

De maan afstoffen

Het gedrag van maanstof bestuderen ter voorbereiding op toekomstige verkenningsmissies

Karolien Lefever en Sylvain Ranvier

Terwijl ruimtevaartorganisaties zich voorbereiden op een terugkeer naar de maan, staan wetenschappers en ingenieurs voor de uitdaging om een groot omgevingsgevaar te beperken: stof. Geladen stofachtige deeltjes vormen een ernstig risico voor de gezondheid van ruimtevaarders en voor ruimte-instrumenten.



Een artistieke weergave van een astronaut aan het werk op het maanoppervlak tijdens een toekomstige Artemis-missie.
© NASA



Stof verlicht door een bundel zonnestralen. © Istock Foto

Stof op aarde

Stof is alomtegenwoordig en kan een echte plaag zijn. Op aarde vind je het mengsel van kleine deeltjes (huisstofmijt, vezels, aarde, pollen, ...) op oppervlakken overal in huis. Wanneer het verstoord wordt, kan het neergeslagen stof opwaaien. Terwijl sommigen ervan genieten om het te zien schitteren in het zonlicht, beginnen anderen alleen maar te niezen. Gelukkig kunnen we ons gemakkelijk van het stof ontdoen door het voorzichtig weg te nemen met een stofdoek of door een stofzuiger te gebruiken.

Stof op de maan

Ook buiten het oppervlak en de atmosfeer van de aarde kan stof vervelend en verraderlijk zijn. Op de maan bijvoorbeeld. Toen de Apollo-astronauten terugkeerden van de maan, irriteerde het stof dat aan hun ruimtepakken kleefde hun keel en deed het hun ogen tranen. Maanstof bestaat uit kleine, scherpe en schurende deeltjes maangesteente. Rotsen en mineralen op het maanoppervlak worden mechanisch in kleinere deeltjes gebroken door inslagen van meteorieten en micrometeorieten. Ze zijn elektrostatisch geladen en hechten zich aan elk oppervlak, van ruimtepakken tot elektronica en optica, en dringen zelfs de longen van astronauten binnen.

In tegenstelling tot op aarde is het niet zo eenvoudig om ervan af te komen. De bemanningen probeerden met een borstel of met hun handen het scherpe, schurende stof van hun ruimtepakken te vegen, maar geen van beide methoden bleek erg effectief. Door de lage zwaartekracht op de maan, een zesde van die op aarde, blijven kleine deeltjes langer zweven en dringen ze dieper in de longen door.

De aanwezigheid van deze geladen stofachtige deeltjes op de maan - maar ook op Mars, kometen en asteroïden - vormt een echte uitdaging voor toekomstige (bemande en onbemande) verkenningmissies naar hemellichamen in het zonnestelsel. Naast het in gevaar brengen van de gezondheid van de astronaut-e door irritatie en inademing van het maanstof, heeft het nog veel meer gevaarlijke (instrumentele) effecten. Om er maar een paar te noemen: scheuren in het ruimtepak, verduistering van het zicht, foutieve instrumentale metingen, stofophoping en -vervuiling, obstructie van zonnepanelen, verlies van grip, verstopping van mechanismen, slijtage, thermische controleproblemen (oververhitte radiatoren) en defecten aan afdichtingen.

Apollo 17-astronaut Harrison Schmitt verzamelt een bodemonmonster, zijn ruimtepak bedekt met stof.
NASA-afbeelding AS17-145-22157. © NASA



Verschillen tussen grond op aarde en op de maan

Hoewel we dezelfde terminologie gebruiken om het over de 'bodem' op de aarde of de maan te hebben, hebben ze weinig gemeen. Op aarde wordt de bodem gevormd door biologische of chemische processen, terwijl maangrond geen organisch materiaal bevat en, hoewel door straling veroorzaakte chemische reacties verschillende soorten stof bepalen, wordt het puur gevormd door mechanische vermaling door meteoroiden en de interactie met de zonnewind en andere energetische deeltjes.

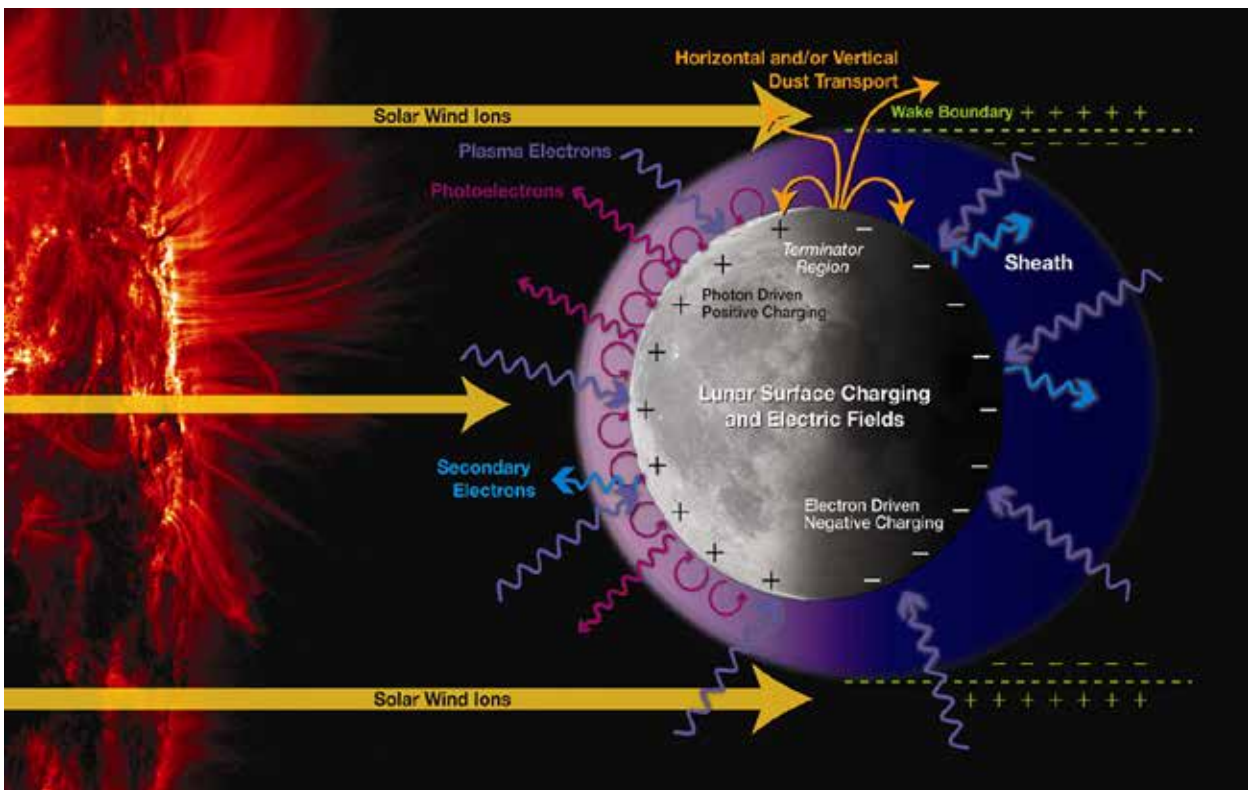
In tegenstelling tot de aarde, waar steentjes in de loop der tijd door de natuurlijke elementen worden afgerond, waardoor we er maar weinig problemen mee hebben, is maangrond niet blootgesteld aan erosie. Zonder wind en water om de randen af te slijten, zijn maankorrels vaak erg scherp en hoekig, met vers afgebroken oppervlakken. Scherp als glas, maar fijn als poeder: maanstof kan minder dan 20 micron groot zijn, waardoor het zeer schadelijk is op manieren die we op aarde niet zien.

Anders dan op aarde is maanstof niet opeengepakt. Elke activiteit op het oppervlak kan emmers vol stof doen opwaaien, maar zelfs zonder dat er astronautoen op het oppervlak rondlopen of een maanmodule voet aan wal zet, zijn er stofdeeltjes en wolken gezien die enkele centimeters tot meters boven het oppervlak zweven. Ondanks het feit dat er geen wind of water over het oppervlak stroomt om ze op te tillen! Kleine stofdeeltjes kunnen op de maan zelfs over enorme afstanden worden getransporteerd. Wetenschappers schrijven de mobilisatie van stof toe aan elektrostatische krachten. Soortgelijke verschijnselen zouden zich kunnen voordoen op andere hemellichamen zonder lucht, zoals kometen en asteroïden.



Toen de Apollo-missie zich in zijn baan aan de achterkant van de maan bevond, zagen astronauten net na zonsondergang een ongelooflijk heldere lichtboog aan de horizon schijnen. De heldere stip bovenaan is de planeet Venus.
© NASA

Verschillende stofladingsverschijnselen in het spel.
Figuur uit 'Heliophysics Science and the Moon' NASA Advisory Council Report, gebruikt met toestemming van de maker Dr. Jasper Halekas.



Stoflading

Maanstof kan er anders uitzien en zich anders gedragen afhankelijk van de positie op het oppervlak ten opzichte van de zon (de zenithoek van de zon). De kant die naar de zon is gericht (de *dagkant*), wordt bijvoorbeeld voortdurend blootgesteld aan zonnestraling. De bestraling met zonlicht in het UV- en röntgenbereik resulteert in foto-emissie van elektronen, waardoor het stof aan de dagkant een lichte positieve elektrische lading krijgt, met een potentiaal van ongeveer +10 V. Door deze elektrische lading kleeft het overal aan vast - net als statische elektriciteit hier op aarde.

Aan de *nachtzijde* wordt het oppervlak alleen beïnvloed door de plasma-omgeving. De belangrijkste elektrische stroom wordt veroorzaakt door het verzamelen van elektronen uit het plasma, deels afgezwakt door de emissie van secundaire elektronen vanaf het oppervlak, wat een negatieve potentiaal veroorzaakt die buiten de aardmagnetosfeer naar schatting tussen -100 V en -200 V ligt.

Nabij de *terminator*, het gebied tussen de beschaduwde en de door de zon verlichte zijde, zijn sterke elektrische velden aanwezig vanwege de snelle overgang van positieve naar negatieve potentialen. Middelgrote tot kleine structuren zoals kraters of rotsen kunnen dit aspect zelfs versterken. Dit elektrische veld zou de oorzaak kunnen zijn voor de elektrostatische levitatie en het horizontaal transport van maanstofkorrels, wat leidt tot netto afzetting van stof van het donkere naar het zonverlichte halfmond.



Het DUSTER-project

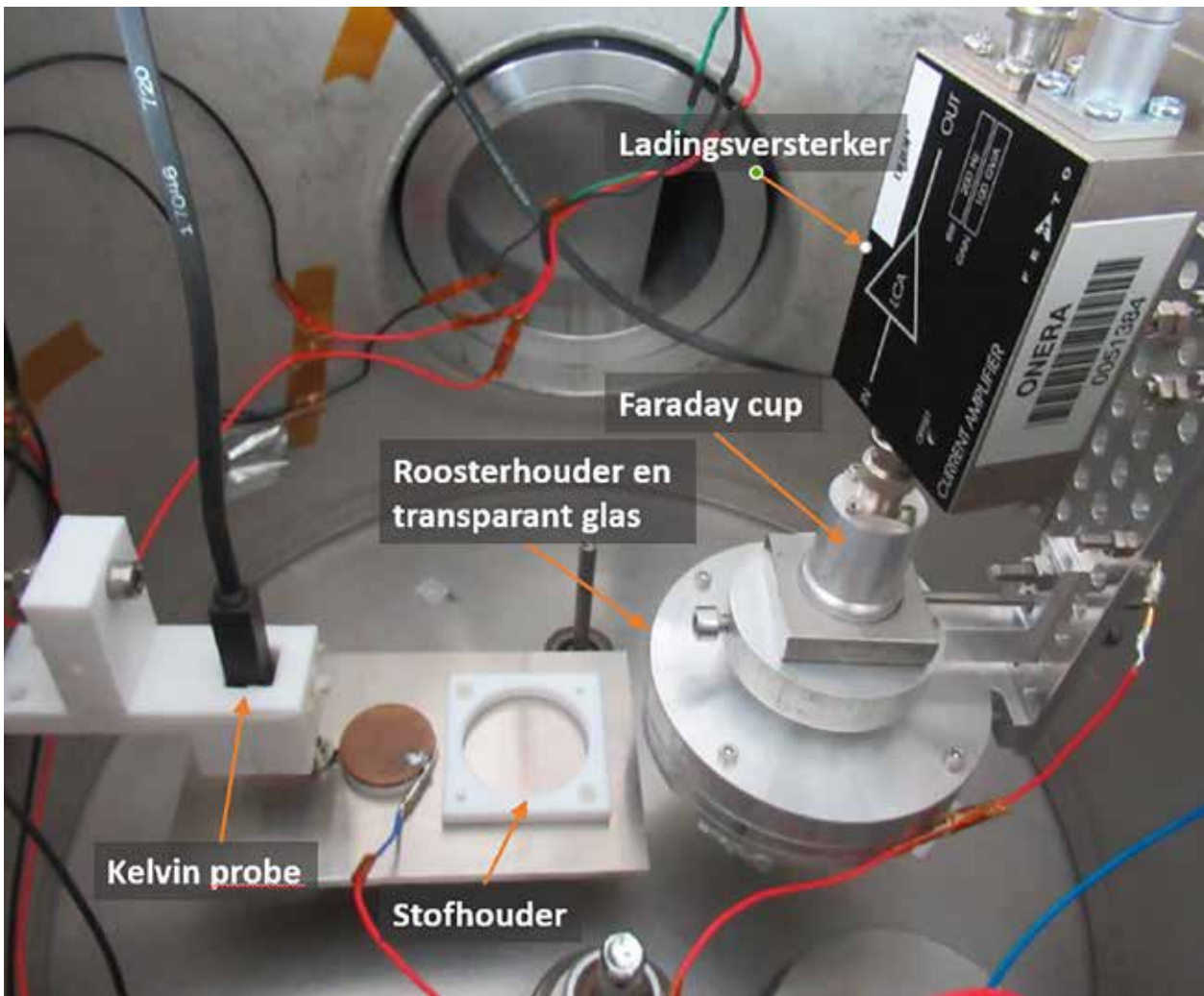
Nu ruimtevaartorganisaties zoals NASA zich klaarmaken om terug te keren naar de maan, onderzoeken internationale teams van wetenschap-pers-sters en ingenieurs grondig de fysische eigenschappen van stof aan het maanoppervlak om de risico's op stofvervuiling in te schatten en manieren te vinden om de gevaren ervan efficiënt te beperken. Onder hen een team onder leiding van het Koninklijk Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA), dat zijn krachten bundelt met ONERA, het Franse Aerospace Lab (Frankrijk), Instituto de Astrofísica de Andalucía (CSIC-IAA, Spanje) en Thales Alenia Space - España (TAS-E, Spanje) in het kader van het Horizon Europe DUSTER-project.

Logo van het Horizon Europe DUSTER-project. Het stelt de maan voor met geladen stofachtige deeltjes van verschillende grootte, op of opgetild van het oppervlak, met op de achtergrond de aarde gezien vanaf het maanoppervlak.
© BIRA

DUSTER, afkorting van 'Dust Study, Transport, and Electrostatic Removal for Exploration Missions' (studie, transport en elektrostatische verwijdering van stof voor verkenningsmissies) is gericht op de studie van de elektrostatische lading en adhesie van de stofkorrels in het regoliet, wat cruciaal is voor het begrijpen van het stoftransport aan het oppervlak van hemellichamen zonder atmosfeer, door middel van laboratoriumexperimenten. Anderzijds mikt DUSTER ook op de ontwikkeling van een technisch model van een instrument dat de nodige metingen kan uitvoeren om deze fenomenen ter plaatse, op het maanoppervlak, te onderzoeken.

De Dust Regolith Or Particles (DROP)-vacuümkamer in ONERA (Toulouse) die gebruikt wordt om de laboratoriumexperimenten uit te voeren.
© ONERA





Door de technologie te ontwikkelen die nodig is om stofkorrels op een gecontroleerde manier elektrostatich te verplaatsen, is dit een eerste stap in de richting van een gevoelig apparaat voor oppervlaktereiniging.

Testen op maanstof-lookalikes in een gesimuleerde ruimteomgeving

Om de lading van regoliet in ruimteomgevingen beter te begrijpen, onderzoekt het DUSTER-team eerst de stoflading in het laboratorium door een experimentele en modelmatige aanpak.

De DROP-faciliteit (Dust Regolith Or Particles) in ONERA Toulouse bootst de omstandigheden op de maan zo realistisch mogelijk na. Deze vacuümkamer is uitgerust met een turbomoleculaire pomp, waarmee tests bij een druk van 10^{-6} mbar kunnen worden uitgevoerd. Om de bestraling van de bodem door de zon te simuleren, wordt een vacuüm-ultraviolette (VUV) fotonenbundel vergelijkbaar met 1 zon gebruikt om de stoflaag te verlichten. De gemiddelde potentiaal van het stof na VUV-bestraling wordt gemeten met een contactloze Kelvin-sonde. Het stof dat wordt aangetrokken door het rooster en de elektroden wordt opgevangen door een Faraday-cup.

Opstelling van de stofdetector voor het DUSTER-project. Een kijkje binnen de DROP-vacuümkamer. De maanstofhouder meet 5×5 cm² met een centraal gat voor maanstofsimulanten. Het rooster dat wordt gebruikt om de stofdeeltjes aan te trekken, zit vast aan de roosterhouder. Het transparante glas wordt vastgehouden door de glashouder en wordt gebruikt om de stofafzetting visueel te observeren. De Faraday-cup meet de stroom, die vervolgens wordt versterkt door de transimpedantie versterker (FEMTO). Links zie je ook de Kelvin probe, die gebruikt wordt om de potentiaal van het stof te meten.

© ONERA

Met deze opstelling meten ze verschillende fysische grootheden, waaronder het elektrisch veld dat nodig is om geladen korrels in beweging te brengen, de elektrische lading die wordt gedragen door de gemobiliseerde stofkorrels, de ladingsparameters en het elektrisch veld aan het oppervlak van de stoflaag.

Directe toegang tot echte maangrond is niet zo eenvoudig. Daarom gebruiken wetenschappers en ingenieurs kunstmatig maanstof, dat ontworpen is om het stof op het maanoppervlak na te bootsen en haar gedrag in hun laboratoria te bestuderen. Er zijn drie verschillende soorten maanstofsimulanten beschikbaar: JSC-1A, LHS-1 en LMS-1. ONERA selecteerde JSC-1A (Johnson Space Center-One A), vormalen uit basaltgesteente, voor testdoeleinden.

De eerste resultaten zijn zeer bemoedigend. Ze geven aan dat het haalbaar is om in het laboratorium de stofkorrels aan te trekken met elektrostatische krachten, een stroom te meten terwijl ze de Faraday-cup in- en uitgaan, en de hoeveelheid elektrische lading af te leiden die deze stofkorrels met zich meedragen. Dit is een belangrijke mijlpaal voor het project.

Een instrumentprototype voor in-situ-metingen

Op basis van de resultaten van de tests in het laboratorium zal een prototype van een in-situ-instrument worden ontworpen, gefabriceerd en getest in een gecontroleerde omgeving. Het compacte DUSTER-instrument moet een in-situ-analyse van stofeigenschappen (mechanisch en elektrisch) en elektrostatisch transport mogelijk maken wanneer het geïnstalleerd is op een kleine maanlander.

Uiteindelijk moet het mogelijk zijn om stofkorrels op een gecontroleerde manier te extraheren uit natuurlijk regoliet dat blootgesteld is aan een natuurlijke (d.w.z. ongecontroleerde) omgeving. Hiervoor zal het instrument bestaan uit drie sensoren: een Langmuir-sonde, een elektrisch veld sonde en een stofcollector die bestaat uit een hoogspanningselektrode gekoppeld aan een elektrometer.

De Langmuir- en elektrisch veld sondes zullen respectievelijk de omgeving van het plasma en het elektrisch veld dicht bij het oppervlak registreren, terwijl de stofcollector een gecontroleerde kracht zal uitoefenen op de geladen stofdeeltjes om ze aan te trekken en de stroom te meten die resulteert uit de mobilisatie van de geladen stofdeeltjes in de Faraday-cup.

De verkregen parameters zullen het mogelijk maken om het elektrisch veld te bepalen dat nodig is om stof aan te trekken/op te vangen in functie van de omgevingsomstandigheden (verlichting, plasmadichtheid en temperatuur), wat dan weer zal toelaten om elektrostatische stofvangers en stofmonstercollectoren te ontwerpen voor een brede waaier van omgevingen (maan, Mars, komeet of asteroïde).

IAA ontwerpt momenteel de elektronicabekisting waarin de voedingsborden en de besturings- en verwerkingsborden van het DUSTER-instrument zullen worden ondergebracht. Ze ontwikkelen ook de verwerkingseenheid en de software aan boord voor het verkrijgen van de wetenschappelijke gegevens die naar de aarde zullen gestuurd worden.

De auteurs

Karolien Lefever is hoofd van de dienst 'Communicatie en documentatie' van het Koninklijk Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA).

Sylvain Ranvier is wetenschapper in de onderzoeksgroep 'Magnetosfeer-ionosfeer koppeling' van het BIRA en coördinator van het DUSTER-project.

Dit project is gefinancierd door het HORIZON-programma voor onderzoek en innovatie van de Europese Unie onder subsidieovereenkomst nr 101082466.



Erratum

In de bijdrage gewijd aan de Juice-missie die in het vorige nummer van *Science Connection* verscheen, kon men verkeerdelijk lezen dat de ruimtebasis van Kourou in Frans-Guyana gelegen is aan de Stille Oceaan. Kourou ligt immers aan de Atlantische Oceaan. Dank aan onze aandachtige lezers en lezeressen.

