



Vulkanisme en water op MARS?

figuur 1: De marsrover zoals die nu op Mars rondrijdt. Door stofdeeltjes die op de zonnepanelen neerslaan is de conditie van de voertuigjes momenteel sterk aan het achteruit gaan [bron: NASA]

In januari 2004 werd Mars bezocht door de tweeling robotverkenner Spirit en Opportunity. Zij werden erop uitgestuurd om eindelijk het definitieve antwoord te geven op de vraag of er leven op Mars is geweest. Alles wijst er inmiddels op dat er op Mars ooit vloeibaar water stroomde. Of daarmee een bewijs geleverd is over het bestaan van leven op Mars blijft echter een open vraag.

door: Jan van Loef (IRI) en Alexander J.M. Schmets (Delft Centre for Materials)

In januari 2004 heeft Mars bezoek gekregen van de 'Boeing Delta II launch vehicle' in het kader van de 'Mars Exploration Rover' missie. Het landingsvoertuig zette onder andere de door NASA ontworpen (identieke) tweeling robotverkenner Spirit en Opportunity (figuur 1) op de planeet. Beide zijn uitgerust met een klein laboratorium voorzien van apparatuur, waarmee metingen kunnen worden uitgevoerd aan gesteenten op Mars. De drijfveer van dit onderzoek is kort gezegd een speurtocht naar resten van water. Eén van de instrumenten is de in Duitsland gebouwde miniatuur mössbauerspectrometer (figuur 2). Hiermee zijn op Mars ijzerrijke mineralen geïdentificeerd.

Het eerste mössbauerspectrum werd 17 januari 2004 op Mars gemeten met de Spirit, een paar weken later gevolgd door een spectrum verkregen met de Opportunity. Deze spectra met de daarbij horende computeranalyses zijn door Klingelhofer (Universiteit Mainz) onder mössbauergebruikers verspreid.

Mössbauerspectrometrie is een techniek waarbij gebruik gemaakt wordt van de resonante absorptie van gammastraling. De bron, het instrument, zendt straling uit, bijvoorbeeld afkomstig van het ijzerisotoop ^{57}Fe . Deze straling kan geabsorbeerd worden als het onderzochte gesteente ook dit ijzerisotoop bevat. Meestal is het ijzer in het onderzochte gesteente 'omringd' door andere atomen dan het ijzer in de bron. Deze andere 'omgeving' leidt tot een zeer geringe verschuiving in de energieniveaus, waardoor de absorptie niet meer kan plaatsvinden. Door de bron nu echter te laten bewegen ten opzichte van het preparaat zal de gammastraling een kleine dopplerverschuiving ondergaan, waardoor de resonante absorptie weer kan plaatsvinden (figuur 3). Op deze wijze is zeer precies de chemische omgeving van een ijzerkern te bepalen, en daarmee »

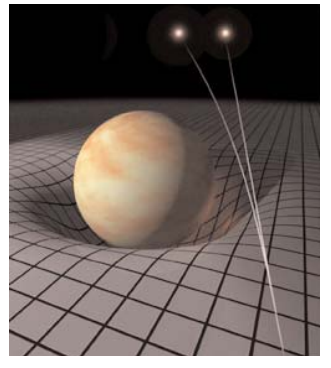
Einstein en het Mössbauereffect

Dit jaar, 2005, is het precies honderd jaar geleden dat Albert Einstein zijn reputatie vestigde. In dat ene jaar zette hij met vier baanbrekende ideeën de hele natuurwetenschap op zijn kop. Allereerst toonde hij door zijn theoretische beschouwingen over de Brownse beweging, het met een gewone lichtmicroscopie waarneembare effect dat stuifmeelkorrels in oplossing langs grillige paden bewegen, onomstotelijk het bestaan van moleculen aan. Dat was tot dat moment een sterke controverse binnen de natuurkunde. Vervolgens verklaarde hij het fotoelektrisch effect door, teruggrijpend op Newton, te stellen dat licht uit deeltjes (fotonen) bestaat. Daarmee gaf hij een aanzet tot de kwantummechanica, de mechanica van objecten op kleine lengteschalen, die aan de basis staat van het huidige halfgeleiderperk. De meeste bekendheid verwierf hij echter door de relativiteitstheorie. Deze theorie herdefinieert de begrippen ruimte en tijd en vervangt de mechanica van Newton indien systemen zeer hoge snelheden bezitten. Deze snelheden komen veel meer voor dan je zou denken, zowel op atomaire als astronomische schaal. Uit de relativiteitstheorie leidde hij vervolgens de wereldberoemde formule af die de equivalentie tussen massa en energie uitdrukt: $E = mc^2$.

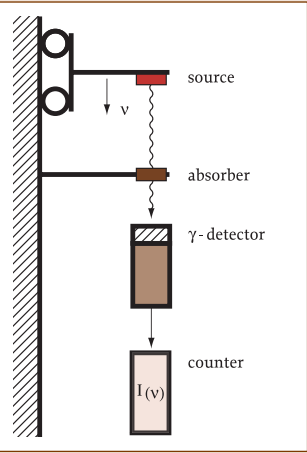
Later, in 1915, breidde Einstein de relativiteitstheorie verder uit naar systemen die versneld bewegen: de algemene relativiteitstheorie. Deze theorie stelt dat zwaartekracht niets anders is dan een kromming van de ruimte veroorzaakt door de aanwezigheid van massa in die ruimte. In 1919 toonde Eddington experimenteel aan dat de voorspelling van de algemene relativiteitstheorie klopte, bij een totale zonsverduistering mat hij dat het licht van verre sterren precies zo afboog als Einstein voorspelde (figuur 1). De meeste experimenten die de algemene theorie testen vinden plaats op astronomische schaal, en niet onder laboratorium omstandigheden. Dit heeft te maken met de uiterst kleine effecten die de theorie op laboratoriumschaal voorspelt.

Met behulp van het Mössbauereffect is men echter in staat zeer kleine verschillen in frequentie te meten; effecten van de orde 1 op

figuur I: De algemene relativiteitstheorie zegt dat de aanwezigheid van massa de ruimte kromt. Dit is waar te nemen aan de schijnbare positie van sterren. [bron: Sean M. Carroll]



figuur II: Een consequentie van de algemene relativiteitstheorie is dat 'vallend licht' een kleine frequentieverschuiving ondergaat (in het afgebeelde geval een zgn blauwverschuiving). Deze verschuiving is zo klein dat deze alleen met behulp van mössbauerspectroscopie waar te nemen is. [bron: Alexander Schmets]

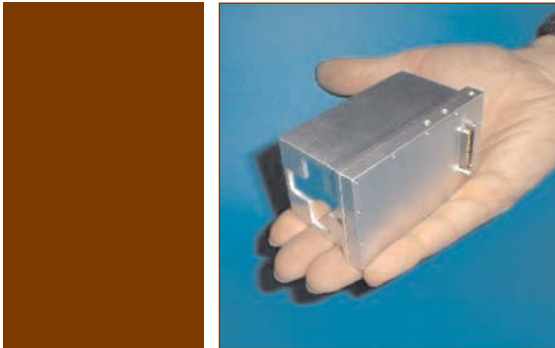


duis ook het soort gesteente. Het soort ijzerverbinding dat wordt aangetroffen hangt natuurlijk nauw samen met de geologische geschiedenis van Mars. Emeritus hoogleraar Jan van Loef van het

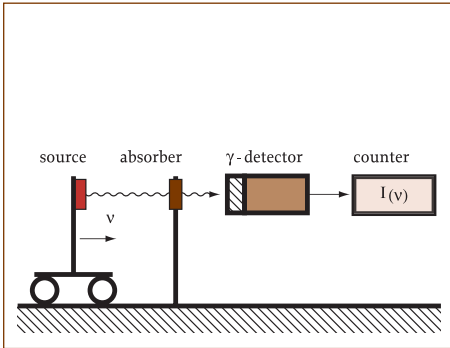
Interfacultair Reactor Instituut (IRI) heeft na een actieve loopbaan in de stralingsfysica zijn passie voor de wetenschap nog niet opgegeven. Zijn expertise op het gebied van mössbauerspectrometrie zet hij nu in om

geologische verschijnselen te verklaren. Zo verzamelt hij ijzerhoudende mineralen en analyseert deze met de op het IRI aanwezige spectrometers. Uit deze metingen kan dan nuttige informatie over geologische »

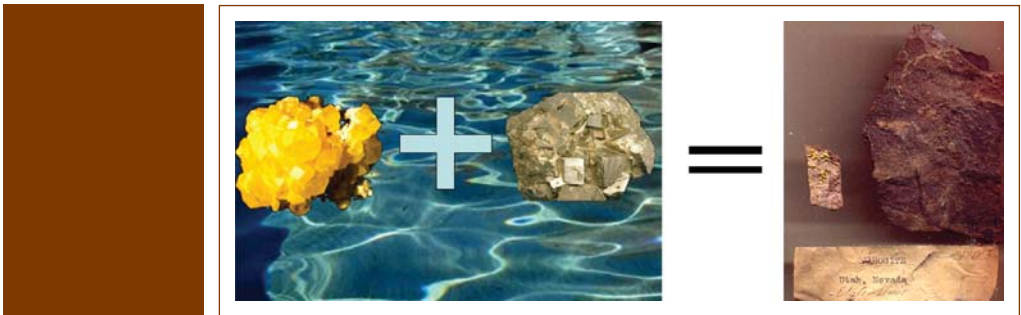
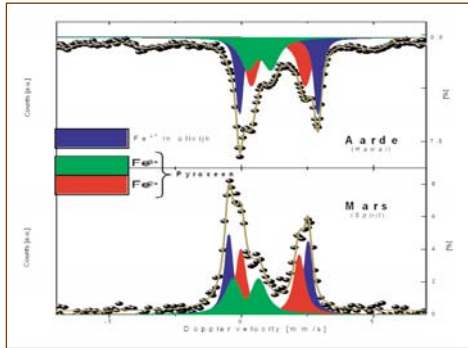
figuur 2: De miniatuur mössbauerspectrometer (MiMos) zoals die gebruikt is in de verkenningsvoertuigjes op Mars. Totaal gewicht 400 gram, verbruik 1 Watt, totaal volume 220 cm³. [bron: Universiteit Mainz]



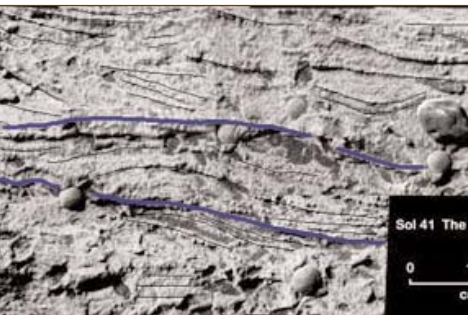
figuur 3: Een schematische mössbaueropstelling. Uit de snelheid waarbij de absorptie optreedt is gedetailleerde informatie over de atomaire structuur van het preparaat af te leiden. [bron: Alexander Schmets]



figuur 4: De spectra zoals gemeten op Mars (onder) en aan gesteente uit Hawaï (boven) zijn nagenoeg identiek. Hieruit kunnen concluderen dat de marsgesteenten van vulkanische oorsprong zijn. [bron: IRI]



figuur 5: Uit analyse van metingen door de Opportunity is het voorkomen van het mineraal jarosiet op Mars aangetoond. Dit mineraal ontstaat uit verwerking van pyriet in een milieu van zwavelhoudend water. De aangetoonde aanwezigheid van jarosiet, zwavel en pyriet op Mars impliceert het voorkomen van water. [bron: Alexander Schmets]



figuur 6: Detail opname door de Opportunity van gesteente op Mars. Het lamellen patroon wijst op sedimentatie in water. [bron: NASA/Cornell University]

geschiedenis van de vindplaats verkregen worden. Toen Van Loef de hoge kwaliteit van de nogal complexe spectra van Mars onder ogen kreeg werd hij onmiddellijk enthousiast. Dergelijke patronen waren enkele jaren geleden al eens eerder door hem gemeten bij vulkanische materialen, gevonden bij de vulkaan Kilauea op Hawaïi.

Een in het laboratorium gemeten 57Fe-mössbauerspectrum is verkregen door het te onderzoeken ijzerhoudend gesteente in poedervorm als 'absorber' tussen de bron en de detector te plaatsen. Daarentegen wordt het mössbauerspectrum op Mars gemeten door terugverstrooiing van de gammastraling door ijzerkernen in het gesteente. Bij de verstrooiingsmeting zijn er maxima in de spectra bij die dopplersnelheid van de bron waarbij resonante absorptie in 57Fe optreedt, terwijl in de transmissiemeting dan juist minima in de spectra te zien zijn. Dit wordt geïllustreerd in figuur 4, waar het bovenste spectrum gemeten is op Mars en het onderste in Delft (IRI). De centrale doubletten in beide spectra zijn praktisch gesproken elkaars spiegelbeeld. Een magnetische fase (de slingeringen in de flanken van het spectrum) wordt niet gemeten in het spectrum van de

Spirit; in het IRI-spectrum is een magnetisch hyperfijn-spectrum te zien dat toegeschreven kan worden aan de aanwezigheid van magnetiet. Met de Opportunity is wel een magnetisch hyperfijnspectrum analoog aan de in IRI gemeten spectra gevonden. Dit duidt dus op de aanwezigheid van magnetiet op Mars.

Van de in IRI onderzochte preparaten uit Hawaïi is uit de elementanalyse met behulp van neutronenactivering en röntgendiffractie de aard van het gesteente bepaald. Het blijkt dat het gesteente behoort tot een specifiek type basalt dat van vulkanische herkomst is. De grote gelijkheid van de mössbauerspectra van Kilauea met die van Mars suggereert dat de laatste ook vulkanisch van aard zou kunnen zijn. Hieruit is echter geen informatie over water af te leiden.

Begin maart 2004 is een ander spectrum door de Opportunity gemeten in afgeslepen gesteente materiaal. Uit de analyse van dit spectrum blijkt dat jarosiet de belangrijkste component is. Jarosiet is een ijzerhoudend mineraal dat sulfaat en gebonden water in de vorm van hydroxyl (het OH anion) bevat. Op aarde is jarosiet bekend als secundair mine-

raal dat ontstaat na verwerking van pyriet in aanwezigheid van water in de buurt van zwavelhoudende bronnen in vulkanische gebieden (figuur 5). De aanwezigheid van jarosiet op Mars is dus een sterke aanwijzing dat er zich ooit water op Mars heeft bevonden. Over de specifieke condities waaronder jarosiet gevormd is wordt nog druk gespeculeerd. Of er ondiepe zeeën waren op Mars, water in de vorm van grondwater aanwezig is of dat het water 'gecondenseerd' is uit vulkanische erupties is nog onbekend.

Ten slotte wordt de aanwezigheid van water verder ondersteund door gedetailleerde fotografische opnamen van het oppervlak van Mars. Op deze foto's zijn duidelijk gelaagde structuren zichtbaar die ontstaan zijn door langzame sedimentatie in water (figuur 6). Verder duiden waargenomen erosiepatronen ook sterk op de aanwezigheid van water in vloeibare vorm.

Of dit alles genoeg is om over leven op Mars te kunnen spreken? De temperatuur en de aanwezigheid van water zijn daarvoor noodzakelijke randvoorwaarden, maar of dat alleen voldoende is zal verder onderzoek moeten aantonen. ✖



OC&C Strategy Consultants
Benelux

Strategy Course

Bepaal jij de richting?

OC&C Strategy Consultants daagt talentvolle studenten uit om deel te nemen aan één van onze Strategy Courses die zullen plaatsvinden op 14 april, 12 mei en 23 juni 2005.

Tijdens deze dag maak je kennis met strategische consulting voor topmanagement in het algemeen en de unieke sfeer en de mensen van OC&C in het bijzonder. In projectteams met enkele medestudenten en OC&C-consultants structureer je de vraagstukken, formuleer je hypothesen en toets je deze met op feiten gebaseerde analyses. Tenslotte presenteer je je conclusies aan de cliënt.

Ga de uitdaging aan, en vraag telefonisch of per e-mail een inschrijfformulier voor de Strategy Course aan. Selectie zal plaatsvinden op basis van dit formulier en eventueel een gesprek.

**OC&C
global
network:**

Brussels
Düsseldorf
Hamburg
London
Los Angeles
Milan
New York
Paris
Rome
Rotterdam
São Paulo

Weena 157
3013 CK Rotterdam
010 - 217 5555

contact@occstrategy.nl
www.occstrategy.nl