

43

December 2003

SPACE CONNECTION



DOSSIER De kleine leden
van ons zonnestelsel

Inhoud



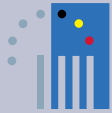
Dossier: De kleine leden van ons zonnestelsel

- 03** 1. Overblijfselen van een kosmische constructie
- 06** 2. Van Ceres tot de Kuipergordel
- 12** 3. Getuigen uit de buitenste regionen van het zonnestelsel
- 19** 4. Kosmische verkenners naar kometen en planetoïden
- 26** 5. Een blik op 4,6 miljard jaar geschiedenis
- 32** 6. De kleine leden van het zonnestelsel op het internet

35 Actualiteit

Space Connection is een nieuwsbrief over ruimtevaart en wordt uitgegeven en gratis verspreid door de

**Programmatorische
federale overheidsdienst
"Wetenschapsbeleid"**



**Redactie en
abbonementenbeheer**

Cel e-informatie
POD Wetenschapsbeleid
Wetenschapsstraat 8
1000 Brussel
e-mail: dhae@belspo.be
Abonneer u via onze internetsite:
www.belspo.be

Externe medewerking

Benny Audenaert (dossier),
Christian Du Brulle,
Théo Pirard, Steven Stroeykens

Coördinatie

Patrick Ribouville, Ria D'Haemers

Verantwoordelijke uitgever:

Dr. Ph. Mettens,
Voorzitter van het Directiecomité
van de POD Wetenschapsbeleid

Foto voorpagina

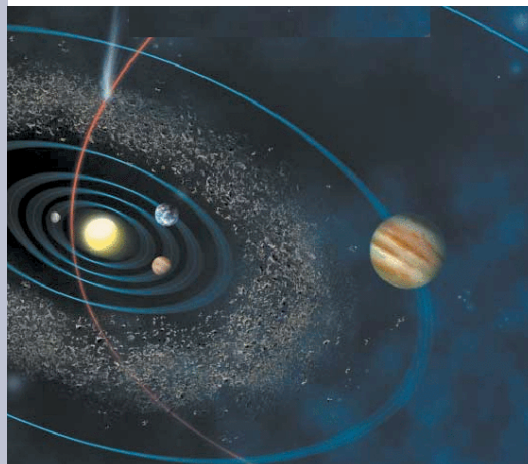
Rosetta zal de komeet Churyumov-
Gerasimenko in 2014 ontmoeten. (ESA)

Nummer 43 - December 2003

Overblijfselen van een kosmische constructie

In 1986 was de Europese sonde *Giotto* het vlaggenschip van een internationale armada van ruimtesondes naar de beroemde komeet Halley. Normaal had de Europese ruimtevaartorganisatie ESA in januari 2003 een nieuwe kometenverkenner moeten lanceren.

Maar door problemen met de Ariane 5-lanceerraket bleef de sonde *Rosetta* aan de grond. Het uitstel was echter geen afstel en Rosetta gaat nu, als alles goed gaat, eind februari 2004 op weg. Zijn oorspronkelijk reisdoel, de komeet Wirtanen, werd ingeruild voor een nieuwe bestemming. Rosetta moet nu de komeet Churyumov-Gerasimenko in 2014 ontmoeten en het is de bedoeling dat het ruimtetuig onderweg ook nog een of meerdere *planetoïden* passeert. (Vervolg op pagina 4)



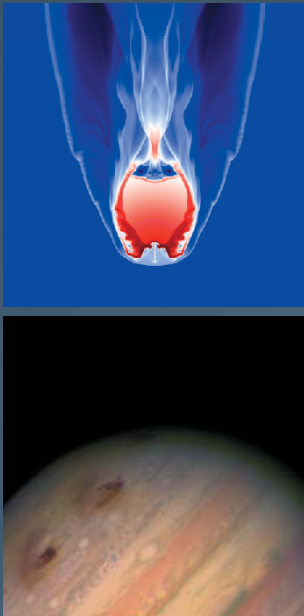
(NASA)

Dossier De kleine leden van ons zonnestelsel

Vervolg van pagina 3

1. Een gouden tijdperk

Overblijfselen van een kosmische constructie



↑↑ De geschiedenis van het zonnestelsel is er een van botsingen. Dit is een simulatie van de inslag van een fragment van komeet Shoemaker-Levy 9 op de planeet Jupiter in juli 1994. (JPL)

↑ In de atmosfeer van Jupiter zijn de 'wonden' te zien als gevolg van de inslag van fragment G van de komeet Shoemaker-Levy op 18 juli 1994. (STScI)

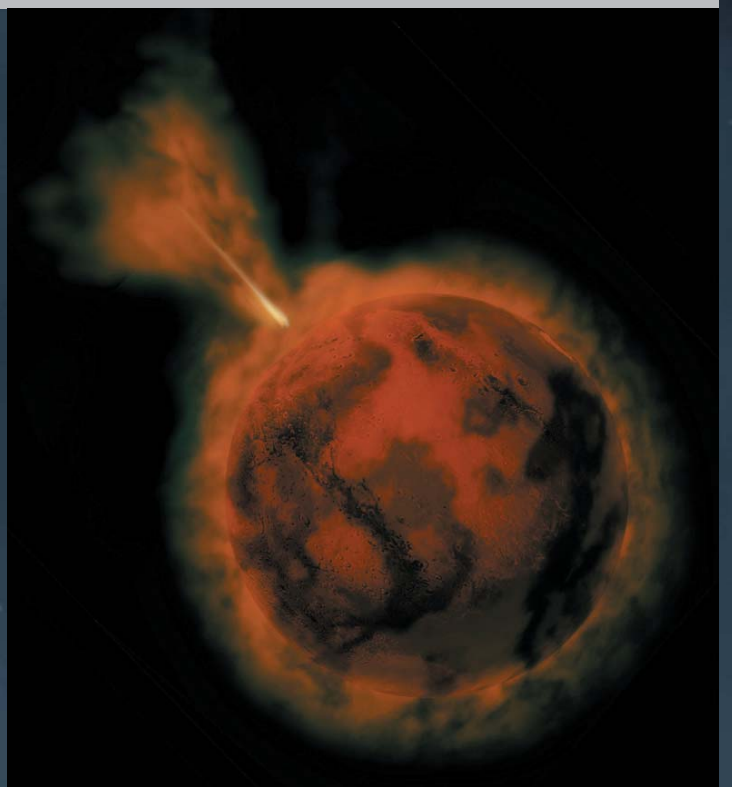
Heel lang was er vrij weinig belangstelling voor ruimtesondes naar planeetoiden en kometen, maar het wordt steeds duidelijker dat deze kleine hemellichamen ons heel veel te vertellen hebben over de geschiedenis van het zonnestelsel en dus ook van onze eigen aarde. Bij de bouw van een huis blijft immers ook afval over van de constructie. Zo zijn ook planeetoiden en kometen als getuigen van het ontstaan van een kosmisch bouwwerk overgebleven.

Het zonnestelsel ontstond 4,6 miljard jaar geleden uit een oernevel, een wolk van interstellaire gassen en stof. Daaruit werden de zon en de planeten geboren. Door de gravitatiewerking van de grote planeet *Jupiter* konden de kleine planeetjes tussen de planeten Mars en Jupiter niet samenklonteren tot een volwaardige planeet. Hun 'samenscholingsverbod' heeft ertoe geleid dat ze *planetesimalen* zijn gebleven en uiteindelijk de *planeetoidengordel* gingen vormen. Niet alle planeetoiden draaien netjes in

die gordel rond. Sommige draaien in een baan rond de zon die hen tot dicht bij de aarde brengt zodat ze zelfs een gevaar voor onze planeet kunnen vormen.

Ook kometen zijn overblijfselen uit de tijd waarin het zonnestelsel ontstond. Soms is een komeet als een spectaculaire 'staartster' te zien aan de hemel, een indrukwekkende verschijning die in de ogen van onze voorouders onheil aankondigde. Heel lang was de aard van kometen onbekend. Nu weten we dat ze uit rots, stof en ijs bestaan. Misschien zijn ze wel de bron van veel van het water in onze oceanen en mogelijk bestaan wij zelf uit 'kometenstof'...

En het kometen- en planeetoidenverhaal zorgt regelmatig voor verrassingen. Onlangs is nog een heel nieuwe klasse van hemellichamen in het zonnestelsel ontdekt, de zogenaamde trans-Neptuniaanse objecten van de *Kuiper-gordel*. De verre planeet *Pluto* is er misschien een lid van. Het laatste woord over de



↑ Misschien is Mars een groot stuk van zijn atmosfeer kwijtgespeeld door inslagen van kometen kort na het ontstaan van de de planeet. (ESA)

geschiedenis en de evolutie van het zonnestelsel is duidelijk nog niet gezegd.

In 1957 brachten de Sovjets de eerste Spoetnik in een baan om de aarde. De ruimtevaart gaf de mogelijkheid de andere hemellichamen in het zonnestelsel in situ te onderzoeken. Al heel vlug stuurden de Sovjetunie en de Verenigde Staten sondes naar de maan, Mars en Venus. Het waren ideale doelen om in het kader van de *ruimterace* primeurs te halen. Zo kregen alle planeten in het zonnestelsel, op de kleine Pluto na, minstens één keer bezoek van een ruimtesonde. Nu krijgen ook de kleine leden van het zonnestelsel, de planeetoiden en de kometen, vanwege de ruimtevaart de aandacht die ze verdienen.

Die belangstelling voor kometen en planeetoiden is overigens niet alleen ingegeven door het feit dat ze getuigen zijn van het ontstaan van het zonnestelsel. Ze vormen ook een bedreiging voor onze planeet. Hierop is eerder al ingegaan in het dossier *Dreiging uit de*

ruimte in *Space Connection 41*. Op de aarde zijn de littekens van de kosmische inslagen grotendeels weggevaagd door erosie, maar op veel andere hemellichamen in het zonnestelsel zijn de sporen nog goed zichtbaar van de kraters die ze hebben veroorzaakt. Dat de geschiedenis van het zonnestelsel er een is van botsingen en inslagen is bijzonder goed te zien op fel bekraterde hemellichamen als de maan en de planeet Mercurius.

Het onderzoek van kometen en planeetoiden is in volle beweging. Bijna dagelijks valt er op dit vlak nieuws te rapen. Maar zoals dat in de wetenschap wel vaker gebeurt roepen antwoorden op oude vragen op hun beurt weer nieuwe vragen op. *'Mensen kijken al eeuwen naar kometen en toch weten we er verbazingwekkend weinig over'*, zegt Colleen Hartman van de *Solar System Exploration Division* van de Amerikaanse ruimtevaartorganisatie NASA in Washington. *'Maar dat gaat veranderen. We treden een gouden tijdperk van komeetonderzoek in.'*

↙ De Europese sonde Rosetta zal als eerste rond de kern van een komeet draaien. De ruimtevaart maakt een 'gouden tijdperk' van komeet- en planeetoidenonderzoek mogelijk. (ESA)

Dossier De kleine leden van ons zonnestelsel

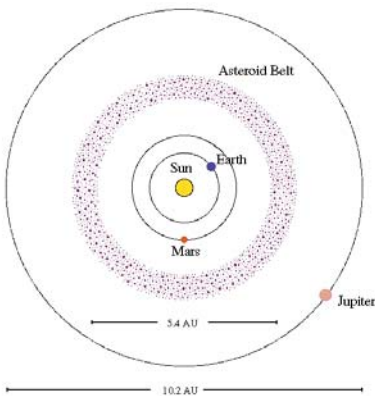
2. De “kleine planeten” in het zonnestelsel

Van **Ceres** tot de **Kuipergordel**

Op 1 januari 1801 ontdekte de Italiaanse astronoom *Giuseppe Piazzi* (1746-1826) in Palermo tussen de planeten Mars en Jupiter in een heel merkwaardig hemellichaam. De ontdekking van *Ceres* veroorzaakte inderijd veel sensatie onder de astronomen want hij volgde niet alleen op de ontdekking van de planeet Uranus door *William Herschel* (1738-1822) twintig jaar eerder, het leek te gaan om de ‘ontbrekende’ planeet die volgens de wet van *Titius-Bode* moest passen in het ‘gat’ tussen Mars en Jupiter. De grote wiskundige *Karl Friedrich Gauss* kon uit de waarnemingen van Piazzi de baan van *Ceres* berekenen. Het nieuw ontdekte hemellichaam bleek om de 4,6 jaar om de zon te draaien.

nale groep van astronomen op zoek naar andere ‘gastplaneten’ in een baan om de zon tussen Mars en Jupiter. Met succes... *Pallas* werd in 1802 ontdekt (door Olbers), *Juno* in 1804 (Harding) en *Vesta* in 1807 (Olbers). Uiteindelijk bleken er vele duizenden van deze kosmische rotsblokken of *kleine planeten* rond de zon te draaien. Ze worden *asteroïden* of *planetoïden* genoemd. Naar schatting bevinden er zich in de planetoïdengordel tussen 100.000 en misschien wel bijna twee miljoen objecten van minstens een kilometer groot (zie ook *Dubbel zoveel planetoïden*?).

Er zijn verschillende verklaringen gegeven voor het feit dat er zich tussen Mars en Jupiter geen grote planeet bevindt. De planetoïden ontstonden meer dan 4 miljard jaar geleden, in de chaotische tijd waarin de planeten van ons zonnestelsel werden gevormd. Eén theorie stelt dat het overblijfselen zijn

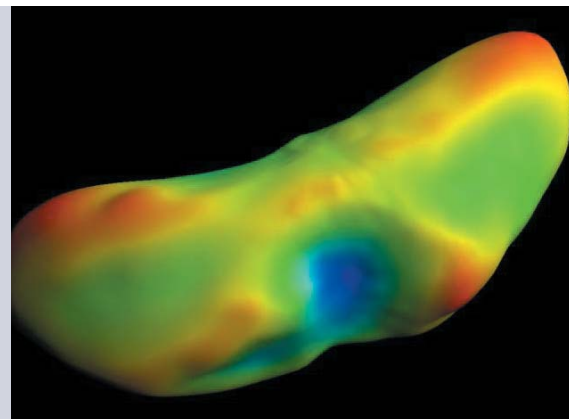


↑ Tekening van de planetoïdengordel tussen de planeten Mars en Jupiter. (UCLA)

Maar *Ceres* had een diameter van nog geen 1000 km en dat leek te klein om als een heuse planeet te worden aanzien. Na de ontdekking van *Ceres* ging een internatio-

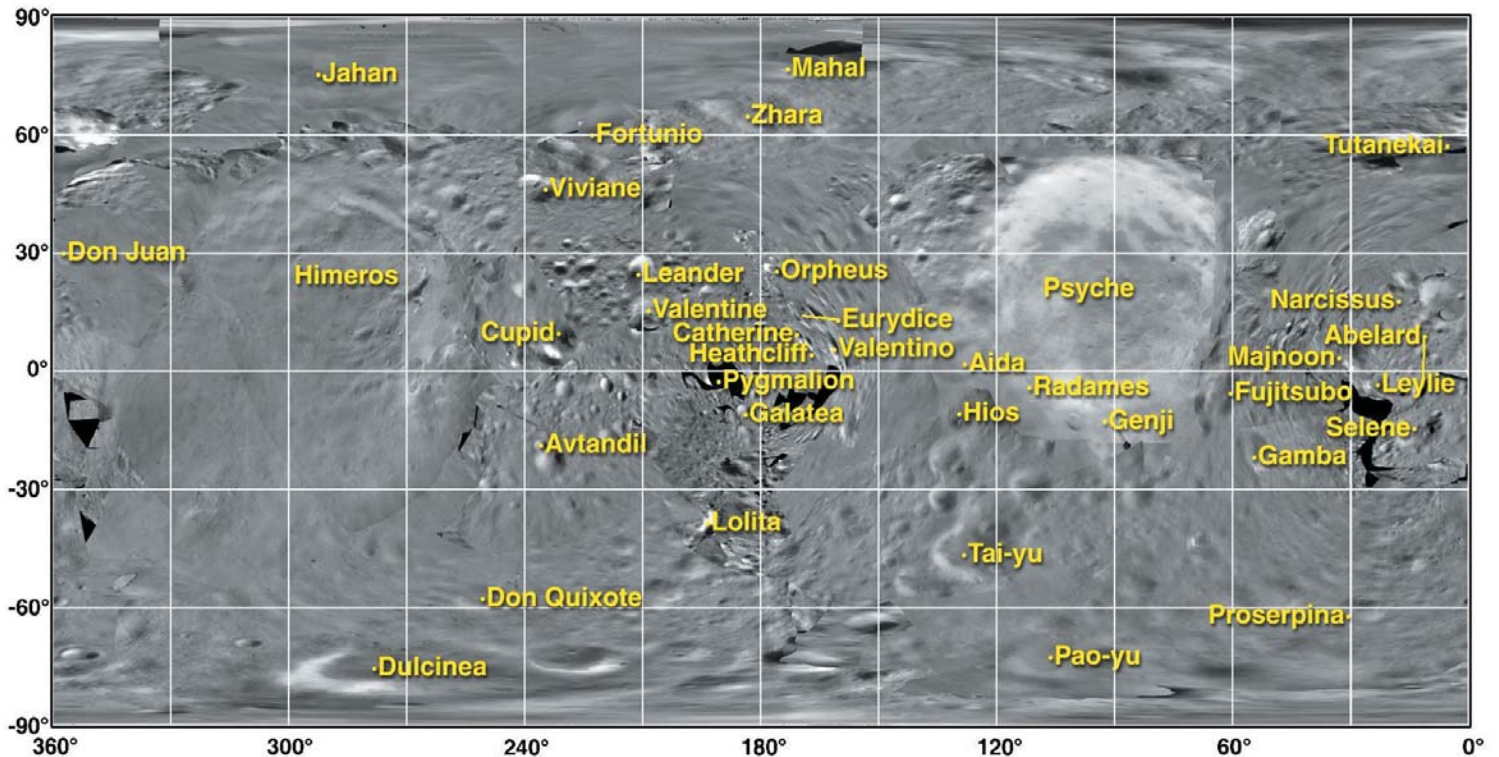
Dubbel zoveel planetoïden?

Volgens recent onderzoek zouden er meer dan twee keer zoveel planetoïden zijn dan tot nu toe werd gedacht. Dat volgt uit waarnemingen van de Europese wetenschappelijke satelliet *Infrared Space Observatory (ISO)*. In de hoofdgordel tussen Mars en Jupiter zouden zich tussen 1,1 miljoen en 1,9 miljoen planetoïden bevinden met een diameter van meer dan één kilometer, het dubbele van eerdere schattingen. De *ISO Deep Asteroid Search (IDAS)* was de eerste systematische zoektocht naar planetoïden in de hoofdgordel. De cijfers zijn afkomstig van een theoretisch model, gebaseerd op waarnemingen in bepaalde uitgekozen gebieden van de planetoïdengordel. Het voordeel van infrarode waarnemingen zoals met *ISO* is dat ze gemakkelijker donkere objecten onthullen zoals planetoïden en dat verklaart het grote verschil met vroegere schattingen.



↑ Een ‘gravitie-topografische’ kaart van de planetoïde Eros. Een bal die op een rood deel zou vallen zou naar het dichtste groene gebied trachten te rollen en vandaar naar het dichtste blauwe gebied. (NASA)

↓ Kaart van de planetoïde Eros op basis van opnamen van de sonde NEAR. (NASA)



van een planeet die bij een enorme botsing in stukken is gebroken. Maar hoewel hun aantal zeer groot is, bedraagt de totale massa van de planetoïden minder dan die van onze eigen maan, te weinig om een grote planeet te vormen. Nu wordt vrij algemeen aangenomen dat de grote planeet Jupiter juist de vorming van een planeet in het 'gat' tussen Mars en Jupiter verhinderde. Onder invloed van Jupiter kwamen veel van de reeds gevormde kleine planeetjes in dit gebied met elkaar in botsing. De meeste planetoïden zijn dus als gevolg van veelvuldige botsingen slechts overblijfselen van hun oorspronkelijke moederlichamen.

Het is uiteraard zeer moeilijk te achterhalen welke planetoïden van eenzelfde moederlichaam afkomstig zijn, maar soms kan het. Onlangs is men er in geslaagd enkele tientallen planetoïden te identificeren als overblijfselen van een recente botsing 'amper' 5,8 miljoen jaar geleden. De groep is genoemd naar het grootste exemplaar *Karin*, dat bijna 20 km groot is. Waarschijnlijk ontstonden bij de botsing honderden en mis-

schien wel duizenden brokstukken met een diameter van meer dan een kilometer. De groep zal de komende tijd veel aandacht krijgen en zou een interessant reisdoel voor een ruimtesonde kunnen zijn. Hij wordt gezien als een natuurlijk laboratorium om botsingen van planetoïden te bestuderen.

Op basis van het reflecterend vermogen van hun oppervlak valt iets te zeggen over de samenstelling van planetoïden. De donkere planetoïden van het *C-type* weerkaatsen minder dan 5% van het zonlicht en zijn koolstofhoudend. Ze hebben eenzelfde samenstelling als de zon en vertegenwoordigen ongeveer 75% van het totaal aantal planetoïden. We vinden ze vooral terug in de buitenste regionen van de hoofdgordel. Een kleine 20% van de planetoïden zijn van het *S-type*. Ze zijn helderder, weerkaatsen 15 tot 25% van het zonlicht en zijn steenachtig. We vinden ze vooral in het binnenste deel van de planetoïdengordel. De rest zijn vooral metaalrijke planetoïden van het *M-type* uit het midden van de planetoïden-gordel.

Bij *Toutatis*

Een van de meest merkwaardige objecten in het zonnestelsel is de planetoïde *Toutatis*. Dat blijkt uit radarwaarnemingen van de planetoïde, die maximaal ongeveer 5 km groot is. *Toutatis* heeft een zeer onregelmatige vorm en roteert in tegenstelling tot de meeste andere planetoïden al 'tuimelend'. Dat is waarschijnlijk het gevolg van een hele reeks hevige botsingen. *Toutatis* draait in vier jaar tijd in een behoorlijk chaotische baan rond de zon van juist binnen de baan van de aarde tot in de hoofdgordel tussen Mars en Jupiter. Op 29 september 2004 zal hij de aarde op een afstand van amper vier keer de afstand aarde-maan passeren.

↑ Een met de computer gegenereerd beeld van de aarde, gezien vanaf de planetoïde *Toutatis*. Op 29 september 2004 zal *Toutatis* zich op minder dan 1,6 miljoen kilometer van de aarde bevinden, slechts vier keer verder dan de maan. (JPL)



↑ Mozaïek van vier opnamen van Eros door de Amerikaanse ruimtesonde NEAR, gemaakt van op een afstand van 100 kilometer op 21 september 2000. Het afgebeelde gebied is van boven tot beneden 11 kilometer groot en toont een deel van het zuidelijk halfrond van Eros. (NASA)



← Zo ziet het in 2002 gevonden Kuiperobject 2002 LM60, door zijn ontdekkers ook Quaoar genoemd, er misschien uit. Deze tekening toont Quaoar, die half zo groot is als de planeet Pluto en het grootste object dat in het zonnestelsel werd ontdekt sinds Pluto in 1930. Het bevindt zich op 6,5 miljard kilometer van de zon, een miljard kilometer verder dan Pluto. (NASA-STScI)

Planetoïden zijn in heel verschillende regioenen van het zonnestelsel terug te vinden. De meeste draaien in een vrij stabiele baan in de *hoofdgordel (main belt)* tussen de planeten Mars en Jupiter in een baan om de zon. Ze doen er drie tot zes jaar over om rond de zon te draaien. Andere bevinden zich verder weg, zoals de *Trojanen* die in dezelfde baan als Jupiter (in de Lagrangepunten 60° voor of na Jupiter) rond de zon draaien.

Sommige planetoïden komen in de binnenste regionen van het zonnestelsel terecht. Men noemt ze *Near Earth Asteroids* of *NEA's*. Ze zijn waarschijnlijk uit de hoofdgordel 'geduwd' als gevolg van botsingen met andere planetoïden en de invloed van Jupiter. Sommige van deze *aardscheerders* zouden op onze planeet kunnen terechtkomen. Er zijn nu ongeveer 500 NEA's bekend. Misschien zijn er wel duizend of meer NEA's van meer dan één kilometer groot, genoeg om een ernstige bedreiging voor de aarde te vormen.

De interesse voor deze groep planetoïden is dan ook bijzonder groot. De NEA's maken het

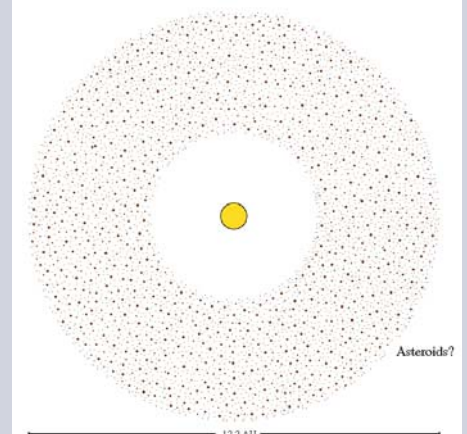
overgrote deel uit van de *NEO's* of *Near Earth Objects*, waartoe ook de *NEC's* of *Near Earth Comets* behoren. De NEA's worden op hun beurt nog eens in drie verschillende groepen onderverdeeld volgens de baan die ze volgen rond de zon. De planetoïden van het *Amor*-type kruisen de Marsbaan maar komen nauwelijks tot de baan van de aarde. De planetoïde *Eros*, waarop de Amerikaanse sonde NEAR is geland, is hiervan een typisch voorbeeld. De *Apollo*-planetoïden en de *Aten*-planetoïden kruisen wel de baan van de aarde.

Volgens sommige schattingen bevinden zich nog eens ten minste 100.000 planetoïden met afmetingen van meer dan 100 km in een baan om de zon voorbij de planeet *Neptunus*, in een gebied dat zich vanaf *Neptunus* (30 AE) uitstrekt tot 100 AE. Een *AE* of *Astronomische Eenheid* is de afstand van de aarde tot de zon, ongeveer 150 miljoen km. Deze *Transneptunianse Objecten*, waarvan het bestaan al tientallen jaren eerder was voorspeld, worden sinds 1992 waargenomen en bevinden zich voornamelijk in een dikke 'band' rond de zon. Deze *Kuiper gordel* wordt

Planetoïden rond andere sterren

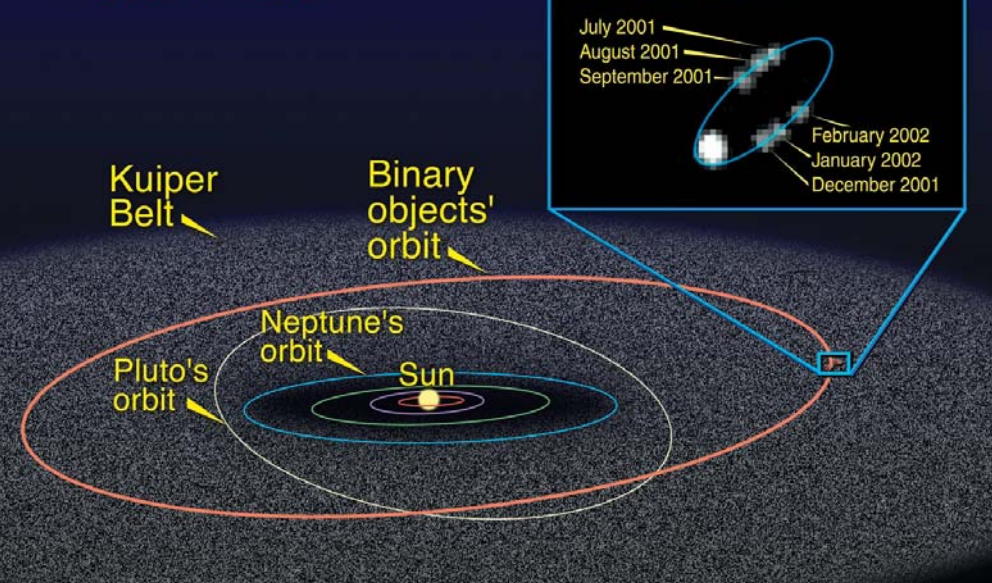
In juni 2001 kondigden astronomen van de *University of California in Los Angeles (UCLA)* aan dat de nabije ster *Zeta Leporis* op een afstand van 70 lichtjaar misschien net zoals de zon een planetoïdengordel heeft. Uit hun onderzoek blijkt dat de deeltjes in de stofring rond *Zeta Leporis*, die al sinds 1983 bekend is, ontstaan doordat een massale hoeveelheid planetoïden tegen elkaar botsen. Ze leiden dat onder meer af uit de temperatuur, de massa en de afstand tot de ster, die amper 50 tot 400 miljoen jaar oud is (tegenover 4,5 miljard jaar voor de zon). Indien *Zeta Leporis* een planetoïdengordel heeft, dan zou de toestand aldaar te vergelijken zijn met de periode waarin ons eigen zonnestelsel ontstond. De onderzoekers willen nu nagaan of de mogelijke planetoïden rond *Zeta Leporis* uit hetzelfde materiaal bestaan als de planetoïden in ons eigen zonnestelsel.

→ Zo zou de planetoïdengordel rond *Zeta Leporis* eruit kunnen zien. (UCLA)



Asteroids?

Kuiper Belt Object 1998 WW31



gezien als de bron van kortperiodieke kometen. Hij is waarschijnlijk voor deze hemellichamen op dezelfde manier een reservoir als de *Oortwolk* voor langperiodieke kometen.

De Kuipergordel lijkt een belangrijk stuk van de puzzel te zijn om de oorsprong en de evolutie van ons eigen zonnestelsel en van zonnestelsels rond andere sterren beter te begrijpen. Het zou kunnen dat schijven van stof rond andere sterren kunnen 'opgevuld' worden door botsingen van gelijkaardige objecten als in de Kuipergordel. Die botsingen kunnen fundamentele aanwijzingen geven over hoe zonnestelsels ontstaan. Omwille van zijn grote afstand tot de aarde is er nog maar weinig bekend over de Kuipergordel. Waarschijnlijk hebben de objecten in de Kuipergordel zowel de kenmerken van planetoïden, die vooral uit rots en metaal bestaan, als van kometen, die vooral uit ijs en stof zijn samengesteld.

De ontdekking van de objecten van de Kuipergordel heeft ook ons beeld van de verre planeet *Pluto* (diameter 2370 km) en zijn in 1978 ontdekte maan *Charon* (1250 km) veranderd. Hoewel *Pluto* zijn status als 'planeet' voorlopig nog behoudt is het systeem *Pluto-Charon* misschien eerder een weliswaar groot maar verder normaal Kuiperobject dan een planetair buitenbeentje. De

Binary objects orbit each other

July 2001
August 2001
September 2001
December 2001
January 2002
February 2002

recente ontdekkingen van alsmaar grotere objecten in de Kuipergordel staven dit denkbeeld. Misschien is ook de ietwat geheimzinnige Neptunusmaan *Triton* een door zijn moederplaneet ingevangen Kuiperobject. Volgens sommige onderzoekers kan *Pluto* naast *Charon* nog andere manen hebben. Ze willen het nagaan voor in januari 2006 de Amerikaanse *New Horizons*-missie naar *Pluto* en de Kuipergordel vertrekt. *'We willen te weten komen of Charon in alle eenzaamheid rond Pluto draait of niet'*, aldus *Alan Stern* die voor het wetenschappelijk succes van de missie verantwoordelijk is.

Planetoïde of asteroïde?

De Engelse term voor planetoïde is *asteroid* en verwijst eigenlijk verkeerdelijk naar sterren. Ook in het Nederlands worden planetoïden wel eens als *asteroïden* aangeduid. In het geval van de steenklompen die rond de zon draaien is de term *planetoïde* of *planeetachtige* meer aangewezen. Planetoïden stralen zelf immers geen licht uit en zijn alleen maar zichtbaar doordat ze het licht van de zon weerkaatsen. In dit dossier wordt dan ook steeds de term *planetoïde* gebruikt.

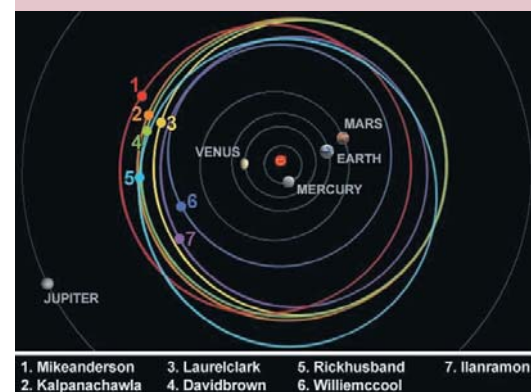
← Voorstelling van de Kuipergordel en de banen van de planeten Neptunus en Pluto en het dubbele Kuiperobject 1998 WW31. (NASA)

Planetoïden genoemd naar bemanningsleden *Columbia*

Net als de zeven bemanningsleden van het ruimteveer *Challenger*, dat op 28 januari 1986 bij de lancering explodeerde, worden ook hun collega's van de *Columbia* vereeuwigd. Commandant *Rick Husband*, piloot *William McCool*, de vluchtspecialisten *Michael Anderson*, *Kalpana Chawla*, *David Brown*, *Laurel Clark* en de Israëlische ladingsspecialist *Ilan Ramon* kwamen op 1 februari bij de terugkeer van de spaceshuttle *Columbia* naar de aarde om het leven.

De *Internationale Astronomische Unie (IAU)* heeft nu een voorstel van het Jet Propulsion Laboratory (JPL) van de NASA in Pasadena, Californië aanvaard om zeven planetoïden naar de astronauten te noemen. Ze werden ontdekt op het *Palomar Observatory* bij San Diego tussen 18 en 21 juli 2001. Ze zijn vijf tot zeven kilometer groot en kregen het nummer 51823 tot en met 51829. Ze kregen als namen *Rickhusband*, *Willemccool*, *Mikeanderson*, *Kalpanachawla*, *Davidbrown*, *Laurelclark* en *Ilanramon*.

↓ De banen van de naar de bemanning van de *Columbia* genoemde planetoïden. (NASA)

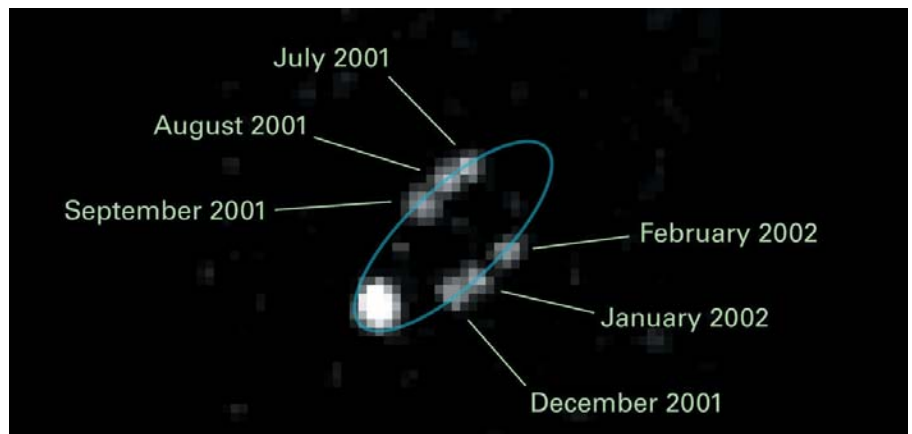
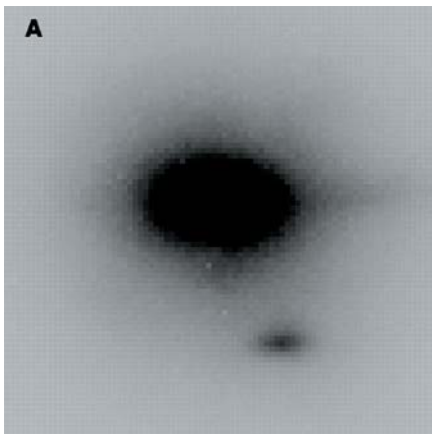


1. Mikeanderson 2. Kalpanachawla 3. Laurelclark 4. Davidbrown 5. Rickhusband 6. Willemccool 7. Ilanramon

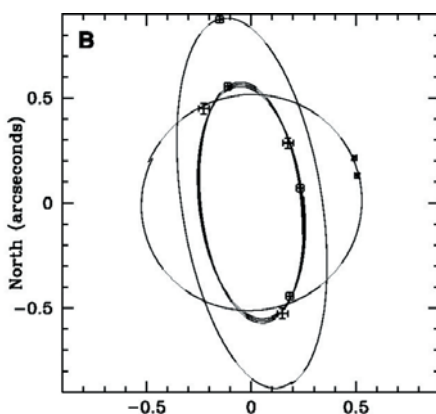
Dossier De kleine leden van ons zonnestelsel

Soms zien sterrenkundigen “dubbel” wanneer ze naar de hemel kijken. Radarbeelden van de NEA-planetoïde 2000 DP107 tonen dat deze eigenlijk uit twee componenten bestaat van ongeveer 800 en 300 meter groot en die rond hun gemeenschappelijk massacentrum draaien. Ze staan op amper drie kilometer van elkaar. Waarschijnlijk komt dit verschijnsel veel voor bij planetoïden die de baan van de aarde kruisen. Naar schatting zijn één op zes Near Earth Asteroids met een diameter van meer dan 200 meter dubbel.

Sterrenkundigen zien “dubbel”



↑ Het dubbele Kuiperobject 1998 WW31, gefotografeerd door de Hubble-ruimtetelescoop in 2001 en 2002. (NASA-STScI)



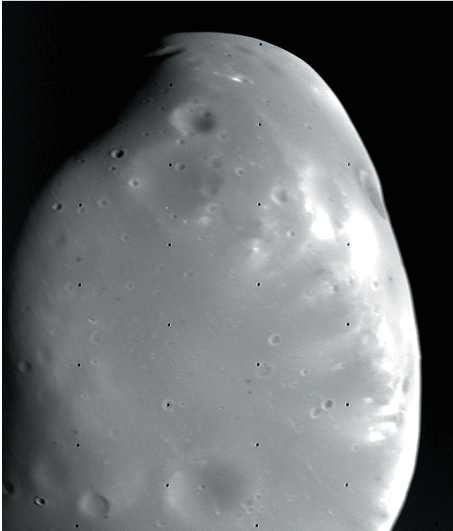
↑ De planetoïde Kalliope en zijn begeleider, gefotografeerd met de W. M. Keck II Telescope op 29 augustus 2001.

Er waren al andere aanwijzingen dat dubbele planetoïden een eerder gewoon verschijnsel zijn. Veel kraters op de maan en de aarde komen immers in paren voor en zijn even oud. En sommige planetoïden zijn niet altijd even helder, wat suggereert dat een component soms een andere bedekt. Misschien zijn de dubbele planetoïden ontstaan tijdens *close encounters* met de aarde, Mercurius, Venus of Mars en braken er bij die gelegenheid stukken af.

2000 DP107 is de eerste bekende dubbele NEA. Hij werd in september 2000 ontdekt

met de 70 meter *Goldstone*-telescoop van de NASA in Californië. Daarna werd hij ook waargenomen vanuit het beroemde *Arecibo Observatory* in Puerto Rico. Zoals de maan bij de aarde houdt de kleinere component steeds dezelfde kant naar de grotere gericht. Ondertussen zijn meerdere dubbele planetoïden gevonden. De ontdekking van dubbele planetoïden en hun waarschijnlijk grote aantal wordt als belangrijk aanzien. Misschien zorgden dubbele inslagen in het verleden wel voor het massaal uitsterven van dieren en planten op onze planeet. Dubbele planetoïden kunnen aanwijzingen geven over hun

Een bijzonder duo: de Marsmaantjes *Phobos* en *Deimos*



↑ Opname van Deimos door het Amerikaanse ruimtetuig Viking 2 (1977). Viking 2 bevond zich op amper 500 kilometer van het kleine Marsmaantje. (NASA)

Waarschijnlijk zijn heel wat manen van planeten in ons zonnestelsel ingevangen planeetoïden. Zo ook misschien de twee kleine in 1877 ontdekte Marsmaantjes *Phobos* en *Deimos*, hoewel daar nog heel wat discussie over is. De conventionele theorieën over het ontstaan van de Marsmaantjes houden ofwel een schending in van de natuurwetten, ofwel verklaren ze niet voldoende de banen waarin de maantjes rond Mars draaien.

Volgens een nieuwe theorie is het duo ontstaan als gevolg van het uiteenvallen van een grote maan die ooit rond de Rode Planeet draaide. Die maan zou door Mars zijn ingevangen tijdens of kort na het ontstaan van de planeet. *Phobos* en *Deimos* zouden dan wel een gelijkaardige samenstelling moeten hebben en het is dan weer niet zeker of dat het geval is.

Veel onderzoekers zien de Marsmaantjes als een interessante bestemming voor toekomstige bemande ruimtemissies naar Mars. Sommige scenario's zien *Deimos* zelfs als een ideaal startpunt, een soort ruimtehaven, voor de verkenning van Mars. *Phobos* draait gemiddeld elke 7 uur en 39 minuten op een hoogte van 5989 km boven het Marsoppervlak en is 27 x 22 x 18 km groot. Over 50 miljoen jaar zal hij op Mars te pletter slaan of door de gravitatiekracht van Mars in stukken worden gebroken en misschien een ring rond Mars vormen. Hij heeft een grote inslagkrater van 10 km, die *Stickney* heet, en is bedekt met een dikke stoflaag. Merkwaardig, want onderzoekers vragen zich af hoe een hemellichaam met nauwelijks enige zwaartekracht dat materiaal kan vasthouden. *Deimos* meet 15 x 12 x 11 km en staat gemiddeld 20.062 km ver van Mars. Hij draait in 30 uur en 18 minuten rond de planeet. *Phobos* en *Deimos* werden in het verleden al van dichtbij gefotografeerd door verschillende ruimtesondes. De op 2 juni 2003 gelanceerde Europese sonde *Mars Express* moet *Phobos* verschillende honderden keren op minder dan 3000 km voorbijvliegen. Op die manier zal voor het eerst een volledige kaart van *Phobos* kunnen worden samengesteld.

fysische eigenschappen. Als een planeetoïde uit twee componenten bestaat dan kan daaruit zijn massa bepaald worden. Uit de massa en de afmetingen volgt dan de dichtheid en die geeft dan weer aanwijzingen over de samenstelling en structuur.

Ook in de Kuiper gordel werden al 'dubbele' objecten waargenomen. Zo draait het komeetachtige duo 1998 WW31 in 301 jaar rond de zon. Ter vergelijking: de verste planeet *Pluto*, die met zijn maan *Charon* zelf een dubbel object is, doet 248 jaar over één baan rond de zon. 1998 WW31 werd onder meer waarge-

nomen met de *Hubble Space Telescope* in een baan om de aarde. Zijn componenten draaien in 570 dagen rond elkaar in een zeer uitgerekte baan. Hoe ze een paar werden is onduidelijk. Misschien zijn ze als een stel ontstaan, of ze zijn het gevolg van een groter object dat in twee brak. Misschien, maar dat is niet zeker, heeft de ene component een diameter van 100 tot 120 km en de andere 120 tot 150 km. De ontdekking van het eerste dubbele object in de Kuiper gordel werd op 16 april 2001 bekendgemaakt. Sindsdien werden nog andere dubbele Kuiperobjecten gevonden, vooral met de Hubble-ruimtetelescoop.

Dossier De kleine leden van ons zonnestelsel

3. Kometen zijn nog grotendeels "terra incognita"

Getuigen uit de buitenste regionen van het zonnestelsel

Ook kometen zijn overblijfselen uit de tijd waarin het zonnestelsel 4,6 miljard jaar geleden ontstond en de planeten vorm kregen. Daarom zijn ze getuigen van de chemische en fysische processen die toen aan het werk waren. Misschien hebben ze een deel van het water in onze oceanen naar de aarde gebracht, een aantal van de gassen in onze atmosfeer en misschien zelfs de moleculen waaruit wijzelf zijn ontstaan. Kometen moeten nog uitgebreid onderzocht worden om al deze hypothesen te kunnen bevestigen.

In november 1997 schreef Fred Whipple die de *vuile sneeuwbal*-theorie in verband met kometen ontwikkelde, naar aanleiding van het Amerikaanse *Stardust*-project: 'Kometen zijn lang een onverkend en braakliggend terrein geweest. Nu weten we dat ze donker en koud zijn en bestaan uit ijs en stof, afkomstig uit de interstellaire wolk waaruit het zonnestelsel ontstaan is. Maar we weten nog weinig over hun samenstelling en ze zijn nog grotendeels terra incognita. Volgens bepaalde astronomen hebben sommige kometen een dichtheid die misschien kleiner is dan de helft van de dichtheid van water. Men zou het materiaal waaruit ze bestaan met de hand kunnen verpulveren. Het blijft zelfs onzeker hoeveel ijs en hoeveel stof ze bevatten. Ik hoop dat kometen terra cognita zullen worden en dat we hun structuur en samenstelling leren kennen!'

In tegenstelling tot de planetoïden zijn de kometen al sinds de oudheid bekend. Soms zijn ze met het blote oog aan de hemel te zien. Ze verschijnen plots, bewegen gedurende een korte tijd aan de hemel en verdwijnen dan weer. Kometen werden door onze voorouders gezien als een slecht voorteken. Er deed zich immers altijd wel een of andere ramp voor - pest, oorlog, overstroming, brand - kort na de verschijning van een *staartster*.

Heel lang dacht men dat kometen een *ondermaans* verschijnsel waren. In 1577 verscheen een heel grote komeet aan de hemel en waarnemers in heel Europa noteerden de veranderende positie van de komeet. *Tycho Brahe* (1544-1601) vond dat de komeet minstens vier keer verder van de aarde verwijderd moest zijn dan de maan. Hoewel niet iedereen het erover eens was, begon in geleerde kringen de mening te overheersen dat kometen hemellichamen waren en geen meteorologisch verschijnsel in de atmosfeer.

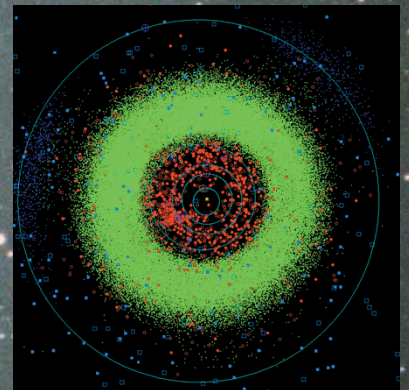


↑ *Isti mirant stella*. De verschijning van de komeet Halley in 1066, afgebeeld op het beroemde wandtapijt van Bayeux.

Maar er bleven nog veel vragen. Welke baan volgen kometen? Wat is hun aard?

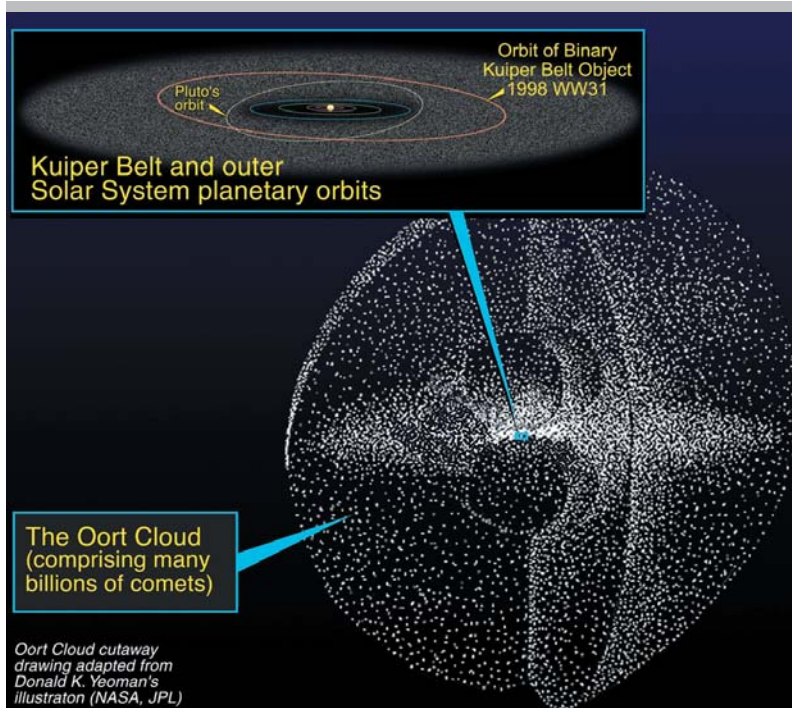
In de 17de eeuw werd er druk over gespeculeerd. In 1623 argumenteerde *Galilei* (1564-1642) dat kometen een optisch verschijnsel zijn. *René Descartes* (1596-1650) dacht dat kometen hemellichamen zijn die van één zonnestelsel naar een ander reizen. *Isaac Newton* (1642-1727) gebruikte in zijn *Principia* (1687) zijn nieuwe gravitatie-theorie om aan te tonen dat de komeet van 1680 in een elliptische baan rond de zon draaide.

↓ Er heerst behoorlijk wat drukte in het zonnestelsel. Het MPC houdt de planetoïden en kometen in de gaten. Op de tekening staat de zon in het midden, de lichtblauwe cirkels zijn de banen van de planeten Mercurius, Venus, aarde, Mars en Jupiter. In het groen zijn de planetoïden van de hoofdgordel tussen Mars en Jupiter aangeduid, de blauwe stippen zijn de Trojanen en de rode de NEO's. De blauwe vierkantjes zijn kometen. (MPC)



Het Minor Planet Center

Het *Minor Planet Center* (MPC) werkt onder auspiciën van de *International Astronomical Union* (IAU). Het is vooral verantwoordelijk voor het efficiënt verzamelen, berekenen, opvolgen en verspreiden van astrometrische waarnemingen en de baangegevens van *planetoïden* en *kometen*. Het MPC ontstond in 1947 aan de Universiteit van Cincinnati, maar er bestond al een voorloper in Duitsland voor en tijdens de Tweede Wereldoorlog. In 1978 kreeg het MPC een nieuwe stek op het *Smithsonian Astrophysical Observatory* (SAO) in Cambridge (Massachusetts), op amper anderhalve kilometer van het hart van de campus van de Harvard University. Het MPC publiceert maandelijks op het internet de *Minor Planet Circulars* met waarnemingsgegevens van kometen en planetoïden en aankondigingen van nieuwe nummers en namen van planetoïden. De *Minor Planet Electronic Circulars* worden gepubliceerd indien nodig en bevatten nieuws over of nieuwe ontdekkingen van planetoïden, zowel objecten die de aarde dicht naderen als planetoïden voorbij de baan van Neptunus. Op een drukke dag verwerkt het MPC meer dan 70.000 waarnemingen. Bij sommige planetoïden zijn waarnemingen gedurende jaren nodig om hun baan nauwkeurig te bepalen. Pas als dat is gebeurd, krijgen ze een officieel nummer.



← Voorstelling van de Oortwolk en de Kuipergordel. Zoals de Kuipergordel wordt gezien als de bron van kortperiodieke kometen brengt de Oortwolk langperiodieke kometen voort. (NASA)

De Britse astronoom *Edmond Halley* (1656-1742) merkte op dat de kometen van 1531, 1607 en 1682 dezelfde waren en besloot dat het om hetzelfde hemellichaam moest gaan. Halley voorspelde dat 'zijn' komeet in 1758 zou weerkeren. Dat was ook het geval, maar hij maakte het zelf niet meer mee. Ook in Chinese geschriften die dateren van 240 voor Christus en op het fameuze tapijt van Bayeux die de slag van Normandië in 1066 uitbeeldt, staat de komeet Halley afgebeeld.

Tot het begin van de 19de eeuw ging de aandacht vooral naar de baan van kometen. Sommige kometen bleken in bijna parabolische banen te bewegen, andere bleven in de binnenste regionen van het zonnestelsel en bereikten ten hoogste de baan van de planeet Jupiter. Daarna ging meer aandacht naar de fysische aard van deze hemellichamen. Halfweg de twintigste eeuw ontstond het beeld van kometen als zeer oude hemellichamen in het zonnestelsel. In 1950 zag *Fred Whipple* (°1906) een komeet als een *vuile sneeuwbal*.

Water in een ander zonnestelsel

Een gordel van misschien wel honderden miljarden kometen is waarschijnlijk de oorzaak van grote hoeveelheden *waterdamp* rond de oude massieve ster *CW Leonis*. De waterdamp ontstaat door verdamping van ijs op het oppervlak van kometen rond de ster en is ontdekt met behulp van een spectrometer aan boord van de NASA-satelliet *SWAS* (*Submillimeter Wave Astronomy Satellite*). De ontdekking, de eerste van water in een mogelijk ander zonnestelsel, ondersteunt het idee dat er buiten ons eigen zonnestelsel leven mogelijk is. Er is wel al eerder water gevonden elders in het heelal, maar niet rond een ster. Misschien levert het CW Leonis-systeem een beeld van wat ons eigen zonnestel in de toekomst te wachten staat want over ongeveer vijf miljard jaar wordt onze zon net als CW Leonis een reuzenster.

↓ Een opmerkelijk beeld van de Hubble-ruimtetelescoop uit 2000 toont dat de kern van de komeet LINEAR herleid is tot een regen van mini-komeetjes, die hoogstens enkele tientallen meter groot zijn. De komeet brak uiteen rond 26 juli 2000. (NASA-STScI)

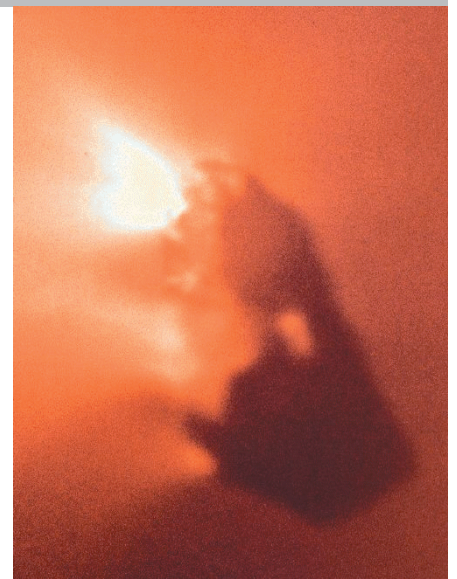
↑ Misschien hebben ook werelden rond andere sterren oceanen? Misschien bevindt zich rond de ster CW Leonis een wolk van kometen zoals de Kuipergordel in ons eigen zonnestelsel waarvan het waterijs verdamp. (NASA)

Jan Hendrik Oort (1900-1992) meende rond dezelfde tijd dat er in de verre regionen van het zonnestelsel 50.000 tot 100.000 keer verder van de zon dan de aarde een 'reservoir' van kometen moest bestaan, de *Oortwolk*. De hemellichamen in dat reservoir staan zo ver van de zon dat hun baan gemakkelijk kan verstoord worden door bijvoorbeeld een passerende ster. Af en toe krijgt een van deze verre kometen aldus een 'duw' naar de binnenste regionen van het zonnestelsel. Sommige komen op de zon terecht, andere passeren één keer rond de zon en komen nooit meer terug. De overige kometen blijven rond de zon draaien met een omlooptijd tussen 20 jaar en een miljoen jaar, afhankelijk van hun nieuwe baan. De Oortwolk wordt gezien als de bron van langperiodieke kometen (met een omloopbaan van meer dan 200 jaar) en van sommige kortperiodieke kometen (met een omloopbaan van minder dan 200 jaar).

Volgens schattingen zouden er zo'n triljoen kometen bestaan. Maar waarom zien we er

dan zo relatief weinig? Een verklaring is dat kometen, eenmaal hun vluchtige gassen zijn uitgeput, planetoïden worden. Maar daarvoor worden dan weer te weinig planetoïden ontdekt. Een nieuwe studie suggereert dat 99% van de kometen in stukken breekt, zoals dat bijvoorbeeld is gebeurd met de komeet *LINEAR* in 2000. Kometen die ontstaan in de meer nabije Kuiper gordel zouden dan weer minder vaak uiteenvallen. Ze hebben misschien een andere samenstelling dan de exemplaren die hun oorsprong in de Oortwolk hebben.

De ruimtesonde *ICE*, die in 1985 de komeet *Giacobini-Zinner* onderzocht en vooral de Europees-Japans-Russische armada van ruimtesondes naar de komeet Halley in 1986 leverden de eerste *in situ* waarnemingen van kometen op. Ze leverden nieuwe inzichten, maar ook nieuwe vragen. Het vuile sneeuwbal-model van Whipple bleek vrij goed te beschrijven wat kometen zijn. Ze bestaan uit een mengsel van ijs en stof, afkomstig van het ontstaan van het zonnestelsel.



↑ Deze foto is ruimtevaartgeschiedenis: de kern van de beroemde komeet Halley, op 14 maart 1986 gefotografeerd door de Europese ruimtesonde Giotto. (ESA)

Meteoroïden, meteorieten en *meteoren*

Het zonnestelsel heeft naast de zon, de planeten, de manen, de kometen en de planetoïden nog andere kleine leden: *meteoroiden* en *stofdeeltjes*. De meeste meteoroiden zijn heel klein en zijn waarschijnlijk ontstaan bij botsingen van planetoïden, maar hierover is nog veel discussie. De grens tussen wat precies een meteoroïde en een planetoïde is, is vrij wazig. Wanneer is een kleine planetoïde een meteoroïde of een grote meteoroïde een planetoïde? Sommige meteoroiden zijn in ieder geval voldoende groot om het aardoppervlak te bereiken wanneer ze in onze atmosfeer terechtkomen. De teruggevonden brokstukken noemt men *meteorieten*. Volgens hun samenstelling zijn ze in drie groepen onder te verdelen: *steenmeteorieten*, *ijzermeteorieten* en *steenijzermeteorieten*. Bij de meeste meteorieten is het moeilijk te achterhalen wat hun oorsprong is. Van sommige is omwille van hun heel bijzondere samenstelling geweten dat ze zo goed als zeker ooit deel uitmaakten van de planetoïde *Vesta*.

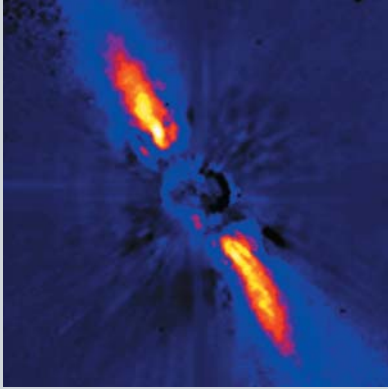
Een meteor of *vallende ster* (hoewel het verschijnsel niets met sterren te maken heeft) ontstaat wanneer een minuscule stofdeeltje in de atmosfeer duikt en een lichtend spoor trekt. Naar schatting komen per dag zo'n 25 miljoen meteoren in de atmosfeer terecht die met het blote oog kunnen gezien worden. Wanneer de aarde door de baan van een komeet passeert zien wij soms een heuse *meteorenregen*, afkomstig van losgekomen stofdeeltjes van een komeet. Sommigen meteorienregens komen jaarlijks rond dezelfde periode terug. De bekendste meteorienregen is die van de *Perseïden* rond 11 augustus. De aarde passeert dan door de baan van de komeet *Swift-Tuttle*.



↑ Deze meteoriet is afkomstig van de planetoïde Vesta. (NEMS)

↓ De stofschijf rond Beta Pictoris levert aanwijzingen voor een systeem van planeten rond de ster. (ESO)

Kometen rond andere **sterren**



In 2001 maakten onderzoekers bekend dat ze bewijzen hadden gevonden van de recente 'geboorte' van miljoenen kometen rond de nabije zeer jonge ster *Beta Pictoris* op een afstand van 60 lichtjaar van de aarde. Eerder hadden ze al aanwijzingen gevonden van het ontstaan van planeten rond *Beta Pictoris*. Het onderzoek werd uitgevoerd door een internationaal team van sterrenkundigen op basis van waarnemingen van de NASA-satelliet *Far Ultraviolet Spectroscopic Explorer (FUSE)*.

Evolueren **kometen** toch?

Volgens een nieuw rapport zouden kometen toch niet helemaal primitieve en onaangepaste getuigen zijn uit de beginperiode van het zonnestelsel. Volgens *Alan Stern* van het *Southwest Research Institute* in Boulder, Colorado in de Verenigde Staten ondergaan kometen een aantal weliswaar kleine maar toch belangrijke veranderingen. Passerende sterren, interstellair stof en zelfs explosies van ver verwijderde sterren zouden het oppervlak van een komeet en hun inwendige structuur tot een diepte van wel 20 meter kunnen veranderen. Het idee dat kometen toch wel kunnen evolueren bestaat al zo'n dertig jaar, maar deze theorie krijgt de laatste jaren met de toenemende kennis over deze hemellichamen steeds meer aanhang.

Komeetachtige **planetoïden** en planetoïdeachtige **kometen**

Het is niet altijd duidelijk wanneer een hemellichaam als komeet of planetoïde moet beschouwd worden. Met onze voortschrijdende kennis wordt de grens tussen beide steeds vager. Zo was de komeet *Shoemaker-Levy 9*, die met Jupiter botste, misschien eerder een planetoïde. Hoewel kometen en planetoïden een verschillende oorsprong hebben, vertonen ze anderzijds een aantal gelijkenissen zoals hun weerkaatsend vermogen en hun afmetingen. Een duidelijk kenmerk van een komeet is zijn staart, maar veel kometen hebben geen staart. Anderzijds zijn er planetoïden die zich als kometen gedragen. Ook de baan is geen referentie. Vroeger werden zeer elliptische banen met kometen geassocieerd, maar er zijn nu planetoïde-achtige objecten gevonden, zoals *Pholus*, die in een dergelijke baan rondraaien.

Een zeer mysterieus hemellichaam is *Chiron*, op 1 november 1977 ontdekt door *Charles Kowal*. *Chiron* is enerzijds net als kometen omgeven door een wazige coma van gas en stof, maar zijn afmetingen van rond 200 km maken hem eerder tot een planetoïde. Verder lijkt hij nog maar ten hoogste een paar miljoen jaar in zijn huidige sterk elliptische baan - ruwweg tussen de planeten Saturnus en Uranus - rond te draaien. Ondertussen zijn nog andere objecten als *Chiron* gevonden. Ze worden *Centaurs* genoemd, naar de half mens- en half paardachtige wezens uit de Griekse mythologie. Misschien zijn de *Centaurs* objecten die uit de Kuipergordel 'ontsnapt' zijn.

Sommige planetoïden zijn waarschijnlijk 'uitgedoofde' kometen. Misschien was bijvoorbeeld planetoïde *Phaethon* vroeger een komeet. Hij is verantwoordelijk voor de *Geminiden*-meteorregen. Dit lijkt ongewoon te zijn voor een planetoïde. Of *Phaethon* een komeet of een planetoïde is zal misschien pas duidelijk worden wanneer het bijzondere hemellichaam ooit door een ruimtesonde van nabij kan worden bestudeerd.

Maar sommige exemplaren kunnen echter beter als een ijzige bal van stof dan als een vuile sneeuwbal omschreven worden. 'We ontdekten dat een komeet niet echt een vuile sneeuwbal is aangezien hij vooral uit stof en minder uit ijs bestaat', zegt *Horst Uwe Keller* van het Duitse *Max Planck Institut für Aeronomie*. 'In plaats van bolvormig te zijn zoals een warme sneeuwbal is een komeetkern uitgerekt. De structuur van het binnenste van een komeet bestaat dus eerder uit stof dan uit ijs.'

Wanneer kometen in de buurt van de zon komen worden ze actief en nemen ze hun typische vorm als staartster aan. De eigenlijke komeet wordt gevormd door een kern van vast materiaal, die vooral uit ijs en stof bestaat. Hij wordt aan het oog onttrokken door een dichte wolk van water, koolstof-

dioxide en andere gassen die de *coma* wordt genoemd en een uiterst ijle *waterstofwolk* met een diameter van miljoenen kilometer. Heel typisch is de *staart* van de komeet. Die kan wel 10 miljoen km lang worden en bestaat uit stofdeeltjes die vanuit de kern door ontsnappend gas naar buiten worden gestoten. Bij heldere kometen is deze staart heel duidelijk met het blote oog te zien. Verder is er nog een *gasstaart* van plasma van wel 100 miljoen km lang.

Telkens wanneer een komeet in de buurt van de zon passeert verdampt een deel van het ijs. Uiteindelijk blijft een planetoïde-achtig object over. Waarschijnlijk zijn een groot deel van de planetoïden die de aarde dicht naderen dergelijk 'dode' kometen. Soms komt een komeet op een heel dramatische wijze aan zijn einde door als een kamikaze op de

zon te storten. Zo sloeg komeet *Shoemaker-Levy 9* in 1994 in op de planeet Jupiter. Dat leverde heel dramatische beelden op.

Kometen verbergen nog veel geheimen. *'We hebben over kometen meer theorieën dan feitelijke kennis'*, aldus *Joseph Veverka*, hoofdonderzoeker van het Amerikaanse komeetproject *Contour*. Zo toonde de flyby van de Amerikaanse sonde *Deep Space 1* voorbij de komeet *Borrelly* aan dat deze komeet een

heet en droog oppervlak heeft. *Deep Space 1* vond geen bevroren water op het oppervlak van de komeet. *'Het verbaasde ons dat we geen sporen van waterijs op het oppervlak vonden'*, zegt *Laurence Soderblom* van de U.S. Geological Survey. *'We weten dat het ijs er wel is, maar het zit verborgen onder het oppervlak.'* Het onderzoek van de komeet *Borrelly* is slechts één voorbeeld van de verrassingen die het komeetonderzoek ongetwijfeld nog voor ons in petto heeft.

Kosmische *tankstations* en waterputten

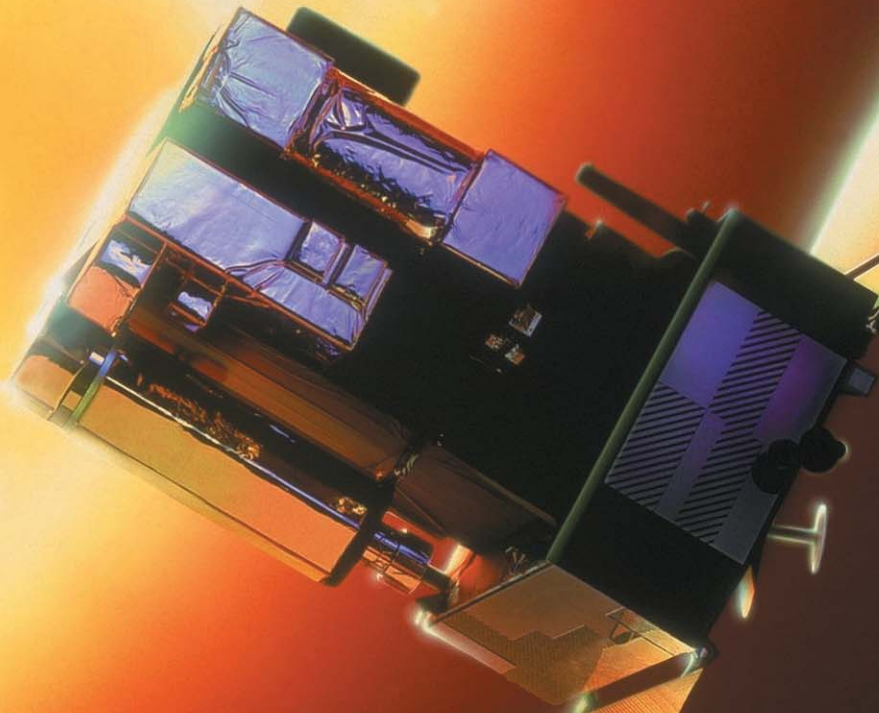
Kometen kunnen een belangrijke rol spelen bij de toekomstige kolonisatie van het zonnestelsel door de mens. Dat denkt *Donald Yeomans* van het *NASA Jet Propulsion Laboratory (JPL)* in Pasadena in Californië. *'Wanneer we het zonnestelsel willen koloniseren hebben we ruwe materialen nodig om structuren in de ruimte te bouwen. En we zullen water nodig hebben. De massa van een komeet bestaat voor de helft uit water. Dat kan je opsplitsen in waterstof en zuurstof en die kunnen als raketbrandstof gebruikt worden'*, aldus *Yeomans*. *'Ooit kunnen kometen dus dienst doen als tankstations en waterputten bij interplanetaire kolonisatie.'*



↑ Toekomstige expeditie naar Mars. Misschien zorgen kometen ooit voor raketbrandstof. (ESA)

Kamikaze-kometen : sungrazers en sunstrikers

Sungrazers zijn kometen die heel dicht in de buurt van de zon terechtkomen. Satellieten voor waarneming van de zon zoals *SOHO* hebben al honderden sungrazers ontdekt. Af en toe nemen ze een *sunstriker* waar die op de zon terechtkomt. Sommige kometen vallen voor het zover is in stukken uiteen. De Duitser *Carl Heinrich Friedrich Kreutz* (1854-1907) merkte op dat verschillende kometen die de zon dicht naderen gelijkaardige baanelementen hadden. Deze zogenaamde *Kreutz*-groep van sungrazers is waarschijnlijk afkomstig van een enorme moederkomeet, misschien de komeet die volgens de Griekse astronoom *Ephorus* in 372 voor Christus in twee stukken brak die later nog verder uiteenvielen. De moederkomeet was misschien wel 100 km groot, 10 tot 20 keer groter dan een gewone komeet, waarmee het een reus onder de kometen zou geweest zijn. De heldere komeet *Ikeya-Seki* uit 1965 was ook een lid van deze groep. De meeste *Kreutz*-kometen werden ontdekt door *SOHO*.



↑ *SOHO* bevindt zich op 1,5 miljoen kilometer van de aarde en bekijkt vanuit die positie permanent de zon. Het project is een samenwerking tussen *ESA* en de *NASA*. De satelliet werd gebouwd in Europa. (*ESA*)