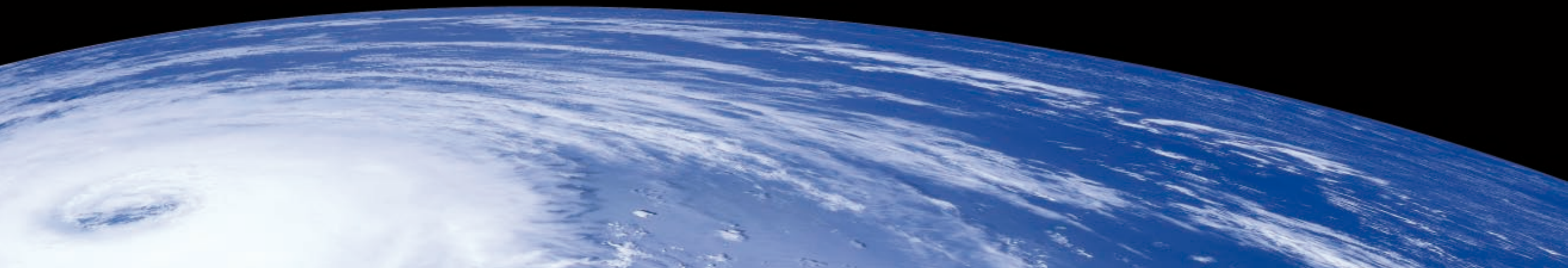




De dag dat de aarde een maan baarde

De maan is 4,5 miljard jaar geleden niet ontstaan door een botsing met een andere planeet – maar door een uit de hand gelopen kernreactie, diep binnenin de jonge aarde. De openbarstende aarde kon wel eens de beste manier zijn om een aantal diepe maanraadsels te verklaren, denken twee Nederlandse onderzoekers.



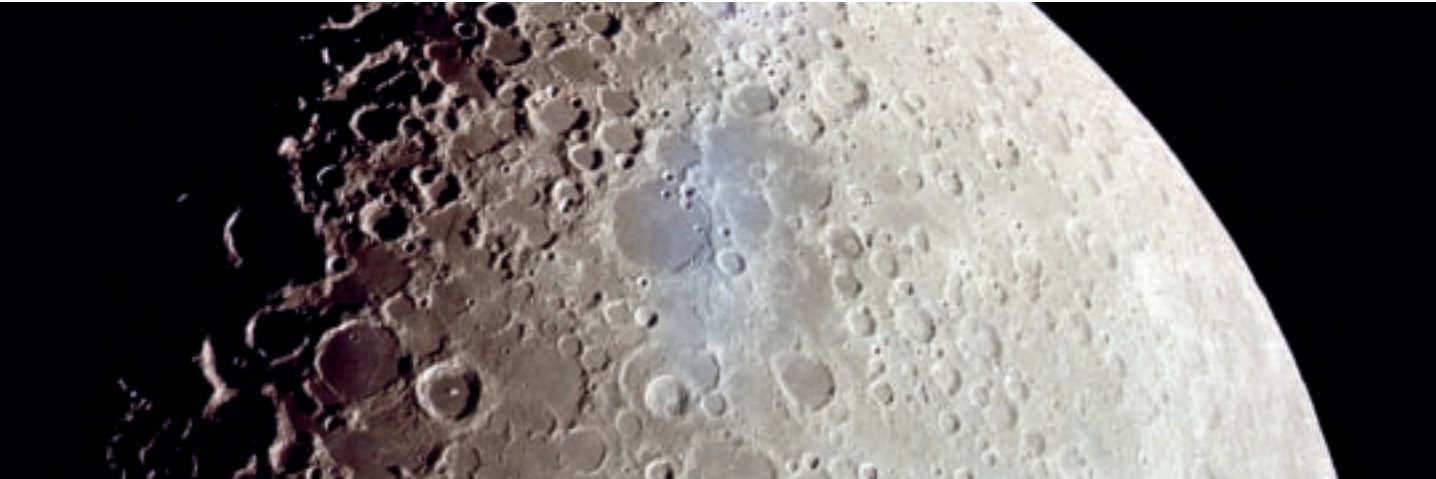
■ Het gebeurde 4,5 miljard jaar geleden, toen de aarde amper vijftig miljoen jaar oud was. Leven was er nog niet; de aarde was nog een kolkende, gewelddadige vuurbal. Maar toen, opeens, gebeurde er iets onvoorstelbaars. Diep in de aarde begon het te rommelen. De jonge aarde beefde – en barstte open. Vanuit de ingewanden van onze planeet schoot een ontzaglijke kolom van triljoenen tonnen gesmolten en verdampt gesteente omhoog, de ruimte in. Dat was de dag waarop de maan werd geboren. In zijn opgeknapte Saksische boerderij in het Drentse Peize vertelt emeritushoogleraar nucleaire geofysica Rob de Meijer het beeldend. “Het mantelmateriaal van de aarde werd zo’n 8000 graden warmer dan het al was en verdampte volledig. Een grote, gasvormige bel baande zich vervolgens een weg omhoog door de nog vloeibare aardmantel. Een deel van de aardmantel en de aardkorst werd op die manier weggeblazen. Ook de vroege atmosfeer van de aarde werd meegesleurd. Uit dit puin kan al vrij snel daarna de maan zijn ontstaan”. De aarde die de maan uitspuwt: een bizar idee, misschien? Niet volgens De Meijer en zijn mede-onderzoeker, petroloog Wim van Westrenen van de Vrije Universiteit in Amsterdam. Volgens het tweetal vloeit hun hypothese niet alleen logisch voort uit een aantal recente, nieuwe inzichten; de openbarstende aarde lijkt een handvol nog onopgehelderde, diepe astronomische raadsels in één klap te verklaren. De afgelopen decennia waren wetenschappers het nu net langzaam eens geworden over een andere hypothese voor het ontstaan van de maan. Volgens die opvatting, na veel gesteggel ontstaan, werd de jonge aarde 4,5 miljard jaar geleden getroffen door een hemellichaam ter grootte van Mars. De klap was vermoedelijk honderd miljoen keer zo krachtig als de meteorietinslag die 65 miljoen jaar geleden een eind maakte aan het tijdperk van de dinosauriërs. Door de hitte van de inslag moet een groot deel van de aardkorst en de -mantel zijn verdampt. Het inslaande gevaarte boorde zich diep in de aarde, om direct daarna weer terug te ‘stuiten’. Zo werd de aarde niet eenmaal, maar zelfs tweemaal getroffen. Maar ontsnappen was niet meer mogelijk. De kern van het hemellichaam, met daarin veel ijzer,

“Recente publicaties suggereren dat de grenslaag tussen aardmantel en –kern geschikt is voor het herbergen van een georeactor.”

werd opgeslokt door de veel zwaardere aarde en zonk naar de aardkern. De rest schoot de ruimte in, samen met een gigantische hoeveelheid aardpuin. Daar kwam het in een baan om de aarde terecht. Uit dat puin klonterde in een tijdsbestek van slechts één tot honderd jaar de maan samen. Inmiddels lijken de meeste wetenschappers te berusten in deze ‘botsinghypothese’ over het ontstaan van de maan. Doorslaggevend waren de computersimulaties van geofysici, die in 2003 aantoonde dat een botsing met een marsachtig gevaarte inderdaad een aarde en een maan kan opleveren met de juiste afmetingen en omloop. Maar nu gooien geofysicus De Meijer en petroloog Van Westrenen opnieuw de knuppel in het hoenderhok. De maan zou, letterlijk, zijn afgeschoten vanuit de ingewanden van de aarde.

Grillig Ten grondslag aan het idee van De Meijer ligt een controversiële gedachte – het idee dat er ooit binnenin de aarde heftige, spontane kernreacties plaatsvonden. Dat begon allemaal vijftig jaar geleden, toen de Japanse geochemicus Paul Kuroda in het blad *Chemical Physics* opperde dat er ooit natuurlijke kernreacties plaatsvonden op aarde, in zogeheten ‘georeactoren’. In de vroege geschiedenis van de aarde waren radioactieve elementen immers nog van nature ‘verrijkt’: hun radioactieve verval was nog in volle gang. Het idee van Kuroda was omstreden – totdat Franse onderzoekers in 1972 in een mijn in Oklo, in het West-Afrikaanse Gabon, de restanten vonden van zo’n natuurlijke georeactor, in de vorm van splijtingsproducten in een laag uraan. Deze reactor, die in de aardkorst zat, is vermoedelijk twee miljard jaar geleden weer uitgedoofd door tekort aan water. Voor onder meer de Amerikaanse onderzoeker Marvin Herndon was dat genoeg om aan te nemen dat er nu nog steeds een enorme georeactor in het centrum van de aarde zit. Maar daaraan twijfelt De Meijer, net als overigens de meeste geochemici (*‘De kernreactor onder onze voeten’*, NWT 2004/3). Uraan en thorium, de natuurlijke ingrediënten voor een georeactor, mengen namelijk niet goed met ijzer – en dat is het hoofdbestanddeel van de aardkern. Maar daarmee hoeft een georeactor diep binnenin de aarde nog niet te worden afgeschreven, vindt De Meijer. Recente publicaties suggereren dat juist de grillig gevormde grenslaag tussen de mantel en de kern, de zogenaamde D”-laag (spreek uit: D-doubleprime), geschikt is voor het herbergen van een georeactor. “Die grenslaag moet 4,5 miljard jaar geleden ook al hebben bestaan. Zulke georeactoren kunnen overigens tot op de dag van vandaag bestaan, zonder dat wij er verder iets van merken”, aldus De Meijer. Hij werkte het idee verder uit met petroloog Van Westrenen, met wie hij werkt aan een populair-wetenschappelijk boek over het inwendige van de aarde en de maan. “Rob had echt een Eureka-moment”, zegt Van Westrenen in zijn werkkamer op de VU. “Toen hij mij er een jaar geleden voor het eerst over vertelde, was ik zeer sceptisch. Dat moet je binnen twee minuten kunnen ontkrachten, dacht ik. We zijn nu een jaar verder, maar nog steeds lukt het niet om het verhaal onderuit te halen. Dat maakt het interessant genoeg om het verder uit te werken en te zien waar het schip strandt”, aldus Van Westrenen.

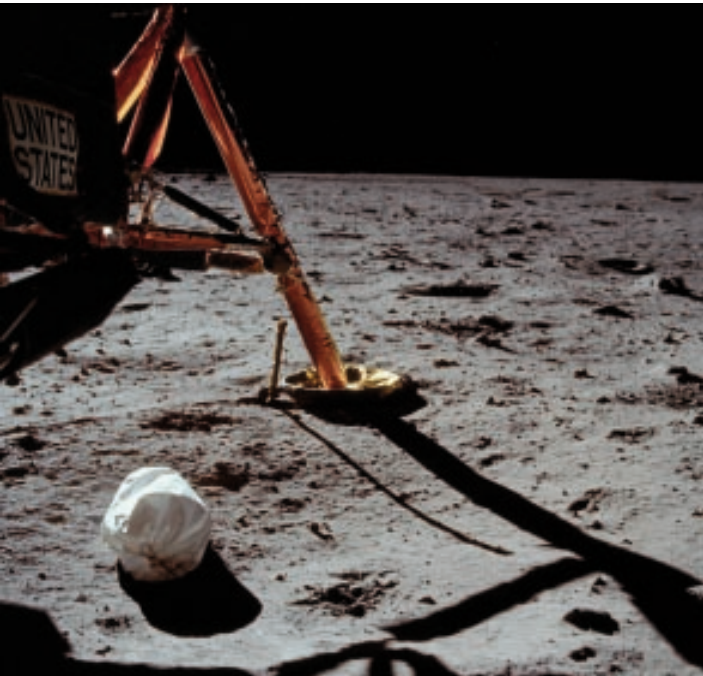
Ingevangen Het ontstaan van de maan is al eeuwenlang een mysterie. Dat komt vooral omdat onze vertrouwde maan eigenlijk maar een vreemde eend in de bijt is. In vergelijking met andere manen in het zonnestelsel is de maan relatief groot ten opzichte van zijn moederplaneet, de aarde (*zie infographic*). De dichtheid van de maan daarentegen is weer relatief laag, wat suggereert dat de maan veel minder ijzer bevat dan onze planeet. De kern van de maan bevat maar 4 procent van zijn totale massa. Bij de kern van de aarde is dat wel 30 procent. Voordat de mens eind jaren zestig voet zette op de maan, waren er drie hypothesen in omloop om de maan te verklaren. De eerste stelde dat de maan net als de aarde is ontstaan door de samenklontering van kosmisch stof. In het tweede scenario is de maan elders in ons zonnestelsel ontstaan en vervolgens ingevangen door de aarde, zonder dat er een botsing plaatsvond. Volgens de derde hypothese draaide de aarde in het prille begin zo snel dat de maan er simpelweg van af werd geslingerd. Die laatste hypothese, ook wel de ‘afsplitsingstheorie’ genoemd, werd al in 1880 bedacht door George Darwin, de zoon van evolutiebioloog Charles Darwin. Als bewijs wees Darwin junior naar de Stille Oceaan. Dat gapende gat was volgens hem



het zichtbare bewijs dat er een hoop massa uit de aarde was verdwenen. Er hoefden geen Apollo-missies naar de maan aan te pas te komen om de ideeën van George Darwin te ontkrachten. De theorie van Alfred Wegener over plaattektoniek leverde een veel logischer verklaring op voor de Stille Oceaan. Bovendien becijferden andere onderzoekers in de jaren dertig van de vorige eeuw dat de aarde te langzaam draaide om de maan weg te slingeren. “Ook al draaide de aarde in die tijd een stuk sneller dan nu – een dag duurde ongeveer tweeënhalf uur – de centrifugaalkracht was ontoereikend om een maan te kunnen laten ontsnappen”, weet De Meijer. De Apollo-missies waren onder meer bedoeld om meer inzicht te krijgen in de herkomst van de maan, en uit te maken welke van de twee overgebleven hypothesen de juiste was. Maar na analyse van de vele maanmonsters die de astronauten meenamen, kwamen onderzoekers tot de conclusie dat beide theorieën onmogelijk konden kloppen. “Het moet een geweldig spannende tijd zijn geweest”, zegt Van Westrenen. “De dichtheid van de maan bleek veel lager dan die van de aarde. De maan bevat veel minder ijzer dan onze planeet. Daarmee viel het samenklonter-model, dat stelde dat de aarde en de maan uit hetzelfde oermateriaal zijn gevormd, af. Daarvoor zijn aarde en maan domweg te verschillend.” Vreemd genoeg viel de tweede hypothese – het idee dat de maan elders in ons zonnestelsel ontstond en is ingevangen door de aarde – af om precies de tegenovergestelde reden. “Daarvoor lij-

ken de maan en de aarde weer teveel op elkaar”, legt Van Westrenen uit. “De verhouding tussen de isotopen zuurstof-17 en zuurstof-18 is in maan- en aardgesteente identiek, en wijkt sterk af van de isotopenverhouding in bijvoorbeeld meteorieten en stenen van Mars. Zuurstofisotopen zeggen iets over de afstand tot de zon ten tijde van vorming. De maan en de aarde moeten dus op ongeveer dezelfde afstand van de zon zijn ontstaan.”

Mysterie In plaats van antwoorden zaten onderzoekers na de maanlandingen dus opgescheept met vele nieuwe vragen. Veel onderzoekers gaven er de brui aan, in de overtuiging dat er gewoon te weinig informatie beschikbaar was om het mysterie op te lossen. In die periode van theoretisch vacuüm, midden jaren zeventig, kwamen twee onderzoeksgroepen onafhankelijk van elkaar met een nieuwe hypothese: de inslaghypothese, die tegenwoordig de meest gangbare is. Volgens Bill Hartmann en Donald Davis van het Planetary Science Institute en Alastair Cameron en William Ward van Harvard University knalde een hemellichaam dat de naam ‘Theia’ heeft gekregen (de moeder van de maan, in de Griekse mythologie) op de jonge aarde. Daaruit ontstond de maan, die in een stabiele baan om de aarde belandde. Ook aardwetenschapper Van Westrenen was aanhanger van de inslagtheorie. Toen hij vorig jaar een Europese beurs (de ‘Euryi Award’) van 1,1 miljoen euro in de wacht sleepte om de komende vijf jaar onderzoek te doen naar de maan, verwees ►



• Raadselachtige buurman: Sinds de Apollomissies weten we dat de maan teveel lijkt op de aarde om ‘buitenaards’ te zijn.

“Een deel van de aardmantel en de aardkorst werd weggeblazen en de atmosfeer van de aarde werd meegesleurd.”

► hij er dan ook naar. “De inslaghypothese leek aanvankelijk alle problemen op te lossen”, zegt Van Westrenen. “Je krijgt er een aarde en een maan mee met de juiste afmetingen en de juiste baan. Men dacht bovendien dat het probleem met het ijzer en de zuurstofisotopen was opgelost. De botsing sloeg een brok van de aarde af, zo was het idee. Ten tijde van de botsing had de aarde al een kern van ijzer. Juist een stuk van de mantel, die armer is aan ijzer, moest zijn weggeslagen. En als de maan inderdaad voor een groot deel bestaat uit mantelmateriaal van de aarde, is het logisch dat ook de zuurstofisotopenverhouding overeen komt met die op aarde.” Dit beeld wordt volledig ondersteund

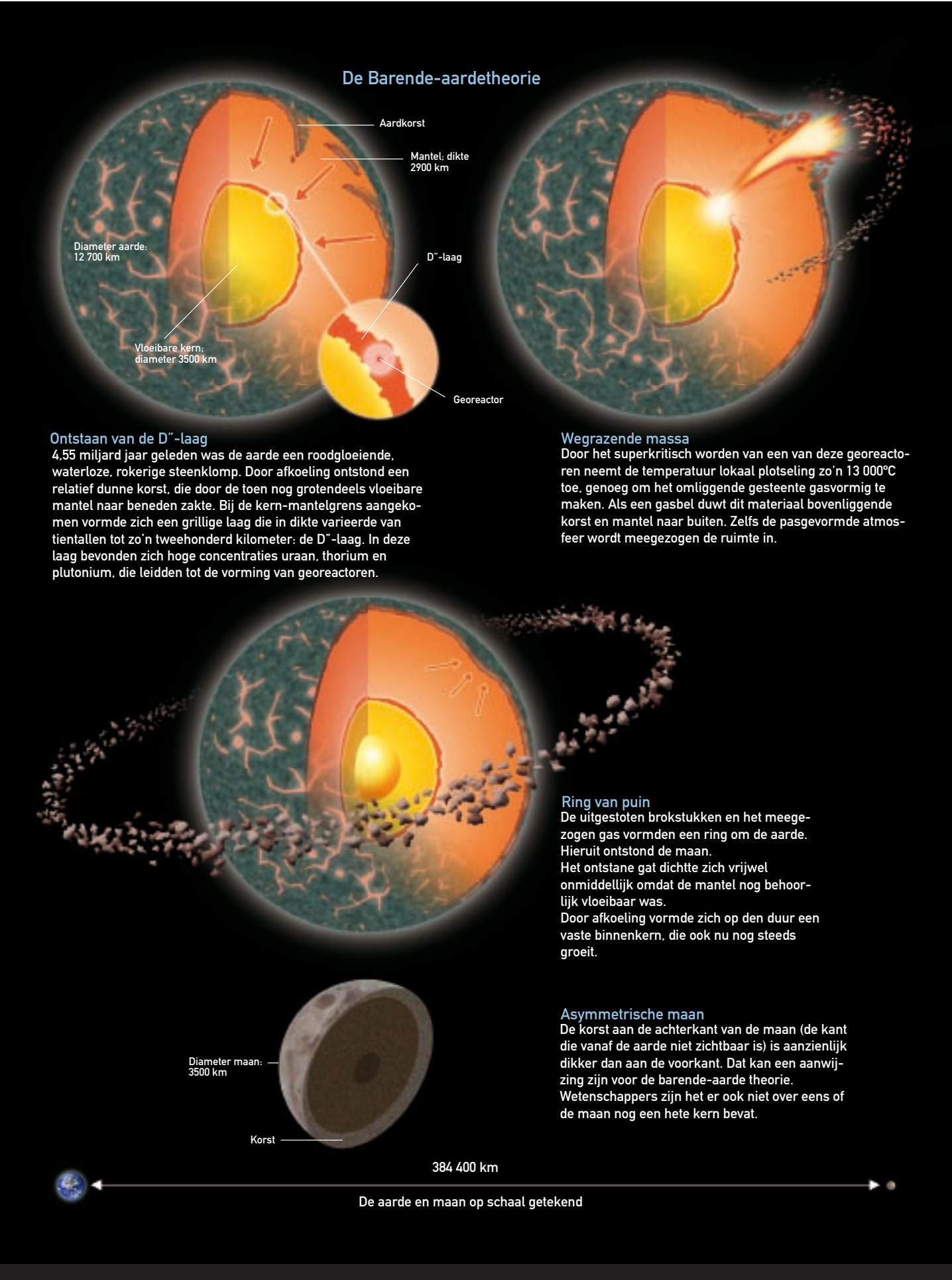
door de dichtheid van de maan en de aarde. De dichtheid van de maan is ongeveer 3,3 kilogram per kubieke decimeter (water heeft een dichtheid van 1), wat vrijwel identiek is aan de dichtheid van de mantel (3,2 kilogram per kubieke decimeter), terwijl de aarde een gemiddelde dichtheid heeft van ruim 5 kilogram per kubieke decimeter. “Vrijwel niemand had daarom een probleem met de inslaghypothese. En dat is zo gebleven”, aldus Van Westrenen.

Brokstukken Inmiddels, een kwart eeuw later, is er wel wat veranderd. Vooral de computersimulaties van de botsing zijn een stuk geavanceerder en gedetailleerder geworden. Dat levert de

nodige nieuwe vraagtekens op. Zo kwam aan het licht dat de botsing zeer nauw luistert. “Een botsing die tot een aarde en een maan leidt, is verre van vanzelfsprekend”, zegt Van Westrenen. “Een frontale botsing kan het niet zijn geweest. Er moet een scherpende inslag hebben plaatsgevonden, waarbij de relatieve snelheden niet te groot zijn. Als de condities ook maar iets afwijken, gaat het fout. Dan sla je de aarde uit elkaar of je houdt geen maan over, omdat de brokstukken alle kanten op vliegen.” Maar het belangrijkste dat uit de in 2003 in *Nature* gepubliceerde simulaties van de Amerikaanse onderzoekster Robin Canup volgt, is dat bij ‘succesvolle’ botsingen (die leiden tot maanvorming) zo’n 80 gewichtsprocent van de maan bestaat uit de mantel van de botser. Van Westrenen: “Als de maan voor het merendeel bestaat uit de botser, dan is het veel minder logisch dat de verhouding tussen de zuurstofisotopen van de aarde en de maan identiek is. Dat kan alleen als de aarde en Theia op dezelfde afstand van de zon zijn gevormd, en dat ze dus als het ware achter elkaar hebben aangerend tot ze botsten. Zoiets zien we verder nergens in ons zonnestelsel. In mijn optiek dringt dit besef nog niet echt door tot maanonderzoekers.”

De bekende Amerikaanse planetenonderzoeker Jay Melosh, een van de voorvechters van de botsingstheorie, is het daar maar half mee eens. “De overeenkomsten suggereren inderdaad dat de proto-aarde en zijn impactor op haast dezelfde afstand van de zon zijn ontstaan”, beaamt de onderzoeker van de universiteit van Arizona in Tucson desgevraagd. “Maar een gek idee is dat niet. Het object moet wel dichtbij de aarde hebben gestaan, simpelweg omdat hij hier wél is ingeslagen, en andere planetaire embryo’s niet.” Robin Canup, de onderzoekster van het Southwest Research Institute in Boulder die de botsing met Theia per computersimulatie wist na te bootsen, is het met Melosh eens. In een e-mail schrijft ze: “We hebben berekend aan wat voor voorwaarden de botsingssnelheid moet hebben voldaan. Dat wijst erop dat de impactor ergens tussen de huidige banen van Mars en Venus vandaan moet zijn gekomen.” Ofwel: ergens uit de buurt van de aardbaan.

Volgens Melosh staat de inslagtheorie als een huis. “Zo’n probleem met de zuurstofisotopenverhouding moet je zien als een klein puzzeltje binnen het solide raamwerk van de botsingshypothese. Het is absoluut niet nodig om daarvoor de ►



• Buitenaardse aarde: de vroege aarde was een heel ander soort planeet dan die van vandaag. Een dag duurde ongeveer tweeënhalf uur en de maan stond zo dichtbij dat hij ongeveer vier keer oogde.



► tsingshypothese te verwerpen en met slecht doordachte plannen over exploderende georeactoren op de proppen te komen.”

Halveringstijd Maar Van Westrenen en De Meijer hebben meer redenen om in te zetten op de barde aarde. Die zien ze niet in de lucht – maar duizenden kilometers onder onze voeten. De belangrijkste publicatie in dit verband is een *Science*-artikel, dat in 2005 de toptien haalde van ‘doorbraken van het jaar’. Daarin concludeerden de Amerikaanse aardwetenschappers Maud Boyet en Richard Carlson dat er binnen dertig miljoen jaar na de vorming van de aarde niet alleen een duidelijke scheiding was ontstaan tussen de aardmantel en de kern van de aarde, maar ook een scheiding binnen de aardmantel. Daarbij raakte de onderste laag van de aardmantel, de D”-laag, geïsoleerd van de rest van de mantel (zie infographic, ‘De barde aarde-theorie’). “Het idee is dat deze laag ontstond doordat de vroege aardkorst wegzakte naar de bodem van de aardmantel, om daar nooit meer weg te gaan. De uitwisseling tussen deze laag en de rest van de mantel is sindsdien gering”, aldus Van Westrenen. Boyet en Carlson komen tot hun conclusie door te kijken naar de zeldzame elementen samarium (Sm) en neodymium (Nd). Samarium-146 is een radioactief element dat relatief snel, met een halveringstijd van 109 miljoen jaar, vervalt tot neodymium-142. Op dit moment is er dus nagenoeg geen samarium-146

meer over in de aarde. Aards gesteente zou in principe net zoveel neodymium moeten bevatten als het oergesteente waaruit de aarde is ontstaan en waarvan we af en toe brokstukjes vinden, als een ‘chondritische’ meteoriet gemaakt van oermateriaal het aardoppervlak weet te bereiken. Maar Boyet en Carlson ontdekten iets vreemds. Aards mantelgesteente blijkt juist meer neodymium te bevatten dan meteorieten. Dat kan er eigenlijk alleen maar op duiden dat het element samarium al vroeg ongelijk verdeeld zat in de planeet, begrepen ze, want in totaal moet het gehalte gelijk zijn aan dat in meteorieten. Maar waar zou het neodymium-arme gesteente zich bevinden? Niet in de aardkern, want noch samarium noch neodymium kunnen verbindingen aangaan met ijzer. Blijft over: de D”-laag. Die brokkelige tussenlaag tussen aardkern en mantel moet arm zijn aan neodymium. Ook op de maan is iets vreemds aan de hand, ontdekten Boyet en Carlson. De onderzoekers onthulden dat maangesteente net zo ongewoon rijk is aan neodymium als de aardmantel. Dat maakt de botsingstheorie opeens erg onwaarschijnlijk, meent Van Westrenen. “Als je bedenkt dat bij de reuzeninslag van 4,5 miljard jaar geleden de kern van de aarde versmolt met die van Theia, dan is het uiterst onwaarschijnlijk dat diep in de planeet gelegen, geïsoleerde lagen die klap hebben overleefd. Toch is dat wel wat de metingen van Carlson en Boyet suggereren.”

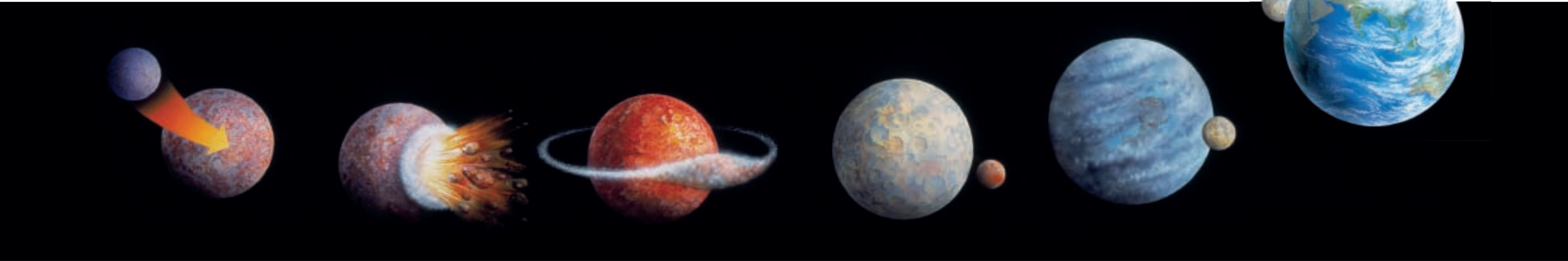
Carlson zelf, werkzaam bij het Carnegie-instituut in Washington, is er aan de telefoon eerlijk over: “Uit onze metingen blijkt dat er een sterke gelijkenis is tussen aard- en maangesteente, maar een goede verklaring is er nog lang niet.” Hoe een botsing met Theia er precies uit heeft gezien, en hoe de D”-laag die blijkbaar kon overleven terwijl de kern daaronder versmolt met de kern van de botser, dat gaat ook Carlsons bevattingsvermogen te boven.

Ijsbergen Sinds het artikel van Boyet en Carlson is onderzoek naar de mysterieuze D”-laag, 2900 kilometer onder onze voeten, erg populair. “Het is de meest dynamische regio in de aarde”, zegt Van Westrenen. “Het is een erg hete laag die er mede voor zorgt dat de buitenkern, waarin het aardmagneetveld wordt opgewekt, gesmolten blijft.” Ook is het idee dat vanuit deze laag de hete mantelpluimen worden aangejaagd, die in actieve vulkaangebieden zoals Hawaï omhoog komen. De D”-laag is ook een mysterieuze laag, omdat er weliswaar warmte-uitwisseling mee plaatsvindt, maar niet of nauwelijks materiaaluitwisseling. En het is een grillige laag: de dikte ervan varieert van tientallen tot zo’n tweehonderd kilometer. “Het is een soort berglandschap dat bovenop de vloeibare buitenkern ligt”, aldus Van Westrenen. Carlson vergelijkt de laag met een landschap van ijsbergen, dat bovenop de buitenkern doobert. Maar waarom zouden er uitgerekend in die laag georeactoren zitten? Het antwoord op die vraag volgt feitelijk ook uit recente



• Wim van Westrenen (links) en Rob de Meijer: “Ondergrondse georeactoren kunnen tot op de dag van vandaag bestaan, zonder dat wij er verder iets van merken.”

literatuur. De Meijer: “De oorsprong van het geïsoleerde reservoir in D” wordt gezocht in de allervroegste korst van de aarde. Die moet als een baksteen door de toen nog grotendeels vloeibare mantel heen naar de kern-mantelgrens zijn gezakt.” Daar bleef de oeraardkorst liggen, drijvend op de buitenkern. “Deze laag zou makkelijk verarmd kunnen zijn aan samarium, dus de gegevens van Boyet en Carlson kun je er goed mee verklaren.” De gezonken oeraardkorst heeft nog iets: splijtingsmateriaal. “Igor Tolstikhin en Albrecht Hofmann becijferden in 2005 dat ook bijna de helft van al het uraan en thorium van de mantel op deze manier in de D”-laag terecht moet zijn gekomen.” Voor De Meijer, die al een paar jaar bezig is met het onderwerp georeactoren, was de stap naar zijn aha-erlebnis toen niet al te groot meer. Opeens viel alles op zijn plaats. Als er ergens een plek is waar een natuurlijke kerncentrale een kans maakt, dan is het wel in de D”-laag, realiseerde De Meijer zich. Zou de maan niet door een uit de hand gelopen kernreactie in de D”-laag uit de aarde kunnen zijn weggeschoten? “In feite hadden Tolstikhin en Hofmann die stap ook kunnen maken”, zegt hij, wijzend op de plek in zijn tuin waar hij aan het werk was toen het idee bij hem opkwam. De Meijer sloeg aan het rekenen. Niet alleen moet er voldoende uraan en thorium in de D”-laag hebben gezeten voor het spontaan laten ontstaan van georeactoren, ook moet er genoeg energie uit de georeactoren vrijkomen om de maan te lanceren. De Meijer begon met het laatste. Hij stelde zich een simpel model voor, met een aarde en daaromheen een veel lichtere maan. “Die berekeningen wezen uit dat de lancering van de maan mogelijk is als de georeactor ongeveer 0,5 x 10³⁰ joule aan energie genereerde. Dat is gigantisch. Een kerncentrale met een vermogen van 1 gigawatt produceert in een jaar tijd pakweg 10¹⁷ joule. Je hebt dus de jaarlijkse energieproductie van 10¹³ van dit soort kerncentrales nodig.” De maan zou daarmee op een afstand van ongeveer 100.000 kilometer terechtkomen, een stuk dichterbij dan de 380.000 kilometer van tegenwoordig. In de 4,5 miljard jaar daarna is ►



• Raak!: Volgens de botsingshypothese werd de proto-aarde 4,5 miljard jaar geleden vol geraakt door een planeet zo groot als Mars. Uit het weggeschoten puin klonterde de maan samen.

► de maan langzaam van ons weggedreven, een proces dat overigens nog steeds doorgaat, met zo’n vier centimeter per jaar.

Kristalrooster De volgende hamvraag was of er destijds in de D”-laag wel voldoende uraan en thorium heeft gezeten om georeactoren mogelijk te maken, en of die voldoende energie konden genereren. Aanvankelijk zag het er niet zonnig uit. Het geschatte gehalte aan uraan en thorium in de D”-laag bedroeg 4,5 miljard jaar geleden 0,6 ppm (*parts per million*, delen per miljoen), terwijl er maar liefst 250 ppm nodig is voor een georeactor. De Meijer kwam dus een factor vierhonderd tekort. Zijn idee leek al op voorhand tot mislukken gedoemd. Maar opnieuw schoot de geochemie hem te hulp. De D”-laag is rijk aan onder meer het mineraal calciumperovskiet. Het toeval wil dat uraan en thorium graag de plek van calcium innemen in het kristalrooster. Het calcium wordt daarbij verdreven. “Al het uraan en thorium zal dus vrijwel uitsluitend in het calciumperovskiet gaan zitten”, zegt De Meijer. “We weten ongeveer hoeveel calciumperovskiet er is en dat levert een gehalte aan uraan en thorium op van dik 12 ppm. En dat is een gemiddelde over alle calciumperovskiet in de hele laag, een gigantische concentratie.”

“Om de maan te lanceren, heb je niet exorbitant veel uraan en thorium nodig.”

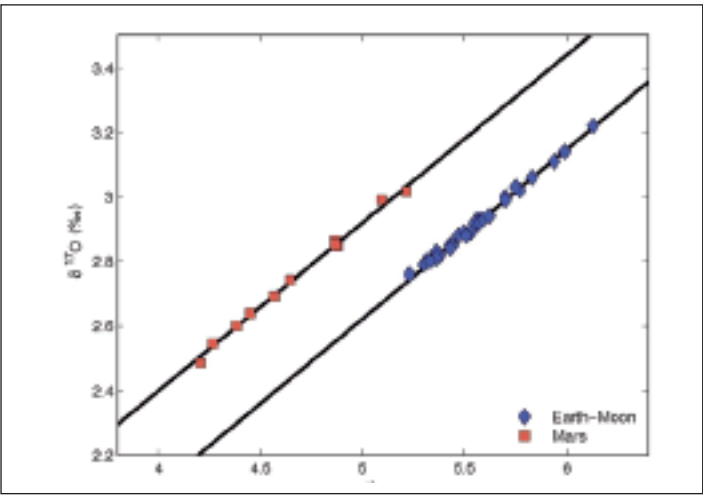
“Met de nieuwste wetenschappelijke inzichten, dus zonder trucs uit te halen, komen we op een factor twintig onder de 250 ppm die we nodig hebben”, stelt Van Westrenen tevreden vast. “Over die laatste factor twintig maken we ons weinig zorgen, gezien alle onzekerheden waarmee je in het binnenste van de aarde nu eenmaal te maken hebt. Bedenk dat de D”-laag niet homogeen is. Er zullen dus zeker hogere concentraties voorkomen, lokale verdichtingen waar de concentraties uraan en tho-

rium veel hoger liggen.” De Meijer voegt toe: “Wat ook geruststellend is, is dat je om de maan te lanceren ongeveer vijf procent nodig hebt van alle uraan en thorium die in de D”-laag zit. Dat is niet exorbitant veel.” Bijval krijgt hij van de Franse geochemicus Alexandre Corgne, werkzaam aan de Macquarie University in Sydney, en een expert op het gebied van mineralen in de D”-laag. In een e-mail wijst Corgne op de onzekerheden in het scenario van De Meijer en Van Westrenen. Door die onzekerheden kan de hoeveelheid calciumperovskiet en daarmee de hoeveelheid uraan en thorium in de D”-laag volgens Corgne wel met een factor vijf verschillen. “Dit gezegd hebbende”, schrijft Corgne, “zijn de conclusies van De Meijer en Van Westrenen volledig aannemelijk.”

Potent mengsel Het is dus aannemelijk dat alle ingrediënten voor een georeactor in de jonge aarde aanwezig waren. Nu hem nog aan de praat zien te krijgen. Net als Marvin Herndons georeactor in de aardkern, moeten ook georeactoren in de D”-laag zogeheten snelle-kweekreactoren zijn, hetzelfde type als de kerncentrale van Kalkar. In zo’n reactor worden neutronen die vrijkomen door de spontane splijting van uraan-235 benut om uraan-238 en thorium-232 op te werken tot nieuw splijtbaar materiaal – het uraan tot splijtbaar plutonium-239, het thorium tot uraan-233. Aan geschikte isotopen was er in elk geval geen gebrek. In de jonge jaren van de aarde bestond liefst 25 procent van het uraan uit splijtbaar uraan-235, tegenwoordig, na 4,5 miljard jaar radioactief, is dat aandeel verschaald tot slechts 0,7 procent. Een kerncentrale maakt gebruik van verrijkt uraan, wat neerkomt op uraan dat voor vier procent bestaat uit uraan-235. Maar in de jonge aarde was sprake van een potent mengsel, weet De Meijer: “Bij de splijting van uraan of thorium komen drie neutronen vrij. Je hebt er één nodig om de reactie op gang te houden. Dat moet destijds in de D”-laag, met zijn hoge gehalte aan uraan-235, geen enkel probleem zijn geweest.” Daarna was het volgens De Meijer geen kwestie van ontploffen, maar eerder van oververhit raken. De mantel was al vrij heet – zo’n 5000°C – en bij de superkritisch geworden georeactor kwam zoveel warmte vrij dat de temperatuur nog eens 8000°C verder opliep. “Daardoor werd al het gesteente gasvormig. Er

ontstond letterlijk een grote gasbel in een vloeibare soep. Als je een pan met soep op het vuur zet, komen er ook luchtballen naar boven spatten.” De wet van Archimedes deed de rest. Door het verschil in dichtheid baande de gasbel zich een weg naar boven en sleurde daarbij alles op zijn weg mee, dus ook delen van de aardmantel en de aardkorst. Zelfs de prille atmosfeer van de aarde bleef niet gespaard: die moet zijn meegezogen door de wegrazende massa. Wat er daarna gebeurde, is ook voor De Meijer en Van Westrenen pure speculatie. Van Westrenen: “Vermoedelijk is er een ring van puin ontstaan, waaruit de maan geleidelijk is samengeklonterd.”

De vraag dringt zich op of zoiets heden ten dage opnieuw zou kunnen gebeuren. De Meijer en Van Westrenen verwachten van niet. De maan heeft zoveel energie aan de aarde onttrokken, dat er onvoldoende energie is om een tweede maan te lanceren. Wel acht De Meijer het denkbaar dat er nog steeds pruttelende georeactoren bestaan in de D”-laag. “De D”-laag is niet homogeen. Er kunnen dus nog steeds plaatsen zijn waar uraan en thorium een kritische waarde bereiken voor de vorming van een georeactor. Te meer omdat georeactoren kweekreactoren zijn, die meer brandstof maken dan ze opbranden.” De Meijer weet ook een manier om dat uit te vinden. Bij zowel natuurlijk verval van uraan en thorium als bij de splijting komen ‘antineutrino’s’ vrij, minuscule spookdeeltjes die dwars door de aarde vliegen. Gezien de onbereikbaarheid van de D”-laag is een detector die antineutrino’s kan opvangen zo ongeveer de enige mogelijkheid om het bestaan van de georeactoren aan te tonen. Prettig is dat antineutrino’s van georeactoren energetisch gezien zijn te onderscheiden van antineutrino’s die afkomstig zijn van radioactief verval. Zo’n detector moet dan wel in staat zijn om de energie-intensiteit van en de richting waaruit de antineutrino’s komen te detecteren. Kerncentrales produceren immers ook antineutrino’s. De Meijer is al een paar jaar bezig met de ontwikkeling van zo’n richtingsgevoelige antineutrinodetector. “We hebben een ontwerp gemaakt dat haalbaar lijkt. De volgende stap is nu de bouw van een prototype. Daarmee hopen we begin 2008 te beginnen.” ●



• Misschien wel de belangrijkste reden om te twijfelen aan de botsingshypothese zijn bovenstaande meetresultaten van de Zwitserse onderzoeker Uwe Wiechert. De zuurstofisotopenverhouding in maan- en aardgesteenten (blauw) is identiek en wijkt duidelijk af van meteorieten afkomstig van Mars (rood). Dat duidt erop dat de aarde en de maan in elk geval op dezelfde afstand van de zon zijn gevormd. De verschillende puntjes duiden op verschillende gesteentemonsters.