

Rosetta, op reis met een komeet

TWEE JAAR KOMEET 67P/CHURYUMOV-GERASIMENKO VANOP 10 TOT 200 KM AFSTAND

Herbert Gunell
en Frederik Dhooghe

In maart 2004 lanceerde het Europees Ruimte Agentschap (ESA) de ruimtesonde Rosetta. Pas na een lange reis van tien jaar, is ze in augustus 2014 eindelijk dicht bij komeet 67P/Churyumov-Gerasimenko aangekomen. Het landertje Philae, dat zich aan boord van Rosetta bevond is in november datzelfde jaar op de komeet geland. De Rosetta-missie kwam ten einde op 30 september 2016 met een gecontroleerde botsing van de sonde met de komeet. Rosetta heeft vele wetenschappelijke resultaten opgeleverd.

Kometen

Af en toe verschijnen hemellichamen met lange staarten, zogenaamde kometen, aan de nachthemel. De witte brede stofstaart die het makkelijkst te zien is bestaat voornamelijk uit deeltjes met een grootte van rond de 100 μm . Deze deeltjes verstrooien het zonlicht dat er op valt en het verstrooide zonlicht kunnen we vanop aarde zien. De stofdeeltjes worden door stralingsdruk van de zon van de komeetbaan weggeduwd, en vormen zo de brede stofstaart. Figuur 1 toont de komeet Hale-Bopp die in 1997 met het blote oog kon worden waargenomen. De brede witte stofstaart is onderaan op de foto te zien.

Naast deze stofstaart is er ook een lange blauwe staart die de ionenstaart wordt genoemd. Deze staart is niet zo breed omdat de geladen deeltjes (ionen) de stralingsdruk niet voelen en dus ook niet worden weggeduwd. Maar omdat kometen zich, net als de planeten en de andere lichamen in het zonnestelsel, in de zonnwind bevinden (d.i. het plasma dat met een snelheid van 400 km/s uit de zon vrijkomt) werken op deze geladen deeltjes elektrische en magnetische krachten.

Kometen kunnen voorgesteld worden als bevroren vuile sneeuwballen van enkele kilometer groot. Sinds het ontstaan van ons zonnestelsel bevinden deze zich in de Kuiper gordel die zich buiten de baan van Neptunus bevindt en de Oortwolk, die verondersteld wordt zich aan de rand van ons zonnestelsel te bevinden. Af en toe verhuist één of

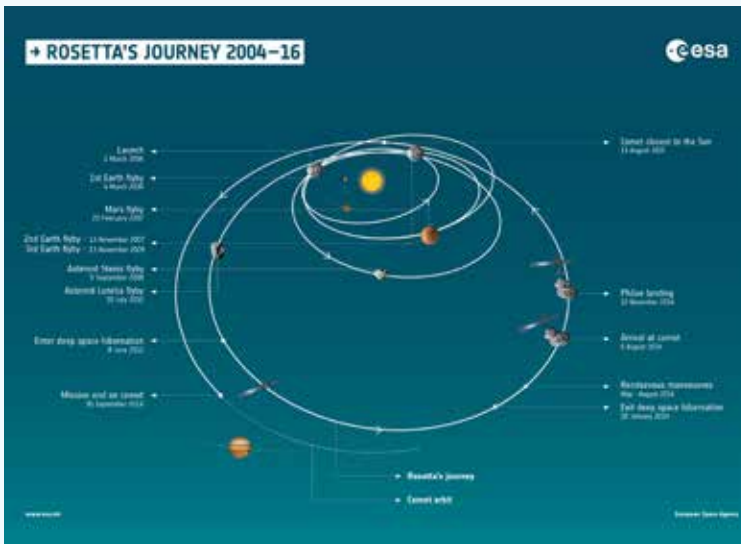
Figuur 1: Komeet Hale-Bopp op 14 maart 1997 met stof- en ionenstaart. © ESO/E. Slawik



meerdere van deze kometen naar het binnenste van ons zonnestelsel waarbij ze door de zwaartekracht van Jupiter in een baan rond de zon terechtkomen. Wanneer zo een lichaam dicht bij de zon komt, warmt deze op door het zonlicht en komt er gas vrij dat stofdeeltjes met zich meeneemt.

Rosetta

Omdat ze sinds hun ontstaan miljarden jaren geleden ver van de zon in bevroren toestand bewaard zijn gebleven, zijn kometen de lichamen die het minst veranderd zijn in ons zonnestelsel. Kometen onderzoeken kan ons daarom helpen beter te begrijpen wat er al die tijd geleden gebeurde. Sinds 1980 werden enkele kometen waaronder ook de beroemde komeet Halley onderzocht met ruimtesondes. Al deze ruimtesondes zijn allemaal met grote snelheid dicht voorbij de komeet gevlogen (een zogenaamde fly-by) waardoor de sondes maar enkele uren dicht bij de komeetkern konden blijven.



Figuur 2: Het traject van Rosetta vanaf de aarde tot komeet 67P/Churyumov-Gerasimenko. © ESA



Figuur 3: De ruimtesonde Rosetta. © ESA



Figuur 4: De kern van komeet 67P/Churyumov-Gerasimenko op een opname van 14 juli 2015. © ESA

In maart 2004 heeft ESA zijn ruimtesonde Rosetta gelanceerd. Gedurende haar reis van tien jaar naar de komeet werd de snelheid van Rosetta verhoogd door gebruik te maken van de gravitatie van planeten. Hierbij passeerde ze eenmaal dichtbij Mars en drie maal dichtbij de aarde. Op deze manier kreeg Rosetta een snelheid die dichtbij deze van de komeet lag en kon ze de komeet traag naderen en in een berekende baan rond de komeet worden gebracht. De reis van Rosetta is te zien in figuur 2. In augustus 2014 is Rosetta eindelijk zeer dicht (100 km) bij komeet 67P/Churyumov-Gerasimenko (67P) aangekomen. Rosetta is bij de komeet gebleven tot 30 september 2016, toen ze op de komeet is neergedaald.

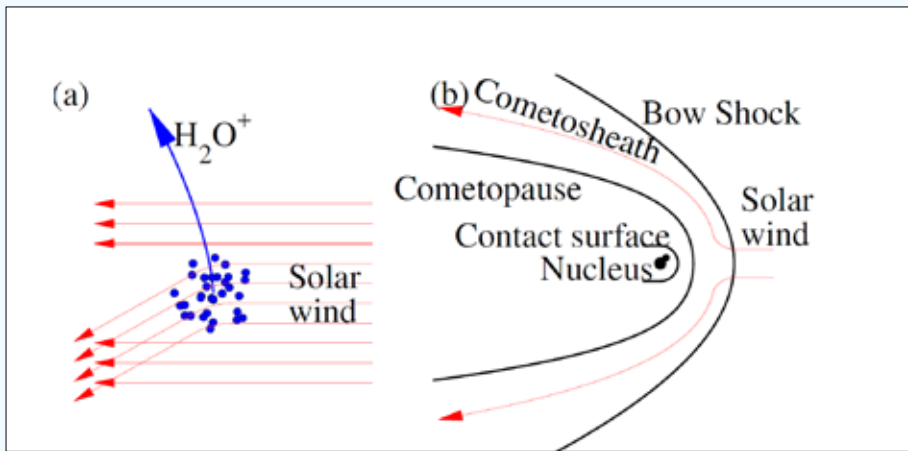
De ruimtesonde Rosetta wordt getoond in figuur 3. Grote zonnepanelen staan in voor de elektriciteitsvoorziening van Rosetta en haar instrumenten tot een afstand van wel 4.5 maal de gemiddelde afstand aarde-zon. Aan één zijde van Rosetta is de lander Philae zichtbaar. Philae is in november 2014 naar de komeetkern afgedaald. Na tot twee keer toe van het komeetoppervlak omhoog te zijn gestuiterd, is Philae neergekomen op een plaats waar zijn zonnepanelen niet voldoende door de zon werden belicht. Daarom heeft de lander slechts gedurende 60 uur kunnen werken tot uitputting van zijn batterijen. De sonde zelf heeft gedurende meer dan twee jaar de komeet bestudeerd.

De komeet 67P/Churyumov-Gerasimenko

67P/Churyumov-Gerasimenko werd ontdekt in 1969 en is een komeet uit de Kuiper gordel. Het is ook een komeet uit de Jupiterfamilie omdat de baan die ze beschrijft bepaald wordt door de gravitatiekracht van Jupiter. Toen Rosetta voldoende dicht bij de komeetkern kwam om deze te fotograferen stelde men vast dat ze een vreemde vorm had: de tweeledige vorm van de komeetkern liet ons denken aan een badeendje! (Figuur 4). De grote vraag was dan ook of de vorm het resultaat was van een botsing tussen twee lichamen, of het een enkel lichaam was waarbij door niet-gelijkmatige sublimatie van de kern de nek van het eendje werd gevormd. Door zorgvuldig de foto's van de komeetkern te onderzoeken kon een antwoord op deze vraag worden gegeven. De breuklijnen op de kern tonen aan dat twee lichamen onder invloed van hun zwaartekracht samen zijn gekomen waarbij de komeetkern werd gevormd.

Moleculaire zuurstof (O₂)

Een van de instrumenten aan boord van Rosetta is ROSINA (Rosetta Orbiter Spectrometer for Ion and Neutral Analysis). Het Koninklijk Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA) heeft enkele delen van dit instrument gebouwd. Het is ontwikkeld om de gassenstelling van de komeet atmosfeer (ook wel coma genoemd) te meten. In de coma zit vooral waterdamp, maar af en toe worden ook grote hoeveelheden koolstofdioxide gemeten. ROSINA ontdekte ook moleculaire zuurstof O₂ in de coma van komeet 67P [Bieler et al.(2015)]. Dit kwam als een complete verrassing. De gemiddelde concentratie in de coma ligt op 4% in verhouding tot water. Op aarde is de belangrijkste bron van moleculaire zuurstof fotosynthese door groene planten. Een komeet bestaat uit ijs en stof en er zijn geen groene planten aanwezig die voor zuurstof kunnen zorgen. Daarom moet moleculaire zuurstof op de komeet een compleet andere oorsprong hebben dan op aarde. Dissociatie



Figuur 5: De wisselwerking tussen een komeet en de zonnwind. (a) Massatransfer bij een komeet ver van de zon. (b) Zones die in het plasma ontstaan voor een komeet met verhoogde activiteit.

van water door kosmische straling kan O_2 molecules vormen, maar deze straling dringt slechts tot enkele meter onder het oppervlak door. Daarom kan dit proces enkel O_2 vormen in de bovenste laag van het oppervlak. Sinds de jaren 50, toen 67P in zijn bestaande baan terechtkwam, zal dit laagje al compleet verdwenen zijn door sublimatie. Voor de jaren 50 was de komeet te ver van de zon weg om veel van zijn massa te verliezen door sublimatie. De enige verklaring is dan ook dat moleculaire zuurstof al aanwezig moet zijn geweest bij de vorming van ons zonnestelsel.

Kometen en planeten

Het lot van al het gas dat uit de komeet komt is dat het wordt geïoniseerd door UV-straling van de zon, door ladingsoverdracht door botsingen of door botsingen met elektronen. Deze ionen zijn niet alleen zichtbaar in de ionenstaart (figuur 1), maar ze interageren ook met neutrale deeltjes door middel van botsingen en met de zonnwind door de elektrische en magnetische velden die deze met zich meebrengt. Ver van de zon bestaat de interactie tussen ionen van de komeet en de zonnwind vooral uit massaoverdrachten. De zonnwind wordt door de massa van nieuw gevormde kometaire ionen geladen. Deze ionen worden door de zonnwind meegenomen en de zonnwind zelf wordt afgebogen door de wet van behoud van impulsmoment (figuur 5a). Als de komeet dicht bij de zon komt vormen zich grenzen tussen verschillende regio's in het plasma rond de komeet. Dit proces is vergelijkbaar met wat zich rond planeten afspeelt, in het bijzonder niet gemagnetiseerde planeten zoals Mars en Venus, die door hun eigen geïnduceerde magnetosfeer worden omringd en zones vormen waarbij de aanwezigheid van de planeet het magnetisch veld van de zonnwind ernstig verstoort. Figuur 5b toont een schema met de grenzen in het plasma voor een komeet met een hoge activiteit (=productie van gas). Het volgen van 67P tijdens zijn reis rond de zon heeft ons eindelijk de mogelijkheid gegeven om de wisselwerking tussen de zonnwind en een komeet met een lage activiteit gedomineerd door massaoverdracht te bestuderen [Nilsson et al.(2015)], en na te gaan hoe de grenzen in het plasma rond de komeet veranderen terwijl de ko-

meetactiviteit groter wordt door het naderen naar de zon.

Het einde van de missie

Op 30 september 2016 heeft ESA Rosetta op de komeet laten neerkomen. ESA heeft deze optie gekozen om nog zoveel mogelijk informatie te vergaren terwijl Rosetta nog werkte. Rosetta was namelijk samen met de komeet terug op weg naar het verste punt van de komeetbaan. Ver van de zon zou het zonlicht dat op de zonnepanelen terechtkomt niet voldoende meer zijn om de werking van de ruimtesonde te garanderen. Terwijl de sonde naar het komeetoppervlak neerdaalde hebben we heel dicht bij het komeetoppervlak kunnen meten, wat in normale omstandigheden nooit zou zijn gelukt.

Een komeet draagt een boodschap van het ontstaan van ons zonnestelsel met zich mee. Om de boodschap te kunnen lezen, moeten we begrijpen hoe een komeet werkt en wat er in de miljarden jaren sinds zijn vorming mee is gebeurd. Een komeet kan ook gebruikt worden om de wisselwerking atmosfeer-magnetosfeer van planeten beter te begrijpen: door de verandering in afstand van de zon is een komeet als het ware een laboratorium. De missie mag dan ten einde zijn, maar de gegevens van Rosetta zullen nog voor lange tijd een bron van onderzoek zijn.

Referenties

- [Bieler et al.(2015)] Bieler, A., et al. (2015), Abundant molecular oxygen in the coma of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko, *Nature*, 526, 678{681, doi: 10.1038/nature15707.
- [Nilsson et al.(2015)] Nilsson, H., et al. (2015), Birth of a comet magnetosphere: A spring of water ions, *Science*, 347 (6220), doi: 10.1126/science.aaa0571.

De auteurs

Herbert Gunell en Frederik Dhooghe (Koninklijk Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie - BIRA)