

Artist's impression van de ruimtesonde JUICE in een baan rond Ganymedes.
© Spacecraft: ESA/ATG medialab; Jupiter: NASA/ESA/J. Nichols (University of Leicester); Ganymede: NASA/JPL; Io: NASA/JPL/University of Arizona; Callisto and Europa: NASA/JPL/DLR

De JUICE-missie

De ontdekking van Jupiters ijsmanen

Marie Yseboodt, Rose-Marie Baland, Özgür Karatekin en Tim Van Hoolst

14 april 2023, 9.14 uur plaatselijke tijd Kourou. Vier, drie, twee, één, go! Aan de kust van de Stille Oceaan stijgt de Ariane 5-raket op van de Europese ruimtebasis in Frans-Guyana met een kostbare lading: de ruimtesonde JUICE, een acroniem voor Jupiter Icy Moons Explorer, van de Europese Ruimtevaartorganisatie ESA. JUICE begint aan een lange reis naar Jupiter en zijn ijsmanen.

Om zover te raken moesten veel uitdagingen worden overwonnen sinds de missie in 2012 werd geselecteerd. Het heeft elf jaar geduurd om de sonde en zijn geavanceerde instrumenten te ontwikkelen en te bouwen. De voorbereidingen en assemblage moesten worden uitgevoerd tijdens een pandemie en op het laatste moment werd de lift-off met 24 uur uitgesteld vanwege het weer.

Fascinerende werelden

Al deze moeilijkheden zijn de moeite waard geweest. JUICE zal de eerste ruimtesonde worden die in een baan om een an-

dere maan, Ganymedes, dan de onze draait. Met een straal van 2634 km (ongeveer 40% van de straal van de aarde) is Ganymedes de grootste maan van Jupiter en van het zonnestelsel, en zelfs groter dan de planeet Mercurius.

In 1610 richtte Galileo zijn telescoop op Jupiter en ontdekte vier manen die een regelmatig ballet rond de gasreus uitvoeren. Ze zijn vernoemd naar enkele van de amoureuze veroveringen van Zeus/Jupiter: Io, Europa, Ganymedes en Callisto. Ze worden ook wel de Galileïsche manen genoemd, ter ere van hun ontdekker. Ze draaien in een baan met perioden variërend van 1,8 dagen voor Io tot 16,7 dagen voor Callisto.

Omdat Io heel dicht bij Jupiter staat, is het onderhevig aan sterke getijdenkrachten, die verantwoordelijk zijn voor het aanhoudende vulkanisme dat op het oppervlak wordt waargenomen. Ondanks het onbetwistbare wetenschappelijke belang van Io, zal JUICE Io niet naderen om de intense straling van Jupiters magnetische veld te vermijden. De JUICE-sonde zal ook slechts twee keer dicht langs de tweede maan, Europa, gaan om de tijd te beperken die de sonde doorbrengt in de buurt bij Jupiter waar er gevaar is voor elektronische apparatuur.

Europa, Ganymedes en Callisto zijn ijsmanen. Hun koude oppervlak bestaat uit bevroren water, maar enkele tientallen of honderden kilometers onder het ijs ligt een oceaan van vloeibaar water verborgen. De Amerikaanse sonde Galileo (1995-2003) leverde indirect bewijs voor de aanwezigheid van een globale oceaan van zout water in Europa en Ganymedes, en misschien ook in Callisto. Dit gebeurde vooral via metingen van het magnetische veld in de buurt van de manen. De JUICE-waarnemingen zullen ons in staat stellen om de aanwezigheid van deze vloeistoflagen te bevestigen, en vooral om hun kenmerken te bepalen: diepte, dikte, samenstelling, zoutgehalte, viscositeit, enz.

Voor Europa voorspellen modellen van de interne structuur een vloeibare waterlaag die onderaan begrensd wordt door rotsen. Dat maakt het mogelijk dat mineralen opgenomen worden in het water. Naast deze bron van mineralen is de rotsmantel ook een bron van energie. Als deze situatie erg lang kan bestaan vormt deze oceaan een gunstige omgeving voor het ontstaan van leven. De kans op leven is minder gunstig voor Ganymedes omdat zijn oceaan ingeklemd ligt tussen twee lagen ijs. De JUICE-sonde zal deze ijswerelden onderzoeken om hun interne structuur te begrijpen en hun levensvatbaarheid vast te stellen, maar is niet uitgerust met instrumenten om naar leven te zoeken.

Europa heeft heel weinig inslagkraters wat aantoont dat het oppervlak heel jong is, hoogstwaarschijnlijk niet ouder dan ongeveer 100 miljoen jaar. Het oppervlak vertoont veel tektonische kenmerken die waarschijnlijk veroorzaakt worden door grote getijden die opgewekt worden door gravitationele interactie met Jupiter. De Hubble-ruimtetelescoop heeft geisers van waterdamp ontdekt die in de ruimte ontsnappen.

Lancering van de JUICE-sonde aan boord van een Ariane-raket in Kourou.
© ESA - S. Corvaja



Het oppervlak van Ganymedes is over het algemeen ouder (een paar miljard jaar). Het heeft een mix van oude inslagbekkens en recentere kraters, met landschappen die gedomineerd worden door tektonische processen. Het heeft zijn eigen magnetische veld, waarschijnlijk opgewekt door zijn vloeibare metalen kern, zoals de aarde en Mercurius.

Het oppervlak van Callisto is erg oud en heeft het meeste inslagkraters van alle objecten in het zonnestelsel. Het oppervlak bevat daarom nog informatie over de vorming van het Joviaanse systeem. Callisto is ongeveer even groot als Mercurius, maar de gemiddelde massadichtheid is drie keer kleiner. Zijn diepe binnenste is misschien niet gedifferentieerd in een ijzerkern en rotsmantel zoals de andere twee manen en zou kunnen bestaan uit een mengsel van ijs, gesteente en ijzer.

Een complexe baan

Een sonde van 2,4 ton naar Jupiter sturen en tegelijkertijd de hoeveelheid brandstof aan boord beperken is geen sinecure. De baan van JUICE omvat daarom een aantal flyby-manoeuvres om brandstof te besparen. Er zijn drie flybys van de aarde gepland, waarvan de eerste in augustus 2024 de allereerste zwaartekrachtsslinger tussen de aarde en de maan zal zijn. Na de flyby van Venus in 2025 en de twee verdere flybys van de aarde, zal de sonde aankomen in het Joviaanse systeem in juli 2031.

Van 2031 tot 2034, zal JUICE rond Jupiter draaien en vijfendertig keer dicht langs Europa, Ganymedes en Callisto vliegen. De sonde zal uiteindelijk in december 2034 in een baan gebracht worden rond Ganymedes en vanaf dan enkele maanden rond Ganymedes draaien. De meeste metingen zullen gebeuren op een hoogte van 5000 km en 500 km. De duur van de baanfase hangt af van de hoeveelheid resterende brandstof. De missie zal eindigen met een inslag op het oppervlak van Ganymedes.

De sonde en zijn instrumenten

Het Franse industriebedrijf Airbus is gekozen om de sonde te ontwikkelen en te bouwen. Het voortstuwingssysteem bestaat uit twee brandstoftanks in titanium, een hoofdcraketmotor en 20 kleine stuw-

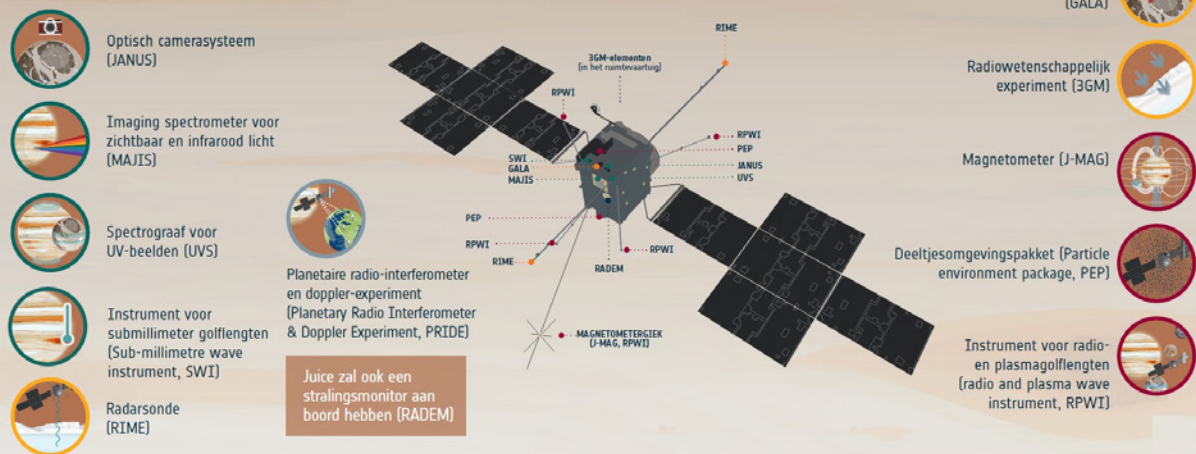
De maan Ganymedes gefotografeerd door de Amerikaanse sonde Galileo.
© NASA/JPL



JUICE'S WETENSCHAPPELIJKE INSTRUMENTEN

Juice heeft tien geavanceerde instrumenten aan boord, waaronder de meest krachtige teledetectie-, geofysische en in-situ instrumenten die ooit naar de buitenste delen van het zonnestelsel zijn gevlogen. Negen instrumenten staan onder leiding van Europese partners en één onder leiding van NASA. Een ander onderdeel van Juice is een experiment met de naam PRIDE, waarbij precisie metingen zullen worden uitgevoerd met behulp van radiotelescopie op aarde.

● In situ-instrumenten ● Teledetectie-instrumenten ● Geofysische instrumenten ● Experiment



JUICE en zijn instrumenten. © ESA (acknowledgement: work performed by ATG under contract to ESA), CC BY-SA 3.0 IGO

raketten. Het telecommunicatiesysteem werkt in X- en Ka-band en maakt gebruik van een vaste 'high-gain' antenne met een diameter van 2,54 meter en een bestuurbare 'medium-gain' antenne.

Het ontwerp van de sonde was onderworpen aan een aantal technische beperkingen. Ten eerste vereisen de manoeuvres en de geplande vliegbewegingen tijdens de wetenschappelijke fase dat de sonde een grote hoeveelheid brandstof aan boord heeft. Ten tweede moet de sonde bestand zijn tegen temperaturen van 250°C tijdens de flyby van Venus en van -230°C ver van de zon. Vervolgens moeten beschermingsmaatregelen genomen worden tegen de stralingsomgeving die de instrumenten zwaar op de proef zal stellen. Bovendien is de beschikbare zonne-energie 25 keer minder dan voor een ruimteschip in een baan om de aarde omdat Jupiter zo ver van de zon is (gemiddeld 5 keer de afstand van de aarde tot de zon). De sonde is uitgerust met zonnepanelen met een oppervlakte van 85 vierkante meter - het equivalent van een flat - die in staat zullen zijn om een vermogen van ongeveer 800 W te produceren in de buurt van Jupiter, gelijk aan het verbruik van een broodrooster. Tot slot zal een radiosignaal tussen 1 uur en 2 uur nodig hebben om met de snelheid van het licht een

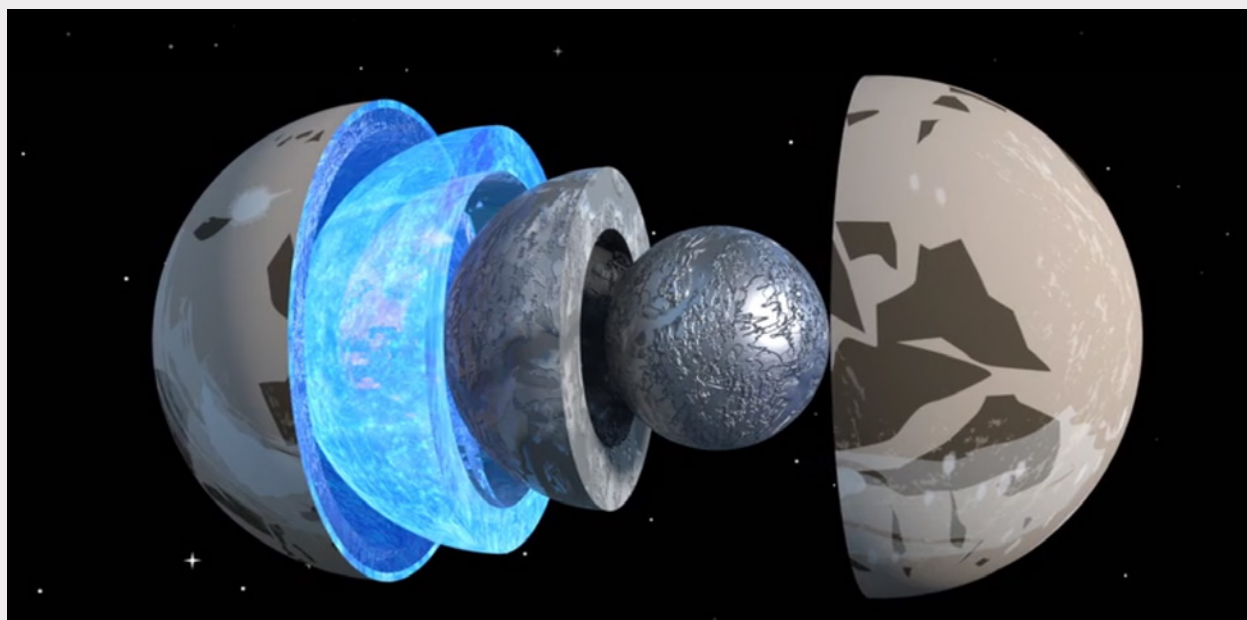
rondreis van Jupiter naar de aarde te maken. De sonde moet dus over een grote autonomie beschikken om zijn missie uit te voeren.

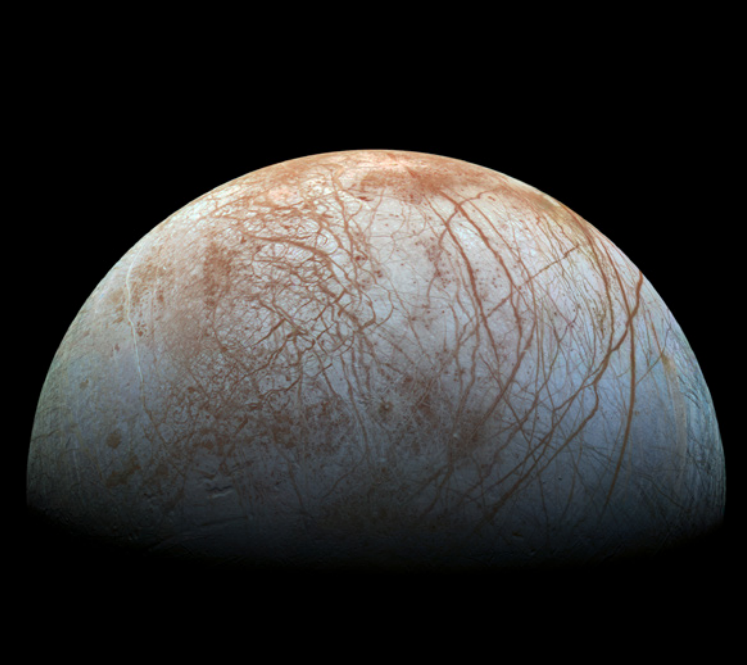
JUICE heeft 10 instrumenten aan boord die zijn ontwikkeld door laboratoria in 16 Europese landen, maar ook in de Verenigde Staten en Japan, met een totale lading van 285 kg. Deze omvatten een camera en een laserhoogtemeter om eigenschappen van het oppervlak te bestuderen en een topografische kaart van de manen te maken, spectrometers om de samenstelling van hun bevroren bodem te bestuderen, een radar om de eerste kilometers van de ondergrond te bestuderen, een radio-experiment om de interne structuur te begrijpen, en tenslotte een magnetometer en instrumenten om velden en deeltjes te meten om de kenmerken van de ruimteomgeving te bepalen en ook bij te dragen aan het onderzoek van het binnenste van de manen.

Het uitklappen van de antennes, masten en sondes van de instrumenten na de lancering bezorgde de missie-ingenieurs koud zweet. De sonde was compact opgesteld in de raket en moest na lancering openplooiën. Eerst werden de zonnepanelen uitgeklaapt en vervolgens ging men over tot het uitklappen, aanzetten, testen, en

>>

Het binnenste van Ganymedes van het centrum naar de oppervlakte: metalen kern, rots- en ijsmantel, oceaan van vloeibaar water, ijskorst. © ESA/ATG Medialab (figuur uit de film www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2023/01/Inside_Ganymede)





De maan Europa gefotografeerd door de Galileo-sonde.
© NASA/JPL-Caltech/SETI Institute

kalibreren van de instrumenten. Bij de RIME-radar was er een probleem: de 16 meter lange antenne klapte niet volledig uit omdat een scharnier geblokkeerd was. Na weken van intensief nadenken en testen, waarbij de ingenieurs de sonde stuurden om de antenne op te warmen en met de stuwaketten schudden, ontplooidde de antenne uiteindelijk nadat de pin uit een ander scharnier werd gehaald.

De betrokkenheid van de Koninklijke Sterrenwacht van België

Op de Koninklijke Sterrenwacht van België (KSB) in Ukkel zijn verschillende wetenschappers al lange tijd betrokken bij de voorbereiding van de missie en de instrumenten. Ze bereiden nu al de analyse van toekomstige gegevens voor door de nodige theoretische modellen te ontwikkelen, in het bijzonder modellen van de rotatie, de getijden en de interne structuur. Ze worden onder andere gefinancierd door het PRODEX-programma van het Federaal Wetenschapsbeleid (Belspo).

Deze wetenschappers zijn meer specifiek betrokken bij vier van de tien JUICE-instrumenten. Tim Van Hoolst is co-I (medeonderzoeker) van het 3GM-radiowetenschapsinstrument (Gravity and Geophysics of Jupiter and the Galilean Moons) en van de Jovian MAGnetometer J-MAG. Deze twee instrumenten zullen worden gebruikt om het inwendige van de manen te onderzoeken. De magnetometer zal het geïnduceerde magnetische veld observeren dat door de oceaan onder het oppervlak wordt gegenereerd, terwijl de radiowetenschap het zwaartekrachtveld, de rotatie en de getijden van de manen zal meten.

Marie Yseboodt is co-I van de GALA (GANymede Laser Altimeter) laserhoogtemeter. De hoogtemeter zal de getijdevervormingen van Ganymedes meten, die leiden tot wekelijkse opwaartse en neerwaartse bewegingen van het ijsoppervlak met enkele meters. GALA zal ook de topografie van Ganymedes nauwkeurig bepalen.

Wetenschappers zullen de gegevens van het MAJIS-instrument (Moons And Jupiter Imaging Spectrometer) analyseren om de eigenschappen van het ijs en de mineralen op het oppervlak van de ijsmanen te bepalen. MAJIS zal inzicht verschaffen in de huidige toestand en de vroegere activiteit van het oppervlak en de ondergrond, alsook in de ruimtelijke omgeving van Jupiters manen.



Vorbereiding van JUICE in een clean room in het ESA-centrum in Nederland, voor een testfase. © ESA-SJM Photography

De hoge spectrale en ruimtelijke resolutie van het instrument zal een troef zijn voor het bestuderen van de ijle atmosfeer van de grote ijsmanen en de kleinere manen en ringen van Jupiter. Özgür Karatekin is co-I van het instrument, waarvan KSB de detectoren heeft helpen karakteriseren. Het Koninklijk Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie is ook betrokken bij het MAJIS-instrument (zie het nummer van Science Connection van augustus 2021).

Tim Van Hoolst is ook leider van de JUICE-werkgroep voor het inwendige, de ondergrond en de geofysica van ijsmanen. De verschillende instrumenten zullen in synergie samenwerken om de precieze eigenschappen van het inwendige van de ijsmanen te bepalen en zo antwoorden te geven op vragen die sinds het einde van de Galileo-missie onbeantwoord zijn gebleven. Hebben deze drie manen een oceaan onder hun oppervlak? Hoe dik is hun ijs-schil? Hoe dik is hun oceaan? Wat is hun samenstelling? Waarom genereert Ganymedes zijn eigen magnetisch veld?

JUICE zal niet alleen zijn op zijn Joviaanse reis. De sonde Europa Clipper van de NASA, gepland voor lancering in oktober 2024, zal in april 2030 op zijn bestemming aankomen, net vóór JUICE. Zoals de naam al aangeeft, is deze missie in het bijzonder gewijd aan Europa, waar meerdere keren overheen gevlogen zal worden. Deze twee missies zullen een complementair beeld geven van het Joviaanse systeem.

Meer

- www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Juice
- ESA JUICE lanceringspakket: https://esamultimedia.esa.int/docs/science/Juice-LaunchKit_NL.pdf
- Waar bevindt JUICE zich: <https://juicept.esac.esa.int/where/>
- <https://science.nasa.gov/jupiter/moons>

De auteurs

Marie Yseboodt, Rose-Marie Baland, Özgür Karatekin en Tim Van Hoolst zijn planeetwetenschappers bij de Koninklijke Sterrenwacht van België.