

HET PAD VAN DE SCHADUW

Zonsverduistering - 11 juli 1991

Op 11 juli scheert de schaduw van de maan over de aarde, van Hawaï via Mexico en Midden-Amerika naar Zuid-Amerika. Zij veroorzaakt daar een totale zonsverduistering, die voor lange tijd records zal vestigen. Het wordt de langste verduistering tussen nu en 13 juni 2132, meer mensen dan ooit zullen in de maanshaduw vertoeven en nooit tevoren maakten zoveel 'eclipsgangers' plannen om ervoor op reis gaan. De schaduw trekt juist over de grootste sterrenwacht op aarde. Dat leidt tot nieuwe onderzoeksmogelijkheden. Voor het eerst zal een zonsverduistering met grote beeldscherpte worden waargenomen en zal de straling van de chromosfeer en de corona op infrarode en millimetergolflengten nauwkeurig worden gemeten.

Een zonsverduistering, zelfs een gedeeltelijke zoals wij in juli 1982 nog konden waarnemen, is een boeiend schouwspel. Vergeleken met zo'n gedeeltelijke verduistering is een totale eclips een overweldigend natuurverschijnsel. Op 11 augustus 1999 trekt de schaduwkegel van de maan een spoor over Europa en Noord-Afrika, waardoor onder meer vanuit Zuid-België, Noord-Frankrijk en Luxemburg de totaliteit te zien is.

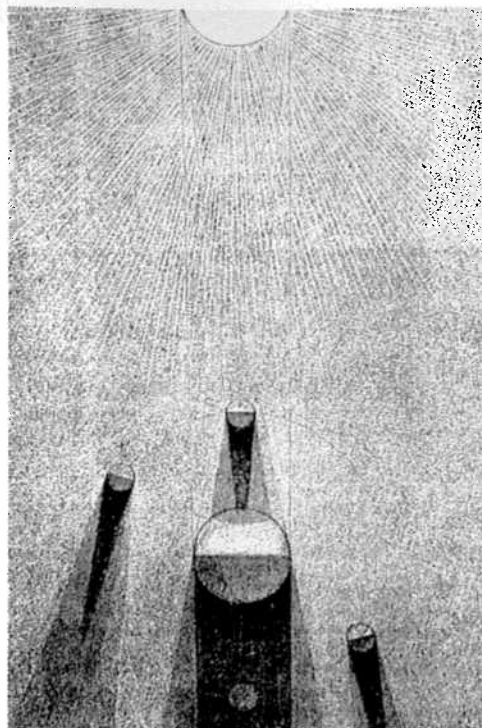
R.J. Rutten

*Sterrekundig Instituut
Rijksuniversiteit Utrecht*



Een zonsverduistering ontstaat als de schaduw van de maan de aarde raakt (afb. 2). De maan is, vanaf de aarde gezien, net zo groot als de zon. Komt de maan voldoende dicht bij de verbindinglijn aarde-zon, dan haalt de top van de schaduwkegel erachter juist het aardoppervlak. De schaduwplek trekt daar dan met grote snelheid overheen; in enkele uren wordt een spoor van vele duizenden kilometers afgelegd. Langs dat spoor wordt de zon aan de hemel gedurende luttele ogenblikken uitgedoofd. In de komende verduistering werpt de maan een schaduwvlek van 250 kilometer op aarde. De vlek zal voortrazen met een snelheid van meer dan 2200 kilometer per uur. Het wordt een bijzonder lange zonsverduistering. In Mexico zal de *totaliteit*, de volledige verduistering van de zon, bijna zeven minuten duren. Dat is dicht bij het maximaal mogelijke, tenzij men per superso-nisch vliegtuig met de schaduw meereist.

De verduistering van 11 juli begint bij zonsopgang in de Stille Oceaan (afb. 3). De maan-schaduw trekt dan juist over het eiland Hawaï, waarop een grote sterrenwacht is gevestigd, vandaar naar de zuidelijke punt van Baja California en vervolgens over de steden van cen-



2



1

1. Bij een totale zonsverduistering wordt de zonneschijf afgedekt door de maan. Daarbij wordt de corona zichtbaar, de krans van zeer heet en ijl gas die zich rondom de zon bevindt. Daaromheen is de

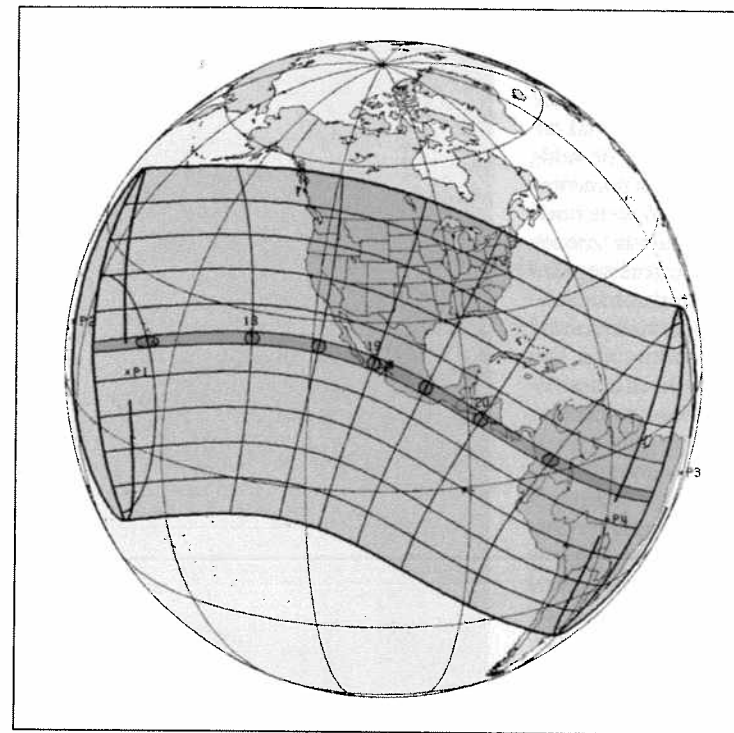
hemel diepzwart. Deze opname werd in Mexico gemaakt bij de verduistering van 7 maart 1970 aan het einde van de totaliteitsfase: het eerste stukje zonneschijf komt hier juist weer achter de maan uit.

traal Mexico, waaronder de hoofdstad. Ze scheert precies langs Midden-Amerika en bereikt via Colombia uiteindelijk Brazilië, waar de zon nog tijdens de verduistering ondergaat.

De kans op bewolking is het kleinste voor Hawaï en Baja California. Daarheen zullen dan ook de meeste eclipsengangers reizen — zo'n 70 000 naar Hawaï. De hotels zijn er al twee jaar volgeboekt en alle huurauto's zijn al lang besproken. In het Mexicaanse bergland is de kans op bewolking groot; het is niet waarschijnlijk dat de twintig miljoen inwoners van de stad Mexico het schouwspel in volle pracht zullen genieten.

Chromosfeer en corona

Voor sterrenkundigen is het bijzondere van een zonsverduistering dat daarbij de *chromosfeer* en *corona* zichtbaar worden. Die omhullen de zon als hete schillen, maar stralen zo zwak dat ze normaal niet zichtbaar zijn. Tijdens een zonsverduistering zijn ze dat wel, omdat de maan dan de heldere zonnenschijf afschermt.



3

Het zonlicht komt uit de *fotosfeer*; een laag van slechts enkele honderden kilometers dik. Dat is dun in vergelijking tot de diameter van de zon, die 1,4 miljoen kilometer bedraagt — honderd maal zo groot als de aarde. Diep in het inwendige komt de zonne-energie vrij uit de kernfusiereacties waarmee de ster waterstof omzet in helium en zich zo vrijwaart van ineenstorting onder haar eigen gewicht. De zon 'brandt' al vijf miljard jaar en heeft nog zo'n periode voor de boeg. De energie uit het binnenste sijpelt door de zon heen naar buiten, aanvankelijk als gammastraling en meer naar buiten in de vorm van convectieve energie, te vergelijken met het borrelen van kokend water. In de fotosfeer treedt deze energie uit in de vorm van zichtbaar licht. Dit is dus de laag die we normaal waarnemen. Hij wordt 'het oppervlak' van de zon genoemd, ook al is deze laag net zo gasvormig als de rest van de zon. De temperatuur ervan is ongeveer 6000 K.

Net buiten de fotosfeer bevindt zich een ijle- re bolschil van zo'n tweeduizend kilometer dikte. Die wordt *chromosfeer* genoemd, omdat hij

tijdens een totale zonsverduistering te zien is als een briljant purperen ringetje rond de afgedekte fotosfeer. De kleur bestaat uit een mengsel van spectraallijnen van het element waterstof, dat in de zon het overgrote deel van de materie vormt (feitelijk overal in het heelal, behalve op stenige planeten zoals de aarde).

De chromosfeer is heter dan de fotosfeer, de temperatuur loopt naar buiten op tot 20 000 K. Hoe dat komt is nog niet duidelijk. In de gebieden op de zon waar sterke magnetische velden aanwezig zijn, heeft het magnetisme klaarblijkelijk met de temperatuursverhoging te maken. Elders lijkt het alsof geluidsgolven (die overal in de zon aanwezig zijn, de zon broemt zachtjes in zichzelf) tot schokgolven vervormen en daarbij het chromosferische gas verhitten. De precieze processen zijn echter niet bekend; hieraan wordt veel onderzoek gewijd.

Buiten de chromosfeer bevindt zich de *corona*. Deze is enorm uitgestrekt en zeer ijl. Zij heeft een temperatuur van maar liefst één tot enkele miljoenen kelvin. Het staat inmiddels onomstotelijk vast dat het magnetisme van de

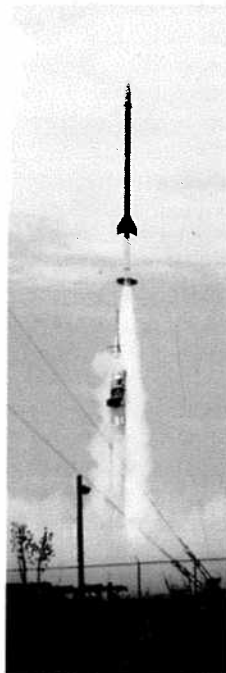
2. Bij een zonsverduistering staat de maan tussen zon en aarde. Dat is elke maand het geval, tijdens nieuwe maan, maar omdat het vlak van de maanbaan helt ten opzichte van het vlak van de aardbaan, staat de maan slechts tweemaal per jaar zo dat zonsverduisteringen kunnen optreden. Maansverduisteringen komen alleen voor bij volle maan, met de maan achter de aarde in plaats van ervoor. Een zonsverduistering gaat meestal samen met een maansverduistering, die dan twee weken eerder of later plaatsvindt.

3. De voorspelling van de zonsverduistering van 11 juli 1991. De smalle baan in het midden is de totaliteitszone waar de zon geheel aan het oog wordt onttrokken. De breedste omhullende krommen geven de grenzen aan tot waar nog een gedeelte van de zonnenschijf wordt verduisterd.

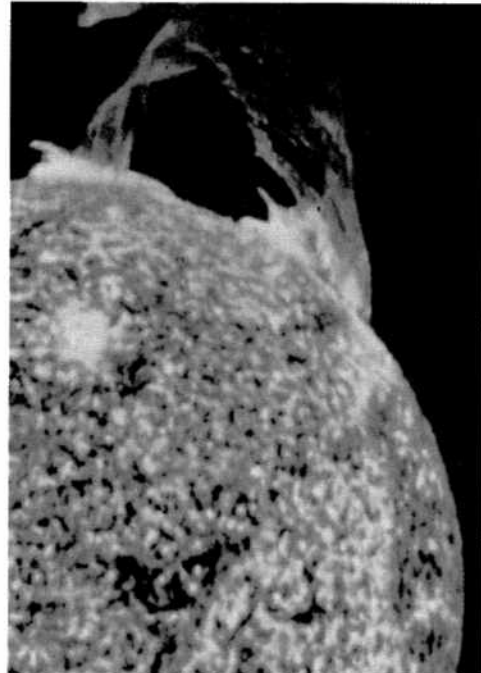
zon aan deze hoge temperatuur ten grondslag ligt, maar ook van deze verhitting is nog niet duidelijk hoe die precies in zijn werk gaat. Er zijn 'gesloten' gebieden waarin de magnetische veldlijnen in grote lussen naar het oppervlak terugbuigen, en 'open' gebieden waarin de veldlijnen vanuit de zon uitwaaiëren, het planetenstelsel in. In de open gebieden worden de deeltjes uitgezonden die in de zogenaamde 'zonne-wind' met grote snelheid van de zon wegvliegen. Tijdens grote uitbarstingen van magnetische activiteit op het zonne-oppervlak (zonnevlammen) komen extra veel deeltjes vrij. Die veroorzaken op aarde het poollicht en magnetische storingen, en wellicht hebben ze ook invloed op het klimaat.

De corona is slechts tijdens zonsverduisteringen te zien, als een wittige krans (corona is Latijn voor krans) rondom de donkere maan. Hij is smal en rond in tijden van geringe zonneneactiviteit. Bij veel activiteit, als er veel zonnevlekken en zonnevlammen zijn, toont de corona lange uitlopers. De komende eclips valt in een maximum van zonneneactiviteit, zodat een fraaie corona met veel structuur valt te verwachten.

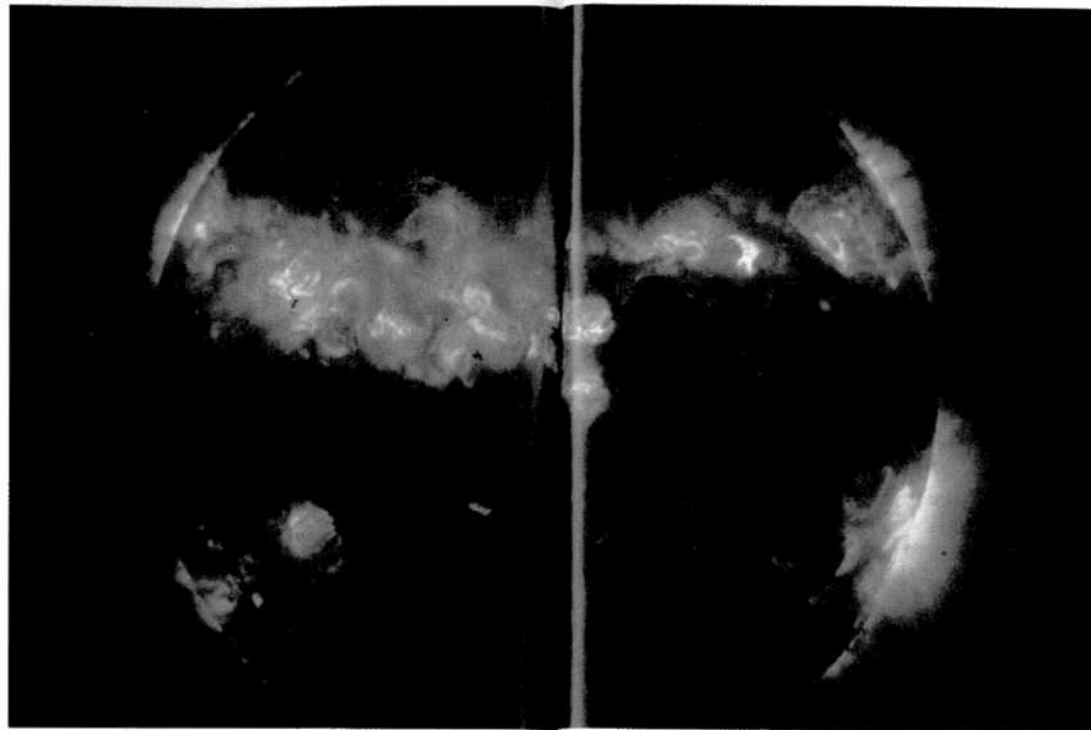
4 en 5. Deze recentste en scherpste röntgenopname tot dusver toont de corona van de zon. De opname werd gemaakt met de NIXT-camera, vanuit een raket (5) die op 11 september 1989 werd gelanceerd in New Mexico. De beeldscherpte bedraagt één boogseconde. De kleuren zijn door een computer aangebracht en geven de intensiteit in een spectraallijn van Fe^{15+} weer. De overeenkomstige temperaturen liggen tussen één en twee miljoen kelvin. De foto toont duidelijk dat het heetste gas in de corona is gerangschikt in patronen met veel fijnstructuur. Daaraan ligt het magnetisch veld van de zon ten grondslag. De NIXT-camera zal op 11 juli weer worden gelanceerd, op het moment dat de verduistering op Hawaii totaal is, zodat eclipsbeelden en röntgenopnamen kunnen worden vergeleken.



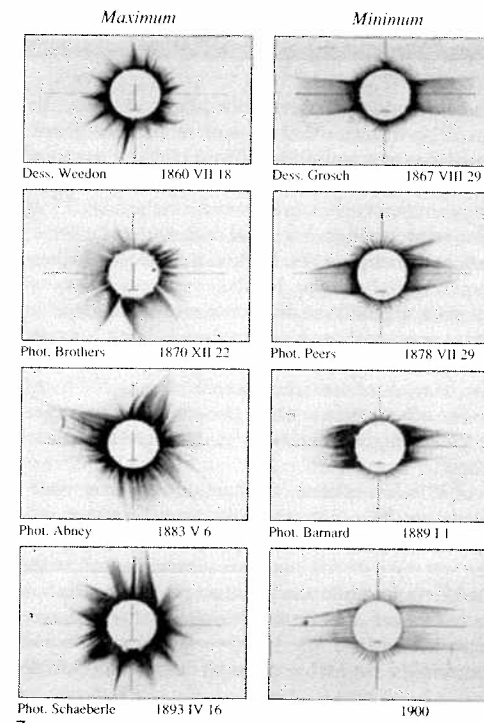
5



6



4

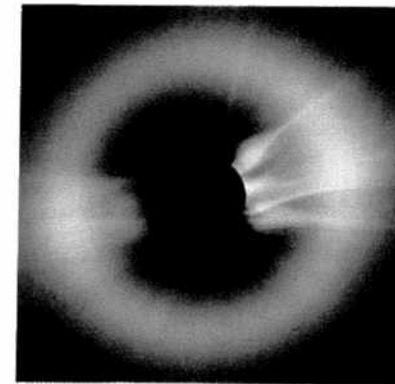


7

Onderzoek van chromosfeer en corona

De ijle buitenlagen van de zon vormen een bron van veel astrofysisch onderzoek. Dat komt omdat chromosfeer en corona de dichtstbijzijnde plaats vormen waar zich allerlei fysische processen afspelen die in aardse laboratoria niet kunnen worden nagebootst, maar die in allerlei verder verwijderde objecten in het heelal wel belangrijk zijn. De zon levert een unieke mogelijkheid tot bestudering van zulke processen, het is immers de enige ster die we in detail kunnen waarnemen.

De ijle buitenlagen van de zon bestaan, zoals de meeste materie in het heelal, uit *plasma*. Dat is een materietoestand die verschilt van de vaste, vloeibare en gasvormige fasen die wij op aarde gewend zijn. Een plasma is een gas waarin de atomen zijn geïoniseerd: de buitenste elektronen zijn uit hun baan om de kern verwijderd. Vaak missen de atoomkernen een groot aantal van 'hun' elektronen. In de corona komt bijvoorbeeld vijftig maal geïoniseerd ijzer voor (Fe^{25+}). Deze sterke ionisatie is het gevolg van de hoge temperatuur en kleine dichtheid. De positief geladen ionen en negatief geladen



8

6. De draderige structuren van deze openbarstende zonnevlam volgen het magnetisch veld van de zon. Op deze ultravioletfoto is de hete corona (één miljoen kelvin) donker. De protuberans is veel koeler (twintigduizend kelvin) maar wel zichtbaar. De korrelige structuur op de zonnenschijf toont de ordening van het magnetisch veld van de zon.

7 en 8. A. Hansky, een Rus die aan het einde van de vorige eeuw in Parijs werkte, maakte deze tekening van een hele reeks eclipsen. Afhankelijk van de zonneneactiviteit (ondermeer het aantal zonnevlekken) verschilt de corona van vorm. Bij veel activiteit heeft zij rondom grote uitlopers, bij weinig activiteit (8) bevinden die zich vooral rond de zonne-schijf.

elektronen kunnen onafhankelijk van elkaar bewegen. Uit deze ladingsscheiding spruiten allerlei magnetische en elektrische verschijnselen voort. Daarmee zijn chromosfeer en corona vooral het terrein van de plasmafysica.

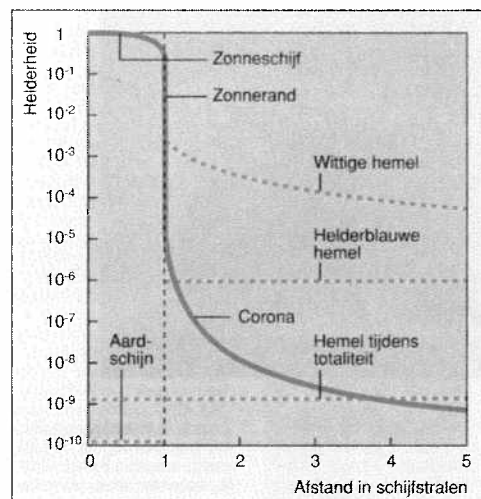
Het plasmafysisch onderzoek begon met waarnemingen van de corona tijdens zonsverduisteringen, maar zou niet ver gekomen zijn als dat de enige onderzoeksmogelijkheid was gebleven. Er zijn ruwweg twee totale zonsverduisteringen per drie jaar, meestal met een duur van slechts zo'n drie minuten. Een onderzoeker die vijftig jaar lang alle zonsverduisteringen waarneemt, zou in totaal slechts twee uur waarnemingstijd hebben vergaard.

Gelukkig helpen andere technieken een veel completer beeld van de corona te verschaffen, met name de waarneming van straling met veel kortere en veel langere golflengten dan zichtbaar licht. De radio- en de röntgenstraling die de zon uitzendt komen namelijk uit de corona terwijl de ultraviolette straling en de straling in het verre infrarood en op submillimetergolflengten (tussen infrarood en radiogolven in) uit de chromosfeer afkomstig zijn. Op deze golflengten ligt het waargenomen 'zonneop-

pervlak' dus al in de corona, respectievelijk de chromosfeer. De beelden van de zon die in deze stralingssoorten worden gemaakt tonen corona en chromosfeer direct.

Met de opkomst van de radioastronomie en de ruimtevaart (die ultraviolette en röntgenobservatie mogelijk maakte vanuit raketten en satellieten buiten de aardatmosfeer) kwam het onderzoek van corona en chromosfeer tot bloei. Hoogtepunten waren de ultraviolet- en röntgentelescopen aan boord van Skylab in de vroege jaren zeventig en de Solar Maximum Mission in de jaren tachtig. Beide satellieten zijn inmiddels op aarde teruggevallen. Momenteel bereidt de European Space Agency een nieuwe ruimtemissie voor, SOHO geheten, die de zon ondermeer zal waarnemen in ultraviolette en röntgenolven.

Het onderzoek van infrarode en submillimeterstraling is wat achtergebleven bij de korte golflengten. Waarnemen in het infrarood en in het radiogebied vereist grote telescopen; dat gaat lastig vanuit de ruimte. Voordat deze straling de grond bereikt is er echter veel van geabsorbeerd door de aardatmosfeer. Daarom vindt men de nieuwe generatie infrarood- en (sub-)



9. De helderheid van de zon aan de hemel. Vertikaal staat de intensiteit, als fractie van de intensiteit van het midden van de zonschijf. Horizontaal staat de afstand tot het midden van de

schijf, uitgedrukt in schijfstralen. Bij een totale verduistering zakt de hemelhelderheid tot 10^{-9} van de zonsintensiteit en is de corona zichtbaar tot op 3 à 4 schijfstralen buiten de zon.

De eclips van 1919

De beroemdste eclipsexpeditie aller tijden was die van 1919, waarmee de algemene relativiteitstheorie werd bevestigd. In 1905 had Einstein met zijn speciale relativiteitstheorie voorspeld dat de zon het erlangs scherend licht van een verder weg staande ster afbuigt. Men zou de ster vanaf de aarde aan de hemel verschoven zien, dicht bij de zon dan zonder afbuiging het geval zou zijn. Einstein voorspelde het verschijnsel op grond van de equivalentie van energie en massa volgens $E = m c^2$: fotonen hebben energie, dus massa, en worden dus afgebogen uit hun rechtlijnige baan als er een aantrekkende massa in de buurt is. De afbuiging zou 0,87 boogseconde bedragen voor straling die precies langs de rand van de zon scheert.

In 1915 formuleerde Einstein de algemene relativiteitstheorie voor de zwaartekracht. Daarmee veranderde de voorspelde schijnbare verplaatsing van een ster nabij de zon: naast de afbuiging tengevolge van de equivalentie van massa en energie, wordt ook de ruimte zelf door de aanwezigheid van de zon gekromd. Een baan die bij afwezigheid van de zon rechtlijnig is, wordt krom omdat de 'metriek' van de



10

10. Op wie eenmaal een volledige zonsverduistering heeft gezien, laat het verschijnsel een diepe indruk na. De tekenaar van deze prent schetste in de tweede helft van de vorige eeuw de verklaring voor

een zonsverduistering. Merk op dat hij de eclips in verband brengt met de eerste trans-Amerikaanse telegraaflijn. Kennelijk was hij geroerd door beide 'wonderen' van natuur en techniek.

millimeter telescopen op hoge bergtoppen, zoals die van Hawaï. Ook de ontvangertecnologie is niet vrij van problemen, maar hierin worden nu goede vorderingen gemaakt. Zoals in de gehele sterrenkunde het geval is, richt ook het zonne-onderzoek zich nu sterk op het infrarood. Er zijn vergevorderde plannen om de grootste zonnetelescoop ter wereld, de McMath-telescoop van het National Solar Observatory te Kitt Peak in de VS, aanzienlijk te vergroten ('Big Mac') ten behoeve van infraroodwaarnemingen. De komende eclips biedt een uitzonderlijke, éénmalige gelegenheid om met hoge beeld- en tijdsresolutie zonnewaarnemingen te verrichten op infrarode en millimetergolflengten. Gelukkig staat op Hawaï al de apparatuur waarmee we deze kans kunnen benutten.

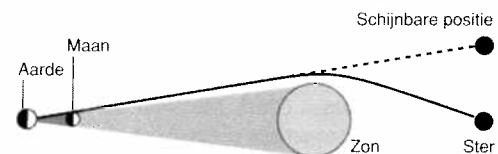
INTERMEZZO

ruimte door de aanwezigheid van een massa niet-Euclidisch is. De voorspelde afbuiging van een ster waarvan het licht precies langs de zon scheert, werd daarmee tweemaal zo groot: 1,75 boogseconde.

Of deze afbuiging ook in werkelijkheid optreedt werd indertijd gezien als de belangrijkste test van de nieuwe theorie. Sterren zijn alleen tijdens een zonsverduistering vlak bij de zon waarneembaar. De corona is gelukkig zo doorzichtig dat heldere sterren er dwars doorheen schijnen. Tijdens de zonsverduistering van 29 mei 1919 zou een groot aantal heldere sterren vlak bij de zon staan. Er werden daarom twee expedities uitgevaardigd, de eerste uit Greenwich onder leiding van C. Davidson naar Brazilië, de tweede uit Cambridge onder leiding van A.S. Eddington naar een eilandje voor de kust van Nigeria. Op de laatste plaats was het bewolkt; er werden wel fotografische platen door de wolken heen belicht, maar de resultaten waren matig.

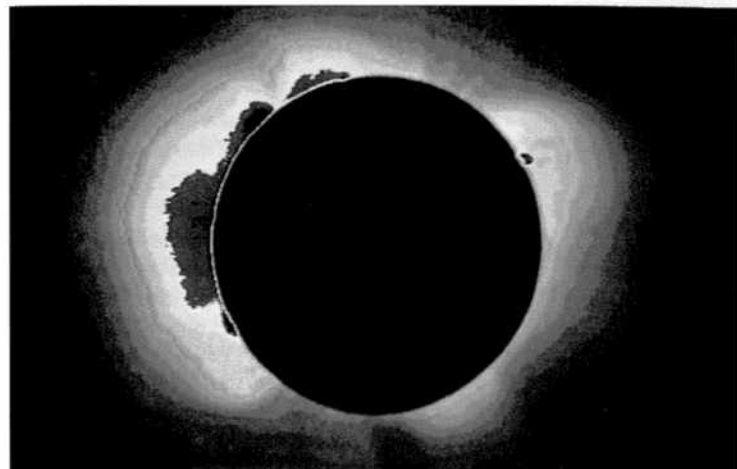
De Braziliaanse platen van de Greenwich-expeditie waren beter. Ze werden door expeditieleider Davidson uitgemeten, maar uiteindelijk was het vooral Eddington die met de eer ging strijken. Hij maakte,

met veel gevoel voor publiciteit, op wapenstilstandsdag 1919 in Cambridge bekend dat sterrenlicht precies wordt afgebogen zoals de algemene relativiteitstheorie dat had voorspeld. Als pacifist legde hij er de nadruk op dat zo de in oorlogstijd ondernomen Engelse expeditie een in oorlogstijd geformuleerde Duitse theorie had bevestigd. Einsteins roem werd daarmee definitief gevestigd; het was de start van zijn lange loopbaan als publieke persoonlijkheid.



I-1. Een waarnemer op aarde ziet een ster waarvan het licht vlak langs de zon scheert, schijnbaar verplaatst. Volgens de algemene relativiteitstheorie

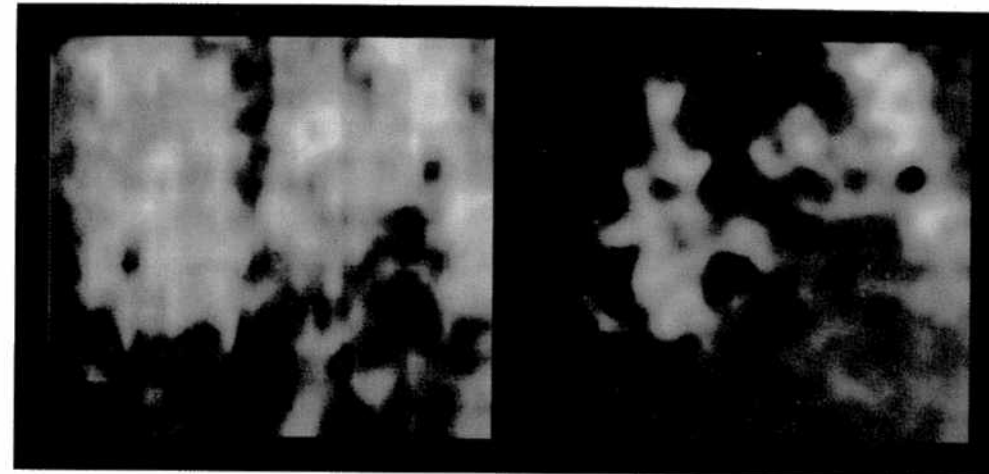
komt dat doordat de massa van de zon de ruimte en de tijd plaatselijk vervormt, wat leidt tot een 'kromme' baan voor rechte lichtstralen.



11

11. Op 18 maart 1988 was er in Indonesië een totale eclips. Dit beeld daarvan is een opname in zichtbaar licht, die met een computer werd bewerkt.

12 en 13. De eerste opname van de zon met de JCMT (12) bij een golflengte van 0,85 mm, met ter vergelijking (13) hetzelfde gebied in de violette Ca-K-lijn bij 393 nm. De zonerand is links. De magnetisch actieve gebieden rond de zonnevlekken zijn helder op beide opnamen, maar de vlekken zijn in afb. 12 nauwelijks te zien. Blijkbaar wordt het gas boven zonnevlekken extra verhit.



12

13

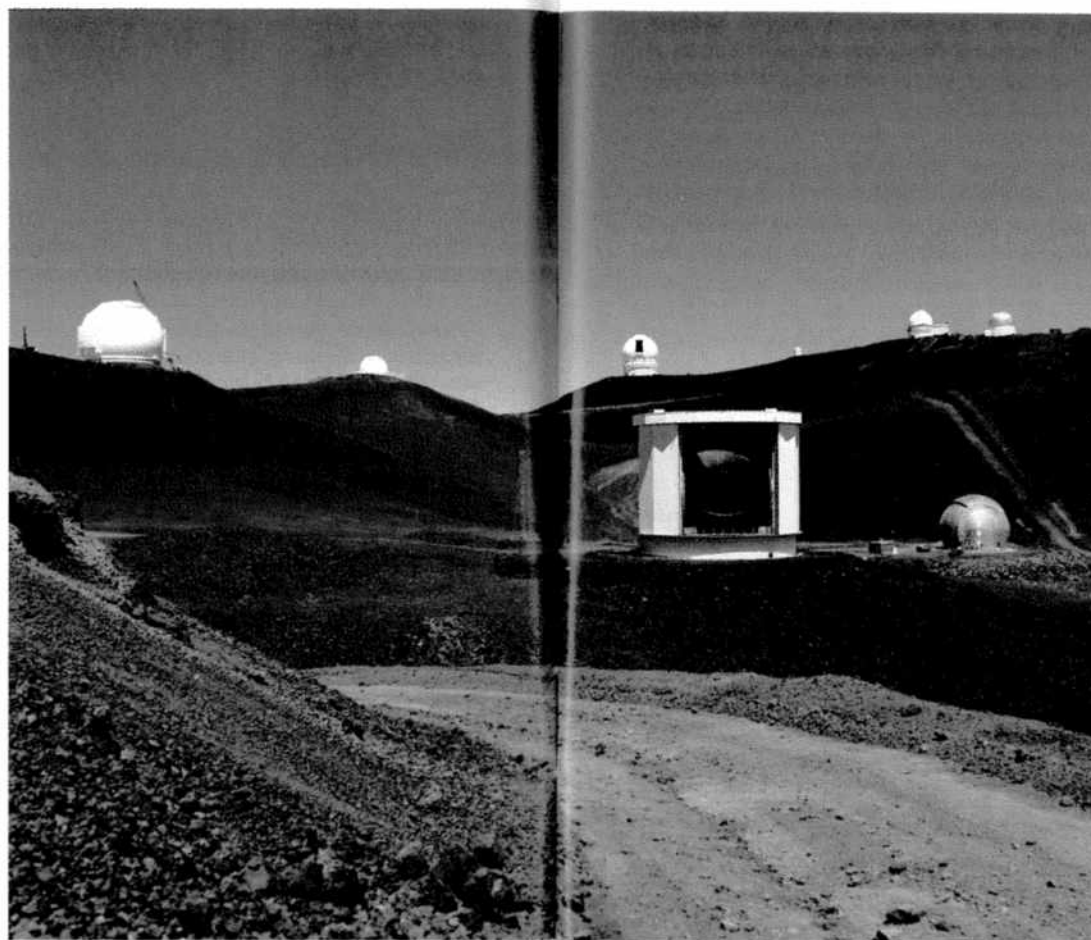
Activiteiten op Hawaii

Bij de eclips van 11 juli trekt de maanschaduw precies over de top van de Mauna-Keavulkaan op Hawaii, waar zich de grootste verzameling sterrenkundige telescopen ter wereld bevindt. De zon staat daar tijdens de totaliteit nog maar laag aan de hemel, slechts 20° boven de horizon, maar de kans op bewolking is er klein. Deze unieke gelegenheid om met grote telescopen een zonsverduistering te bestuderen wordt uiteraard te baat genomen. Wat is men van plan?

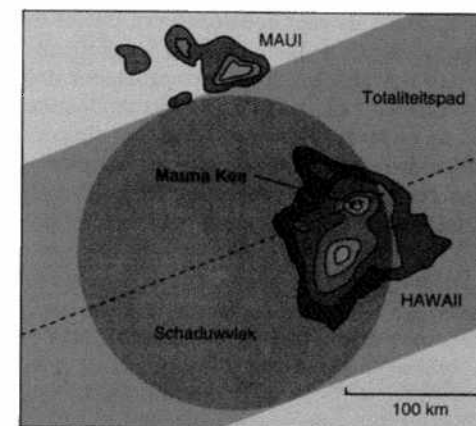
Er zullen negen verschillende experimenten worden uitgevoerd die te zamen het spectrum omvatten van zichtbaar licht tot radiogolven met millimetergolflengte. De nadruk ligt echter op het infrarood- en millimetergebied waar, mede dankzij de grote hoogte van deze vulkaan (4200 m), een deel van de telescopen op Mauna Kea bijzonder geschikt voor is. Daarmee wordt de komende zonsverduistering er een van pioniersarbeid in het infrarood en in het verkrijgen van een hoge beeldscherpthe.

De grootste telescoop die zal worden gebruikt is de James Clark Maxwell Telescope. Dit is de grootste van een nieuwe generatie telescopen voor het submillimeter- en millimetergolflengtegebied. Hij heeft een diameter van vijftien meter, werd ontworpen en gebouwd door Britten en Nederlanders en is nu in bedrijf als een Brits-Nederlands-Canadese telescoop.

Een internationaal team zal er de helderheid van de chromosfeer en de corona mee meten op



14



15

14 en 15. De James Clerk Maxwell Telescoop op Mauna Kea is gebouwd voor waarnemingen van sub-millimetergolven. De telescoop heeft een primaire reflector van 15 meter doorsnede. Tijdens waarnemingen beschermt een dun teflonvlies de spie-

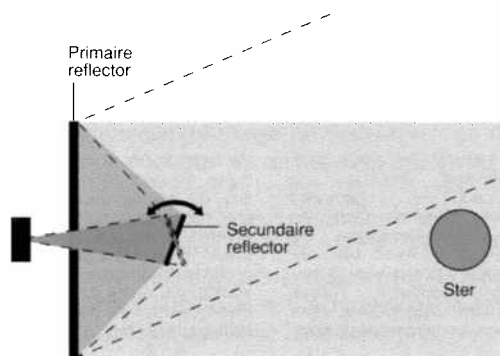
gel tegen te harde wind en tegen de felle zonnestraling, die tot vervormingen van het spiegeloppervlak zouden leiden. De JCMT maakt deel uit van de grootste sterrenwacht ter wereld, die op 11 juli precies in het hart van het totaliteitspad ligt (15)

een golflengte van 1,2 mm. Deze straling ontstaat wanneer vrije elektronen langs vrije protonen scheren. Een deel van hun kinetische energie komt daarbij als straling vrij. De intensiteit daarvan is een directe maat voor de bewegingsenergie van de deeltjes en daarmee van de temperatuur ter plaatse. Met de James Clark

Maxwell Telescope (JCMT) hoopt het team de temperatuur te meten in de chromosfeer, waar deze straling vrijkomt.

De verduistering biedt de kans om deze metingen met hoge ruimtelijke resolutie te doen. Dat komt niet doordat de telescoop zelf zulke scherpe beelden levert (door de lange golflengte is de beeldscherpte ondanks de grootte van de telescoop slechts twintig boogseconden), maar doordat de maanrand die over de zon trekt een scherpe begrenzing geeft. Door de voortschuivende maan dragen immers steeds andere lagen van de zon bij aan het beeld. De temperatuurmetingen worden daarom verricht vóór de maan het laatste stukje zonerand afdekt bij het begin van de verduistering en zodra het tegenovergelegen stukje zonerand als eerste weer vrijkomt.

De maan schuift voor de zon langs met een snelheid van 0,9 boogseconde per seconde. Dit betekent dat de metingen snel, om de 0,4 s, moeten worden gedaan. Dankzij het grote oppervlak van de JCMT is dat geen probleem: deze verzamelt ook in die korte tijd voldoende straling en levert aldus een bruikbaar signaal. Ook is van belang dat de richt- en volgnauwkeurigheid van de JCMT bijzonder goed zijn. De maanrand moet minutieus worden gevolgd,



16

16 en 17. De hoofdspiegel van de JCMT is samengesteld uit 276 panelen. Ze zitten op een vakwerk van staven, dat zo is ontworpen dat bij standveranderingen de parabolvorm behouden blijft. Deze prestatie werd geleverd door Genius BV te IJmuiden. De secundaire reflector, die de bundel op de detector focust, werd op de Utrechtse

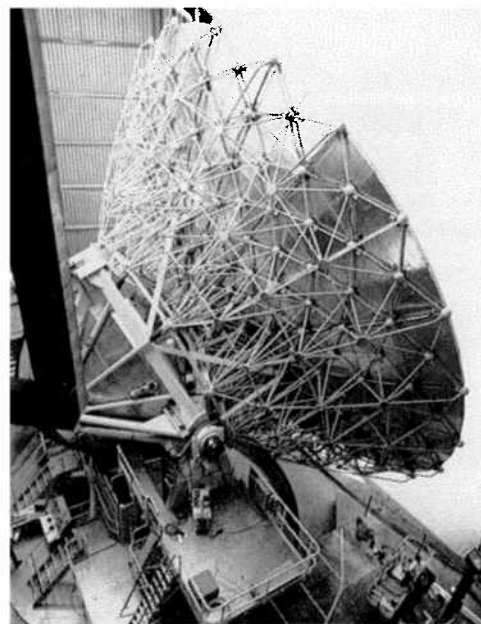
sterrenwacht vervaardigd. Deze wordt bij het waarnemen (16) snel tussen twee standen gewisseld, zodat op de detector om beurten het waar te nemen object en een leeg stukje van de hemel ernaast worden afgebeeld. De twee signalen worden van elkaar afgetrokken om bronsignaal en hemelachtergrond te scheiden.

zodat het resterende stukje zonnepikkel goed middenin de bundelhoek van de JCMT blijft. De verwachting is dat dat zonder problemen zal lukken. Het treft wel bijzonder goed dat deze zonsverduistering juist valt over de meest geschikte telescoop ter wereld om één-millimeterstraling mee te meten, op de beste plaats om dat te doen!

Andere programma's op Mauna Kea

De grootste optische telescoop die de zonsverduistering zal registreren is de 3,6-meter-CFHT, de Canada-France-Hawaii Telescope. Deze is een der beste van de nieuwe generatie grote telescopen. Weliswaar is bij het slijpen van de hoofdspiegel eenzelfde fout gemaakt als bij de fabricage van de Hubble Space Telescope, die leidde tot een overmaat aan sferische aberratie, maar anders dan bij de 'Hubble' is de CFHT-spiegel zo dun dat hij 'soepel' kan worden vervormd. Met deze na-instelling is de slijpfout geheel weggewerkt en nu biedt de telescoop een uitstekende beeldscherpte.

De verwachting is dat niet alleen de hemel onbewolkt zal zijn tijdens de verduistering, maar dat ook de atmosferische beeldonrust (de zogeheten *seeing*) tijdens de zonsverduistering



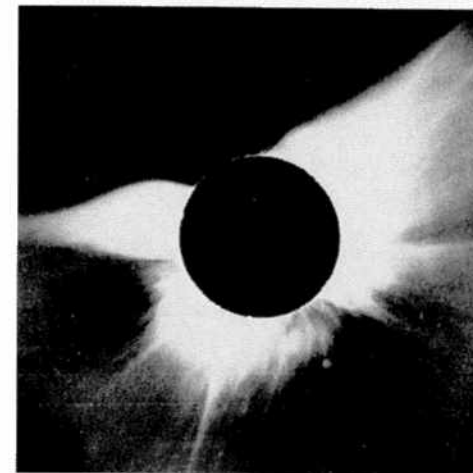
17

gering zal zijn. De nachtelijke seeing is op Hawaii doorgaans klein. Overdag warmt de zon de zwarte vulkaankegel flink op en ontstaat er al snel veel turbulentie — zoals het trillen van de lucht boven zongelakerd asfalt. De zonsverduistering valt echter vroeg in de ochtend over Mauna Kea en de zon zal al snel zover zijn afgedekt dat verhitting waarschijnlijk niet meedoet.

Het onderzoeksaccent voor deze telescoop ligt op coronafotografie met hoge beeldscherpte, in zichtbaar licht. De waarnemingen zijn van belang omdat er tot dusver in het zichtbaar licht in het geheel geen metingen zijn verricht aan de coronale fijnstructuur. Röntgenbeelden tonen dat de corona bestaat uit lussen en draderige filamenten met doorsneden van één boogseconde (730 km op de zon) of nog veel kleiner; metingen van radiostraling bevestigen die schaal. Op grond hiervan verwacht men dat ook in 'gewoon' wit licht de corona zulke fijne structuren tentoonspreidt. Beelden van vorige zonsverduisteringen zijn niet scherp genoeg om ze te zien. De telescopen waren te klein, de belichtingstijden te lang en de omstandigheden en de seeing te slecht.

Een team astronomen maakt tijdens de verduistering met de CFHT jacht op de coronale fijnstructuur. Doel van de operatie is het maken van opnamen met een scheidend vermogen van beter dan een halve boogseconde. Of de astronomen dit halen zal vooral door de kwaliteit van de seeing worden bepaald.

Op Mauna Kea is de Infrared Telescope Facility van NASA, met een diameter van drie meter, de volgende telescoop in grootte. Daarmee zal een NASA-medewerker metingen verrichten in het infrarode-golflengtegebied. Het gaat hem om spectraallijnen van magnesium bij golflengten rond twaalf micrometer. Deze staan sterk in de belangstelling, omdat ze voor



18

18. Dit is een opname van de eclips van 12 november 1966 vanuit Bolivia. Dankzij een radiaal grijsfilter dat van binnen naar buiten sterk toenam in doorzich-

tigheid, om het intensiteitsverschil in de corona te verkleinen, toont deze opname gelijktijdig de heldere binnencorona en de veel zwakkere buitencorona.

meting van de magnetveldsterkte in de zonneatmosfeer als zeer gevoelige 'magnetometers' kunnen worden gebruikt. Het probleem van deze lijnen is dat we nog niet weten of ze in de fotosfeer dan wel in de chromosfeer ontstaan. Tijdens deze zonsverduistering kan dat precies worden bepaald, door nauwkeurig te meten op welk moment ze verdwijnen als de maan over de zonerand trekt.

De allergrootste telescoop op Mauna Kea komt bij deze eclips niet in actie. De tien-metertelescoop van het Keck Observatory is binnenkort zelfs de grootste optische telescoop op aarde, maar is in juli nog net niet klaar voor gebruik.

Literatuur

Friedman H. Zon en Aarde — Een warme relatie. Maasricht: Natuur & Techniek, Wetenschappelijke Bibliotheek, 1989.

Bronvermelding illustraties

Peter-Paul Hattinga Verschure, Deventer: pag. 500-501
 NASA: 3 (F. Espenak) en 6
 Leon Golub, Smithsonian Astrophysical Observatory, Cambridge, MA, VS (courtesy of SAO and IBM Research): 4 en 5
 Los Alamos Scientific Laboratory, Los Alamos, NM, VS: 8
 John Sanford/SPL, Joël, Amsterdam: 11
 Royal Observatory, Edinburgh, UK: 12, 13, 14 en 17
 De overige afbeeldingen zijn afkomstig van de auteur.