset that allows cross-calibration of different multinational instruments, eight calibration sites located on the lunar surface were selected. The Apollo 16 site was placed first on a list of International Science Coordination/Calibration Targets (L-ISCT) as part of an international cooperation and coordination effort. It was selected for its optimal calibration characteristics, which were determined by laboratory analysis of lunar surface sample 62231 from the Apollo 16 mission. The Apollo 16 site and sample 62231 are keys to calibrating lunar surface remote sensing data in the visible and near infrared regions of the electromagnetic spectrum. Calibrating data from remote sensing of the lunar surface in accordance with previous lunar missions greatly aids their interpretation and analysis.

### Въведение

Един от методите за дистанционно изследване състава на лунната повърхност е посредством хиперспектрални спектрометри. Чрез тях се регистрират данни съдържащи спектрални отражателни характеристики на материалите изграждащи изследваната повърхност, извършва се картографиране и анализ. Данните получени от спектрометри подлежат на

калибриране, което преминава през процеса на изработка, извършва се по време на тяхната работа и след приключване на конкретната задача, за която са предназначени. Калибрирането на инструмента е дълъг, сложен и динамичен процес, който непрекъснато се подобрява и усъвършенства. Методите за калибриране се влияят от дизайна на инструмента, материалите и технологиите по които са изработени неговите компоненти. Изработването им се извършва в изпълнение на предварително зададени, конкретни изисквания за ефективност, за получаване на качествени данни предназначени за постигане на предначертаните научни цели [1]. Всеки спектрометър се подлага на лабораторно калибриране, калибриране преди изстрелване и такова в работни условия (по време на полет и в орбита). Това се постига чрез съпоставка на измерените характеристики на инструмента преди изстрелване и измерване на характеристиките му по време на полет, като за целта се заснемат известни калибрационни цели [2]. По време на лабораторната фаза дизайнът на инструмента се тества за установяване на строго специфичните недостатъци/ефекти с цел тяхното последващо изчистване. Чрез процеса на калибриране се гарантира, че всички оптико-механични, термични и електронни подсистеми отговарят на изискванията. Тези процеси се осъществяват чрез провеждане на серия от всеобхватни спектрални светлинни измервания, извършвани многократно. По време на измерванията инструмента е поставен във вътрешността на термична вакуумна камера, с помощта на която се симулират работните условия в които ще оперира спектрометъра, а именно космическото пространство [3]. Пълните и всеобхватни измервания на инструмента, неговото характеризирание, позволява нормализиране на нежеланите ефекти в регистрираните данни причинени от компонентите на инструмента. Целта на настоящото изследване е да се изготви обзор на площадките и пробите служещи за калибриране на данни от оптически дистанционни изследвания на Луната. Обзорът е изготвен на база преглед на наличната реферирани и неререферирани литература.

### **Опасности за електронната техника в космическото пространство**

Устройствата в лунна орбита са силно уязвими, поради липсата на атмосфера и силно магнитно поле, около Луната. В открития космос, електронната техника (каквато е всеки спектрометър) е подложена на големи температурни промени, повишена галактическа и слънчева радиация, риск от сблъсък с високо енергетични заредени частици, микрометеорити и космически отпадъци. Тези сурови работни условия, с времето, засягат компонентите на инструмента, възпрепятстват нормалното му функциониране и причиняват щети и повреди [4]. Силните вибрации по време на извеждане в космоса, продължителното пътуване до Луната и суровата космическа среда е възможно да изменят лабораторно установените характеристиките, преди неговото извеждане в космоса. Необходими са системни проверки на състоянието на инструмента с цел коректно калибриране на изходните данни [5]. Лабораторно установените характеристики се прилагат за проследяване състоянието на инструмента и установяване на несъответствия в получените изходни данни. За целта се извършва периодично заснемане на площадки за калибриране намиращи се на лунната повърхност. Извършва се съпоставка на регистрираните данни от инструмента с данните регистрирани при предходни орбитални прелитания, регистрирани от орбитални инструменти от предходни лунни мисии и наземни телескопи. Тези данни са съпоставими в следствие на изключително високата стабилност на лунното алbedo (отражателна способност на повърхността на Луната), варираща с по-малко от 1% на милиард години. За установяване на отражателната стабилност е отчетена липсата на значителна вулканична дейност на лунната повърхност през Коперниканската селенологична ера (последните 1,2 милиарда години). Тази висока стабилност на албедото на Луната позволява нейното прилагане за фотометричен еталон [6]. Някои от площадките за калибриране на данни от дистанционни изследвания на лунната повърхност са определени области на Луната, от които има взети, върнати и лабораторно изследвани почвени, скални и реголитни проби, от мисиите Аполо и Луна. За други са налични данни от проведени изследвания с наземни телескопи, коригирани за атмосферни влияния или са налични данни от проведени заснемания от предходни мисии. Техните спектрални отражателни характеристики във видимата и близка инфрачервена области на EMC (електромагнитен спектър) са известни от лабораторни изследвания или предходни заснемания. Всеобщо приложение намира площадка за калибриране „Аполо 16“, а в миналото за калибриране на данни от наземни телескопи е заснемана площадка Mare of Serenitatis (MS2) [7][8].

В резултат на обсъждания проведени на глобално ниво, на научни форуми, по програма COSPAR в Пекин и на 8th International Conference on Exploration and Utilization of the Moon са предложени Лунни международни цели за научно калибриране/координиране (L-ISCT), списък включващ осем площадки за калибриране [9]. Концепцията получава одобрение от международната общност и е включена в Lunar Beijing Declaration от 2006 г. [10]. Целта е чрез

предстоящите мисии за дистанционно изследване на Луната: SELENE (JAXA), Chang'E (CNSA), Chandrayaan-1 (ISRO) и LRO (NASA) заснемането на предложените площадки за калибриране да създаде калибриран глобален набор от данни, който да даде възможност за сравнение и взаимно калибриране на данните получени от различните инструменти. Избрани са осем площадки, наименувани „Международни цели за научна координация/калибриране (L-ISCT)“, които са от значителен научен интерес. Препоръчва се площадките за калибриране, също така да служат за обучение на млади учени с интереси в областта. Насърчават се всички екипи да участват в координирана дейност по ранно изнасяне на данни, която да подобри тяхното взаимно калибриране и валидиране. При определяне на списъка са взети предвид ограничените ресурсите на орбиталните космическите летателни апарати. Площадките са избрани заради техните оптимални характеристики позволяващи калибриране на инструменти, заснемащи изображения, UV-Vis-NIR спектроскопия, гама-спектроскопия, рентгенова и неутронна спектроскопия, както и висотомери, термични, радарни и микровълнови изследвания.

### **8-те площадки за калибриране от списъка L-ISCT**

Площадка за калибриране № 1 „Аполо 16“, намираща се на видимата страна на Луната, оглавява списъка L-ISCT. Разположена е на ~10 km западно от мястото на прилуняване на мисията Аполо 16. Площадката представлява голяма площ изградена от сравнително еднороден брекчиран фелдшпат, проби от който са лабораторно анализирани благодарение на взетите проби [11,12]. Площадката е ключова за калибриране на лунни спектроскопски данни със спектралните отражателни характеристики на лунна почвена проба 62231 (високопланинска и повлияна от космическата среда) [11,13-15]. На територията на площадката се намират „свежи кратери“ с различни размери, които са изровили свеж материал контрастиращ на фона на високопланинския и повлиян от космическата среда фелдшпатен терен, позволяващи изследване на космическото изветряване и влиянието му върху композиционния анализ на данни от дистанционни изследвания.

Площадка за калибриране № 2 „Кратер Лихтенберг“ е с диаметър от ~20 km. В региона съществуват два много различни типа базалт. Сравнително стари базалти с ниско съдържание на Ti (титан) и много по-млади базалти с високо съдържание на Ti. В източна посока, в района около кратера Лихтенберг, са разположени по-млади базалти, покриващи материала изровен и изхвърлен при неговото образуване [16].

Площадка за калибриране № 3 „Аполо 15 канал Хадли“ [17] е с обща дължина от 80 km широчина от 1,2 km и над 300 m дълбок криволинеен канал. Астронавтите от мисия Аполо 15 откриват открит скален масив, от който взимат няколко проби. Наблюдаваните слоеве имат приблизителна дебелина до 60 m и са с различно алbedo и текстура. Пробите представят два различни базалта, високопланински скали, анортозити, богати на Mg (магнезий) плутонични скали, стопилки образувани вследствие на удари, гранулити и брекчи. Открит е базалт, богат на KREEP (K (калий) редки земни метали и P (фосфор)) и пирокластично зелено стъкло с ултраосновен състав.

Площадка за калибриране № 4 „Южен полюс-басейн Ейткен“ [18] се намира на скритата от Земята страна на Луната. Басейна привлича научния интерес със своя диаметър от ~2500 km, сложна структура и дълбочина от ~13 km. Простира се от Южния полюс до кратера Ейткен, намиращ се на 17° от лунния екватор. Басейнът е най-големият, най-дълбокият и най-старият документиран ударен басейн на Луната [19]. Въпреки огромния си размер и дълбочина басейнът не е запълнен с базалти и вътрешността му е изградена от материали изровени от удара, при който се е образувал (материал от долната част на кората и/или евентуално материал от мантията). Басейна повдига въпроси относно еволюцията на лунната повърхност и вътрешността ѝ с концентрация на радиоактивните химически елементи в северозападния район на басейна за произхода на които има различни хипотези.

Площадка за калибриране № 5 „Кратер Тихо“ е голям кратер с диаметър 84 km, образуван преди ~100 милиона години (по време на Коперниканската геоложка епоха). Разположен е в южната централна част на видимата страна на Луната. При образуването му се е оформила обширна система от лъчи, простираща се на хиляди километри върху лунната повърхност (материал, който все още не е повлиян от космическото изветряване) и изявен централен връх във вътрешността [20].

Площадка за калибриране № 6 „Сенчест полярен регион“ е центрирана върху кратера I del'son L с диаметър от 28 km, разположен на 6° от Южния полюс. Този регион е изпълнен с дълбоки сенки и разнообразен релеф силно разсейващ светлината. Не е открито високо съдържание на H (водород) и по този начин осигурява референтен фон за H изследвания на полюса [21].

Площадка за калибриране № 7 “Северен Шрьодингер”. Басейнът Шрьодингер е разположен близо до Южния полюс в басейна на Южния полюс-Айткен и се приема, че вероятно е изровил материали през дъното на басейна, които могат да се считат за такива от древните материали образували лунната кора и/или горната част на мантията. Материалите разположени в басейна Шрьодингер образуват големи равни пространства характеризиращи се с гладки до грапави повърхности по които са образувани пукнатини [22]. Фокусът е върху зона включваща части от северния ръб на кратера и вътрешността. Разположението на кратера позволява честото му заснемане от инструментите на сателити в полярна орбита. Топографията му включваща едновременно гладък и грапав терен е подходяща за фотометрично и топографско калибриране на инструменти.

Площадка за калибриране № 8 “Море на спокойствието” включва южния ръб на морето образувано преди 3,9 и 3,8 милиарда години, по време на период, от историята на Луната, на силно бомбардиране от астероиди. През този период са се образували основните и най-големи ударни басейни на Луната. В последствие силен вулканизъм изпълва басейна с базалт формиращ равна повърхност, върху която е центриран оптичен стандарт MS2 в Mare Serenitatis, ползван за калибриране на данни от наземни телескопи изследващи Луната. В Море на спокойствието се намира мястото, на което се прилунява мисията Аполо 17 [23]. Площадката за калибриране включва сравнително хомогенен базалт с ниско съдържание на титан граничещ на юг с Mare Tranquillitatis и неговият по-стар и богат на титан базалт. Разликата между двата вида базалт е видна от разликите в албедото и цвета на двата терена.

### **Предложена нова площадка за калибриране „СЕ-3“**

Chang'e-3 (CE-3) успешно се приземи на 19.51256°W и 44.11884°N на изток от Sinus Iridum в Море Имбриум на 14 декември 2013 г. [24]. Тази мисия включва първия лунен роувър Yutu на Китайската космическа агенция CNSA, чийто спектрометър (VNIS) заснема спектралните отражателни характеристики на материала по повърхността на Луната *in situ*. Мястото на което CE-3 се прилунява е предложено за нова площадка за калибриране. Данните от VNIS *in situ* разкриват, композиция на материала с много ниско алbedo, което предполага висока концентрация на FeO и TiO<sub>2</sub>. Данните от VNIS попадат по стойности между тези заснети от ширококогълната камера на Lunar Reconnaissance Orbiter Camera (LROC WAC) и Spectral Profiler (SP) от мисията SELENE на JAXA и тези от Moon Mineralogy Mapper (M3) от мисията Chandrayaan-2 и Imaging Infrared Mapper (IIM) от мисията Chang'e-1. Материалът покриващ площадката за калибриране CE-3 е по-млад и по-малко повлиян от космическото изветряване в сравнение с често използваните площадки за калибриране на Аполо 16 и Море на спокойствието MS2 [25].

### **Калибриране с проби от лунната повърхност**

Лунните проби, върнати на Земята, представляват значителен актив, позволяващ на учените да измерват точно техните отразяващи свойства при лабораторни условия на Земята. Програмата Аполо, мисиите Луна и Chang'E 5 върнаха проби от лунната повърхност, скали, почва и реголит [27]. Спектралните отражателни характеристики във видимия и близкия инфрачервен спектрален диапазон на пробите от мисиите Аполо са измерени от Reflectance Experiment Laboratory (RELAB) и са включени в Lunar Sample Compendium (nasa.gov) [11,13]. Тези проби, след щателно изследване и селекция представят характеристиките на конкретния лунен регион, от който произхождат. Те служат като основна референтна стойност за инфрачервени отражателни спектрални характеристики [27]. Площадката за калибриране „Аполо 16“, има референтен спектър благодарение на лабораторно изследвана проба 62231 [11], която е стандарт за спектрално калибриране [30]. Спектралните отражателни характеристики на проба 62231 се прилагат за калибриране на данните от хиперспектрални спектрометри за изследване минералния състав на лунната повърхност и картографиране [3].

Площадката за калибриране „Аполо 16“ и референтната проба 62231 са приложени за калибриране на данните от дистанционните изследвания проведени от мисията Клементайн на NASA и позволиха по-прецизни наблюдения и измервания [13]. Преди 1980 г. широко приложение за калибриране на данни от наземни телескопи намира площадка Mare Serenitatis, наричана MS2. Проба от лунна почва 62231 от мисията Аполо 16, която е високопланинска почва повлияна от космическото изветряване стандарт се ползва за калибриране на данни от дистанционно наблюдение на Луната във видимия и близкия инфрачервен диапазон. Данните от хиперспектралните спектрометри, част от полезния товар на мисиите Clementine, SMART-1, SELENE, Chang'E-1, Chandrayaan-1, са калибрирани в съответствие със спектралните отражателни характеристики на пробата 62231 [13] в съответствие с предишни изследвания проведени от мисии до Луната и наземни телескопи, което значително подпомага тълкуването и анализът на данните.

## Заклучение

Площадките за калибриране на Лунната повърхност се използват за калибриране на данни от орбитални апарати и на данни от наземни телескопи. Това калибриране води до по-добри резултати в сравнение с прилаганото до преди това калибриране чрез заснемане на звезди или звездни модели. Калибрирането, чрез заснемане на площадка „Аполо 16“ и проба 62231, предоставя данни от дистанционни изследвания на Луната калибрирани с помощта на проби от лунната повърхност. Стандартната почвена проба за калибриране 62231 представя характеристиките на специфичния лунен регион, от който произхожда и служи като референтна проба с лабораторно изследваните ѝ спектрални отражателни характеристики. Последователната интерпретация и анализ на минералогията на лунната повърхност значително се подпомагат от привеждане на данните в съответствие с данните от предходни лунни мисии и наземни телескопи. Тези площадки за калибриране и спектрални отражателни характеристики на проби, за момента, са най-добрите с които научната общност разполага, за да изследва и разбере произхода, еволюцията и селенологията на Луната. Калибрирането на данни от дистанционни изследвания за анализиране състава на планетарния реголит и в наши дни е динамичен процес, който продължава да се обновява, усъвършенства и развива.

## Литература:

1. Atanassov, V., Jeleu, G., & Kraveva, L. (2005). Imaging spectrometer data correction, *Space Ecology Safety*, 2005.
2. Filacchione, G., Capaccioni, F., Ammannito, E., Coradini, A., De Sanctis, M. C., & Piccioni, G. (2009). Calibration pipeline of VIS-NIR imaging spectrometers for planetary exploration: The rosetta VIRTIS-M case. 2009 *First Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing: Evolution in Remote Sensing*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/WHISPERS.2009.5289050>.
3. Green, R. O., Pieters, C., Mouroulis, P., Eastwood, M., Boardman, J., Glavich, T., Isaacson, P., Annadurai, M., Besse, S., Barr, D., Buratti, B., Cate, D., Chatterjee, A., Clark, R., Cheek, L., Combe, J., Dhingra, D., Essandoh, V., Geier, S., ... Wilson, D. (2011). The Moon Mineralogy Mapper (M<sup>3</sup>) imaging spectrometer for lunar science: Instrument description, calibration, on-orbit measurements, science data calibration and on-orbit validation. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 116(E10). <https://doi.org/10.1029/2011JE003797>.
4. Lu, Y., Shao, Q., & Yue, H. (2019). A Review of the Space Environment Effects on Spacecraft in Different Orbits. *IEEE Access*, PP, 1–1. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2927811>.
5. Vilenius, E., Mall, U., & Kaydash, V. (2006). In-flight calibration of SIR near infrared spectrometer onboard SMART-1 (p. 139). <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2006epsc.conf..139V>.
6. Kieffer, H.H. Photometric Stability of the Lunar Surface. *Icarus* 1997, 130, 323–327, doi:10.1006/icar.1997.5822.
7. Seelin, kiran kumar, roy chowdhury, A., Murali, K., Sarkar, S., Joshi, S., Mehta, S., Shah, K., Banerjee, A., Mathew, K., & Sharma, B. N. (2009). The Hyper Spectral Imager Instrument on Chandrayaan-1. 1589.
8. Matsunaga, T., Ohtake, M., Haruyama, J., Ogawa, Y., Yokota, Y., Morota, T., Honda, C., Torii, M., Nakamura, R., & Kodama, S. (2008). Kaguya(SELENE) / Spectral profiler : In-flight performance and future plan.
9. Pieters, C. M., Head, J. W., Isaacson, P., Petro, N., Runyon, C., Ohtake, M., Föing, B., & Grande, M. (2008). Lunar international science coordination/calibration targets (L-ISCT). *Advances in Space Research*, 42(2), 248–258. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2007.05.038>.
10. Foing, B. H., & Wu, J. (2008). Beijing Lunar Declaration 2006. *Advances in Space Research*, 42(2), 244–245. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2008.03.01511>. Wu, Y., Xu, X., Xie, Z., & Tang, Z. (2009). Absolute calibration of the Chang'E-1 IIM camera and its preliminary application. *Science in China Series G: Physics, Mechanics and Astronomy*, 52(12), 1842–1848. <https://doi.org/10.1007/s11433-009-0282-z>.
11. Meyer, C. (2010). Meyer, Charles. (2004). Carbon content and maturity index for 62241, Lunar Sample Compendium. *NASA STI/Recon Technical Report N. 6. 11039*. <https://curator.jsc.nasa.gov/lunar/lsc/index.cfm>.
12. Wagner, R., Speyerer, E., Burns, K., Danton, J., & Robinson, M. (2012). REVISED COORDINATES FOR APOLLO HARDWARE. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXIX-B4, 517–521. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XXXIX-B4-517-2012>.
13. Carlé M. Pieters. (1999). The moon as a spectral calibration standard enabled by lunar samples: the clementine example. Dept. Geological Sciences, *Brown University*, Providence, RI 02912
14. <https://sites.brown.edu/rehab/apollo-16-soil-62231/> - достъпен на 17.10.2023 г.

15. <https://sites.brown.edu/rehab/lsccl/> - достъпен на 17.10.2023 г.
16. Hawke, B. R., Blewett, D. T., Lucey, P. G., Smith, G. A., Bell, J. F., Campbell, B. A., & Robinson, M. S. (2004). The origin of lunar crater rays. *Icarus*, 170(1), 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2004.02.013>.
17. AS15-M-0414 Mapping Camera on the Apollo 15 CSM Endeavour.
18. Czapinski, E. C., Harrington, E. M., Bell, S. K., Tolometti, G. D., Farrant, B. E., Bickel, V. T., Honniball, C. I., Martinez, S. N., Rogaski, A., Sargeant, H. M., & Kring, D. A. (2021). Human-assisted Sample Return Mission at the Schrödinger Basin, Lunar Far Side, Using a New Geologic Map and Rover Traverses. *The Planetary Science Journal*, 2(2), 51. <https://doi.org/10.3847/PSJ/abdb34>.
19. Petro, N. E., & Pieters, C. M. (2004). Surviving the heavy bombardment: Ancient material at the surface of South Pole-Aitken Basin. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 109(E6). <https://doi.org/10.1029/2003JE002182>.
20. Bugiolacchi, R., Mall, U., Bhatt, M., McKenna-Lawlor, S., & Ullaland, K. (2013). From the Imbrium Basin to crater Tycho: The first regional spectral distribution map derived from SIR-2 near-infrared data. *Icarus*, 223(2), 804–818. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2013.01.018>.
21. Bussey, D. B. J., Lucey, P. G., Steutel, D., Robinson, M. S., Spudis, P. D., & Edwards, K. D. (2003). Permanent shadow in simple craters near the lunar poles. *Geophysical Research Letters*, 30(6). <https://doi.org/10.1029/2002GL016180>.
22. Mest, S. (2011). The geology of Schrödinger basin: Insights from post-Lunar Orbiter data. *Special Paper of the Geological Society of America*, 477, 95–115. [https://doi.org/10.1130/2011.2477\(04\)](https://doi.org/10.1130/2011.2477(04)).
23. Foing, B., Racca, G., Josset, J.-L., Koschny, D., Frew, D., Almeida, M., Zender, J., Heather, D., Peters, S., Marini, A. E. A., Stagnaro, L., Beauvivre, S., Grande, M., Kellett, B., Huovelin, J., Nathues, A., Mall, U., Ehrenfreund, P., & McCannon, P. (2008). SMART-1 highlights and relevant studies on early bombardment and geological processes on rocky planets. *Physica Scripta*, 2008, 014026. <https://doi.org/10.1088/0031-8949/2008/T130/014026>.
24. Li, S., Jiang, X., & Tao, T. (2016). Guidance Summary and Assessment of the Chang'e-3 Powered Descent and Landing. *Journal of Spacecraft and Rockets*, 53(2), pp. 258–277. <https://doi.org/10.2514/1.A33208>.
25. Wu, Yunzhao, Wang, Zhenchao, Cai, Wei, & Lu, Yu. The Absolute Reflectance and New Calibration Site of the Moon. United States. Wu, Yunzhao, Wang, Zhenchao, Cai, Wei, & Lu, Yu. The Absolute Reflectance and New Calibration Site of the Moon. United States. <https://doi.org/10.3847/1538-3881/AABAF5>.
26. Li, C.-L., Mu, L.-L., Zou, X.-D., Liu, J.-J., Ren, X., Zeng, X.-G., Yang, Y.-M., Zhang, Z.-B., Liu, Y.-X., Zuo, W., & Li, H. (2014). Analysis of the geomorphology surrounding the Chang'e-3 landing site. *Research in Astronomy and Astrophysics*, 14(12), pp. 1514–1529.
27. Morlok, A., Joy, K. H., Martin, D., Wogelius, R., & Hiesinger, H. (2022). Laboratory IR spectroscopy of soils from Apollo 14, 15, and 16: Spectral parameters and maturity. *Planetary and Space Science*, 223, 105576. Morlok, A., Joy, K. H., Martin, D., Wogelius, R., & Hiesinger, H. (2022). Laboratory IR spectroscopy of soils from Apollo 14, 15, and 16: Spectral parameters and maturity. *Planetary and Space Science*, 223, 105576. <https://doi.org/10.1016/j.pss.2022.105576>.