

Actieve vulkanen in het heelal

door Dr. J. van Diggelen

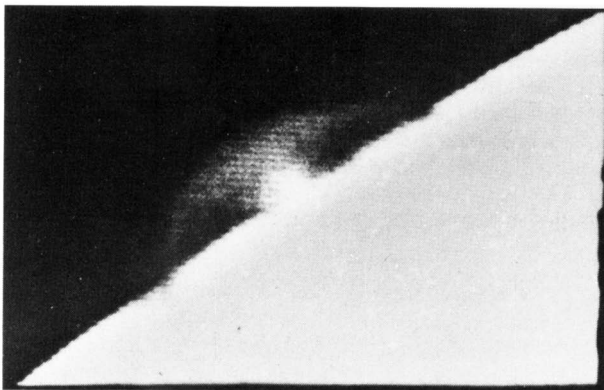
De verrassing Io

In het voorjaar van 1977 werden er twee Amerikaanse ruimtesondes in de richting van de planeet Jupiter gelanceerd, de Voyager 1 en 2, nadat reeds eerder twee andere de planeet gepasseerd waren. Deze verkenners hebben niet alleen Jupiter zelf maar ook zijn satellieten onderzocht. Op sommige van de gemaakte opnamen waren daarbij details van slechts 1 km grootte zichtbaar. Speciaal bij een van de maantjes van de planeet, die Io wordt genoemd, zijn daarbij spectaculaire dingen aan het licht gekomen. Io heeft een diameter van plm. 3700 km.

Op 9 maart 1979 ontdekte Linda Morabito, een jonge medewerkster van het Jet Propulsion Laboratorium in Californië, die op een van de via de radio overgeseinde opnamen van Io gemaakt door de Voyager 1 routinecontrolemetingen moest verrichten, aan de rand van de schijf een merkwaardige pluimvormige lichtbundel (afb. 1). Zij waarschuwde de verantwoordelijke astronomen, die onmiddellijk andere opnamen gingen vergelijken. De lichtbundels bleken afkomstig van een enorme werkende vulkaan! Na verder onderzoek werden er in het totaal acht actieve haarden ontdekt. Maanden later, toen de Voyager 2 langs Jupiter passeerde, waren er nog zeven van die acht vulkanen werkzaam.

Door enorme explosieve erupties wordt materiaal uitgeworpen met snelheden van 500-1000 m/sec, heviger dan bij de Etna, de Vesuvius of de Krakatau. De pluim in afb. 1 strekt zich tot op 280 km hoogte boven het Io-oppervlak uit. In afb. 2 is het uitgeworpen materiaal te zien als een witte ring om de donkere krater in het centrum van de opname. Deze foto is op een ander tijdstip gemaakt, toen de camera's van de Voyager zich in een andere positie ten opzichte van Io bevonden.

De passage van de Voyager langs Io heeft ons een geheel nieuw soort hemellichaam doen kennen met een opper-



Afb. 1. Een zwakke lichtpluim aan de rand van de schijf van Io werd aanvankelijk voor een waarnemingsfout gehouden, maar bleek na uitgebreid onderzoek een reusachtig eruptiepatroon van de eerst ontdekte werkende buitenaardse vulkaan. (Opname Voyager 1, NASA).



Afb. 2. Het oppervlak van Io vertoont een zee van kleuren en bestaat grotendeels uit zwavel en bevroren zwaveldioxyde. De witte ring links van het midden om de zwarte vlek is veroorzaakt door de eruptie van de vulkaan die in afb. 2 aan de rand is te zien. Deze geweldige uitbarsting komt uit een caldera-achtige zeer ondiepe krater zonder wallen. (Opname Voyager 1, NASA).

vlak waarvan morfologie, kleur en samenstelling worden beheerst door het vulkanisme. Schaber bracht de verschillende geologische oppervlakedetails daar in kaart en daardoor kreeg men een overzicht van de diverse soorten structuren.

Bijzonderheden op Io

Op grond van kleuren en vormen op de zeer fraaie Voyager-foto's heeft men topografische en geologische kaarten samengesteld van het oppervlak van Io en daarop verschillende eenheden gevonden. Inslagkraters ontbreken er volkomen, zodat het gehele nu zichtbare oppervlak betrekkelijk jong moet zijn (zeker minder dan 1 miljoen jaar oud, waarschijnlijk veel jonger) en het wordt door nieuwe uitbarstingen regelmatig gereconstrueerd. Een groot deel van de bodem bestaat uit een wit gekleurde lichte substantie, waarschijnlijk bevroren zwaveldioxyde

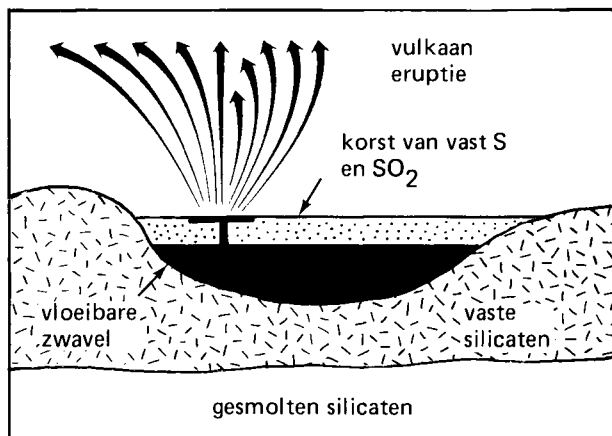
(SO₂), vermengd met zwavel. Op Io is geen dampkring van enige omvang aanwezig, de omstandigheden zijn er meer te vergelijken met die op onze maan dan met die op Mars. Bij de enorme erupties kan het materiaal dan ook veel hoger worden weggeschoten dan op aarde. Op aarde komen zulke hoge eruptiesnelheden ook maar sporadisch voor, maar de aardse dampkring beperkt de hoogte van de weggeslingerde materie. Op Io bedraagt die 70 tot 280 km, terwijl de diameter van het door de pluimen bestreken gebied wel 1000 km kan bedragen. Voor de schijf gezien zijn de ejectiecentra gekarakteriseerd door een onregelmatige zwarte vlek met daaromheen een donker stralensysteem. Daarbuiten liggen dan een reeks heldere en donkere ringen. Veel gebieden op Io vertonen deze zelfde kenmerken en dat wijst erop dat dit vroeger ook actieve eruptiehaarden zijn geweest.

Veel van die vulkanische structuren lijken op aardse caldera's. Tezamen bedekken zij 5% van het oppervlak van Io. Er zijn 300 dergelijke terrasvormige centra geteld, soms gevormd door een meer dan 1000 meter diepe krater omgeven door lavastromen. Hun gemiddelde grootte bedraagt 40 km en hun gemiddelde afstand 200 km. Op het oppervlak zijn soms honderden kilometers lange steilwanden van honderden meters hoogte. Daarnaast zijn er tot 10 km hoge bergen.

De bouw van Io, poelen van zwavel

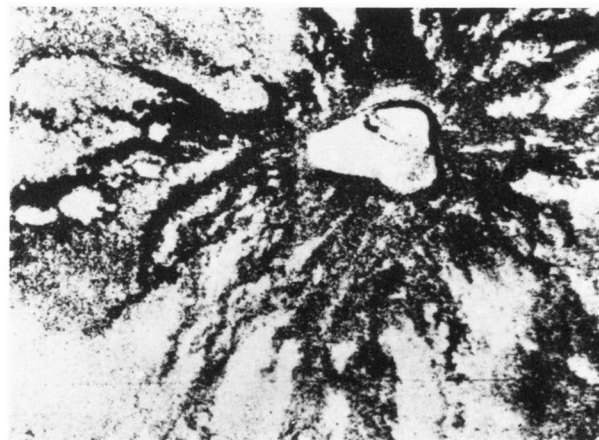
Over oorzaak en ontstaan van het blijkbaar intensieve vulkanisme op Io zijn enkele vrij algemeen aanvaarde theoretische verklaringen naar voren gekomen. Allereerst wordt gedacht aan de getijdekrachten van de reusachtige planeet Jupiter op het in een vrij excentrische baan om deze planeet rondlopende maantje. Ook bij onze maan worden immers de maanbevingen door aardse getijdekrachten geactiveerd.

Uit infraroodspectra, gemaakt door de Voyager, is gebleken dat het gas SO₂ een belangrijke rol speelt in de omgeving van de vulkanische pluimen en Smith en zijn medewerkers hebben het gedrag van dat gas onder de op Io heersende omstandigheden onderzocht. Zij vonden dat SO₂ aan het oppervlak van Io en tot op 1 km diepte in vaste toestand verkeert en pas op grotere diepte vloeibaar wordt door de daar heersende druk en temperatuur. Daarnaast speelt ook zwavel een belangrijke rol en het wordt (spectrofotometrisch) zowel op het oppervlak als in de ruimte bij Io waargenomen. Pas op 2 tot 4 km diepte



Afb. 3. Een model van de bouw van de korst van Io.

gaat zwavel in vloeibare toestand over. Volgens een vrij algemeen aanvaarde theorie bestaat Io uit een vloeibare kern, omgeven door een dunne vaste korst van silicaten. Daarboven bevindt zich een dunne schil van zwavel en SO₂. Op sommige plaatsen liggen daar haarden van gesmolten zwavel en SO₂ onder (afb. 3). Breekt de korst ergens, door de getijdewerking op de vloeibare massa's eronder, dan kunnen die opstijgen. Door de decompressie van het SO₂-gas expandeert dit en komt met toenemende snelheid omhoog, gemengd met gecondenseerde deeltjes. Zo zouden de waargenomen pluimen kunnen ontstaan. Wordt er vloeibare zwavel meegeslept dan reduceert dat de snelheid. Lavastromen van zwavel zijn echter zeer goed denkbaar en de viscositeit van zo'n stroom is wel in overeenstemming met de waargenomen patronen. Sommige zeer donkere caldera's lijken op lavameren, zoals het enorme hoefijzervormige patroon vlak bij de vulkaan Loki. De temperatuur van zo'n meer is 150° hoger dan zijn omgeving, zodat het waarschijnlijk is opgevuld met gesmolten zwavel, bedekt door een op vele plaatsen zeer dunne of gebroken korst. Hoewel dat zwavelmeer zich binnen de strook bevindt waar de efflata van Loki neerkomen is daar op het donkere oppervlak niets van te zien. In de vloeibare massa worden de uitgeworpen producten kennelijk snel opgenomen. Behalve in enkele van die hete lavameren is de temperatuur op Io overal onder het vriespunt van SO₂.



Afb. 4. Maasaw Patera, een reusachtige vulkaan op Io, met aan alle kanten zich vertakkende lavastromen. De caldera is even groot als het hele Etna-complex. Het witte deel binnenin de caldera is het diepste en deze bijna 2000 meter diepe put is waarschijnlijk ook het jongste deel van de vulkaan. Maasaw Patera is een van de kleinste van dit soort objecten op Io. (Opname Voyager 1, NASA).

Vulkanotektonische verschijnselen op Io

Het oppervlak van Io is geheel anders dan dat van onze maan of van de vele andere met kraters bedekte hemellichamen. Het kleurige mozaïek wijst op een zeer jonge korst (minder dan 10 miljoen jaar is de schatting). Uit spectra van de Voyager blijkt dat zwavel en zijn verbindingen, zoals zwaveldioxyde, daar het voornaamste oppervlaktmateriaal zijn. Waarschijnlijk zijn er ook verbindingen van natrium en kalium of andere alkalimetalen aanwezig, maar deze zijn alleen nog maar aangetoond in de gassen die vanuit Io in de ruimte ontsnappen en in de baan van Io om Jupiter zijn te identificeren.

De bergen op Io bereiken hoogten van 10 km. De hoogte van deze bergen wijst erop dat ze uit een veel steviger materiaal zijn opgebouwd dan uit zuivere zwavel of SO_2 . Ze ontstonden tijdens een periode van vulkanische activiteit die veel intenser geweest moet zijn, zoals blijkt uit hun geïsoleerde ligging en verbrokkelde bouw. Misschien zijn ze gevormd uit magma dat werd geproduceerd uit schildvulkanen, die steviger materiaal vanonder de zwavelrijke oppervlakte van de planeetkorst omhoog brachten. Lager gelegen vlakten en uit kraters en spleten uitgestroomde lava vullen 95% van het oppervlak van Io. Ze moeten bestaan uit een mengsel van zwavel, vulkanische as en lava, zoals blijkt uit de hoogteverschillen van 150 tot 1700 meter die optreden in de steilwanden gevormd door dit materiaal. Door uitwerpen van zwavel en zwaveldioxyde werden voornamelijk kegelvormige kraters gevormd. Zo is de enorme vulkaan Maasaw Patera, een van de kleinste van de in kaart gebrachte eruptiecentra (afb. 4), omringd door

een gecompliceerd patroon van lavastromen met 200 km middellijn.

Hevige erupties, zoals de Voyager 1 en 2 die waarnamen, verspreiden hun efflata over enorme gebieden. Deze erupties blijken plaats te vinden uit kraterpijpen, die uitmonden in vlakke openingen zonder wallen. Analoge aardse explosiehaarden zijn wat topografische afmetingen en vorm betreft de vlakke caldera's (soms vulkano-tektonische depressies genoemd), zoals bijvoorbeeld de Yellowstone caldera in Wyoming in Amerika (59 km in diameter). De in kaart gebrachte eruptiecentra liggen in grote meerderheid in het equatoriale gebied van Io geconcentreerd en zijn daar min of meer volgens het toeval verdeeld. De Voyagers hebben ons geconfronteerd met een geheel andere wereld, waar het vulkanisme een dominerende rol speelt. Planetologische studies zetten onze kennis van het aardse vulkanisme in een ruimer verband. Ze lossen oude problemen op, maar stellen ons ook weer voor nieuwe.

Oorzaken van kleur in mineralen (I)

door J.G. Schilthuisen

'Waarom zijn smaragden groen?'
'Waarom zijn robijnen rood?'

Eenvoudige vragen, waarop het goede antwoord niet eens zo gemakkelijk is te geven.

Zeker; nadat wit licht een robijn is gepasseerd bevat het een onevenredig groot deel aan langere golflengten, die het oog als rood registreert. Licht dat door een smaragd valt krijgt een golflengteverdeling, die wij als groen zien. Die verklaring is wel juist, maar nauwelijks bevredigend. Robijn en smaragd ontleen beide hun kleur aan een verontreiniging met hetzelfde element: chroom. Waarom verschillen ze dan toch zoveel van kleur?

Hetgeen ontbreekt is inzicht in de manieren waarop een mineraal de samenstelling van licht dat het reflecteert of doorlaat kan veranderen.

Het zal blijken dat de oorzaken van het ontstaan van kleuren opmerkelijk verscheiden zijn, maar vrijwel alle vinden ze hun oorsprong in de wisselwerking van licht met elektronen. Dat geldt overigens ook voor de kleuren van andere stoffen, van dieren en van planten, maar we zullen ons tot de mineralen beperken.

Licht

Spreken over kleur is spreken over licht. Licht is een elektromagnetische straling. Elektromagnetische straling zou men een stroom energiepakketjes kunnen noemen, die zich (zonder dat daar een tussenstof voor nodig is) door de ruimte beweegt.

Dat klinkt wellicht erg exotisch, maar toch zijn wij met het verschijnsel zó vertrouwd, dat wij het als iets vanzelfsprekends beschouwen. Zenders die radiogolven uitstralen, infraroodlampen om een pijnlijke knie te verwarmen, een lamp om bij te lezen, de hoogtezon, een röntgentoestel; allemaal apparaten die gebouwd zijn om elektromagnetische straling op te wekken. Natuurlijke stralingsbronnen zijn o.a. de zon en andere hemellichamen, radio-actieve elementen, bliksem etc. (Ter voorkoming van misverstan-

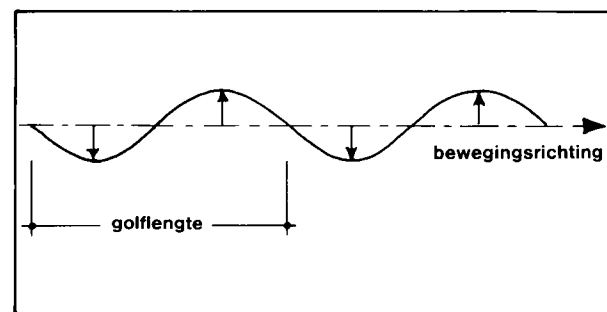
den: geluid is géén elektromagnetische straling, maar een golf van drukverschillen die zich door een tussenstof verplaatst.)

Golflengte

Van alle soorten elektromagnetische straling is de voortbewegingssnelheid even groot: (in vacuüm) bijna 300.000 km per seconde.

Terwijl een straal met deze onvoorstelbare snelheid door de ruimte vliegt, maakt hij tevens een trillende beweging dwars op de bewegingsrichting, waaruit een golfbeweging met een bepaalde golflengte resulteert (afb. 1).

En daar ontstaan de grote verschillen tussen de ene en de andere vorm van straling. Radiogolven hebben de grootste golflengten: van enkele millimeters tot kilometers toe. Als we de radio afstemmen op straling met een golflengte van 298 meter, dan blijkt Hilversum I daarop uit te zenden. Veel kortere golflengten, zo in de buurt van 1/1000



Afb. 1. Een elektromagnetische straling slingert zich bij het voortbewegen om de denkbeeldige lijn die de bewegingsrichting aangeeft. In werkelijkheid vindt die slingerbeweging in alle richtingen plaats; op papier kunnen we alleen een op-en-neer-gaande beweging tekenen.