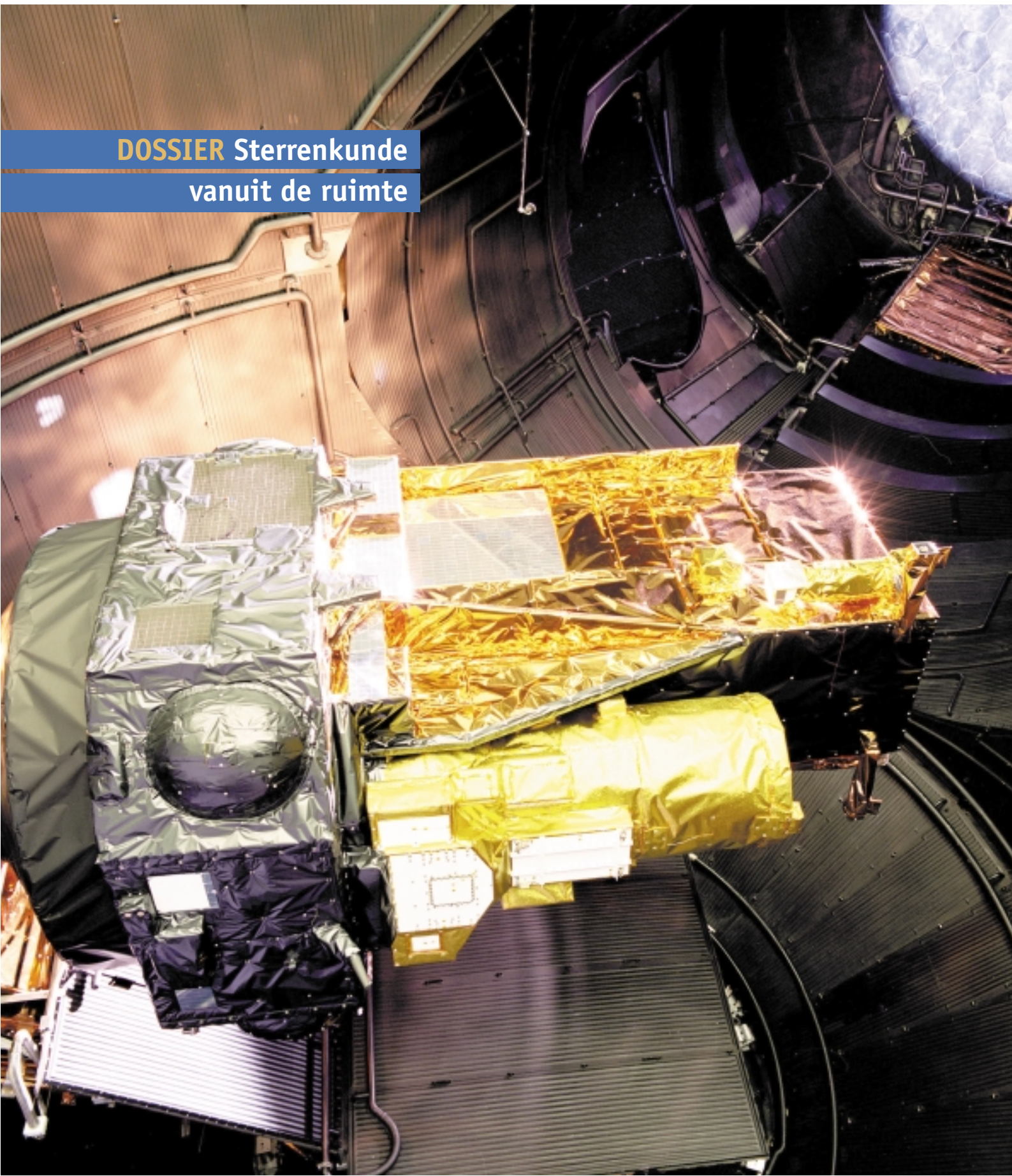


# 35

Juni 2001

# SPACE CONNECTION

**DOSSIER** Sterrenkunde  
vanuit de ruimte



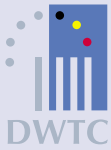
## Inhoud



### Dossier : Sterrenkunde vanuit de ruimte

- 03** Inleiding
- 05** NGST, een opvolger voor Hubble
- 08** Interferometers op zoek naar planeten
- 10** Infrarood- en microgolf-observatoria: het koele heelal
- 12** UV-, röntgen- en gamma-observatoria:  
het gewelddadige heelal
- 16** De achtergrondstraling: het lichte nagloeien van de Oerknal
- 18** Gravitatiegolven: het zachte beven van Einsteins ruimte
- 20** Astrometrie: de Melkweg in kaart gebracht
- 22** Asteroseismologie: het hart van een ster zien kloppen
- 23** Kosmische straling
- 23** Een telescoop groter dan de aarde: radio-interferometrie
- 24** De Koninklijke Sterrenwacht van België
  
- 29** Belgische actualiteit
- 31** Internationale actualiteit





**Federale diensten voor wetenschappelijke, technische en culturele aangelegenheden (D.W.T.C.)**

Space Connection is een nieuwsbrief uitgegeven door de Federale diensten voor wetenschappelijke, technische en culturele aangelegenheden (D.W.T.C.). Deze nieuwsbrief informeert over recente verwezenlijkingen in de ruimtevaart en richt zich in het bijzonder tot de jeugd.

*Space Connection gratis ontvangen?*

Stuur uw naam en adres naar:

**Cel Public Relations  
Secretariaat-generaal  
D.W.T.C.**

Wetenschapsstraat 8  
1000 Brussel  
of stuur een e-mail naar  
dhae@belspo.be

<http://www.belspo.be>

**Verantwoordelijke uitgever:**

Ir. Eric Beka  
Secretaris-generaal van de D.W.T.C.

**Redactie:**

Cel Public Relations  
Secretariaat-generaal  
D.W.T.C.  
Wetenschapsstraat 8  
1000 Brussel

**Externe medewerking:**

Benny Audenaert, Paul Devuyt,  
Christian Du Brulle, Théo Pirard,  
Steven Stroeykens (dossier).  
*De redactie dankt Professor  
A. Jorissen van de Université Libre  
de Bruxelles voor zijn medewerking  
bij de redactie van dit dossier.*

**Coördinatie:**

Patrick Ribouville

**Abonnementenbeheer:**

Ria D'Haemers  
e-mail: dhae@belspo.be

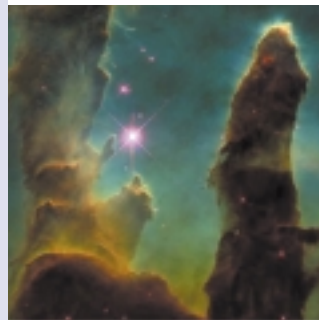
**Foto voorpagina:**

Integral (*document ESA*).

**Nummer 35 - Juni 2001**

## Inleiding

# Sterrenkunde vanuit de ruimte



De nevel M16 gefotografeerd door de Hubbletelescoop. De gas- en stofwolk wordt verlicht en geleidelijk uiteen geblazen door pas gevormde jonge sterren. (*doc. STScI*)

De sterrenkunde beleeft een bloeiperiode zonder voorgaande, en dat is voor een groot deel te danken aan de nieuwe generatie telescopen op de aarde en in de ruimte. En het ziet ernaar uit dat we nog maar aan het begin staan van een "gouden tijdperk". Deze nieuwe generatie telescopen staan klaar om de fakkel over te nemen. De telescopen op aarde werden voorgesteld in Space Connection 28, in dit nummer komen de toekomstige telescopen in de ruimte aan bod, evenals een aantal andere sterrenkundige satellieten.

Het NASA-programma (dat veruit het meest uitgebreide wetenschappelijke ruimtevaartprogramma heeft) stond de afgelopen jaren in het teken van kostenbesparing. Onder het motto "faster, better, cheaper" of "sneller, beter, goedkoper" wilde men komaf maken met de peperdure mastodontprojecten uit de jaren zeventig en tachtig, waarbij vaak meer dan tien jaar aan een reuzensatelliet gewerkt werd. De bedoeling in de jaren negentig was om vele kleine projecten uit te voeren met telkens een bescheiden budget, een klein team ontwerpers en een ontwikkelingstijd van niet meer dan enkele jaren. In 1999 en 2000, na de mislukking van meerdere "sneller, beter, goedkoper" Marsverkenners na elkaar, werd gedeeltelijk op die filosofie teruggekomen. De NASA legt nu weer wat meer de nadruk op het aspect "beter", dat al te zeer in de verdrukking was gekomen. Niettemin blijft "sneller, beter, goedkoper" officieel nog van kracht, en de meeste van de toekomstige Amerikaanse projecten die we in dit dossier beschrijven, zijn geconcipieerd met die filosofie in het achterhoofd.

Het wetenschappelijke programma (studie van de zogenaamde ruimtewetenschappen) van de Europese ruimtevaartorganisatie ESA heeft enerzijds "cornerstones" of "hoekstenen" met ambitieuze en prestigieuze projecten waaraan het hele programma is opgehangen. Het budget voor een cornerstone-missie bedraagt ongeveer 540 miljoen euro.

[vervolg op pagina 04]



↑ Opname van de sterrenhoop G1 in de Andromedanevel door de ruimtetelescoop Hubble. Vóór het ruimtevaart-tijdperk was het onmogelijk dergelijke scherpe foto's te maken. De volgende generatie sterrenkundige satellieten moet het nog beter doen. (doc. STScI)

Anderzijds zijn er de kleinere "flexi-missions", met meer beperkte doelstellingen en een kortere voorbereidingstijd (wat een meer flexibele planning op kortere termijn mogelijk moet maken). Het budget voor deze missies is ongeveer 180 miljoen euro. Reeds gerealiseerde hoeksteenmissies (in het kader van het in 1984 begonnen programma Horizon 2000) zijn het gecombineerde project SOHO/Cluster, voor de bestudering van de zon en haar invloed op de aarde en het röntgenobservatorium XMM-Newton. Het wetenschappelijke programma van ESA heeft een jaarlijks budget van 359 miljoen euro op een totaal budget van 3,44 miljard euro (cijfers voor 2000, ter vergelijking: NASA beschikt over een budget van ongeveer 13 miljard dollar).

Aan sterrenkunde doen vanuit de ruimte heeft vele voordelen. De reden daarvoor is dat een observatorium in de ruimte zich boven de aardse atmosfeer bevindt. De atmosfeer van de aarde maakt het beeld in een telescoop onscherp. Turbulente bewegingen van de lucht maken het zeer moeilijk om vanop de grond scherpe details te zien op hemellichamen. Een telescoop die zich boven de atmosfeer bevindt, kent dat probleem niet.

Sommige soorten waarnemingen zijn zelfs helemaal onmogelijk vanop de aarde. Licht dat van hemellichamen komt wordt wel verstoord door de atmosfeer, maar het bereikt tenminste grotendeels de grond. Voor andere soorten straling is dat niet het geval. Licht bestaat uit zogeheten elektromagnetische golven, met een golflengte tussen ruw-

weg 400 en 700 nanometer (een nanometer is een miljoenste van een millimeter). Elektromagnetische golven met golflengte kleiner dan 400 of groter dan 700 nanometer kunnen onze ogen niet zien. Dergelijke golven worden wel uitgezonden door veel hemellichamen en ze bevatten vaak zeer interessante informatie voor de astronomen.

Gerangschikt van grote naar kleine golflengte bestaat het "spectrum" van de elektromagnetische golven uit radiogolven (met aan het relatief "korte" uiteinde daarvan de millimetergolven en de microgolven), infrarode straling (IR), zichtbaar licht (waarbij rood licht de grootste golflengte heeft en blauw en violet licht de kleinste), ultraviolette straling (UV), röntgenstraling of X-stralen en tenslotte gammastraling. Daarvan worden alleen de meeste radiogolven, een klein deel van het infrarood, het zichtbare licht en een klein deel van het ultraviolet doorgelaten door de atmosfeer. De andere golflengten kunnen alleen vanuit de ruimte bestudeerd worden.

In dit dossier bespreken we de verschillende toekomstige projecten, gegroepeerd per golflengtegebied waarin ze waarnemingen doen, of per soort waarneming die ze zullen verrichten. We streefden ernaar alle sterrenkundige toekomstplannen van de verschillende ruimtevaartorganisaties op te nemen die definitief goedgekeurd zijn en waarvoor de financiering rond is. Daarnaast is ook een selectie gemaakt van de interessantste projecten die nog op goedkeuring wachten en zich nog in het stadium van voorstudies bevinden.



Dossier Sterrenkunde vanuit de ruimte

# NGST, een *opvolger* voor Hubble

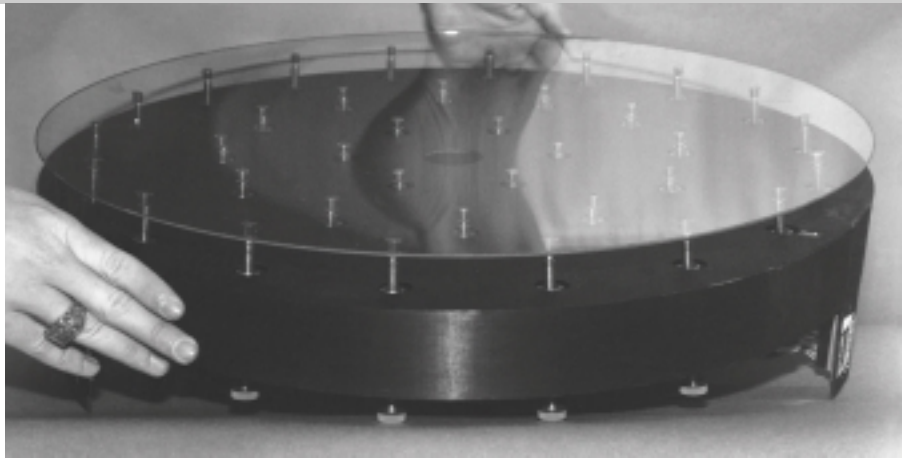
*De belangrijkste sterrenkundige satelliet van het komende decennium wordt ongetwijfeld de NGST (Next Generation Space Telescope), een project van de NASA maar met een aanzienlijke Europese bijdrage. NGST wordt de opvolger van de uiterst succesvolle ruimtetelescoop Hubble, die in 1990 werd gelanceerd in een baan rond de aarde.*

Hubble, een spiegelt telescoop voor zichtbaar licht, nabij infrarood en nabij ultraviolet, met een objectiefdiameter van 2,4 meter, heeft al een bewogen geschiedenis achter de rug. Kort na de lancering bleek dat de hoofdspiegel verkeerd geslepen was. Er was een dure reparatievlucht met een ruimtewagen nodig om de telescoop zijn beloften te laten waarmaken. Door correctie-optiek werd de fout van de hoofdspiegel gecompenseerd. Van alle bestaande telescopen levert hij nog steeds de scherpste beelden.

De NGST moet nog veel beter worden. Het belangrijkste voordeel van de NGST wordt zijn veel grotere hoofdspiegel waarschijnlijk met een diameter van acht meter. De NGST zal dus veel meer licht verzamelen dan Hubble, waardoor hij veel lichtzwakkere en verderaf gelegen hemellichamen zichtbaar zal maken en nog veel scherpere beelden zal leveren. Toch mag de NGST niet duurder worden dan Hubble. Er wordt gestreefd naar een kostprijs van minder dan twee miljard dollar over de volledige levensduur van de telescoop, inclusief de



→ Een prototype op schaal voor de spiegel van de NGST. (document NASA-JPL)



Europese bijdrage. De kostprijs van Hubble, inclusief herstelling en onderhoudsvluchten van de ruimtewand, wordt geschat op meer dan 2,5 miljard euro.

Om die lage prijs te halen moet de NGST met een kleine raket gelanceerd worden in plaats van met de ruimtewand (zoals Hubble). Maar een kleine raket biedt niet genoeg plaats voor een acht meter grote spiegel, de hoofdspiegel moet dus uit afzonderlijke segmenten bestaan. Bij de lancering is de spiegel opgevouwen, eenmaal in de ruimte vouwt hij zich open. Om verder op het gewicht te besparen zullen de spiegelsegmenten heel licht uitgevoerd worden. Het realiseren van die uiterst lichte opvouw-optiek wordt een grote technische uitdaging, vooral omdat de segmenten in de ruimte buitengewoon nauwkeurig gepositioneerd moeten worden. De

↓ Het 'Hubble Deep Field', waarop de verste momenteel waarneembare sterrenstelsels te zien zijn. De NGST zal nog verder kijken en de allereerste gevormde sterrenstelsels in het heelal waarnemen. (document STScI)



NGST komt in een baan op veel grotere afstand van de aarde dan Hubble, en op die afstand kan hij niet door ruimtewand bezocht worden. De optiek moet dus van de eerste keer goed werken.

De NGST zal nuttig zijn voor zowat alle takken van de sterrenkunde, maar in het bijzonder willen sterrenkundigen er de vroege geschiedenis van het heelal mee bestuderen. NGST zal sterrenstelsels (galaxis) kunnen zien tot op veel grotere afstanden dan andere telescopen, en daardoor zal hij ook veel verder in het verleden terug kijken. Een sterrenstelsel op een miljard lichtjaar afstand zien we immers zoals het een miljard jaar geleden was, omdat het licht dat we zien een miljard jaar onderweg is geweest. Bekijken we een sterrenstelsel op tien miljard lichtjaar afstand, dan kijken we niet alleen tien keer verder in de ruimte, maar ook in de tijd.

Astronomen weten dat het heelal rond de dertien miljard jaar geleden ontstaan is in de Oerknal of Big Bang. Ze vermoeden dat de sterrenstelsels niet lang daarna ontstaan zijn, maar ze hebben dat proces nog niet kunnen observeren, omdat ze nog geen sterrenstelsels op een voldoende grote afstand hebben kunnen zien. Met de NGST wordt het misschien mogelijk om die eerste fase in de geschiedenis van de sterrenstelsels te observeren.

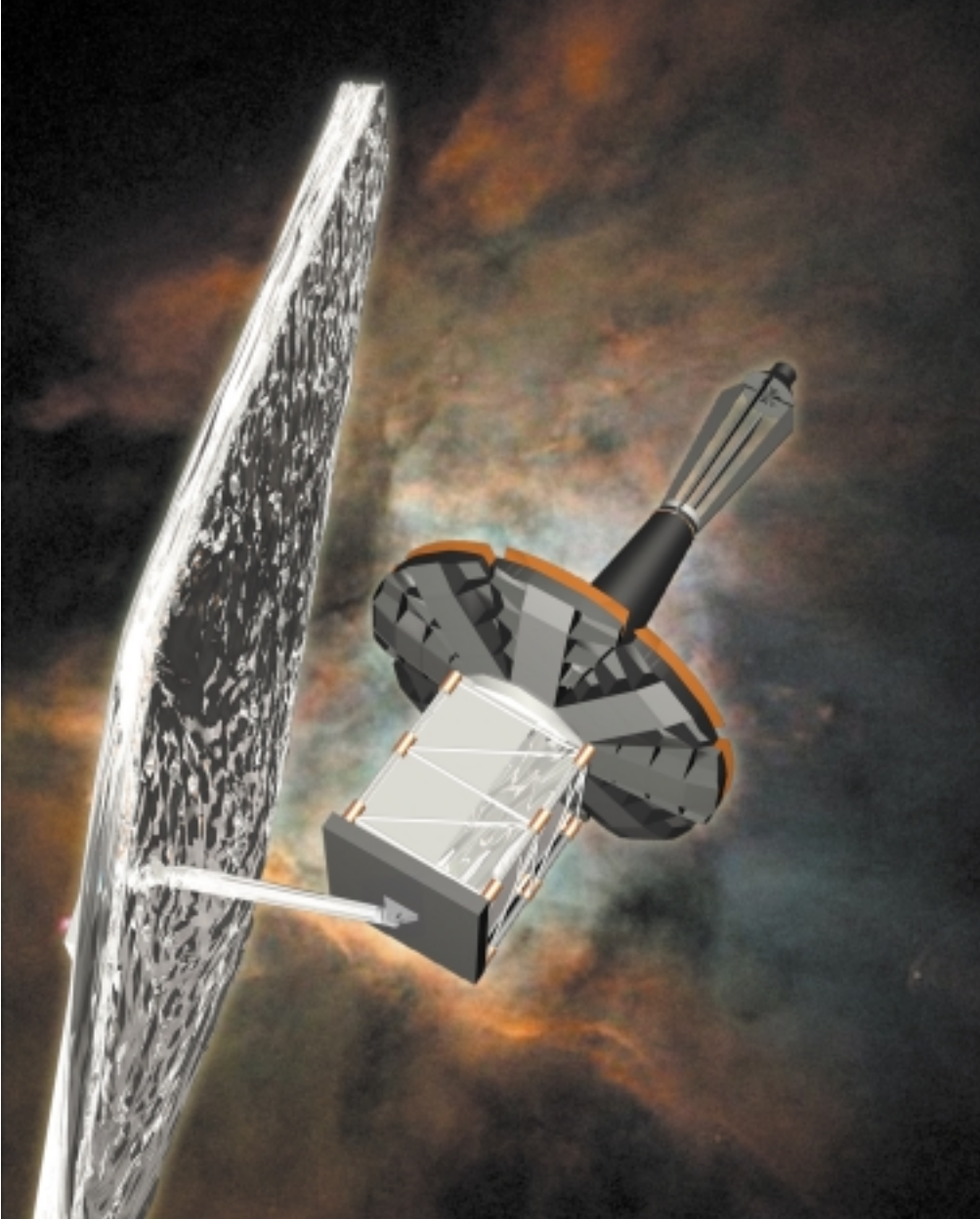
Van alle lichtbronnen die we waarnemen op zeer grote afstand in het heelal, heeft het licht een zogeheten 'roodverschuiving' ondergaan. Dat betekent dat de golflengte van alle straling langer geworden is. Licht

dat aanvankelijk blauw was (relatief korte golflengte) wordt eerst groen, dan geel, oranje en rood. Bij nog grotere roodverschuiving wordt het infrarood. De roodverschuiving is een gevolg van de expansie van het heelal sedert de Oerknal.

Bij de reusachtige afstanden waarop de NGST sterrenstelsels gaat observeren, is de roodverschuiving dermate groot dat veel interessante straling verschoven is naar het infrarode gebied. De NGST is dan ook in de eerste plaats ontworpen als een telescoop voor (nabij) infrarode straling, al zal hij ook een beetje bij zichtbare golflengten kunnen werken. Waarnemen in het infrarood is ook nuttig voor andere soorten sterrenkundig onderzoek, zoals bij het speuren naar planeten bij andere sterren, en bij het observeren van het ontstaan van sterren en planeten.

Instrumenten voor infraroodstraling moeten gekoeld worden tot zeer lage temperaturen. Zonlicht zendt het instrument zelf te veel infraroodstraling uit (zoals door alle warme voorwerpen), die de waarnemingen van infrarood uit het heelal verstoort.

Gespecialiseerde satellieten voor midden- en ver-infrarood (daarmee wordt bedoeld infrarood met lange golflengte, ver van het zichtbare gebied) worden meestal gekoeld tot vlakbij het absolute nulpunt (-273 °C), met een complex koelsysteem dat met vloeibaar helium werkt. Voor de NGST, die meer in het nabije infrarood (nabij het zichtbare gebied) zal waarnemen, zijn de eisen niet zo streng, en is er voor een



← Het ontwerp van Lockheed-Martin voor de NGST (*document Lockheed Martin*).

gische uitdagingen. De spiegel moet na het openvouwen zeer nauwkeurig van vorm zijn, en het reusachtige zonnenscherm mag geen trillingen in de telescoop veroorzaken.

Om deze nieuwe technologie uit te proberen is de NASA van plan eerst enkele testvluchten uit te voeren. Eind 2001 moet een ruimteward een schaalmodel van het opblaasbare zonnenscherm mee naar de ruimte brengen, dit is het ISIS-experiment (*Inflatable Sunshade in Space*). Als dat lukt kan de NGST een gelijkaardig en groter zonnenscherm krijgen, zoniet wordt gekozen voor een opvouwbaar scherm.

Enkele jaren later, mogelijk in 2004, wordt een meer ambitieuze test uitgevoerd met Nexus, een verkleinde versie van de NGST en bedoeld om het mechanisme van de openvouwende spiegel uit te proberen. Nexus krijgt een spiegel met een diameter van 2,8 meter, en zal net als de NGST in L2 geplaatst worden. Met Nexus zullen een jaar lang technologische tests uitgevoerd worden, vooral om de optische kwaliteit van de spiegel te testen. De spiegel zal ook uitgerust zijn met een systeem van "actieve optiek", dat eventuele optische fouten kan corrigeren door de spiegel lichtjes te vervormen (zodat een gelijkaardig probleem als dat bij Hubble opgelost kan worden zonder dat er een ruimteward op bezoek moet komen). Nexus zal uitgerust zijn met een camera om de optische kwaliteit van de spiegel te testen, niet met gespecialiseerde wetenschappelijke instrumenten. Maar desondanks zullen met Nexus waarschijnlijk enkele zeer interessante sterrenkundige observaties te verrichten zijn, aangezien het zal gaan om de op dat moment grootste ruimtetelescoop. Nexus zal met zijn spiegel van 2,8 meter immers groter zijn dan Hubble (2,4 meter). Als de proeven met Nexus goed verlopen kan de NGST zelf gelanceerd worden in 2009.

eenvoudiger systeem gekozen. De telescoop en de instrumenten zullen gewoon permanent in de schaduw gehouden worden door een groot zonnenscherm. Zo zal de telescoop voldoende afkoelen. Het zonnenscherm, dat veel te groot zal zijn om in een lanceerraket te passen, zal in de ruimte opgeblazen moeten worden (of eventueel opgevouwen).

Onder meer om de koeling te vergemakkelijken, zal de NGST in een zeer bijzondere baan geplaatst worden, in het zogeheten punt L2, een van de "libratiepunten" of 'Lagrange-punten' van de aarde in haar baan rond de zon. Het punt L2 bevindt zich op 1,5 miljoen kilometer van de aarde, in de richting weg van de zon, dus gezien vanuit de zon "achter" de aarde. Een satelliet in L2 beweegt zich steeds mee met de aarde rond de zon, dezelfde relatieve positie behoudend. De zwaartekracht van aarde en zon zorgt ervoor dat een satelliet zich gemakke-

lijk in L2 kan handhaven, of beter gezegd, in de praktijk in een vele duizenden kilometers grote zone rond L2.

Gezien vanuit L2 staan de aarde en de zon steeds in dezelfde richting aan de hemel, en ook de maan bevindt zich in dezelfde buurt. Met hun intense licht zijn het de drie meest storende hemellichamen voor een gevoelige ruimtetelescoop. Als ze alledrie in dezelfde richting staan, is het gemakkelijk om de telescoop van de drie hemellichamen tegelijk af te schermen met één scherm. De NGST zal geen telescoopbuis hebben zoals Hubble, alleen maar een scherm aan één kant.

### ISIS en Nexus

Voor de NGST moet heel wat vernieuwende technologie ontwikkeld worden. Vooral de opvouwbare lichte spiegel en het opblaasbare (of opvouwbaar) zonnenscherm zijn technolo-

**Dossier** Sterrenkunde vanuit de ruimte

# Interferometers op zoek naar planeten

*Een van de meest actuele vragen in de sterrenkunde is of er buiten ons zonnestelsel nog planeten bestaan die op de aarde lijken, m.a.w. planeten waar de omstandigheden gunstig zijn voor het ontstaan van leven.*

↑ Zo zal de TPF er moeten uitzien. (document NASA-JPL)

Astronomen weten al van het bestaan van tientallen planeten buiten ons zonnestelsel of exoplaneten (die dus rond andere sterren dan de zon draaien). Dat zijn meestal zeer grote planeten, vermoedelijk gasreuzen zoals Jupiter in ons zonnestelsel, die erg dicht bij hun ster staan en waar het dus erg heet is. Daarenboven is nog geen van die planeten rechtstreeks waargenomen. Ze zijn alleen onrechtstreeks "ontdekt", doordat astronomen vastgesteld hebben dat hun ster lichtjes heen en weer beweegt. Dat komt, veronderstelt men, doordat een planeet die rond de ster draait, de ster door haar zwaartekracht nu eens in de ene richting, dan weer in de andere richting trekt.

Astronomen willen graag de reeds onrechtstreeks ontdekte grote exoplaneten ook echt rechtstreeks waarnemen. Ook hopen ze kleinere planeten van het formaat van de aarde, onrechtstreeks te detecteren. Een volgende stap is om ook deze kleine planeten rechtstreeks waar te nemen en ze daarna in detail te bestuderen, zodat duidelijk wordt of ze echt geschikt zijn voor leven.

Om dit ambitieuze programma te realiseren, wordt een reeks infrarood-interferometers in de ruimte gepland. Men verwacht immers dat die planeten bij infrarode golflengten veel gemakkelijker te detecteren zullen zijn dan met zichtbaar licht. Een planeet zendt

niet veel licht uit (ze weerkaatst alleen maar wat licht van een ster), en staat bovendien vlakbij een ster, die veel meer licht uitzendt. Het is buitengewoon moeilijk om de zwakke planeet te zien in de gloed van de heldere ster. In het infrarood is het verschil in helderheid kleiner, waardoor de planeet gemakkelijker te zien zou moeten zijn.

De observatoria die naar planeten speuren zullen geen gewone telescopen zijn, zoals Hubble en de NGST, maar interferometers. Deze instrumenten bestaan uit meerdere aan elkaar gekoppelde telescopen. Een interferometer waarin meerdere telescopen als één grote telescoop functioneren, laat veel fijnere details zien dan

één enkele telescoop. Hoe groter de afstand tussen de samenstellende telescopen, hoe scherper het beeld kan worden. Interferometrie met optische of infrarood-telescopen wordt al toegepast op aarde; in de ruimte werd het nog nooit toegepast. De verschillende telescopen die samen de interferometer vormen, kunnen zowel samen op eenzelfde satelliet gemonteerd worden, als in afzonderlijke, vrij zwevende satellieten. In dat laatste geval moet de afstand tussen die satellieten zeer nauwkeurig constant gehouden worden.

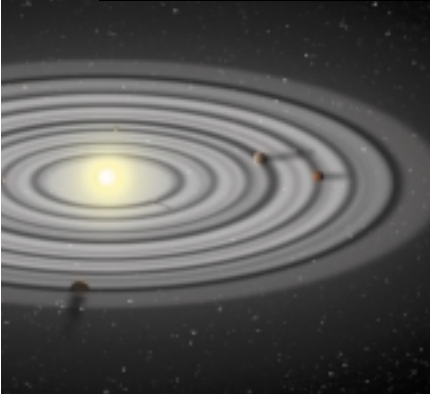
## Space Technology 3

Space Technology 3 (ST3) is een kleine ruimte-interferometer om





↑ Darwin (document ESA)



de techniek van interferometrie met telescopen op vrij zwevende satellieten uit te testen. NASA voorziet de lancering voor 2003. ST3 zal slechts bestaan uit twee kleine telescopen in afzonderlijke satellieten.

### SIM (Space Interferometry Mission)

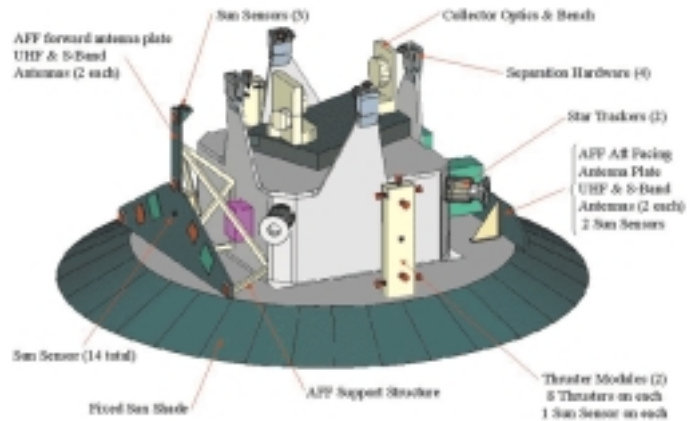
De Space Interferometry Mission (SIM) van de NASA is gepland voor 2009. In tegenstelling tot ST3, een missie met voornamelijk technologische objectieven, heeft SIM ambitieuze sterrenkundige doelstellingen. SIM zou aarde-achtige planeten onrechtstreeks moeten kunnen detecteren en grote planeten rechtstreeks moeten kunnen

waarnemen. Verder moet SIM met zeer hoge nauwkeurigheid aan astrometrie doen, dat wil zeggen de posities van sterren aan de hemel meten en hun afstanden bepalen.

Momenteel herzielt NASA de SIM-plannen omdat de kosten te hoog dreigen op te lopen. NASA wil de kostprijs reduceren van 1,5 miljard dollar tot 930 miljoen dollar. Mogelijk zal SIM bestaan uit vier kleine telescopen op een tien meter lange vakwerk-structuur (het is dus een interferometer op één satelliet). SIM zou oorspronkelijk met een klassieke draagraket gelanceerd worden maar nu wordt overwogen om de ruimtewarder te gebruiken.

### TPF (Terrestrial Planet Finder) en Darwin

De Terrestrial Planet Finder (TPF) is een grote ruimte-interferometer van de NASA, die ten vroegste in 2012 gelanceerd zal worden. De financiering is nog onzeker en er zijn nog geen definitieve plannen getekend.



↑ Een Space Technology 3 (of 'Starlight') satelliet. (document NASA-JPL)

Volgens een voorlopig ontwerp zal TPF bestaan uit vier afzonderlijke satellieten elk met een telescoop met een spiegel van 3,5 meter diameter. In een vijfde satelliet wordt het licht van de vier telescopen samengebracht en onderzocht. Aanvankelijk zullen de satellieten dicht bij elkaar opereren, maar na verloop van tijd kan hun onderlinge afstand groter gemaakt worden, tot ongeveer een kilometer.

TPF moet in staat zijn kleine aarde-achtige planeten bij andere sterren dan de zon rechtstreeks waar te nemen. Meer nog, de interferometer is ontworpen om van die planeten een spectrum te kunnen nemen zodat de samenstelling van een eventuele atmosfeer kan onderzocht worden. Als in de atmosfeer waterdamp of zuurstof wordt vastgesteld, zou dat een aanwijzing zijn dat de planeet geschikt is voor leven.

ESA heeft al voorstudies uitgevoerd voor Darwin, een gelijkwaardige ruimte-interferometer

als de Amerikaanse TPF. Het project kan een toekomstige "cornerstone" van het ESA-programma worden. De kans is groot dat de NASA en de ESA uiteindelijk zullen samenwerken bij de bouw van een grote interferometer, net zoals ze dat gedaan hebben bij de ruimte-telescoop Hubble en zoals het zal gebeuren bij de NGST.

### Planet Imager

De Planet Imager is een toekomstige reusachtige interferometer voor de periode na de TPF. Het is een nog veel ambitieuzer project dat vandaag evenwel nog in het stadium van verkennende voorstudies verkeert. Met de Planet Imager moet het mogelijk worden om details te observeren op het oppervlak van aarde-achtige planeten bij andere sterren dan de zon. De Planet Imager zal bestaan uit meerdere grote ruimtetelescopen, in satellieten op vele kilometers tot zelfs duizenden kilometers van elkaar. Ze zullen ver in het zonnestelsel een baan rond de zon beschrijven.

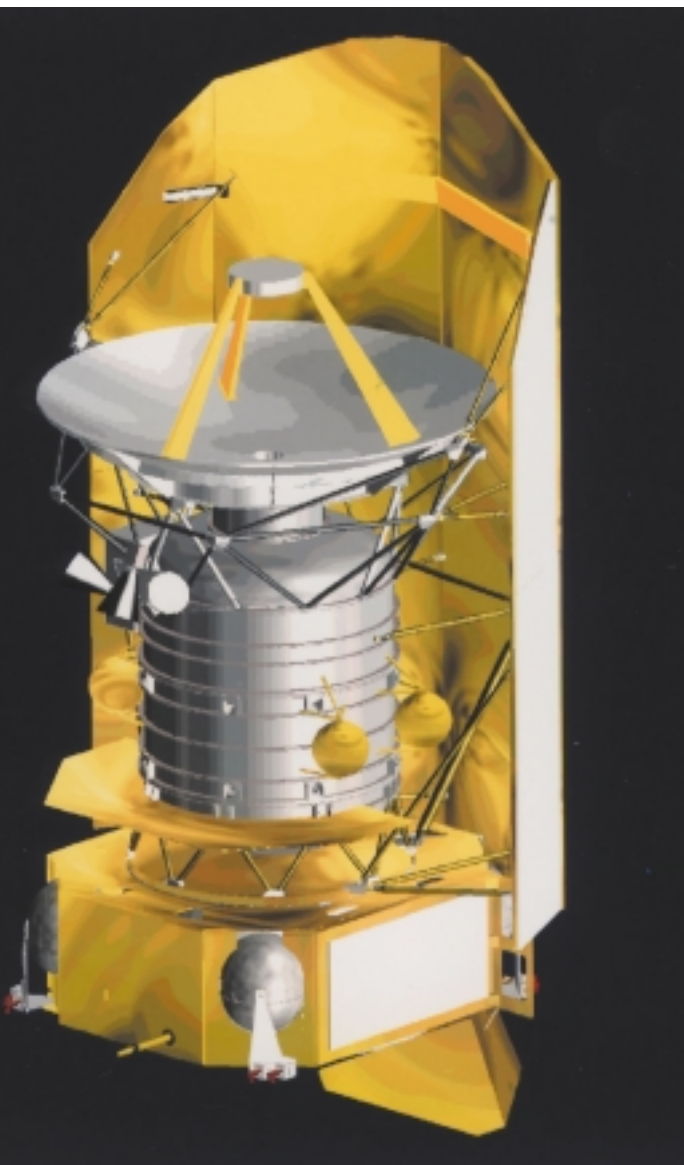
## Dossier Sterrenkunde vanuit de ruimte

*Behalve de gespecialiseerde grote infrarood-interferometers, die specifiek ontworpen zijn om naar planeten te speuren, en de NGST, die vooral het nabije infrarood waarneemt, liggen er ook een reeks andere infrarood-observatoria op de tekentafels. Die zullen ook het zogeheten 'verre' infrarood waarnemen (het infrarood met de langste golflengten) en de 'submillimeterstraling', met nog langere golflengte. Zijn zullen tevens speuren naar infraroodstraling van andere objecten dan exoplaneten.*

Infrarood- en submillimeter-observatoria:

# het **koele** heelal

↓ De Europese infraroodsatelliet FIRST in de ruimte. (document ESA)



Infrarode en submillimetergolven ontstaan voornamelijk op koele plaatsen in het heelal. Terwijl zichtbaar licht typisch wordt uitgezonden door sterren, met een oppervlaktetemperatuur van enkele duizenden graden, zoals onze zon, wordt infraroodstraling vooral uitgezonden door koelere objecten, zoals interstellair stof, planeten en bruine dwergen ("mislukte" sterren die door kernreacties te weinig massa hebben om te schijnen). Gebieden waarin uit gas- en stofwolken sterren en planeten ontstaan, zijn vaak goed te bestuderen in het infrarood. Infrarood heeft nog een bijkomend voordeel: de golven dringen gemakkelijker dan zichtbaar licht doorheen stofwolken. Infraroodobservatoria zijn ook nuttig om objecten op zeer grote afstand in het heelal te bestuderen. Het licht van sterrenstelsels op miljarden lichtjaren

afstand heeft een zeer grote "roodverschuiving" ondergaan: het zichtbare licht is verschoven tot in het infrarode gebied. Soms is zelfs het nabij-ultraviolette licht verschoven tot in het infrarode gebied.

### SIRTF

Space Infrared Telescope Facility (SIRTF) is het laatste van de vier "Grote Observatoria" van de NASA. De eerste waren Hubble voor zichtbaar licht, het Compton Gamma Ray Observatory voor gammastraling en Chandra (AXAF) voor röntgenstraling. Hubble en Chandra zijn nog operationeel, de missie van Compton is al afgelopen. De lancering van SIRTF naar een baan rond de zon staat op het programma voor juli 2002 met een Delta-raket. Het observatorium moet tussen twee en vijf jaar lang functioneren. Vergeleken met de Europese





↙ De spiegel voor de infraroodtelescoop SIRTIF.  
(document NASA-JPL)

FIRST zal SIRTIF eerder "nabij" en "midden" infrarood bestuderen, met golflengten tussen 3 en 180 micrometer. De infraroodtelescoop aan boord heeft een spiegel-diameter van 85 centimeter. De instrumenten van SIRTIF worden met vloeibaar helium gekoeld tot 5,5 graden boven het absolute nulpunt.

### Odin

Odin is een kleine Zweedse satelliet om submillimeter- en millimeterstraling te bestuderen, met golflengten tussen 0,5 en 3 millimeter. De lancering is voorzien voor 2001 met een Russische raket. Odin zal voornamelijk gebruikt worden om de atmosfeer te bestuderen maar de mini-satelliet zal toch ook waarnemingen doen van de interstellaire materie (de wolken gas en stof die tussen de sterren zweven).

### Astro-F (IRIS)

Astro-F of IRIS (Infrared Imaging Surveyor) is een Japanse satel-

liet om infraroodstraling van diverse soorten bronnen te bestuderen. De satelliet is uitgerust met een telescoop met een objectiefdiameter van 70 centimeter en twee instrumenten: een infraroodcamera en een instrument dat een kaart van de volledige hemel moet maken bij ver-infrarode golflengten. De satelliet neemt golflengten waar tussen 50 en 200 micrometer. Astro-F moet met een Isas M-V-raket gelanceerd worden in 2003.

### FIRST

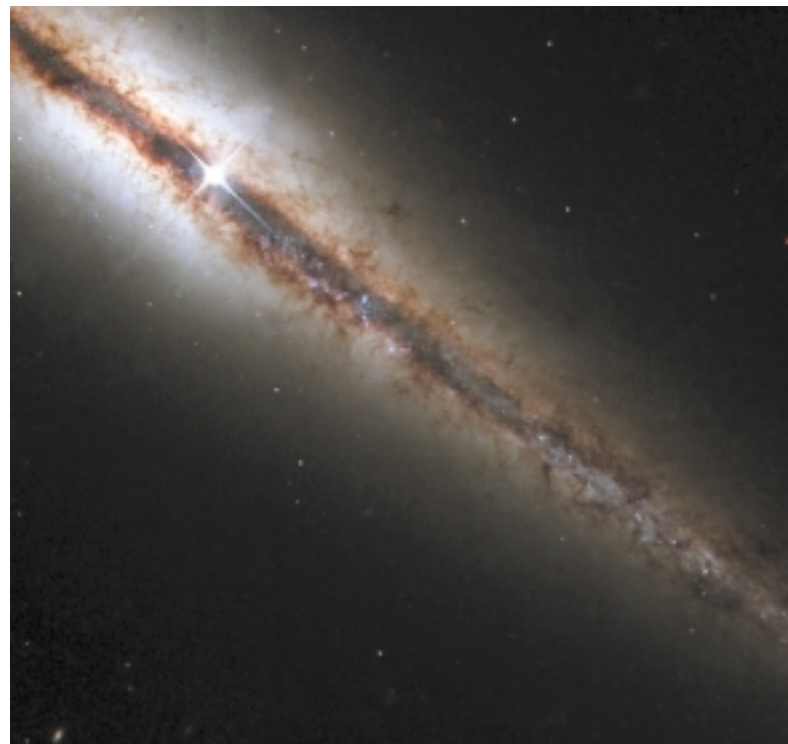
De Far Infrared and Submillimeter Telescope (FIRST) is een hoeksteen of "cornerstone" van het wetenschappelijke programma van ESA. De satelliet zal in 2007 tegelijk met de satelliet Planck (die de kosmische achtergrondstraling moet bestuderen) gelanceerd worden. De twee satellieten worden in de ruimte gebracht door dezelfde raket (van het type Ariane 5), maar worden daarna van elkaar gescheiden. Beide satellieten komen in het Lagrange-punt L2, op anderhalf miljoen kilometer van de aarde, in de richting weg van de zon. FIRST moet minstens drie jaar functioneren.

De satelliet is zeven meter lang en drie ton zwaar. Ze bevat een infraroodtelescoop met een objectiefdiameter van 3,5 meter (ter vergelijking: de ruimtetelescoop Hubble heeft slechts een spiegel van 2,4 meter). In het brandvlak zijn drie instrumenten geplaatst: een camera (PACS of Photoconductor Array

Camera and Spectrometer), een hoge-resolutie spectrometer (HIFI of Heterodyne Instrument for FIRST) en een fotometer (SPIRE of Spectral and Photometric Imaging Receiver). Alle instrumenten zullen met vloeibaar helium gekoeld worden tot minder dan drie graden boven het absolute nulpunt. Die koeling is noodzakelijk, omdat de instrumenten anders zelf te veel storende infraroodstraling zouden waarnemen, dat tot nu toe nog maar nauwelijks bestudeerd is. De satelliet doet waarnemingen bij golflengten tussen 80 en 670 micrometer (en gaat dus aanzienlijk "verder" dan Astro-F).

FIRST zal gebruikt worden om sterrenstelsels op zeer grote afstanden waar te nemen. Op die afstand kijken we zo ver terug in het verleden dat we de vorming van de stelsels kunnen observeren. Twee derde van de observatietijd van FIRST zal ter beschikking staan van astronomen van over de hele wereld, het resterende derde is voorbehouden voor de wetenschappers die van bij het begin bij het project betrokken zijn. Wat België betreft is dit het Instituut voor Sterrenkunde van de Katholieke Universiteit Leuven dat medeverantwoordelijk is voor de ontwikkeling van het PACS-instrument en instaat voor het Instrument Control Centre.

↓ Het sterrenstelsel NGC4013, gefotografeerd door Hubble. Het is duidelijk dat er grote hoeveelheden stof aanwezig zijn. Dat vormt een zeer geschikt studie-object voor infraroodobservatoria. (document STScI)



## Dossier Sterrenkunde vanuit de ruimte



↑ De vier Constellation-X satellieten. (document NASA)

# UV-, röntgen- en gamma-observatoria: *het gewelddadige heelal*

Voorbij het blauwe en het violette licht bevindt zich in het spectrum van de elektromagnetische golven de ultraviolette straling (UV), met een kleinere golflengte (dus grotere frequentie en grotere energie) dan het licht dat wij met onze ogen kunnen waarnemen. Bij nog kortere golflengte en hogere energie vinden we de röntgenstraling of X-straling, en bij extreem hoge energie de gammastraling. Deze soorten straling met hoge energie ontstaan vooral bij de meest gewelddadige processen in het heelal, en op plaatsen waar zeer hoge temperaturen heersen. Voorbeelden van bronnen van UV, röntgen- en gammastraling zijn zeer hete sterren, supernovaresten (de overblijfsels van ontplofte sterren), neutronensterren (de ineengestorte kernen van reuzensterren die overblijven na supernova-explosies) en de

kernen van actieve sterrenstelsels. In deze laatste kernen bevinden zich waarschijnlijk reusachtige zwarte gaten, die door hun zwaartekracht materie naar zich toe trekken. In een helse draaikolk waarin de temperatuur tot miljoenen graden oploopt, valt de materie naar het zwarte gat toe, volop hoog-energetische straling uitzendend.

Een geval apart vormen de gammaflitsen of gamma-uitbarstingen of gamma ray bursts (GRB's). Dat zijn mysterieuze kortstondige uitbarstingen van gammastraling, die soms maar enkele minuten duren. Hun oorsprong is onbekend. Het enige wat we er met zekerheid over weten is dat ze zich meestal op zeer grote afstand in het heelal voordoen, vaak op meerdere miljarden lichtjaren. Om op die reusachtige afstand toch nog zo helder te



schijnen (waargenomen in gammastraling), moeten ze wel ongelooflijk krachtig zijn. Een mogelijke verklaring is dat de GRB's veroorzaakt worden wanneer een buitengewoon zware ster explodeert, in een nóg krachtiger explosie dan een supernova. Een andere hypothese is dat het gaat om de explosie die volgt wanneer twee neutronensterren tegen elkaar botsen. Om het mysterie te ontraadselen willen astronomen de GRB's tegelijk met de gammastraling ook waarnemen in andere golflengtegebieden (waarin de flits veel minder opvallend is). Daarvoor zijn satellieten nodig die ofwel zelf met telescopen voor meerdere golflengtegebieden de GRB's waarnemen, ofwel de astronomen op de grond zeer snel waarschuwen dat er een GRB gaande is, zodat ze hun telescopen op de juiste plaats aan de hemel kunnen richten. Dergelijke simultane waarnemingen zijn tot nu toe nog maar een beperkt aantal keren gelukt. Er zijn satellieten in voorbereiding waarmee het routine moet worden, wat dan veel meer informatie over het geheimzinnige verschijnsel moet opleveren.

### CHIPS

Het Amerikaanse project CHIPS (Cosmic Hot Interstellar Plasma Spectrometer) is een spectrometer die ultraviolette straling uit de ruimte moet waarnemen. Hij wordt geplaatst in een kleine satelliet, CHIPSat, voorzien als secundaire lancering in april 2002 samen met een GPS-navigatiesatelliet. CHIPS zal vooral de straling bestuderen die afkomstig is van zeer heet interstellair gas dat tussen de sterren in de omgeving van de zon zweeft.

### GALEX

Het NASA-project GALEX (Galaxy Evolution Explorer) is een kleine satelliet die waarnemingen in het ultraviolet doet om de evolutie van sterrenstelsels (galaxis) te bestuderen. Het is een telescoop met een objectiefdiameter van 50 centimeter, voor-

zien van een spectrograaf die metingen doet bij golflengten tussen 130 en 300 nanometer (miljoenste millimeter). De missie zal 28 maanden duren. Per jaar moet GALEX van honderdduizend sterrenstelsels een UV-spectrum nemen. De satelliet zal ook een nieuwe kaart van de hemel in ultravioletstraling maken. De lancering is voorzien voor september 2001.

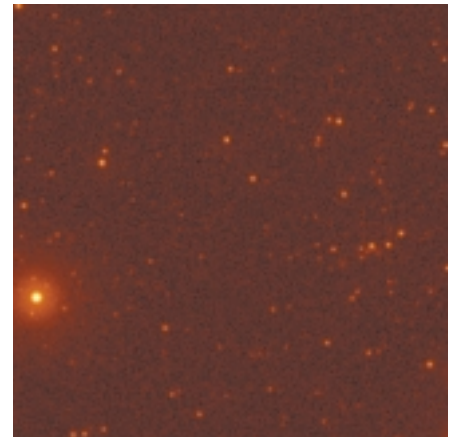
### Constellation X

Constellation X (een nog niet goedgekeurd NASA-project) zal bestaan uit een reeks identieke satellieten (waarschijnlijk drie of vier), bedoeld om aan spectroscopie met hoge resolutie te doen in het röntgenstralinggebied. Vier identieke satellieten bouwen, elk met een röntgentelescoop, wordt gezien als een goedkoper alternatief voor het bouwen van één grote röntgentelescoop. De vier telescopen zullen gezamenlijk hetzelfde object observeren en hun gegevens combineren, om zo het effect van een grotere telescoop na te bootsen. Er is nog geen lanceerdatum vastgelegd voor Constellation X.

### XEUS

XEUS (X-ray Evolving Universe Spectroscopy Mission) is een mogelijk toekomstig ESA-project, dat nog in het stadium van voorstudies verkeert. Het is een grote röntgentelescoop die gebruikt maakt van het internationale ruimtestation ISS. Het is een opvolger van het ESA-röntgenobservatorium XMM-Newton. Mogelijk wordt het XEUS-project uitgevoerd in samenwerking met de VS. XEUS wordt niet op het ISS gemonteerd, maar zal als een onafhankelijke satelliet in een baan rond de aarde draaien. Maar de röntgentelescoop kan naar het ruimtestation gemanoeuvreerd worden voor onderhoud en eventueel voor het aanbrengen van nieuwe instrumenten. Met behulp van de robotarm van het ruimtestation zullen de astronauten nieuwe spiegelementen op

↓ Simulatie van het beeld van de röntgenhemel, geleverd door het toekomstige röntgenobservatorium XEUS. (document ESA)



XEUS kunnen monteren, om de telescoop een nog grotere objectiefopening te geven. Op die manier wordt XEUS steeds krachtiger. Het is de bedoeling dat het observatorium meer dan 25 jaar lang gebruikt kan worden. XEUS zal in feite uit twee satellieten bestaan: één satelliet met een reusachtig stel röntgenspiegels die de röntgenstraling verzamelen, en een tweede satelliet met detectie-instrumenten, geplaatst in het brandpunt van de spiegel-satelliet, vijftig meter ervandaan. XEUS wordt een veel krachtiger en gevoeliger röntgentelescoop dan eender welk eerder instrument. Om de röntgenstraling te verzamelen hebben satellieten als XMM-Newton en XEUS een stel in elkaar passende buisvormige spiegels met oppervlakken van gepolijst goud. Bij XMM-Newton zijn het 58 in elkaar genestelde spiegels, met een grootste diameter van 70 centimeter. XEUS krijgt aanvankelijk 300 spiegels, met een grootste diameter van 4,5 meter. Die versie heet XEUS 1, en zo wordt het instrument gelanceerd door een Ariane 5 raket. De bijkomende spiegelsegmenten die later met de robotarm van het ruimtestation worden toegevoegd, verhogen het aantal spiegels tot meer dan 500, en de diameter van het instrument tot tien meter. Na het plaatsen van de spiegelsegmenten, zullen astronauten in een ruimtewandeling de laatste hand leggen aan de vergrote röntgentelescoop. Het instrument, dat in die configuratie XEUS 2 heet, weegt dan zeven-tien ton. Een "upgrade" van het detector-



← Integral (document ESA)

← Integral wordt getest bij Estec. (document ESA)

gedeelte van XEUS kan gebeuren zonder bezoek aan het ruimtestation, door gewoon een volledig nieuwe detector-satelliet te lanceren, die dan de plaats inneemt van de oude, en gebruikt maakt van de bestaande spiegelsatelliet.

Door het grote oppervlak van zijn spiegels zal XEUS zeer veel röntgenstraling verzamelen, zodat hij ook zeer zwakke bronnen op grote afstand kan waarnemen. Tegelijk wordt ook de scherpte van het beeld beter: de resolutie moet ongeveer één duizendste van een graad bedragen, of 3 tot 4 boogseconden. Voor een gewone telescoop voor zichtbaar licht zou dat een erg povere resolutie zijn (te vergelijken met die van een kleine verrekijker), maar voor röntgentelescopieën is het een ongekende scherpte.

XEUS zal in het bijzonder röntgenstraling waarnemen die van vele miljarden lichtjaren ver in het heelal afkomstig is, van de eerste reusachtige zwarte gaten die in de kernen van de eerste sterrenstelsels ontstonden, niet lang na de oerknal waarmee het heelal ontstaan is.

## INTEGRAL

Het Europese observatorium voor hoog-energetische gammastraling INTEGRAL (International Gamma-Ray Astrophysics Laboratory) moet in april 2002 gelanceerd worden door een Russische Proton-raket. Behalve de ESA-lidstaten, werken ook de Verenigde Staten, Rusland, Polen en Tsjechië mee aan het project. INTEGRAL komt in een hoge baan om de aarde, met een omlooptijd van drie dagen waarin de satelliet de meeste tijd doorbrengt boven 40.000 kilometer hoogte, boven de "Van Allen-stralingsgordels" die de waarneming van gammastraling uit het heelal zouden kunnen verstoren.

De beelden die INTEGRAL zal maken, zullen de scherpste zijn die ooit in het gebied van



de gammastralen gemaakt zijn. Omdat lenzen en spiegels niet werken bij gammastraling, werd een ander 'optisch systeem' bedacht om beelden te vormen met gammastraling. Dit is de "coded mask" techniek. Vooraan in de camera zit een metalen plaat die gammastraling tegenhoudt. In de plaat zijn een groot aantal gaatjes gemaakt. De gammastraling die doorheen elk van de gaatjes gaat, vormt een beeld op de detector, volgens het principe van de "camera obscura". Uit het patroon van al de overlappende beelden kan een computer dan één samengesteld beeld berekenen.

Naast de gamma-instrumenten is INTEGRAL ook uitgerust met een röntgentelescoop en een optische camera, om gammabronnen gelijktijdig ook in andere golflengtegebieden te kunnen bekijken. INTEGRAL zal vooral gammastraling bestuderen die afkomstig is van supernova's en supernovaresten, en van de omgeving van zwarte gaten. De satelliet kan ook gamma-uitbarstingen bestuderen, maar is daar niet in de eerste plaats voor bedoeld. Het Institut d'Astrophysique van de Université de Liège is betrokken bij de ontwikkeling van de software voor de behandeling van de gegevens.

### CATSAT

CATSAT (Cooperative Astrophysics and Technology Satellite), een Amerikaans-Brits project, is een kleine satelliet (170 kilogram) die gamma-uitbarstingen moet waarnemen in het röntgen-golflengtegebied. CATSAT wordt gelanceerd in december 2001 met een Delta 2 raket, als secundaire lading.

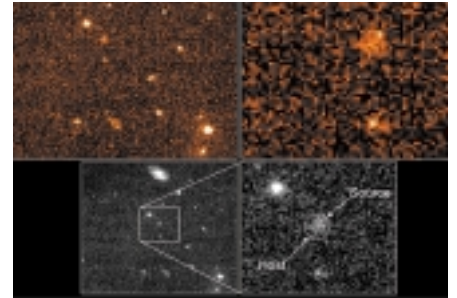
### Swift

Swift, een NASA-project, is een satelliet die het mogelijk moet maken om gamma-uitbarstingen beter dan ooit in verschillende golflengten tegelijk te bestuderen. Swift zal beginnende gamma-uitbarstingen eerst



↑ Een gamma-uitbarsting waargenomen door SWIFT. (document NASA)

detecteren met zijn gamma-telescoop, de Burst Alert Telescope (BAT), (net zoals die van INTEGRAL met een soort "gecodeerde masker"-techniek). Dat instrument, met zeer breed beeldveld, legt de positie van de uitbarsting vast met een nauwkeurigheid in de orde van boogminuten. Onmiddellijk wordt op basis van die voorlopige coördinaten (die ook naar de aarde worden doorgeseind) de hele satelliet gedraaid, zodat ook de röntgentelescoop en de optische/UV-telescoop in de richting van de uitbarsting kijken. Als die instrumenten de uitbarsting ook waarnemen, kunnen ze de positie ervan meten met boogseconde-nauwkeurigheid. De optische/UV-telescoop meet tegelijk de roodverschuiving van de uitbarsting, zodat de afstand ervan berekend kan worden. Swift zal ook een kaart van de hemel in harde röntgenstraling maken, en zal naar verwachting enkele honderden nieuwe zwarte gaten in de centra van sterrenstelsels ontdekken. Swift wordt in 2003 gelanceerd en zal tijdens zijn drie jaar durende missie zo'n duizend gamma-uitbarstingen waarnemen.



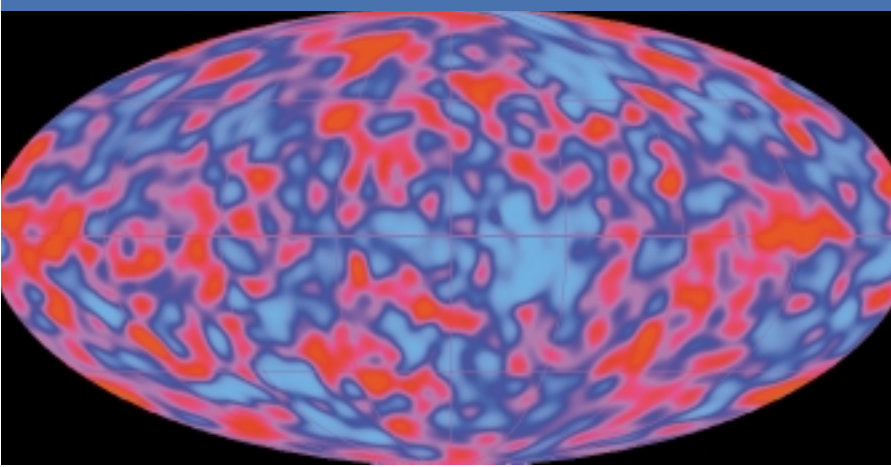
↑↑ Een gamma-uitbarsting in 1997 waargenomen door Hubble. (document STScI)  
↑ De kern van het sterrenstelsel NGC 7052, waargenomen door de telescoop Hubble. In het midden houdt zich waarschijnlijk een zwart gat schuil. (document STScI)



### GLAST

De Gamma-Ray Large Area Space Telescope (GLAST) is een NASA-project, dat voorlopig voor 2005 op de kalender staat. GLAST wordt een groot algemeen observatorium voor gammastraling, de opvolger van het Compton Gamma Ray Observatory, dat tot 2000 werkte. Het zal zowel gamma-uitbarstingen bestuderen als andere bronnen van gammastraling, zoals zwarte gaten in de kernen van sterrenstelsels. De grote telescoop van GLAST (met een effectieve opening van 1,2 vierkante meter, acht keer zo groot als het overeenkomstige instrument op Compton) zal zeer gevoelig zijn, ook voor zwakke bronnen van gammastraling. De telescoop heeft een resolutie tussen 3,5 graden en 0,1 graad, afhankelijk van de energie van de waargenomen gammastraling. Wanneer GLAST een gamma-uitbarsting detecteert, dan moet de satelliet binnen de vijf seconden, en zo mogelijk zelfs binnen de twee seconden astronomen op aarde kunnen verwittigen.

## Dossier Sterrenkunde vanuit de ruimte



← De fluctuaties in de kosmische achtergrondstraling, waargenomen door de satelliet COBE. De nieuwe satellieten MAP en Planck moeten veel betere waarnemingen doen. (document NASA)

# De achtergrondstraling: het lichte nagloeien van de **Oerknal**

Het heelal is naar schatting dertien miljard jaar geleden ontstaan, in een onvoorstelbare explosie die bekend staat als de oerknal of Big Bang. Onmiddellijk daarna was het hele heelal gevuld met een verzen-gend hete vuurzee, een mengsel van voornamelijk geïoniseerd waterstofgas en licht. Maar door de expansie van het heelal daalde de temperatuur geleidelijk, tot er normaal waterstofgas kon ontstaan. Dat gebeurde enkele honderdduizenden jaren na de oerknal. Het licht dat op dat moment het heelal vulde, kon nu relatief ongehinderd door het heelal reizen (voorheen had het dichte geïoniseerde gas gezorgd voor een soort ondoorzichtige lichtende mist). En een groot deel van dat licht is nu, dertien miljard jaar later, nog steeds in het heelal aanwezig. Alleen is de golflengte ervan veel groter geworden dan ze aanvankelijk was, als gevolg van de sterke expansie van het

heelal (een vorm van "roodverschuiving"). Wat aanvankelijk zichtbaar licht was, is eerst infrarode straling geworden, en is nu verschoven tot in het ver-infrarode en microgolven-gebied van het spectrum.

Het resultaat is dat met instrumenten die ver-infrarode golven en microgolven detecteren, een soort "nagloeien" van de oerknal zelf te zien is, de zogeheten achtergrondstraling of kosmische microgolf-achtergrondstraling. Wie de achtergrondstraling waarneemt, ziet het heelal zoals het er uitzag op het moment dat de "vuurzee" verdween en plaats maakte voor het doorzichtige heelal dat we nu kennen. De achtergrondstraling is vanop de grond te detecteren, maar om ze goed te kunnen waarnemen, zijn observatoria op zeer grote hoogte nodig, liefst in satellieten, of anders eventueel in ballons op grote hoogte.

De astronomen die de achtergrondstraling bestuderen, zijn voornamelijk geïnteresseerd in de kleine "fluctuaties" in die straling. De achtergrondstraling is bijzonder egaal: ze komt uit alle richtingen in vrijwel dezelfde mate op ons af. Dat betekent dat het heelal ten tijde van de vuurzee zeer gelijkmatig met materie en licht gevuld was. Maar er zijn toch heel kleine onregelmatigheden (afwijkingen die niet groter zijn dan ongeveer één duizendste procent). Die oneffenheden, veroorzaakt door materieconcentraties in het vroege heelal, zijn bijzonder interessant, omdat ze veel kunnen vertellen over de geschiedenis van het heelal. Die allervroegste materieconcentraties zijn mogelijk de "kiemen" waaruit later sterrenstelsels en clusters van sterrenstelsels gegroeid zijn – een proces dat nog niet goed begrepen is. En misschien kunnen de onregelmatigheden in de achtergrondstraling zelfs iets vertellen over hoe de oerknal zelf in zijn werk gegaan is. De "inflatie-theorie", de meest populaire theorie over de allereerste ogenblikken van het heelal, voorspelt een welbepaalde soort onregelmatigheden. Om te kunnen nagaan of die voorspelling klopt, moeten de onregelmatigheden in detail waargenomen worden. De eerste waarnemingen van de onregelmatigheden, door de satelliet Cobe in 1992, gaven slechts een zeer "ruw" beeld ervan: alleen fluctuaties van meer dan zeven graden groot werden gedetecteerd. De afgelopen jaren is de resolutie van de waarnemingen

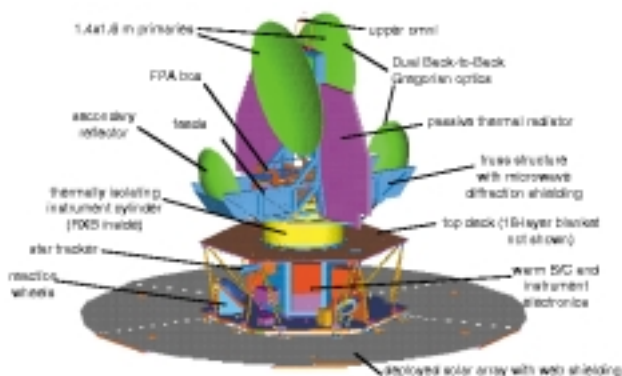


verbeterd, vooral door metingen vanaf ballons boven Antarctica, maar voor definitieve resultaten is het toch wachten op metingen vanuit de ruimte. De NASA en de ESA hebben elk een project voor het bestuderen van de achtergrondstraling in voorbereiding.

### MAP (Microwave Anisotropy Probe)

De eerste van de twee satellieten om de onregelmatigheden in de achtergrondstraling te bestuderen, wordt de Amerikaanse MAP die in de lente van 2001 gelanceerd moet worden. MAP is een "middelzware" wetenschappelijke satelliet met een massa van 800 kg en zal gelanceerd worden met een Delta 2-raket. De satelliet zal de achtergrondstraling waarnemen met passief gekoelde differentiële microgolf-radiometers, met dubbele 1,4 bij 1,6 meter grote hoofdspiegels. Die instrumenten vergelijken voortdurend zeer nauwkeurig de intensiteit van de achtergrondstraling afkomstig van verschillende delen van de hemel. Door de hele hemel systematisch af te tasten, wordt op die manier een "kaart" van de intensiteit van de achtergrondstraling samengesteld. De resolutie waarmee MAP de achtergrondstraling in kaart brengt, ligt (afhankelijk van de waargenomen golflengte) tussen 1 graad en 1/5 graad (vergelijk met de resolutie van 7 graden van Cobe).

↓ Tekening van MAP. (document NASA)



MAP zal, zoals vele van de satellieten die in dit dossier beschreven worden, geplaatst worden in het Lagrange-punt L2 op 1,5 miljoen kilometer van de aarde, in de richting weg van de zon, een plaats waar het samenspel van de zwaartekracht van aarde en zon een stabiele baan mogelijk maakt. Het is een positie in de ruimte die steeds populairder wordt voor wetenschappelijke satellieten. De missie van MAP moet volgens plan 27 maanden duren, waarvan drie maanden voorzien zijn voor de reis naar L2, gevolgd door twee jaar intensieve waarnemingen. Om L2 te bereiken zonder veel brandstof te gebruiken, zal MAP gebruik maken van de zwaartekracht van de maan.

### Planck

De Europese satelliet Planck moet de achtergrondstraling in nog veel beter detail bestuderen dan MAP. Het is géén "cornerstone" van het wetenschappelijke programma van de ESA, maar een "medium size mission". Hij zal in de eerste helft van 2007 tegelijk met het infrarood-observatorium FIRST gelanceerd worden. De twee satellieten worden in de ruimte gebracht door een raket van het type Ariane 5, maar worden daarna van elkaar gescheiden. Beide satellieten komen in het Lagrange-punt L2.

↓ Planck (document ESA)



Planck zal de kosmische microgolf-achtergrondstraling in kaart brengen met een resolutie van tien boogminuten (één zesde graad) bij lange golflengten en vijf boogminuten bij korte golflengten, dus nog aanzienlijk beter dan MAP, en met een nauwkeurigheid van 1/500000. De satelliet is voorzien van een telescoop met hoofdspiegel van 1,5 meter diameter, en twee meetinstrumenten, een voor hoge en een voor lage frequenties (respectievelijk korte en lange golflengtes). Terwijl MAP passief gekoeld wordt (door de satelliet in de schaduw van een zonnescherm te houden), zal Planck ook een actief cryogeen koelsysteem hebben, dat het meetinstrument voor hoge frequenties afkoelt tot op één tiende graad boven het absolute nulpunt. Een lage temperatuur is belangrijk voor het waarnemen van ver-infrarode straling omdat anders de satelliet zelf zo veel infrarood zou uitstralen dat ze de waarnemingen zou verstoren.

De metingen van Planck zullen het misschien niet alleen mogelijk maken om te verifiëren of de "inflatietheorie" over het ontstaan van het heelal correct is, maar zelfs om het onderscheid te maken tussen verschillende versies van die theorie. De metingen zullen ook informatie opleveren over het interstellair gas in de Melkweg en over andere sterrenstelsels.

## Dossier Sterrenkunde vanuit de ruimte

# Gravitatiegolven: het zachte



↑ Een actief sterrenstelsel, gefotografeerd door de ruimtetelescoop Hubble. In de kern ervan zit waarschijnlijk een zwart gat. (document STScI)

**D**e algemene relativiteitstheorie is sindsdien door verscheidene metingen en experimenten bevestigd. Zo voorspelde Einstein dat sterlicht afgebogen moest worden door de zwaartekracht van de zon wanneer het rakelings langs de zon scheert, een voorspelling die correct bleek bij metingen tijdens zonsverduisteringen (wanneer er sterren zichtbaar zijn naast de zon).

Einsteins theorie beschrijft de zwaartekracht op een andere manier dan de klassieke theorie

*In 1915 stelde Albert Einstein een nieuwe theorie van de gravitatie (of zwaartekracht) op, de "algemene relativiteitstheorie". Einsteins theorie kon onder meer afwijkingen van de baan van Mercurius verklaren, die niet in te passen waren in de oude gravitatie theorie van Isaac Newton.*

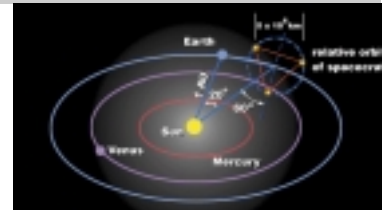
van Newton. Volgens Einstein is wat wij de zwaartekracht noemen in feite een soort kromming van de ruimte, of juist: de tijdruimte (de combinatie van ruimte en tijd tot één vierdimensionale ruimte). Elke massa vervormt door haar aanwezigheid de tijdruimte, en voorwerpen die doorheen de tijdruimte bewegen, worden beïnvloed door die kromming. De theorie voorspelt ook dat er een zeer bijzondere vorm van kromming van de tijdruimte kan bestaan: een soort van golfbeweging van de tijdruimte, te vergelijken met de golven op een vijver. Die golven, zogeheten "gravitatiegolven", zouden moeten ontstaan wanneer grote massa's zeer bruuske bewegingen maken, bijvoorbeeld wanneer twee sterren met elkaar botsen. Zo'n gebeurtenis veroorzaakt een storing in de structuur van de tijdruimte, die zich als

een golf met de snelheid van het licht door de ruimte verplaatst. Het is een beetje te vergelijken met een aardbeving, maar dan een aardbeving van de ruimte.

Er zijn al sterke onrechtstreekse aanwijzingen dat gravitatiegolven bestaan, maar ze zijn nog nooit rechtstreeks waargenomen. Het detecteren van gravitatiegolven zou een belangrijke bevestiging zijn van Einsteins algemene relativiteitstheorie, en zou tegelijk een kans bieden om enkele zeer interessante astrofysische fenomenen te bestuderen, zoals botsingen tussen neutronensterren, de vorming van zwarte gaten, of de baanbeweging van zware dubbelsterren die zeer dicht bij elkaar staan.

Het probleem bij het detecteren van gravitatiegolven is dat ze buitengewoon zwak zijn. Een

→ De LISA-satellieten.  
(document NASA-JPL)



# beven van *Einsteins ruimte*

passerende gravitatiegolf veroorzaakt een zeer minieme vervorming van de ruimte. Die kan alleen worden vastgesteld door testmassa's op meerdere kilometers van elkaar te plaatsen en onafgebroken met de hoogst mogelijke nauwkeurigheid de afstand ertussen te meten, en te zien of er schommelingen in die afstand optreden. Vanzelfsprekend moet rekening worden gehouden met alle mogelijke storingsbronnen van aardse oorsprong, zoals lichte aardbevingen, of trillingen veroorzaakt door het verkeer in de buurt van het laboratorium. De afstands-schommelingen veroorzaakt door passerende gravitatiegolven zijn naar verwachting kleiner dan de diameter van een atoom.

Maar desondanks verwachten natuurkundigen dat ze er binnenkort in zullen slagen om gravitatiegolven te detecteren, met kilometers grote installaties op verscheidene plaatsen in de wereld, waarin afstanden extreem nauwkeurig gemeten worden met laser-interferometers. Die installaties zijn echter enkel gevoelig voor gravitatiegolven met een relatief hoge frequentie. Het waarnemen van gravitatiegolven met lage fre-

quentie is alleen mogelijk in de ruimte, waar de apparatuur geen enkele storing van aardse oorsprong ondervindt.

## LISA

LISA (Laser Interferometer Space Antenna) wordt een samenwerkingsprogramma van de Verenigde Staten en Europa, om in de ruimte gravitatiegolven te detecteren. Definitieve beslissingen over de vorm en de financiering van deze internationale samenwerking werden nog niet genomen, maar de ESA heeft zich bereid verklaard financieel aan het project bij te dragen op het niveau van een "flexi" missie. LISA is een technologisch bijzonder uitdagende missie, waarvoor instrumenten met een nooit eerder bereikte nauwkeurigheid ontwikkeld zullen moeten worden.

De reusachtige "antenne" voor gravitatiegolven zal bestaan uit drie afzonderlijke onbemande ruimtetuigen, die op vijf miljoen kilometer van elkaar een baan om de zon beschrijven. Samen vormen ze een reusachtige gelijkzijdige driehoek. De satellieten zullen ongeveer dezelfde baan om de zon beschrijven als

de aarde, maar ze lopen 20 graden "achter" de aarde aan (ongeveer 52 miljoen kilometer). Op die afstand zijn de storingen door het gravitatieveld van de aarde zeer klein. Binnen elk van de drie satellieten zitten er twee vrij zwevende "testmassa's", die in perfecte "vrije val" een baan om de zon beschrijven, door de omhullende satelliet zo goed mogelijk afgeschermd van alle externe storingen, zoals de invloed van het zonlicht en de zonnwind. Met micro-motortjes behouden de satellieten hun correcte positie rondom de testmassa's, zonder die ooit te raken. Deze motoren moeten de positie van de satellieten kunnen controleren met een nauwkeurigheid van tien nanometer. De afstanden tussen de testmassa's in de verschillende satellieten worden door laserinterferometrie gemeten. Het systeem zal veranderingen van de onderlinge afstanden kunnen vaststellen met een nauwkeurigheid van 20 picometer (of 0,02 nanometer of 0,00002 micrometer), dat is kleiner dan de diameter van een atoom.

De lancering van de drie satellieten van LISA zal waarschijnlijk in 2011 plaatsvinden. Na de

lancering zullen de satellieten dertien maanden onderweg zijn naar hun operationele baan rond de zon, 52 miljoen kilometer achter de aarde. LISA zal voornamelijk zoeken naar gravitatiegolven die afkomstig zijn van de reusachtige zwarte gaten waarvan astronomen de aanwezigheid vermoeden in de kernen van sterrenstelsels (galaxis). Wanneer twee dergelijke zwarte gaten een baan rond elkaar beschrijven of wanneer ze botsen (wat kan gebeuren door het botsen en samensmelten van sterrenstelsels), dan zouden ze volgens Einsteins theorie zeer veel gravitatiegolven moeten uitzenden. Ook van dubbelsterren in onze Melkweg die neutronensterren en/of zwarte gaten bevatten, moet LISA gravitatiegolven kunnen opvangen. Een botsing van zwarte gaten moet LISA tot ver in het heelal kunnen waarnemen.



## Dossier Sterrenkunde vanuit de ruimte

*Het meten van de posities van de sterren aan de hemel is een van de oudste takken van de sterrenkunde, en tegelijk een van de meest actuele.*

# Astrometrie: de Melkweg *in kaart* gebracht

Nauwkeurige metingen van de plaats van een ster laten onder meer toe de afstand van die ster te bepalen. Dat komt door de zogeheten "jaarlijkse parallax": doordat de aarde eens per jaar rond de zon beweegt lijken alle nabije hemellichamen in de loop van een jaar enigszins heen en weer te verschuiven ten opzichte van de 'achtergrond' van ver weg gelegen hemellichamen. Door te meten hoe groot die verschuiving is valt te achterhalen hoe ver weg de ster staat (hoe verder de ster staat, hoe kleiner de verschuiving).

Dergelijke metingen van de afstanden van sterren (gecombineerd met metingen van hun positie aan de hemel) laten de sterrenkundigen niet alleen toe onze omgeving in de Melkweg in kaart te brengen, ze vormen ook de basis voor elke afstandsbeoordeling op grote afstand in het heelal. Vele methoden voor het bepalen van zeer grote afstanden, zoals die van verre sterrenstelsels of quasars, zijn rechtstreeks of onrechtstreeks gekalibreerd met behulp van de

parallaxen van nabije sterren. Kennis van de afstand van sterren en andere hemellichamen is onontbeerlijk voor astronomen, onder meer om de evolutie en het ontstaan van sterren en sterrenstelsels te kunnen begrijpen. Maar vanop aarde zijn slechts van de meest nabije sterren nauwkeurige parallaxen te meten. Een grote doorbraak kwam er met de Europese satelliet Hipparcos, die tussen 1989 en 1993 van 118000 heldere sterren met een nooit eerder bereikte nauwkeurigheid de afstanden mat (en van meer dan een miljoen met een wat mindere maar toch nog uitstekende nauwkeurigheid). Drie nieuwe satellieten, een Amerikaanse en twee Europese, zullen de komende jaren het werk van Hipparcos verder zetten.

Behalve over de afstanden kunnen goede astrometrische waarnemingen ook informatie geven over onder meer de snelheden waarmee sterren zich door de ruimte bewegen. Studie van deze bewegingen van grote aantallen sterren geeft dan weer waarde-

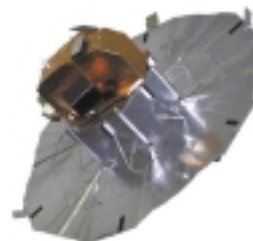
volle informatie over de structuur en de evolutie van de Melkweg.

### DIVA

Van de verschillende toekomstige astrometrieprojecten, is dit Duitse project het meest bescheidene. De satelliet zal de positie van 35 miljoen sterren meten, met een nauwkeurigheid die vijf keer beter is dan die van Hipparcos. De financiering (de kostprijs wordt geraamd op honderd miljoen Duitse mark) is nog niet rond.

### FAME

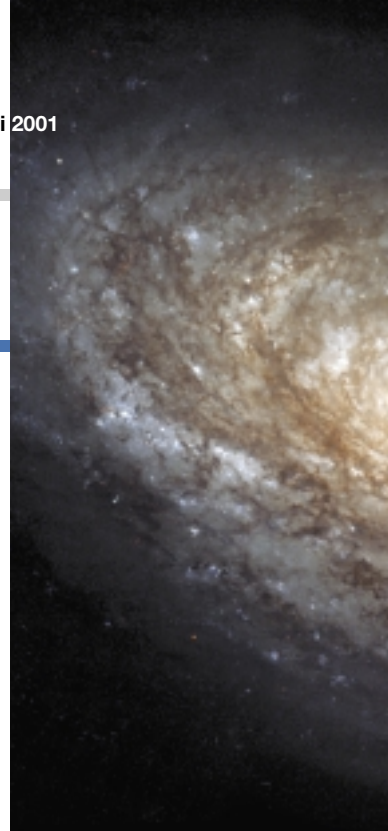
FAME (Full-Sky Astrometric Mapping Explorer) is een Amerikaanse astrometrische satelliet die in 2004 met een Delta 2-raket in een geosynchrone baan op 36000 kilometer hoogte om de aarde

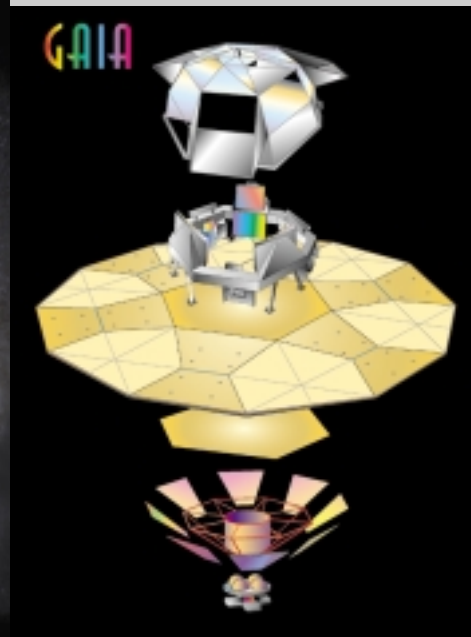
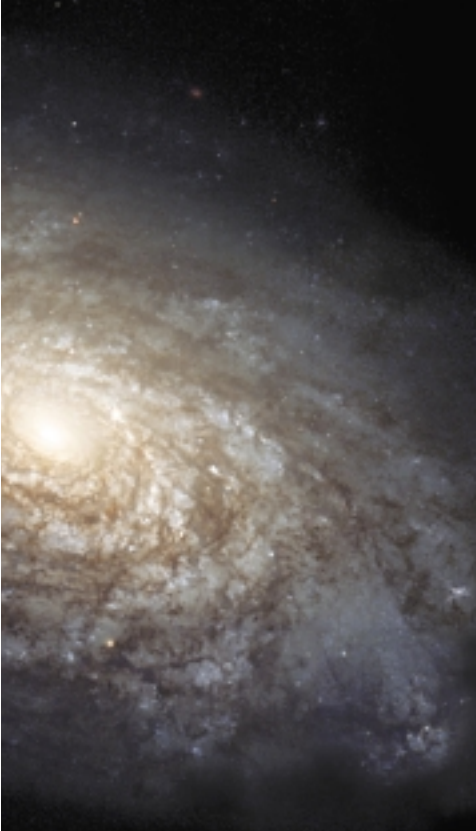


↑ Model van de astrometrische satelliet FAME. (document USNO)

gebracht moet worden. FAME zal de posities, bewegingen, parallaxen en helderheden meten van veertig miljoen sterren, meer bepaald alle sterren die helderder zijn dan de vijftiende magnitude (dat is ongeveer tienduizend keer zwakker dan zwakke met het blote oog zichtbare sterren). Bij nog relatief heldere sterren van negende magnitude is de nauwkeurigheid van de metingen van de positie 50 microboogseconde (vijftig miljoensten van één boogseconde, en een boogseconde is  $1/3600$  graad). Bij de zwakste sterren op het programma (magnitude 15) is de nauwkeurigheid tien keer minder goed: 500 microboogseconden.

Een van de vele belangrijke onderzoeksresultaten die van FAME verwacht worden is een goede meting van de afstanden van Cepheïden. Dat zijn sterren die gebruikt worden om de afstanden van sterrenstelsels te schatten. Net als Hipparcos zal FAME gebruik maken van twee telescopen die elk naar een verschillend deel van de hemel kijken. CCD-chips meten wanneer





←← Het sterrenstelsel NGC 4414, gefotografeerd door de ruimtetelescoop Hubble. (document STScI)

← Schematische tekening van GAIA. (document ESA)

sterren in het beeldveld van de telescopen verschijnen, doordat de satelliet om haar as draait. Uit de registraties van die metingen, kunnen later (door zeer omvangrijke berekeningen) de posities van de sterren bepaald worden. FAME zal twee en een half jaar functioneren en in die periode elke ster vele honderden keren in beeld krijgen.

## GAIA

GAIA (Global Astrometric Interferometer for Astrophysics) is een bijzonder ambitieuze astrometrische missie. Het is een hoeksteen of 'cornerstone' van het wetenschappelijke programma van de ESA, gepland voor 2012 of eventueel vroeger indien de ministers van de ESA-lidstaten meer geld ter beschikking zouden stellen. GAIA moet meer dan een miljard sterren in de Melkweg in kaart brengen, waardoor astronomen voor het eerst echt goed zullen begrijpen hoe die Melkweg is opgebouwd. Uit de manier waarop verschillende groepen sterren doorheen de Melkweg bewegen (een beweging

die door GAIA zeer precies gemeten zal worden), moet af te leiden vallen op welke manier de Melkweg gevormd is. Na de voltooiing van het GAIA-project moet van twintig miljoen sterren de afstand bekend zijn met een nauwkeurigheid van één procent, een nauwkeurigheid die vandaag nog maar voor enkele honderden sterren gehaald wordt.

Naar verwachting zal GAIA ook meer dan twintigduizend "exoplaneten" detecteren, door te meten hoe de sterren lichtjes heen en weer bewegen onder invloed van de zwaartekracht van die planeten. Als een soort "bonus" zal GAIA ook vele tienduizenden planetoiden in ons eigen zonnestelsel ontdekken. Bij die planetoiden zullen vele objecten uit de Kuiper-gordel zijn (de gordel van "ijsdwerger", koude mini-planeeetjes voorbij de baan van Neptunus), maar ook planetoiden die in de buurt van de aarde komen. GAIA zal op die manier een bijdrage leveren aan het inventariseren van de potentieel bedreigende planetoiden en kometen in ons deel van het zonnestelsel.

De satelliet moet tevens vele duizenden bruine dwergen ontdekken (een soort mini-sterren waarvan er tot nu toe nog maar enkele tientallen bekend zijn), en zowat honderdduizend supernova's (ontploffende sterren) in sterrenstelsels buiten onze Melkweg. GAIA zal herhaaldelijk (typisch zo'n honderd keer) de positie meten van alle hemellichamen helderder dan magnitude twintig, dat wil zeggen lichtbronnen die nog eens honderd keer zwakker zijn dan de zwakste die de Amerikaanse MAP zal observeren. Van elk van die objecten wordt de helderheid gemeten in enkele verschillende golflengtebanden, wat astronomen tegelijk informatie geeft over de fysische aard van het object. De nauwkeurigheid van de positiemetingen moet tien microboogseconden zijn bij objecten van magnitude 15 (vergelijk met vijfhonderd microboogseconden voor MAP). Dat wil zeggen dat het mogelijk moet worden om met een nauwkeurigheid van tien procent de parallax te meten van objecten in het centrum van onze Melkweg.

De missie van GAIA zal vijf jaar duren. Waarschijnlijk wordt de satelliet gelanceerd met een Ariane 5-raket. Een eigen motor brengt GAIA naar haar definitieve baan in de buurt van het Lagrange-punt L2. GAIA zal onophoudelijk door een ronddraaiende beweging de hele hemel aftasten. De satelliet zal net als MAP in verschillende richtingen tegelijk "kijken", en voortdurend de hoekafstand tussen verschillende lichtbronnen meten. De satelliet zal twee telescopen bevatten, elk met een opening van 1,7 meter bij 0,7 meter. Met 250 CCD-chips worden de posities en helderheden gemeten van alle lichtbronnen die in het beeldveld van de telescopen komen. Tegelijk worden door een spectrometer ook "radiële snelheden" van de geobserveerde hemellichamen gemeten (dat wil zeggen de rood- of blauwverschuiving veroorzaakt door de beweging van het hemellichaam weg van ons of naar ons toe wordt gemeten). Alle Belgische onderzoeksteams in de astronomie hebben reeds aangekondigd te willen meewerken bij de verwerking en analyse van de gegevens.

## Dossier Sterrenkunde vanuit de ruimte

# Asteroseismologie: *het hart* van een ster zien kloppen

*De zon trilt als een gong. Net zoals de aarde trilt door aardbevingen, trilt ook de zon onophoudelijk.*

Studie van die trillingen (een vakgebied dat "helioseismologie" heet) kan veel leren over het inwendige van de zon, net zoals aardbevingen ons veel leren over het inwendige van de aarde. Astronomen willen hetzelfde ook doen voor andere sterren dan de zon. De komende jaren worden verscheidene satellieten gelanceerd om aan "asteroseismologie" te doen: het bestuderen van de trillingen van sterren. De trillingen van een ster veroorzaken kleine variaties van haar helderheid, en die helderheidsvariaties worden door de satellieten gemeten. In de ruimte worden die metingen niet gestoord door de onrust van de atmosfeer, die anders ook kleine schijnbare helderheidsvariaties veroorzaakt.

Dezelfde satellieten kunnen tegelijk ook nuttig zijn om planeten te ontdekken bij sterren. Wanneer zo'n planeet in haar omloopbaan rond de ster tussen ons en de ster in komt, dan wordt een klein deel van het licht van de ster verduisterd, zodat de ster tijdelijk iets minder helder schijnt. Op die manier kunnen zelfs vrij kleine planeten hun aanwezigheid nog verraden.

### MOST

MOST (Microvariability and Oscillations of STars) is een Canadese mini-satelliet die eind 2001 gelanceerd moet worden. De satelliet heeft een telescoop met een objectiefdiameter van 15 centimeter aan boord,

waarmee alleen gekeken zal worden naar een zestal heldere sterren.

### MONS

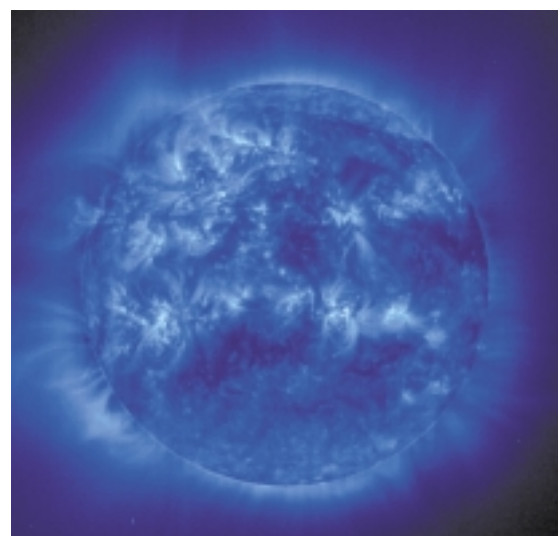
MONS (Measuring Oscillations in Nearby Stars) is een onderdeel van het Deens programma voor kleine satellieten en moet in 2003 gelanceerd worden. Met behulp van een telescoop met een diameter van 34 centimeter zal een 25-tal heldere nabijgelegen sterren met een zeer hoge nauwkeurigheid geobserveerd worden. De Astronomy Group van de Vrije Universiteit Brussel is betrokken bij de voorbereiding van deze missie (ondersteunende waarnemingen).

### COROT

De Franse satelliet COROT, gepland voor 2004, moet een grondiger asteroseismologische studie uitvoeren dan de bescheiden MOST. COROT is uitgerust met drie telescopen met een opening van 25 centimeter. De satelliet zal gebruik maken van het platform Proteus, dat ook voor andere satellieten benut wordt. De missie van COROT zal twee en een half jaar duren. Het Institut d'Astrophysique van de Université de Liège is betrokken bij de voorbereiding van deze missie (dataverwerking).

### Eddington

Eddington is de meest ambitieuze van de voorgestelde asteroseismologische satellie-



↑ De Zon, gefotografeerd door de satelliet SOHO. (document NASA)

ten. Het project is door de ESA geselecteerd als een "reservemissie" voor het wetenschappelijke programma. Eddington is dus nog niet zeker van financiering, maar het project maakt een goede kans op uitvoering als de Europese ministers extra geld ter beschikking stellen of als andere projecten niet doorgaan of vertraging oplopen.

Eddington zal uitgerust zijn met een telescoop met objectiefdiameter van 1,2 meter. Na de lancering met een Russische Sojoez-Fregat-raket moet de satelliet een baan gaan beschrijven nabij het Lagrange-punt L2. Eddington moet vijf jaar functioneren, en zal honderdduizenden sterren in het oog houden. Naar verwachting zal Eddington duizenden nieuwe planeten buiten ons zonnestelsel ontdekken. Eddington zal voldoende gevoelig zijn om planeten te detecteren die niet groter zijn dan de aarde.

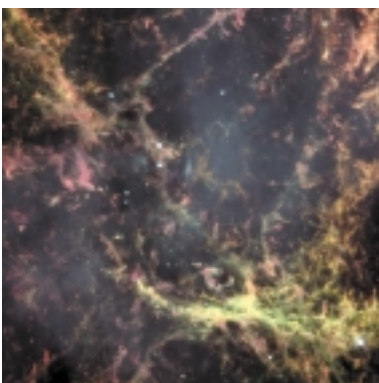


# Kosmische *straling*

Niet alleen elektromagnetische straling in al zijn vormen bereikt ons uit het heelal, er is ook de "kosmische straling", een verzamelnaam voor allerlei elementaire deeltjes, ionen en atomen die door diverse processen in het heelal opgewekt worden. De aarde baadt in een onophoudelijke stroom van dergelijke deeltjes die door de zon weggeblazen worden (zie Space Connection 32), maar er zijn er ook die van veel verder in het heelal komen, bijvoorbeeld van supernovaresten (de overblijfsels van ontplofte sterren) of uit de kernen van actieve sterrenstelsels, waar astronomen de aanwezigheid van reusachtige zwarte gaten vermoeden. Sommige van die deeltjes hebben enorm veel energie, veel meer dan wij op aarde zelfs in de krachtigste deeltjesversnellers kunnen opwekken. Hun oorsprong is nog een raadsel. Enkele projecten zijn in voorbereiding om vanuit een baan om de aarde deze straling te onderzoeken.

## AMS

Het AMS-project (Alpha Magnetic Spectrometer) bestaat uit een grote detector die in 2003 aangebracht zal worden



↑ De Krabnevel is het overblijfsel van een supernova-explosie. Waarschijnlijk ontstaat in dergelijke overblijfsels veel kosmische straling. (document STScI)

op het internationale ruimtestation. Het instrument heeft in 1998 al een korte ruimtevlucht gemaakt in het laadruim van een ruimtewagen. Een van de belangrijkste doelstellingen is het speuren naar antimaterie afkomstig uit het heelal. Als AMS zware anti-atoomkernen zou vinden (wat zeer onwaarschijnlijk wordt geacht, maar niet geheel uitgesloten), bijvoorbeeld anti-koolstof, dan zou dat een aanwijzing zijn dat sommige delen van het heelal overwegend uit antimaterie bestaan in plaats van uit gewone materie.

## ACCESS

Ook ACCESS (Advanced Cosmic Ray Composition Experiment for the Space Station) is een instrument dat op het internationale ruimtestation ISS zal worden aangebracht. Het zal de kosmische straling bestuderen die afkomstig is van diverse bronnen binnen onze Melkweg, zoals supernovaresten. De lancering is voorzien voor 2007.

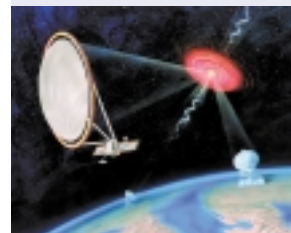
## OWL

OWL (Orbiting Wide-angle Light Collectors), waarvan de financiering en het ontwerp nog niet definitief vast staan, wil de kosmische straling met de hoogste energie bestuderen, door de aardse atmosfeer als detector te gebruiken. Wanneer een hoog-energetisch kosmisch stralingsdeeltje in de atmosfeer terechtkomt, dan veroorzaakt het daar een regen van lichtflitsen, en die lichtflitsen zullen door OWL vanuit de ruimte geobserveerd worden.

## Een *telescoop* groter dan de aarde: radio-interferometrie

Wat voor zichtbaar licht en infrarode straling nog maar in de kinderschoenen staat, het verbinden van ver uit elkaar gelegen telescopen tot een interferometer die functioneert als één reusachtige telescoop, is dat bij radiogolven al routine. Radiotelescopen die op verschillende continenten staan, kunnen met elkaar verbonden worden tot een telescoop met een fenomenale resolutie. De volgende stap is een verbinding maken tussen telescopen op aarde en in de ruimte, om zo één grote telescoop na te bootsen die groter is dan onze planeet zelf.

## ARISE



(document NASA/JPL)

Het NASA-project ARISE (Advanced Radio Interferometry between Space and Earth) heeft als doel één of mogelijk twee radiotelescopen in een verre baan om de aarde te brengen, om die vervol-

gens, samen met radiotelescopen op de grond, als interferometer te gebruiken. Die interferometer moet een scheidend vermogen bereiken van tien microboogseconden. Hij zal vooral gebruikt worden om de kernen van sterrenstelsels te bestuderen, waar astronomen de aanwezigheid van reusachtige zwarte gaten vermoeden. ARISE bouwt verder op het Japans-Amerikaanse VSOP-project uit 1997, waarbij ook al een radiotelescoop in de ruimte werd gebracht, om de techniek van ruimtegrond-interferometrie uit te testen, maar het nieuwe project zal een vijftig keer betere resolutie bereiken. De radiotelescoop van ARISE komt in een elliptische baan om de aarde, met perigeum op 5000 kilometer hoogte en apogeum op 40000 kilometer. De radiotelescoop krijgt een schotelantenne met een diameter van 25 meter. Om het gewicht beperkt te houden tot 1700 kilogram (zodat de satelliet gelanceerd kan worden met een goedkope Delta-raket) wordt het een lichtgewicht opblaasbare schotelantenne. De satelliet moet drie jaar functioneren. Er is nog geen definitieve lanceerdatum vastgelegd.

## Dossier Sterrenkunde vanuit de ruimte

# De *Koninklijke Sterrenwacht van België*

De geschiedenis van de Koninklijke Sterrenwacht van België (KSB) begon in 1823 toen Adolphe Quetelet (een in 1796 in Gent geboren wis- en sterrenkundige) voor het eerst het idee opperde een sterrenwacht te bouwen in het zuidelijke deel van het Koninkrijk der Nederlanden, een streek waar de sterrenkunde totaal verwaarloosd was. Quetelet benadrukte vooral de noodzaak van een dienst voor positionele sterrenkunde, die een fundamenteel hulpmiddel moest kunnen zijn bij de geodesie en de cartografie.

De bouw begon in 1827 maar werd slechts in 1834 voltooid, na de woelige periode die zou leiden tot de onafhankelijkheid van België. De Sterrenwacht was toen gelegen op de heuvels rond de oude Schaarbeekse Poort. Op 8 december 1830 werd Quetelet in de functie van "directeur" bevestigd door het Voorlopig Bewind. Hij zou aan het hoofd van de "Sterrenwacht van Brussel" blijven staan tot aan zijn dood in 1874.

Al bij de oprichting had de Sterrenwacht verschillende sterrenkundige instrumenten ter beschikking met als belangrijkste een muurcirkel van Troughton en Simms, een meridiaankijker van Gambley, een kleine "equatoriale" kijker van Troughton en Simms en twee nauwkeurige klokken. De Sterren-

wacht begon onmiddellijk met een reeks belangrijke werkzaamheden. Zo werden in het bijzonder de nauwkeurige astronomische coördinaten van een fundamenteel punt binnen zijn omheining bepaald (een punt dat daarna aan de basis zou liggen van de coördinaten voor het opstellen van stafkaarten van het land) en werd in 1887 een catalogus gepubliceerd van 10.792 tussen 1857 en 1878 waargenomen sterren. Die was vooral bedoeld om de eigen beweging van de sterren te herzien. In 1834 tenslotte werd het eerste "Jaarboek van de Sterrenwacht van Brussel" gepubliceerd met sterrenkundige, natuurkundige, klimatologische en statistische gegevens. Vanaf die datum werd het jaarboek zonder onderbreking gepubliceerd, sinds 1892 onder de titel "Jaarboek van de Koninklijke Sterrenwacht van België".

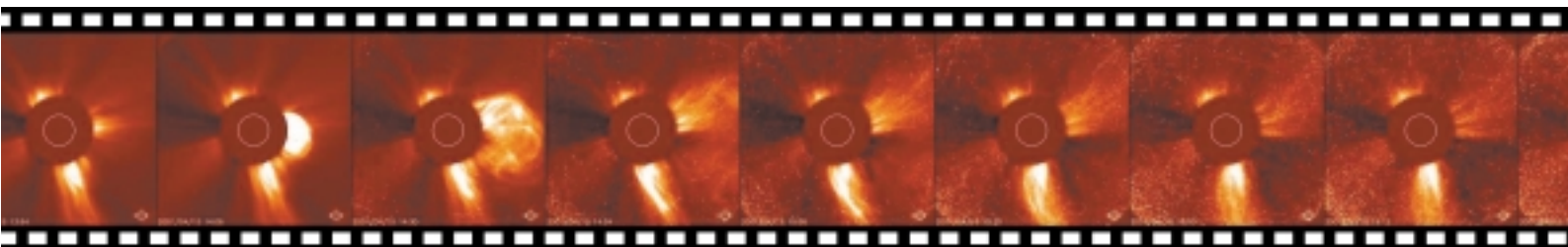
Op initiatief van Jean-Charles Houzeau, de opvolger van Adolphe Quetelet, werd de Sterrenwacht van Brussel naar zijn huidige locatie in Ukkel overgebracht. Plaatsgebrek stond plannen voor een uitbreiding van het instituut in de weg, maar vooral de nabijheid van een alsmar meer actieve stad zorgde voor ongemakken. De instrumenten van de Sterrenwacht van Brussel werden in 1890 naar hun nieuwe bestemming overgebracht. Tot begin 1891 werden gelijktijdig waarnemingen

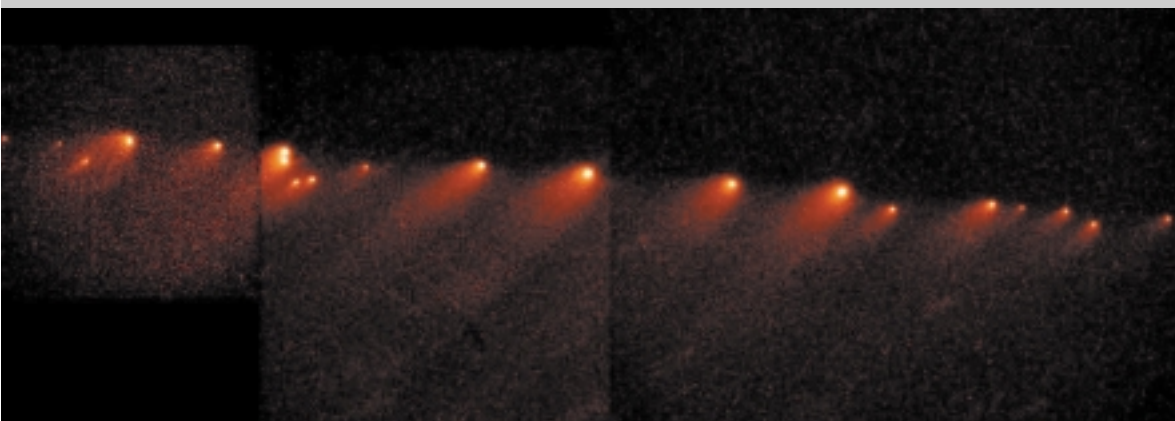
verricht in de twee instellingen; sinds zijn installatie in Ukkel kreeg de Sterrenwacht de naam "Koninklijke Sterrenwacht van België".

Nu zijn de wetenschappelijke activiteiten van de KSB vooral gericht op dienstverlening en onderzoek. Daarbij wordt informatie naar het grote publiek en naar al wie in het heelal is geïnteresseerd zeker niet verwaarloosd. De belangrijkste onderzoeksdomeinen zijn de astrometrie, de hemelmechanica, de astrofysica, de radiosterrenkunde, de zonnephysica, de geodynamica en de ruimtegeodesie. Dankzij nauwkeurige metingen, het opslaan van alle waarnemingen, de gegevensverwerking, de wetenschappelijke bekwaamheid van het personeel en de talrijke internationale uitwisselingsprogramma's kan het instituut nu de gedragingen van onze planeet opvolgen maar ook de capriolen van de zon vatten en de eigenschappen van sterren, meteoren en kometen bepalen (1).

Paul Pâquet is professor aan de Université Catholique de Louvain en al meer dan tien jaar directeur van de Sterrenwacht. Voor hem kunnen "de openbare dienstverlening en de onderzoeksprogramma's niet los van elkaar worden gezien. Zowel het een als het ander vergt dezelfde wetenschappelijke en technische teams, hetzelfde instrumen-

↓ Opnamereeks van de zon door SOHO. (document SOHO)





(Doc. NASA)

tarium, dezelfde infrastructuur. En als de Sterrenwacht zijn waarnemingen in het kader van grote programma's moet kunnen uitwisselen met andere landen en internationale instituten is het vooral van belang dat het werk permanent en zonder onderbreking kan worden uitgevoerd door teams van een hoog niveau."

### De aarde als planeet

De aarde is het meest nabije laboratorium waar sterrenkundigen de wisselwerking kunnen bestuderen tussen krachten als de zwaartekracht en het magnetisme, die teruggaan tot de vorming van het zonnestelsel, en interne krachten die hun oorsprong vinden in de omstandigheden die overheersten bij de vorming van onze planeet meer dan vier miljard jaar geleden. De analyse van deze relatie is het doel van de "astrofysica" van onze aarde en de zeer talrijke parameters die deze verschijnselen kenmerken leveren een beschrijving van onze naaste omgeving.

Een belangrijk en beroemd instrument van de fundamentele sterrenkunde was de meridiaankijker die vooral diende om de positie en de eigenbeweging van de helderste sterren te bepalen. Deze sterren dienden als referentiepunt voor de bepaling van de

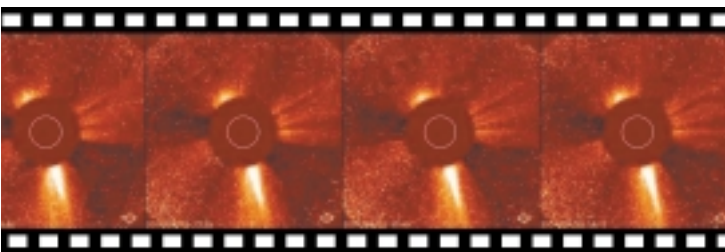
breedte- en lengtegraad van een bepaalde plaats, voor schattingen van de schommelingen in de rotatie van de aarde en de beweging van de pool en voor de uitwerking van schalen voor tijdsbepaling.

Door waarnemingen van sterren die boven de meridiaan van de Sterrenwacht passeren te combineren met die van de zon, bepaalde men de Universele Tijd (UT). Dit was één van de eerste taken van de Sterrenwacht. De sterrenkundigen merkten al snel op dat de tijd periodiek of eerder toevallig soms wat sneller en soms wat trager verliep. Door de ontwikkeling van atoomklokken konden deze onregelmatigheden aan de rotatie van de aarde worden toegeschreven; deze klokken laten een uiterst nauwkeurige bepaling van de seconde toe (tot  $10^{-14}$  nauwkeurig) door het Internationaal Bureau voor Gewichten en Maten. Hier komt de informatie samen van 200 atoomklokken verspreid over heel de wereld. Drie van deze klokken bevinden zich in de Sterrenwacht. Aldus is het mogelijk een tijdstip vast te leggen tot op een miljardste van een seconde nauwkeurig.

De nauwkeurige kennis van de tijd laat toe schommelingen in de rotatiesnelheid van de aarde met een nauwkeurigheid van enkele tienduizendsten van een seconde te bepa-

len. Daardoor kan men ook in de geodesie de nauwkeurigheid uitbreiden tot verschillende duizenden kilometer, waar tot voor kort nog een beperking was van enkele tientallen kilometer. Sinds ongeveer dertig jaar vervangen satellieten de sterren die inder tijd voor navigatie en nauwkeurige positiebepaling werden gebruikt; dankzij deze bijzondere satellieten (GPS en binnenkort Galileo) kan men te land, ter zee of in de lucht de positie van iets of iemand met een nauwkeurigheid van enkele meter bepalen en dat om het even waar op de aardbol. Wereldwijde netwerken van grondstations, waar de Koninklijke Sterrenwacht sinds 1972 deel van uitmaakt, hebben als opdracht referentiesystemen te ontwikkelen, hun evolutie in de tijd te volgen en er de satellieten in te lokaliseren die als "baken" dienen voor de meest veeleisende gebruikers. Ze bereiken een nauwkeurigheid van slechts enkele millimeter op afstanden van verschillende honderden kilometer.

Bij de berekening van de banen van kunstmanen moet men rekening houden met de periodieke vervormingen van de aardbol; dit is een internationaal erkende specialiteit van de KSB, zowel wat de metingen van het verschijnsel als hun interpretatie betreft. Het was tijdens een bezoek van





een vertegenwoordiger van de U.S. Air Force aan de toenmalige directeur baron Paul Melchior dat het probleem van de invloed van de aardse getijden op de baan van satellieten werd besproken. Daarop begon in de hele wereld een buitengewoon avontuur: overal kregen plaatselijke "wetenschappers" de beschikking over gravimeters en op de Sterrenwacht stroomden lange lijsten met gegevens binnen. In de loop der jaren gebruikten onderzoekers van het Internationaal Centrum van de Aardgetijden de verzamelde gegevens in theoretische modellen. Op deze manier slaagde dit hooggekwalificeerd personeel erin de invloed van de relatieve bewegingen van de kern en de mantel van de aarde op een diepte van zo'n 2900 km waar te nemen. Deze invloeden vertegenwoordigen op het aardoppervlak verplaatsingen van amper enkele millimeter! Deze wereldwijde campagne zou ongeveer 20 jaar duren!

Intussen zet de Sterrenwacht zonder onderbreking het onderzoekswerk verder om aardbevingen te identificeren en te catalogiseren. Zo kunnen risicozones afgebakend worden en de interne structuur van onze planeet bepaald worden op basis van de veranderingen die het seismisch signaal ondergaat tijdens zijn beweging naar het centrum van de aardbol. Sinds 1985 werd op het hele grondgebied een netwerk van 28 stations met uiterst gevoelige apparatuur voor seismische waarnemingen opgezet. Het registreert de parameters van de ongeveer 5000 bevingen die zich elk jaar voordoen.

De ervaring en de kwaliteit van de door de wetenschappers van de KSB gepubliceerde resultaten hebben vandaag zelfs als gevolg dat hun methode voor analyse zelfs voor toepassing naar de andere planeten van het zonnestelsel wordt geëxporteerd, in het bijzonder naar Mars. In samenwerking met befaamde buitenlandse laboratoria is dit de uitdaging voor het volgende decennium.

### Het GPS-systeem

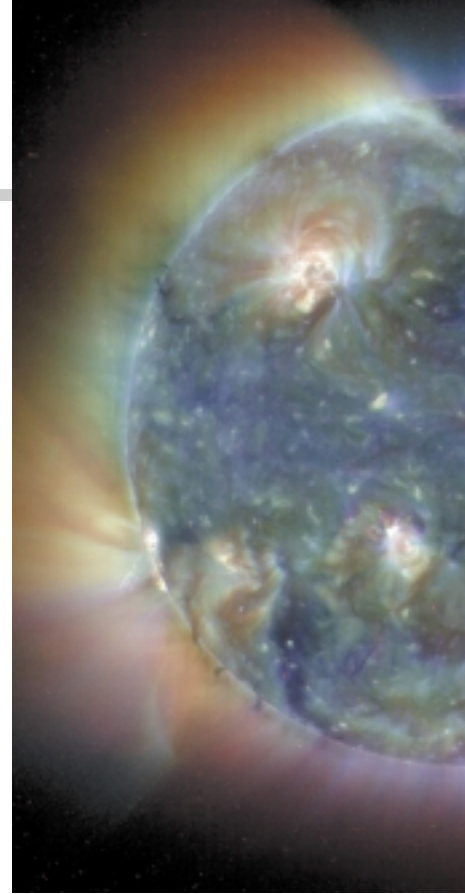
In 1966 nam de Sterrenwacht deel aan het West-netwerk dat als doel had een tijdelijk referentiesysteem op Europese schaal vast te leggen met waarnemingsstations voor de satellieten Echo en Pageos. Zes jaar later werd het opgenomen in een wereldwijd waarnemingsnetwerk van Transit, een constellatie van zes satellieten. Dat liet plaatsbepaling met een nog grotere nauwkeurigheid toe in een mondiaal referentiekader waarvan de oorsprong zich in het centrum van de aarde bevond. Het netwerk was gedurende 21 jaar operationeel (tot in september 1993) en in deze tijdsspanne werden 400.000 passages van satellieten in Ukkel waargenomen.

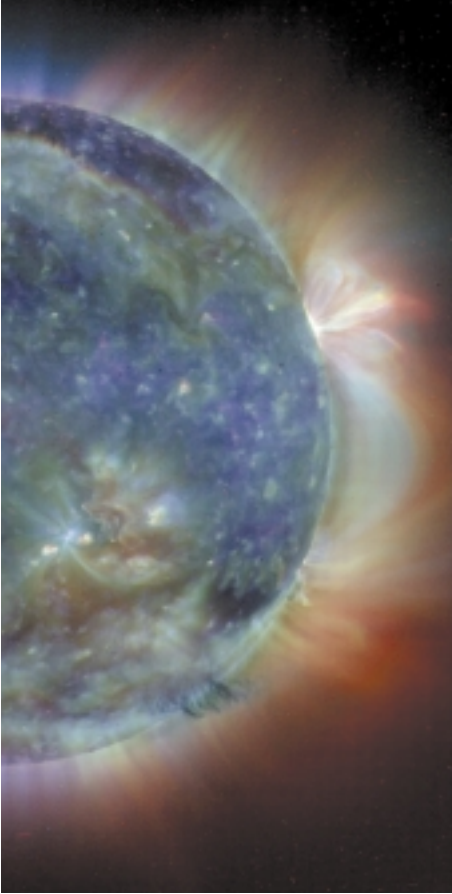
De Transit-satellieten werden opgevolgd door het Global Positioning System (GPS). Dit programma werd door het Department of Defense van de Verenigde Staten ontwikkeld en moest een gebruiker toelaten zijn positie te bepalen. GPS bestaat uit 27 satellieten (24 operationele en 3 reserve) die in zes baanvlakken rond de aarde draaien op een hoogte van ongeveer 20.200 km. GPS heeft almaar meer toepassingen. Bij het grote publiek is de onmiddellijke en nauwkeurige bepaling (in de orde van enkele meter) van een positie om het even waar op de aarde het meest bekend. Zo kan men dankzij GPS-ontvangers op auto's, vrachtwagens, trams, bussen, schepen, enz. gemakkelijk een positie bepalen en kan bijvoorbeeld een transportvloot vanuit een controlecentrum op efficiënte wijze worden gevolgd.

Wetenschappers begrepen al snel dat wanneer een nauwkeurigheid in de orde van enkele meter onmiddellijk kan bereikt worden een nog nauwkeurigere plaatsbepaling (in de orde van een millimeter) kan gebeuren in uitgesteld relais door gebruik te maken van nog meer gesofisticeerde ontvangers, zoals de gegevensverwerking met

de snel evoluerende informatietechnologie en door beroep te doen op internationale coördinatie. Zo is het GPS-systeem een kostbaar werkmiddel geworden van de geofysica en de geodesie. Het kan immers uiterst kleine veranderingen van afstanden in de loop van de tijd waarnemen: dit is in het bijzonder het geval bij de verplaatsingen van de tektonische platen waaruit de aardkorst van de aarde bestaat (in seismologie) of het rijzen van kustgebieden als gevolg van veranderingen van het zeeniveau.

Het in 1995 opgerichte Europese netwerk EUREF bestaat uit meer dan 100 permanente GPS-stations in ongeveer dertig landen. Het heeft als doel een referentie te leveren voor al wie in het kader van wetenschappelijk onderzoek een nauwkeurige positie moet kennen. De coördinatie gebeurt op de Sterrenwacht (website van EUREF is <http://www.astro.oma.be/D1/GPS>). België beschikt over zeven ontvangststations (in Brussel, Dourbes, Waremmes, Dentergem, Membach, Meeuwen en Bree) waarvan er vier deel uitmaken van het EUREF-netwerk. Dit centrale Europese bureau houdt eveneens toezicht over de werkzaamheden van de vijf centra voor het verzamelen en controleren van gegevens evenals van de twaalf centra voor analyse, die elk een deel





← De zonnephysica is een van de belangrijkste onderzoeksdomeinen van de KSB. (document SOHO)

van het rekenwerk op zich nemen. Uiteindelijk wordt in Ukkel de officiële Europese referentie berekend, een gegeven dat wereldwijd aanvaard en gebruikt wordt.

Bovendien werkt het Europese bureau, dat zich op de Sterrenwacht bevindt, nauw samen met het netwerk IGS (International GPS Service), dat de hele planeet bestrijkt met ongeveer 200 stations en dat als belangrijkste opdracht heeft de banen van satellieten rond de aarde nauwkeurig te berekenen.

## De zon

Dankzij zijn hooggekwalificeerd wetenschappelijk en technisch personeel en ultragesofisticeerde apparatuur heeft de Koninklijke Sterrenwacht van België in de wetenschappelijke wereld een prestigieuze reputatie verworven. In zijn 170-jarig bestaan is de Sterrenwacht steeds geëvolueerd op het vlak van werkmethode. De deelname aan grote nationale en internationale onderzoeksprogramma's wordt vandaag bijzonder gewaardeerd.

Al bijna vanaf de oprichting zijn de waarneming en het onderzoek van de zon één van de belangrijkste bezigheden van de wetenschappers van de Sterrenwacht. Zonder ophouden bekijken ze op verschillende

manieren deze ster, de evolutie van de zonnevlekken en de evolutie van de zon in het algemeen om beter te begrijpen hoe ze evolueert maar ook om haar invloed op ons milieu en klimaat te interpreteren. Zo begeven zich al sinds 1950 in samenwerking met het Institut d'Astrophysique de Liège onderzoekers naar het station op de Jungfrauoch (op een hoogte van 3580 m) om het zonnenspectrum waar te nemen. Deze samenwerking vertaalde zich door de publicatie in 1956-1957 van een atlas van het infrarode zonnenspectrum en in 1973 van een atlas in het zichtbaar licht. Deze documenten zijn nog steeds een referentie. Anderzijds heeft de groep voor zonnenspectroscopie van de Sterrenwacht zich bijzonder onderscheiden bij de fysische interpretatie van de zonnestraling in zichtbaar en infrarood licht zoals die is gemeten door het experiment ATMOS aan boord van de Amerikaanse spaceshuttle, in het bijzonder tijdens de missie Atlas 1 met Dirk Frimout. Voor de astronoom Jacques Sauval, die nauw samenwerkt met de astrofysicus Nicolas Grevesse en de geofysicus Rodolphe Zander (Institut d'Astrophysique de Liège) "krijgen we sinds 1986 een overvloed aan meet- en interpretatiegegevens van de veelvuldig waargenomen zonnestraling waardoor we de fysica van de zon beter leren kennen".

De zonneactiviteit die aan de basis ligt van de soms tumultueuze relatie zon-aarde is het voorwerp van het werk van het departement Zonnephysica o.l.v. Pierre Cugnon, dat in het bijzonder het Solar Influences Data analysis Center (SIDC, vroeger Sunspot Index Data Center) herbergt. Deze internationale dienstverlening heeft twee doelstellingen: enerzijds het bepalen op basis van ongeveer 80 stations in heel de wereld van de internationale index voor zonnevlekken (International Sunspot Number) en andere afgeleide grootheden en voorspellingen op middellange termijn en anderzijds de dagelijkse publicatie van de voorspelling van de zonneactiviteit

en geomagnetische activiteit op korte termijn (3 dagen). Daarbij wordt gebruik gemaakt van verschillende gegevens. Daarbij spelen de opnamen van het ruimteobservatorium SOHO een doorslaggevende rol.

Het departement stort zich aldus resoluut op wat men nu de ruimtemeteorologie noemt, een discipline die als doel heeft modellen op te stellen en de verschijnselen van de zonneactiviteit en hun gevolgen voor het aardse milieu te voorspellen. De gevolgen van de relatie zon-aarde op de menselijke activiteit worden steeds groter, zowel als gevolg van het gebruik van uiterst gesofisticeerde en geminiaturiseerde technologie als van de enorme toename van systemen voor satellietcommunicatie in een lage baan om de aarde. De levensduur van deze satellieten hangt sterk af van de zonneactiviteit. Bovendien worden belangrijke gebeurtenissen op de zon (de uitstoot van materie in de zonnecorona) vaak gevolgd door felle storingen in het geomagnetisch veld. Als gevolg daarvan kan schade optreden (storingen of zelfs onderbrekingen van de stroomvoorziening, schade aan de verbindingen van pijplijnen enz.)

Verder bestudeert het departement de structuur van de dynamica van de zonneatmosfeer zowel op kleine als op grote schaal. Het maakt daarbij tegelijk gebruik van optische waarnemingen (Ukkel), radio-elektrische waarnemingen (Humain), eclipscampagnes bij totale zonsverduisteringen en van waarnemingen in het extreme ultraviolet met de telescoop EIT (Extreme ultraviolet Imaging Telescope) aan boord van SOHO.

Om de kennis van onze ster nog te vergroten en de verworven ruimtevaartknowhow naar waarde te schatten, neemt het departement aan nieuwe projecten deel zoals de dubbele missie STEREO-Secchi van de NASA in een nabije toekomst en op langere termijn de sonde Solar Orbiter van ESA.

## Sterren en kometen

De Sterrenwacht heeft niet alleen veel faam verworven op het vlak van de kennis van de zon maar bezit eveneens een lange traditie in het onderzoek van het heelal. Vanaf het begin van de 20<sup>ste</sup> eeuw werd een groot programma voor onderzoek en fotografische waarnemingen van planetoïden en kometen ondernomen. Het gevolg daarvan was dat Belgische sterrenkundigen verschillende honderden planetoïden hebben ontdekt, waaronder enkele behoorlijk uitzonderlijke objecten zoals Amor, Adonis en de Trojaanse planetoïde Antilochus. En aangezien kometen een belangrijke plaats innemen bij de uitwerking van kosmologische hypothesen, kregen ook zij heel bijzondere aandacht van de Belgische astronomen, zelfs in die mate dat ze een stevige reputatie als "kometenjagers" hebben verworven. Niet minder dan zes kometen dragen immers de naam van Belgische sterrenkundigen. De eerste werd ontdekt in juli 1941 (P/du Toit-Neujmin-Delporte), de tweede in februari 1951 (P/Arend-Rigaux), de derde in oktober 1951 (P/Arend), de vierde in augustus 1956 (C/Arend-Roland), de vijfde in januari 1973 (C/Heck-Sause) en tenslotte de laatste in augustus 1996 op het European Southern Observatory ESO in Chili tijdens een zoekprogramma naar planetoïden onder leiding van Eric Elst. De laatste komeet draagt nu de naam P/Elst-Pizzaro. We merken hierbij terloops op dat Eric Elst ook een opmerkelijk waarnemer is van planetoïden (met 607 ontdekkingen op zijn actief), terwijl zijn collega van de Sterrenwacht Henri Debehogne ongeveer 389 "kleine planeten" heeft ontdekt, maar spijtig genoeg nog nooit het geluk heeft gehad een komeet aan de haak te kunnen slaan!

De nabijheid van de lichten van de stad Brussel heeft een einde gemaakt aan de fotografische waarnemingen van weleer. Nu kunnen dergelijke waarnemingen op de Sterrenwacht opnieuw gebeuren dankzij nieuwe

beeldtechnieken met een CCD-camera. Daardoor konden voor het eerst sinds 1965 kleine planeten of "planetoïden" herontdekt worden. De nieuwe waarnemingen gebeurden met behulp van de Schmidt-telescoop, waarvan de spiegel een diameter heeft van meer dan één meter.

Klassieke fotografische waarnemingen dienen eveneens ter bestudering van sterren, enkelvoudig of dubbel, en van sterrenstelsels. De Sterrenwacht heeft tussen 1907 en 1964 ook deelgenomen aan twee grote historische en internationale verwezenlijkingen met als doel het volledige hemelgewelf te fotograferen: een volledige kaart van de hemel, samengesteld uit geheliografeerde platen van 2° x 2° en een astrografische catalogus met metingen van alle sterren tot magnitude 12.

Nu kunnen de wetenschappers gebruikmaken van de waarnemingsmiddelen die worden geboden door de grote internationale sterrenwachten zoals het European Southern Observatory ESO (in La Silla en Paranal in Chili), de observatoria in Europa of de Europese (ESA) en Amerikaanse (NASA) ruimtemissies. De gegevens van satellieten als de International Ultraviolet Explorer (IUE), het infrarode ruimteobservatorium ISO, de röntgensatelliet XMM of de astrometrische satelliet HIPPARCOS leveren een grote bijdrage tot het onderzoek van sterren.

Om een beter begrip te krijgen van de sterren worden sommige fasen in hun evolutie gedetailleerd bestudeerd. Dat is het geval voor sommige soorten veranderlijke sterren (zowel dubbelsterren als "pulserende" sterren met een intrinsieke variatie), "planetaire nevels" (het eindproduct van sommige sterren), jonge sterrenhopen (stervorming) of nog sterren die met een gevoelig massaverlies te maken hebben zoals jonge en zeer massieve sterren of cataclysmische dubbelsterren (waarbij massa van de ene ster naar de andere wordt overgeheveld). Een deel van

de astronomen van de Sterrenwacht neemt actief deel aan de ontwikkeling van software voor het herleiden en behandelen van gegevens van grote internationale projecten als satellieten en grote telescopen. In sommige gevallen leveren ze ook een bijdrage aan de ontwikkeling, tests of validatie van nieuwe apparatuur voor deze projecten. De Sterrenwacht is daarboven nog betrokken bij een project voor een telescoop met een vloeibare spiegel met een diameter van 5 m (ILMT, International Liquid Mirror Telescope).

De exploratie van de verste grenzen van het heelal kan niet voorbij het onderzoek van de gravitatielenzen, die door quasars worden veroorzaakt. Quasars zijn waarschijnlijk het centrale deel van de allereerste sterrenstelsels, die zich op enorme afstanden bevinden. Door ze gedetailleerd te bestuderen kan hun afstand worden bepaald evenals - op onrechtstreekse wijze - de leeftijd van het heelal.

De Sterrenwacht is een openbaar, dienstverlenend instituut voor wetenschappelijk onderzoek met momenteel meer dan 100 hooggekwalificeerde personeelsleden. Het wil zijn werkzaamheden eveneens kenbaar maken via zijn educatieve opdracht naar het schoolgaande publiek toe. Hiertoe opent dit federale instituut en zijn planetarium regelmatig de deuren voor jongeren en besteedt het personeel vele uren aan het onthaal van Belgische en buitenlandse bezoekers.

### (1). De Koninklijke Sterrenwacht van België

is één van de federale wetenschappelijke instellingen die onder de voogdij staan van de Federale diensten voor wetenschappelijke, technische en culturele aangelegenheden (DWTC).  
Adres: Ringlaan 3,  
1180 Brussel, tel.: 02/373.02.11,  
(<http://www.astro.oma.be>).

**Het Planetarium** bevindt zich aan de Bouchoutlaan 10, 1020 Brussel  
tel. : 02/474.74.50.



## Belgische actualiteit

**Eduproba** : 400 **Belgische leerlingen** gaan de ruimte in

Over enkele weken gaat Proba, de eerste Belgische microsatteliet (100 kg zwaar en ontwikkeld door de firma Verhaert), de ruimte in. Het gebeuren vindt deze zomer plaats op de lanceerbasis van Sriharikota, aan de oostkust van India. Een Indiase raket zal Proba lanceren samen met een grotere Indiase satelliet naar een heliosynchrone baan rond de aardpolen.

In België wordt dit evenement uiteraard op de voet gevolgd. Eerst en vooral door de initiatiefnemers en de diverse partners van het Probaproject maar ook in het bijzonder door een 400-tal leerlingen uit het secundair onderwijs. Ze komen uit een twintigtal scholen over het hele land en zijn de laureaten van de wedstrijd Eduproba die georganiseerd werd met de steun van de DWTC.

Elke klas die weerhouden werd stelde voor de wedstrijd een origineel gebruik voor van de satelliet. Dat gaat van de infraroodobservatie van de Etnavulkaan, een vergelijking van de havens van Antwerpen en Agadir tot de studie van het Land van Waas of een onderzoek naar de industriesteden in ontwikkelingslanden. De jury stond voor een moeilijke taak om een keuze te maken uit de inhoudelijk rijk gediïversifieerde voorstellen.

Drie maanden na zijn lancering zal Proba operationeel zijn. De leerlingen kunnen dan tot de actie overgaan en het ruimtetuig vanuit hun klaslokaal besturen en opdrachten laten uitvoeren. Dit gebeurt via het internet en zonder tussenkomst van technici. Kortom: voor deze leer-

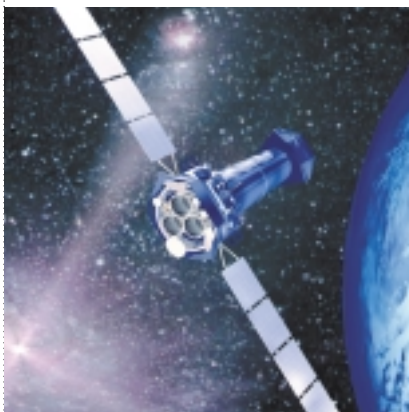
lingen zal ruimtevaart harde realiteit worden. In februari kregen ze al de smaak van deze ruimtevaartactiviteiten te pakken tijdens ruimteklassen die speciaal voor hen werden georganiseerd in het Euro Space Centre van Transinne. De 400 laureaten van de Eduprobawedstrijd werden drie dagen lang ingewijd in de geheimen van de werking van de microsatteliet, de mogelijkheden van zijn instrumenten en de wijze waarop ze deze het best konden gebruiken om hun aardobservatieprojecten te laten slagen.

Dankzij de Eduprobawedstrijd werden de schoolprojecten voorgelegd aan de ingenieurs van de firma Verhaert die de satelliet ontwierpen en ontwikkelden. Zo werd het een beetje een "topontmoeting" voor de leerlingen die hiermee de bevestiging kregen dat ruimtevaart een echte wetenschappelijke toverdoos is. Naast de zuivere ruimtevaartdiscipline, doen de Eduprobaprojecten ook beroep op disciplines als biologie, psychologie, wiskunde, aardrijkskunde, geologie, geschiedenis, talen, enz.

**EDUPROBA-Klassen**

Institut St. Jean Baptiste, Wavre	AGADIR en ANTWERPEN: verschillen en gelijkenissen
Koninklijk Atheneum, Berchem	Vijf verschillende projecten (in de disciplines aardrijkskunde, informatica, fysica en biologie)
Koninklijk Atheneum, Roeselare	Industriesteden in ontwikkelde en derde-wereldlanden
Séminaire de Floreffe	Klimaatwijzigingen en het waterniveau
Vrij Technisch Instituut, Hasselt	Drie projecten (in de disciplines fysica, elektronica, biologie, informatica en aardrijkskunde)
SSBGOGO Groenlaar (OV1-type4)	Hoe groen is Groenlaar
Broederschool, Sint-Niklaas	Studie Waasland
Collège Notre-Dame du Bon Secours, Binche	Tchernobyl : bijna het einde
Institut St. Raphaël, Remouchamps	Studie van de Etna in het infrarood
Institut Instruction Chrétienne, Flone	Teledetectie
Abraham Hans Middenschool, Oudenaarde	Light in Europe
Vrij Technisch Instituut, Brugge	Hoogtevrees
OLV Ter Duinen, Heist-aan-zee	Space project
Institut Ste Marie, Châtelineau ISM	Antarctica
Lycée de Berlaymont, Waterloo	Studie van de verstedelijking in de Brusselse region
I.P.E.S., Ath	De stad Ath in het oog van Proba
Institut St. Joseph, Carlsbourg	Het Waalse gewest in alle staten
Klein Seminarie, Hoogstraten	Satelliet zonder grenzen

De Europese satelliet voor astrofysica XMM-Newton. (document ESA)

**Micro-elektronica** ten dienste van de ruimtevaart

IMEC (Independent MicroElectronics research & development Center) te Leuven is het belangrijkste onderzoeksinstituut voor micro-elektronica in Vlaanderen. Het munt uit in de spijstechnologie van de hoogperformante halfgeleiders en realiseert detectoronderdelen die zich aan boord van ruimtetuigen bevinden. ESA-satellieten waren uitgerust met microcamera's die gebouwd werden samen met OIP Sensor Systems: twee camera's maakten beelden van de ingebruikstelling van de Europese astrofysicasatelliet XMM-Newton; een andere camera maakte opnamen van de lancering van de satelliet Tango uit de Cluster-constellatie. IMEC creëerde bovendien in 2000 het filiaal Septentrio dat ontvangers voor satellietnavigatie realiseert en commercialiseert. Uitgerust met een IMEX-microprocessor, kan de Septentrio-ontvanger zowel gebruikt worden voor de Amerikaanse GPS- en de Russische GLONASS-satellieten, als voor de Europese EGNOS- en Japanse MTSAT-systemen ([www.imec.be](http://www.imec.be) en [www.septentrio.com](http://www.septentrio.com)).

## Belgische actualiteit

### Satellieten versnellen het **internet**

De firma Newtec uit Sint-Niklaas is gespecialiseerd in uitrustingen voor grondstations, in hyperfrequenties en in netwerken voor satellietcommunicatie. Het ontwikkelde de compacte "2Way-Sat"-terminal voor digitale hogesnelheidsverbindingen in de DVB-RCS-standaard. Dankzij dit nieuwe product dat werd ontwikkeld in het kader van het ARTES-programma van de ESA, kon Newtec een contract van 15 miljoen euro binnenrijven met de Canadese onderneming SpaceBridge dat breedband transmissiesystemen vervaardigt ([www.newtec.be](http://www.newtec.be)).

### Een **jonge KMO** helpt de Amerikanen op de GIS-weg

GIS of Geographic Information Systems zijn eigenlijk databanken die een site niet alleen in kaart brengen maar er ook allerlei randinformatie aan toevoegen zoals woon- en werkgegevens, de infrastructuur, de economische activiteit, de ruimtelijke ordening, de communicatiemiddelen... Dankzij satellietwaarnemingen kunnen al deze gegevens snel worden geactualiseerd en in kaart gebracht. De GIS-gegevensbronnen zullen een van de belangrijkste pijlers van de informatiesamenleving van morgen worden. Ze zijn echter pas echt commercieel interessant indien gebruikers er toegang toe hebben via gestandaardiseerde software.

Ionic Software, een kleine Belgische onderneming die in mei 1999 werd opgericht, slaagde erin dergelijke software te ontwikkelen en te commercialiseren voor de sector van de informatietechnologie en voor georuimtelijke localisatie. Ionic Software speelt een eersterangsrol binnen het consortium OpenGIS en kent een sterke groei in deze niche van de e-business. Meer nog, het bedrijfje is al wereldleider en verkoopt zijn producten o.a. aan de ESA, de NASA, de Amerikaanse inlichtingendiensten en aan bedrijven die actief zijn op de markt van de geomatics. Van 2 tot 5 april organiseerde Ionic Software in Luik de OpenGIS-ontmoetingen waar meer dan 170 GIS-deskundigen aanwezig waren. Philippe Busquin, Europees Commissaris voor Wetenschappelijk Onderzoek, was hierop aanwezig en erkende het hoge potentieel van deze softwareprogramma's in het kader van de Europese initiatieven Galileo (satellietnavigatie) en GMES (Global Monitoring for Environment and Security). ([www.ionicsoft.com](http://www.ionicsoft.com))

### Het ESA-station van Redu in dienst van **Artemis** en **Proba**

Het station van Redu dat de ESA beheert in de provincie Luxemburg bereidt zich samen met de privépartner Ciset International voor op de nieuwe satellieten van 2001. Het station neemt deel aan de SILEX-missie (Semiconductor Inter-Satellite Link) voor hoog-debiettransmissie van de gegevens van de aardobservatiesatelliet SPOT-4 via de technologiesatelliet Artemis die in 2001 moet gelanceerd worden. Redu wordt het controlecentrum van de Belgische microsatelliet PROBA en blijft tevens de Eutelsat-satellieten volgen. ESA en Ciset International wensen bovendien de rendabiliteit van de infrastructuur verder op te drijven door nieuwe commerciële satellietoperatoren aan te trekken.

Momenteel zijn 48 personen tewerkgesteld in het station van Redu. Deze ploeg heeft het aantal paraboolantennes op het domein die de satellietverbindingen verzekeren, jaar na jaar zien toenemen. "Redu is goed uitgerust om alle huidige en toekomstige civiele telecommunicatie- en televisiesatellieten te testen, te manoeuvreren en te contro-

leren in hun omloopbanen", verklaart J. MacLauchlan, directeur van het station.

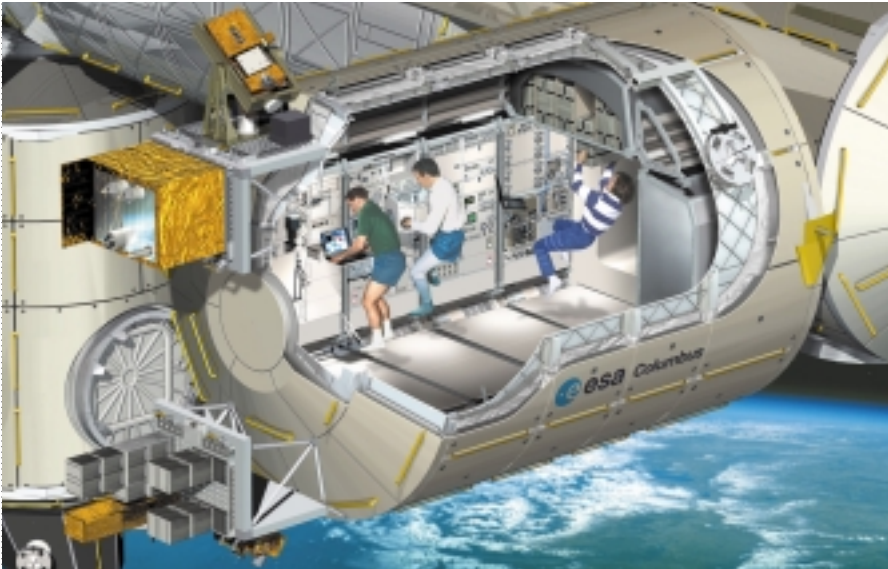
De site van Redu beschikt over een aantal belangrijke troeven:

- zijn infrastructuur heeft zijn deugdelijkheid bewezen als controlecentrum voor de ECS-telecommunicatiesatellieten die bijdroegen tot het opstarten van het Eutelsatsysteem.
- het station ligt op het platteland, buiten industriezones en dus beschermd tegen interferenties. Het beschikt tevens over voldoende uitbreidingsmogelijkheden om nieuwe installaties en antennes te herbergen.
- door de geografische ligging kan een satellietoperator vanuit deze infrastructuur signalen sturen naar zowel satellieten die zich boven de Atlantische als boven de Indische oceaan bevinden.
- door zijn rechtstreekse aansluiting op het glasvezelnetwerk van Belgacom kan Redu als relaisstation voor zowel hoog-debietdatatransmissie en als teleport voor zakelijk gegevensverkeer via satelliet fungeren.

De technologische satelliet Artemis (document ESA)



## Internationale actualiteit

ESA wordt een **meer "Europese"** ruimtevaartorganisatie

Zo zullen astronauten werken aan boord van de Europese Columbus-module van het International Space Station (ESA).

**Op het vlak van de ruimtevaart wil Europa zijn belangrijke plaats behouden en een tegengewicht vormen voor de Verenigde Staten. Maar daarvoor zouden de verschillende regeringen meer moeten investeren in deze sector.**

Volgens drie "wijzen" - de vroegere Zweedse premier Carl Bildt, Lothar Späth, de vroegere premier van de Duitse deelstaat Baden-Württemberg en momenteel voorzitter van Jenoptik AG, en Crédit Lyonnais-president Jean Peyrelevade - moet Europa een duidelijkere ruimtevaartpolitiek voeren en kunstmatige barrières uit het verleden neerhalen. Het duurt volgens hen té lang om beslissingen te nemen en de nodige financiën vrij te maken. Het trio doet drie aanbevelingen:

- een grotere samenwerking tussen ESA en de Europese Unie;
- een uitbreiding van de activiteiten van ESA tot problemen die met veiligheid en defensie te maken hebben;
- hulp aan de Europese industrie om het hoofd te kunnen bieden aan de Amerikaanse concurrentie, in het bijzonder inzake telecommunicatie.

ESA wordt meer en meer de ruimtevaartorganisatie van de Europese Unie. Slechts twee

lidstaten (Noorwegen en Zwitserland) zijn geen lid van de Europese Unie terwijl slechts twee lidstaten van de Unie (Luxemburg en Griekenland) geen deel van ESA uitmaken. Volgens de wijzen moet ESA ook openstaan voor landen buiten de Europese Unie. Er wordt met name meer samenwerking aanbevolen met Rusland.

In november 2000 kwamen de ruimtevaartministers van de 15 ESA-lidstaten voor een bijzondere vergadering in Brussel samen om een resolutie aan te nemen over een gezamenlijk document van ESA en de Europese Commissie in verband met een Europese ruimtevaartstrategie. Een gelijkaardige resolutie werd tevens door de Europese Onderzoeksraad goedgekeurd.

Deze Europese Ruimtevaartstrategie bestaat uit drie pijlers:

- door de ruimtevaarttechnologie breder uit te bouwen en met behulp van een familie van lanceerraketten de toegang tot de ruimte te verzekeren worden de fundamentele waarop de ruimtevaartactiviteiten zijn gebaseerd versterkt. Er wordt daarbij gedacht aan de ontwikkeling van basistechnologieën, pilootprojecten waarin de openbare en privé-sector

samenwerken en de ontwikkeling van toepassingen en diensten op basis van de noden van de markt en de vraag van gebruikers. Wat lanceerraketten betreft moet de nieuwe Ariane 5-raket concurrentieel blijven en kunnen kleine en middelgrote Europese raketten de dienstverlening vervolledigen.

- het belang van het wetenschappelijk ruimteonderzoek en het beter begrijpen van het klimaat van onze planeet. Een optimaal gebruik van het International Space Station, waarin alle disciplines van space science (levenswetenschappen, natuurkunde, technologische ontwikkeling) en onderzoek kan worden gedaan, zijn in dit opzicht belangrijk. Wetenschappelijk ruimteonderzoek zorgt immers voor technologische vernieuwing, verhoogt het concurrentievermogen van de industrie en speelt een belangrijke rol bij onderwijs en opleiding.

- de resultaten van het ruimteonderzoek moeten gebruikt worden voor de nieuwe eisen die de maatschappij stelt. Daarbij wordt gedacht aan communicatie via satelliet en informatietechnologie, navigatie en positiebepaling via satelliet en aardobservatie.

De Europese ruimtevaartstrategie beschouwt ook de industriële aspecten van ruimteonderzoek en besteedt bijzondere aandacht aan de KMO's. Samenwerking tussen de openbare sector en het privé-initiatief kan tot operationele projecten leiden.

**Welke bedragen vertegenwoordigen de belangrijkste ruimtevaartactiviteiten? (in miljard euro)**

• satelliettelecommunicatie	60 à 100
• satellietnavigatie	5 à 10
• satellietlanceringen	2
• aardobservatie	0,5 à 2
• bouw van satellieten en lanceerraketten	40
• totale omzet van de ruimtevaartindustrie in Europa	6
• tewerkstelling :	40.000 hooggekwalificeerde jobs

(het European Space Strategy document kan in pdf-formaat van het internet geplukt worden op [http://ravel.esrin.esa.it/docs/wisemen\\_report.pdf](http://ravel.esrin.esa.it/docs/wisemen_report.pdf))



