

Rob's Nieuwsbrief

over sterrenkunde en het heelal

september 2014

Weer aan het werk!

Een nieuw begin

De vakantieperiode is weer afgelopen en dat voelt altijd als een nieuw begin, met nieuwe kansen! Wie mijn nieuwsbrief volgt weet dat ik altijd plannen heb voor nieuwe projecten en producten. Een budget vinden is echter een ander ding. Als één van de lezers iemand kent met wat extra op de bankrekening...

In mijn hernieuwde enthousiasme heb ik deze nieuwsbrief meteen te groot gemaakt. Dat is ook omdat ik beloofd had de vragen van de Cosmosavond in *Rob's Nieuwsbrief* te behandelen. In deze editie 'alles' over sterren.

Daarnaast veel nieuws uit de sterrenkunde en het planeetonderzoek.

Deze maand ga ik de nieuwe (gratis) brochure maken. Hij komt in oktober uit. Deze brochure zal, zoals ik in de vorige nieuwsbrief al verried, gaan over de kleine werelden van ons zonnestelsel: Ceres en Vesta, Pluto, en de Rosetta komeet (67P/C-G).

Het wordt weer een flinke klus om een goed overzicht voor de lezer te maken, en dat dan weer in de beperkte ruimte van 8 pagina's. Ik heb er echter weer veel zin in, zeker omdat ik heb gemerkt dat de brochures steeds erg worden gewaardeerd door mijn publiek.

Voortgang

De andere projecten die ik noemde in de vorige nieuwsbrief blijven onveranderd. Zodra er wat geld is gaan de nieuwe bouwplaten in elk geval in productie. De 8000 planisferen zijn bijna allemaal geproduceerd. De Canadese orders zijn afgeleverd. Helaas waren er enkele technische problemen, die deels tot onbruikbaar drukwerk leidden. Dat was erg jammer en onnodig kostbaar. Zo gaat dat echter in de uitgeverwereld.

Er is ook een nieuw plan: een nieuw boek! Dit boek, over de oerkracht en de uitdijning van het heelal, zal ik maken in samenwerking met een professor. Meer daarover later!

Sterrenkunde nieuwtjes

In deze nieuwsbrief vrij veel nieuws uit de sterrenkunde. Ik had al zoveel liggen waar ik nog eens wat mee wilde doen... (zie ook het kader). Ik hoop dat je het leuk vindt.

Zie de sterren

Op zondag 28 september organiseert de sterrenwacht in Amersfoort voor de vierde keer het jaarlijkse, leuke sterrenkunde evenement *Zie de sterren!* Tijdens dit evenement, voor jong en oud, staat Amersfoort even in het middelpunt van het heelal. De ster van deze editie: de zon. Vanaf 13:00 uur kun je veilig naar onze eigen ster kijken, door zontelescopieën, bediend door doorgewinterde amateurastronomen. Zij kunnen je alles vertellen wat je wilt weten over de zon.

Zelf zal ik weer 'reisjes door het zonnestelsel' geven, met het planetenpad (zie eerdere nieuwsbrieven). Zo'n reisje is de beste manier om afstanden en afmetingen in het zonnestelsel – en daarbuiten! – te leren begrijpen.

Ik nodig alle lezers uit om op 28 september te komen, mét kinderen of kleinkinderen! Voor meer informatie, zie www.ziedesterren.nl/.

Lezingen en cursussen

De komende maanden lopen al aardig vol met allerlei lezingen. Het is erg leuk om te doen en ik hoop daarom dat meer organisaties mij willen uitnodigen. Ik wil vooral ook meer cursussen gaan geven. Nu de grote cursus voor docenten is afgerond wil ik ook meer gaan doen met de versie voor particulieren, die ook uit acht lessen bestaat (hoewel uitbreiding tot tien ook mogelijk is).

Als er lezers zijn die zelf lezingen en cursussen organiseren, of lid zijn van een organisatie die dat doet: mijn totale lezingen/cursussen programma staat op:

www.walrecht.nl/nl/presentaties-en-evenementen/lezingen-cursussen.

Deze nieuwsbrief verschijnt circa tien maal per jaar en bevat:

- ★ Nieuws en leuke weetjes over het heelal;
- ★ Leuke, leerzame lesactiviteiten voor scholen;
- ★ Nieuws over Rob Walrecht Productions;
- ★ Speciale aanbiedingen.

Je kunt je aan- of afmelden via www.walrecht.nl.

Sterrenkunde nieuws

Dagelijks komen er persberichten binnen over sterrenkunde, planeetonderzoek en ruimtevaart. Ik doe daar zoveel mogelijk mee, vooral als het goed past bij mijn activiteiten en producten. Toch is het een kwestie van dweilen met de kraan open... wat in dit geval natuurlijk geweldig is! Wij leven in een bijzondere tijd, als het gaat om ontwikkelingen in de wetenschap en de techniek.

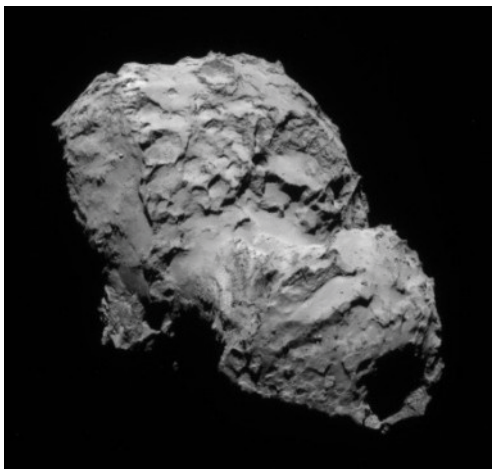
Rosetta en de komeet

Op 6 augustus jl. was ik in Space Expo, waar de gebruikelijke happening was rond een nieuwe ontmoeting met een lid van ons zonnestelsel. Ditmaal was het ESA's ruimtesonde Rosetta die uiteindelijk de komeet 67P had ingehaald, die inmiddels de Rosetta komeet genoemd.

Dat soort gebeurtenissen is altijd erg bijzonder, omdat iedereen erg gespannen is of het allemaal gaat zoals het moet gaan. Verder zie ik dan ook mensen die ik al heel lang ken, en die bijv. ook bij een soortgelijk evenement waren tijdens de ontmoeting van de sonde Giotto met de komeet van Halley, op 14 maart 1986. Wel merk je ook hier de bezuinigingen... Van champagne was nu geen sprake! (Ik heb nog de fles van de Halley champagne). Op de foto's:

Linksonder: de komeet.

Rechtsonder: Dr. Detlef Koschny die het Rosetta-programma verzorgde. Hij is projectmanager bij ESA en expert op het gebied van kleine zonnestelselobjecten, zoals kometen en planetoiden



Voyager-man Ed Stone

Een van de belangrijkste mensen van het Voyager-project, Ed Stone, kreeg op 16 juli jl. in Washington de 'lifetime achievement award' van de American Astronautical Society. Hij kreeg deze onderscheiding, die eens per tien jaar wordt uitgereikt, voor zijn langdurige, buitengewone bijdragen aan de Amerikaanse ruimteprogramma's, waaronder innovatieve planetaire missies. De Voyagers werden in 1977 gelanceerd, maar het project begon natuurlijk veel eerder. Ed Stone (78) werd al in 1972 project scientist (zeg maar de wetenschappelijke baas van de missie). Van 1991 tot 2001 was hij directeur van JPL (het Jet Propulsion Laboratory van de NASA). In 2012 verliet de Voyager 1 als eerste ruimtesonde de heliosfeer (zie verder) om haar reis verder voort te zetten in de interstellaire ruimte. Stone: 'De grootste beloning is dat de Voyager missies nog steeds doorgaan. Toen de Voyager 1 in 1977 werd gelanceerd wist niemand van ons hoe groot de heliosfeer was, noch hoe lang de sondes het zouden volhouden'.

Linksonder: Ed Stone met zijn zeer verdiende lifetime achievement award.

Rechtsboven: een voorstelling van de heliosfeer.

Rechtsonder: andere 'artist impression' van de Voyagers.



Voyagers

Voyagers

De Voyagers 1 en 2 werden in 1977 gelanceerd, voor de zogenaamde Grand Tour, een reis langs de vier reuzenplaneten: Jupiter (1979), Saturnus (1980-1981), Uranus (1986 door Voyager 2) en Neptunus (1989 door Voyager 2). Dat betekent dat ze al 37 jaar onderweg zijn! En zij functioneren nog altijd! Goed, de energie die de thermo-elektrische generatoren nog opleveren is te weinig voor de camera's en de meeste andere instrumenten. Toch voeren ze nog steeds experimenten uit. Zie Rob's Nieuwsbrief van september 2013 voor meer over de Voyagers.

Het zijn al lang de verste door de mens gemaakte objecten: Voyager 1 vliegt, als ik dit op 6 september schrijf, op 19,3 miljard km van de zon. Voyager 2 loopt wat achter, door een lagere snelheid (zie hierna): ruim 15,8 miljard km.

Laten we de plaats van de Voyagers eens 'updaten' in mijn favoriete schaalmodel van het zonnestelsel, met schaal 1:100 miljard (zie eerdere nieuwsbrieven, zoals die van afgelopen april, en mijn boek Genieten van het zonnestelsel). In dat schaalmodel is de zon zo groot als een knikker, de aarde (derde planeet) een korrel fijn zand op 1,5 m, en Jupiter (vijfde planeet) de kop van een kopseldje op 7,8 m. De buitenste planeet, Neptunus, is een 'korrel grof zand' op 45 meter van de knikker. De afstanden van de zon tot de twee ruimtesondes is 193 m (V1) en 158 m (V2).

De snelheden van de beide Voyagers nemen geleidelijk af, maar Voyager 2 snelt nog altijd met 15,4 km/s en Voyager 1 met ruim 17 km/s door de ruimte. Voor Voyager 1 komt dat neer op ruim 537 miljoen km per jaar: bijna twee maal zo ver als de afstand van Mars tot de zon!

De New Horizons, nu onderweg naar Pluto (zie verder) beweegt overigens met 14,7 km/s. Alle snelheden en afstanden zijn ten opzichte van de zon.

Voyager 1 echt uit heliosfeer

In de nieuwsbrief van september 2013 schreef ik al dat de Voyager 1 de heliosfeer had verlaten, de invloedssfeer van de zon. Dat is een enorme bel van geladen deeltjes (**plasma**) die de zon op een enorme afstand om zich heen heeft geblazen, met zijn zonnewind.

Dat plasma is veertig maal minder dicht en ook minder heet dan het plasma in de interstellaire ruimte (de ruimte tussen de sterren). Nu moet je je bij die dichtheden niet al teveel voorstellen. De dichtheid van de interstellaire materie is 100 triljoen maal kleiner dan die van de lucht in onze dampkring! Toch beschermt de zon door de heliosfeer de aarde en andere werelden in het zonnestelsel tegen bijvoorbeeld **kosmische straling** (energierijke atoomkernen, afkomstig van sterren, die met enorme snelheden door de ruimte vliegen; dit is geen elektromagnetische straling, zoals gammastraling).

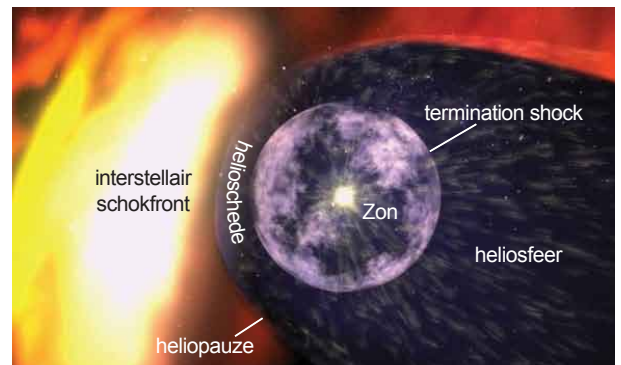
Overigens is de Voyager 1 niet het zonnestelsel uitgevlogen, want de buitenste leden van het zonnestelsel, kometen, komen tot 1000 maal verder van de zon voor dan de huidige afstand van de Voyager 1!

Golven

Zodra men zeker wist dat de dichtheid van het plasma veel hoger was dan binnen de heliosfeer was gemeten, wist men dat Voyager 1 die heliosfeer had verlaten. De Voyagers hebben speciale instrumenten om informatie over die plasmasdichtheid te leveren: het Plasma Wave System en het Cosmic Ray System.

De signalen van het plasma zijn echter zeer zwak. Gelukkig kwam de zon te hulp. De zon zit nu in een periode van verhoogde activiteit (in zijn cyclus van gemiddeld 11 jaar). Daarbij worden soms enorme hoeveelheden zonneplasma de ruimte in geslingerd: zogenaamde Coronal Mass Ejections, of **CME's**. Die CME's gaan gepaard met schokgolven, die er ongeveer een jaar over doen om de Voyager 1 te bereiken. Plasma wordt door zo'n schokgolf aan het trillen gebracht, en dicht plasma trilt sneller dan ijz plasma. Het Plasma Wave System meet de frequentie van de trillingen.

Toch is het niet gemakkelijk om die trillingen vast te stellen. De eerste 'tsunami' van schokgolven kwam in 2012, maar die was te zwak om toen opgemerkt te worden. Dat gebeurde met terugwerkende kracht, toen de tweede schokgolf wel duidelijk werd geregistreerd, in maart 2013. In maart 2014 was er een derde, die ook niet was te missen. Die laatste metingen gaven aan dat de dichtheid van het plasma nog steeds veertig maal groter was dan de ruimte binnen de heliosfeer. Dat is het bewijs dat de sonde definitief de heliosfeer heeft verlaten!



New Horizons naar Pluto

Voorbij Neptunus

In januari 2006 werd de New Horizons gelanceerd. Deze ruimtesonde, ter grootte van een piano, is onderweg naar Pluto, die zij op 14 juli 2015 zal ontmoeten.

Op 28 augustus, na een reis van acht jaar en acht maanden, passeerde de New Horizons de baan van de planeet Neptunus. Die buitenste planeet bevindt zich op een afstand van 4,5 miljard km van de zon (dertig maal de afstand Aarde-Zon).

Op 10 juli maakte de New Horizons al een foto van Neptunus en Triton (zie foto onderaan), maar van de gigantische afstand van 4 miljard km! De opname werd gemaakt met de tele-camera (*Long-Range Reconnaissance Imager* – of *LORRI*), met een belichtingstijd van 967 milliseconden.

Triton: Pluto's grote broer?

Deze sonde zal Neptunus niet van dichtbij zien, maar het toeval wil dat bijna 25 jaar geleden de historische 'encounter' plaatsvond van de Voyager 2 met Neptunus en zijn maan Triton (op 25 augustus 1989). Een wonderlijke connectie tussen twee bijzondere planeet-onderzoeksmisies die ook bij mij weer herinneringen oproept aan de glorieuze Voyager passages van de grote planeten uit de jaren '80. Na de vrij 'saaië' Uranus, met zijn egale blauwe kleur (zonder wolkenstructuren), verwachtte men bij Neptunus niet veel meer. Neptunus staat immers nóg verder van de zon, waar het nóg kouder is. Maar Neptunus toonde juist een heel actieve atmosfeer, inclusief een enorm stormgebied, de Grote Donkere Vlek, en veel andere interessante wolkenstructuren. En Triton overtrof helemaal alle verwachtingen. Deze grootste Neptunusmaan heeft een geologisch actief ijsoppervlak, met ijsspuwende cryovulkanen en geisers die pikzwarte stofdeeltjes uitstoten. Die pluimen gaan recht omhoog tot het zwarte stof door de wind wordt meegevoerd en tot 150 km verder neerdwarrelt.

Triton wordt al lang gezien als een soortgenoot van Pluto. Triton is niet altijd een satelliet van Neptunus geweest maar een later ingevangen object uit de Kuipergordel. Hij beweegt ook de in de 'verkeerde' richting om Neptunus, en gevaarlijk dicht bij de planeet. Dat kan niet eeuwig zo doorgaan. Triton is met ca. 2700 km iets groter dan Pluto (2329 km).

Onder de wetenschappers wordt natuurlijk veel gespeculeerd over in hoeverre Triton en Pluto op elkaar lijken. Zoals een van de NH onderzoekers zegt: 'Dat is het mooie van eerste

ontmoetingen zoals deze – we weten niet wat we gaan zien, maar we weten uit tientallen jaren ervaring met het onderzoek van nieuwe planeten dat we erg verrast zullen zijn'.

Net als de Voyagers volgt de New Horizons een pad naar potentiële ontdekkingen van andere objecten in de Kuipergordel, andere nog onbekende gebieden in het buitenste zonnestelsel en daarbuiten.

Super Maan!

In januari schreef ik over de 'kleinste maan' van het jaar, omdat de maan toen tijdens volle maan verder weg stond in haar baan om de aarde. Een 'apogeum maan'. Lees dat stukje nog maar eens door, vooral om de termen apogeum en perigeum weer even op te pakken.

Afgelopen zomer hadden we drie 'Super Moons' op rij! Op 12 juli en 9 september viel volle maan op dezelfde dag als het perigeum, op 10 augustus was dat zelfs in hetzelfde uur! Dat maakte het een Extra-Super Maan.

Uiteraard veranderde er niets aan de maan zelf, maar stond de maan op die dagen gewoon wat dichterbij de aarde op het moment dat het ook volle maan was. Daarbij zien we de maan ongeveer 30% groter en helderder dan gemiddeld. Goedbeschouwd valt dat niet eens erg op, maar als we de volle maan 's avonds boven de oostelijke horizon zien staan, lijkt de maan veel groter dan wanneer zij hoog aan de hemel staat. Dat is echter een kwestie van gezichtsbedrog. Zie de *Tip voor het onderwijs* hiernaast.

Leuke websites

Regelmatig krijg ik mailtjes met leuke websites gestuurd. Daar zitten vaak juweeltjes tussen. Hieronder enkele.

Planeetopkomst

Wil je weten hoe groot een planeet zou zijn als hij net zo ver van de aarde zou zijn als de maan? Bekijk deze site dan eens:

www.huffingtonpost.com/2013/12/20/nasa-brings-earthrise-photo-video_n_4481605.html#slide=2652898.

Hoe wolven de loop van een rivier wijzigen

In 1995 werden wolven herintroduceerd in het Yellowstone National Park, 70 jaar nadat ze daar waren uitgestorven (of uitgeroeid...). Wolven doden, maar brachten hier juist leven! En veranderden uiteindelijk zelfs de loop van de rivier. Zie

www.youtube.com/embed/ysa5OBhXz-Q?feature=player_embedded.

Tip voor in de klas:

Nou ja, je moet er wel voor naar buiten. Dat de maan boven de horizon veel groter lijkt is gezichtsbedrog. Je kunt dat bewijzen door, als je de volle maan ziet, je arm uit te strekken en de breedte van je pink te vergelijken met de diameter van de maan, zoals je die aan de hemel ziet. Je zult merken dat dat beeld van de maan ongeveer half zo groot is als de breedte van je pink. Als je datzelfde doet wanneer de maan hoog aan de hemel staat blijkt er geen verschil te zijn!

Waarschijnlijk heeft het te maken met wat onze hersenen met de informatie van onze ogen doen. Onze voorouders wisten natuurlijk niets van de afstanden tot de hemellichamen, maar ze wisten wél die ene berg die ze aan de horizon zagen héél ver weg was: dagen lopen. De maan moet daarom, als zij boven de horizon staat, ook heel ver weg zijn, en dus lijkt zij daar veel groter dan als zij hoog aan de hemel staat!

Jupiterbedekking Phobos

De maan kan nu voor een ster schuiven. Dat noemen we een sterbedekking. Sterbedekkingen waren vroeger erg belangrijk om de beweging van de maan goed in de gaten te houden. Dat was weer van belang voor de scheepvaart. Het leuke was dat amateurs een belangrijk aandeel hadden in het sterbedekkingenwerk.

Op 1 juni 2011 (het persbericht kwam pas in juni dit jaar) bedekte het kleine Marsmaantje Phobos, zo groot als Texel, heel even de reuzenplaneet Jupiter. Je ziet rechtsonder een foto van een serie die toen werd gemaakt door de Europese ruimtesonde Mars Express.



Linksonder: op 10 juli maakte de New Horizons een foto van Neptunus en Triton, van de gigantische afstand van 4 miljard km!



Linksboven: Europa, een van de vier grote Jupitermanen, een stuk kleiner dan onze maan.

Rechtsboven: een (150 km breed) detail van het oppervlak van Europa, met breuken, berggruggen en *lenticulae* ('sproeten'), waar mogelijk warme 'ijsbellen' door de korst zijn gebroken.

Rechtsonder: het oppervlak van Europa heeft platen-tektoniek zoals de aarde.

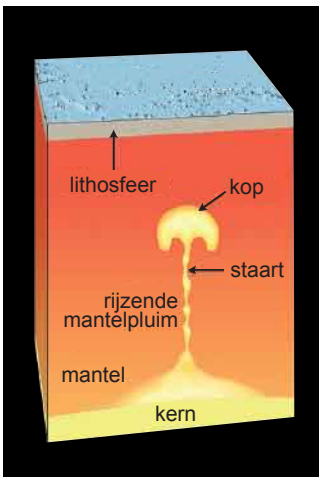
Mantelpluimen

Het gesteente van de mantel van de aarde stroomt heel langzaam. Die beweging ontstaat doordat het gesteente onder in de mantel wordt verhit door de gloeiend hete kern van de aarde (die is heter dan het oppervlak van de zon!).

Het materiaal in de mantel stijgt, omdat het warmer is dan het gesteente in de omgeving en daardoor een lagere dichtheid krijgt. Dat noemen we **convectie**.

Zo stijgen enorme **mantelpluimen** van heet gesteente op naar het oppervlak.

In de tekening **hieronder** zie je hoe de mantelpluimen in de aardmantel opstijgen. Meer hierover in mijn boek **Genieten van het zonnestelsel**.



Nieuws

Platentektoniek op Jupitermaan

Op ruim tien jaar oude opnamen van de Jupiter-sonde Galileo heeft men nu duidelijke bewijzen gevonden voor platentektoniek op Europa, een van de vier grote manen van Jupiter. Op de foto's was toen al te zien dat de ijskorst van Europa uitzet, maar nergens kon men gebieden vinden waar de oude korst werd vernietigd om ruimte te maken voor een nieuwe korst. Jarenlang snapte men niet hoe al dat nieuwe terrein kon ontstaan.

Twee Amerikaanse planetair geologen, Simon Kattenhorn en Louise Prockter, hebben nu aanwijzingen ontdekt, waarmee zij de puzzel denken te hebben opgelost.

Platentektoniek is een bekend verschijnsel op Aarde, waarvan de buitenste laag (de **korst**) in een aantal stukken – platen – is gebroken. Die platen drijven op de onderliggende **mantel** van de aarde. De platen worden in beweging gezet door **mantelpluimen** (zie kader).

Daar drukken die mantelpluimen van onderaf tegen de platen. Soms breekt de mantelpluim door de korst, zodat er grote vulkanen (zoals de Yellowstone vulkaan) of ketens van vulkanen (zoals Hawaï) ontstaan. Verder duwen ze de platen uit elkaar. Die platen gaan uiteindelijk met elkaar botsen, waardoor enorme berggruggen en kleinere vulkanen ontstaan, én aardbevingen voorkomen.

Europa

Europa is een stuk kleiner dan onze maan en bestaat voor een groot gedeelte uit gesteenten en metalen. Daar daaromheen bevindt zich een zoutwateroceaan van 100 tot 150 km diep. Aan de buitenkant vinden we een 20 tot 30 km dikke ijskorst, waarvan alleen de buitenste 3-4 km hard ijs is. Het diepere ijs is warmer en zachter, en daardoor enigszins stroperig. Daarin vindt convectie plaats, waardoor vers ijs kan opwellen en de breuklijnen kan opvullen.

Het hele oppervlak van Europa, dat gemiddeld 40 tot 90 miljoen jaar oud is (zo langzaam gaan de tektonische processen) is een wirwar van breuken en heuvelruggen. Dat is vergelijkbaar met de bodem rond de San Andreas breuklijn in Californië. Daardoor wist men al dat de korst in veel stukken, of **blocks**, is gebroken. Ook was bekend dat in die breuken vers ijs het gat tussen de uit elkaar drijvende platen opvult, net zoals op Aarde bijvoorbeeld in de Mid-Atlantische Rug gebeurt.

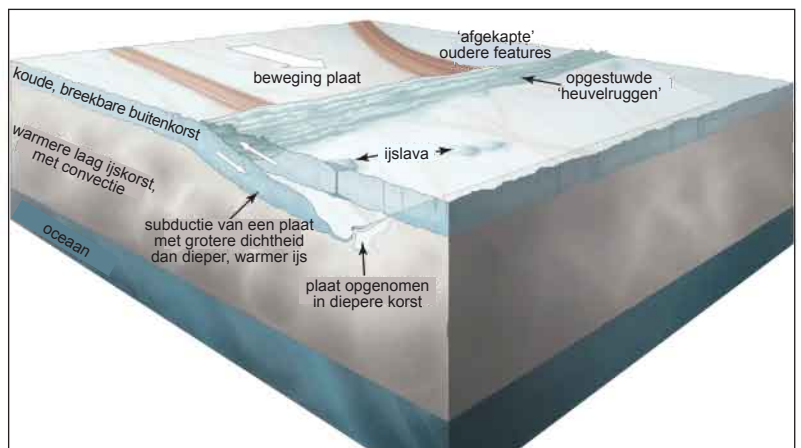
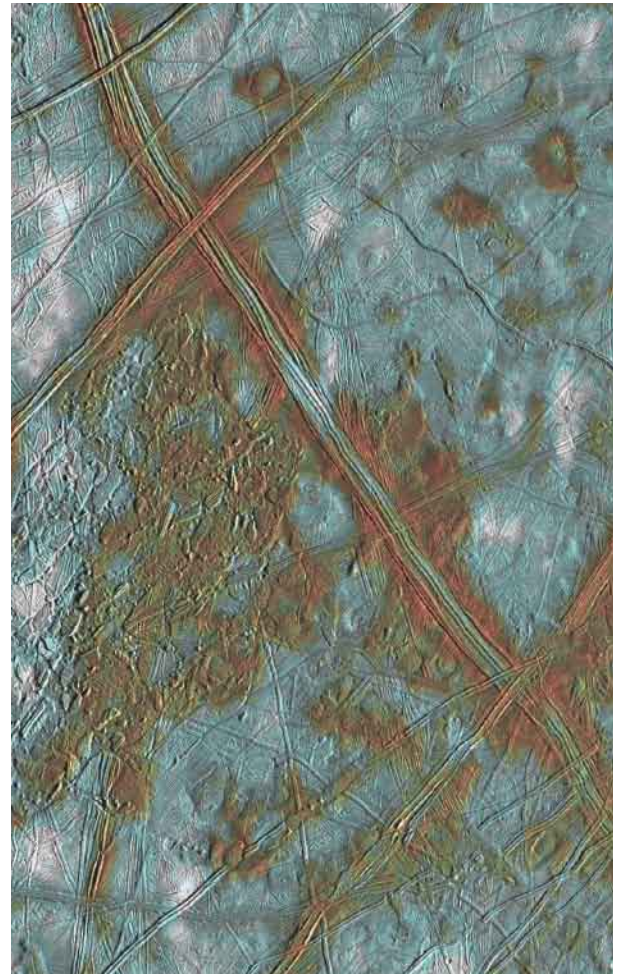
Waar is de verdwenen korst?

Op Aarde verdwijnt ook oud materiaal, als de ene plaat onder de ander schuift (dat noemen we **subductie**). Juist dat laatste had men op Europa nog niet ontdekt, ook al wist men dat oude korst wel *moest* verdwijnen om nieuwe korst de ruimte te geven. Door de korst in de beelden te reconstrueren, zodat de blocks op hun oorspronkelijke plek kwamen (vóórdat subductie optrad), ontdekten Kattenhorn en

Prockter dat er op het noordelijke halfrond 20.000 vierkante km van het oppervlak mist!

Verder bleek dat missende terrein onder een tweede plaat te zijn geschoven, en vervolgens de diepte in te zijn gezakt, in het warmere, zachte deel van de ijskorst (dus niet tot in de oceaan). Net zoals bij de platentektoniek op Aarde. Men zag verder ook ijsvulkanen op de bovenliggende plaat.

Europa is nu de enige andere wereld waarvan we weten dat zij platentektoniek heeft. Dat maakt deze maan een van de geologisch meest interessante werelden in ons zonnestelsel! De kans op leven in de oceaan van Europa lijkt er ook groter door te worden.



Cosmos-avond: De vragen en antwoorden

Deel 2: Sterren

Veel van de vragen tijdens de Cosmos-avond op 30 mei jl. gingen over sterren: over hun leven en dood en over het bepalen van hun afstanden. Ik zal de vragen over sterren in dit tweede deel in één keer behandelen, om zo een goed overzicht te geven en hopelijk alle vragen te beantwoorden. De vragen over het Melkwegstelsel zal ik in de volgende nieuwsbrief behandelen.

Uiteraard kan ik deze onderwerpen hier maar zeer beknopt behandelen. Voor wie meer wil weten over sterren en afstanden bepalen, en meer, kan eens kijken naar het boek *Genieten van de het heelal*, het derde deel van mijn serie *Genieten van de sterrenkunde*. Daarin worden sterren, de Melkweg en sterrenstelsels uitgebreid beschreven.

Vraag 7:

Hoe weten ze op welke afstand een ster zich bevindt? (leerlingen HAVO Nijkerk)

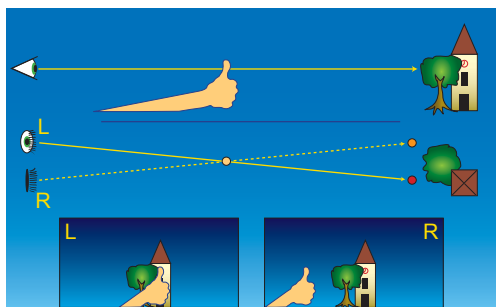
Antwoord

Er zijn allerlei methoden om afstanden in het heelal te bepalen. Voor nabije objecten, zoals de maan, kun je radar gebruiken. Hoe verder weg een object staat, des te lastiger het wordt. Ten eerste heb je te maken met de beperkte lichtsnelheid: 300.000 km/s (ook al is het licht het snelste dat er bestaat). Dat betekent dat een signaal naar Neptunus 15.000 seconden duurt! En dan moet het nog teruggekaast worden naar de aarde. Dat is bij elkaar (heen en terug) bijna 8½ uur. Ook wordt het signaal op die afstand natuurlijk erg zwak.

De oudste methode om de afstand tot verre objecten te bepalen is de **trigonometrische parallaxmethode**. Het verschijnsel parallax (betekent *verandering* in het Grieks) kent iedereen die twee goede ogen heeft. Strek maar eens je hand uit en steek je duim op, in de richting van een herkenbaar punt in de verte, zoals een kerktoeren (zie tekening hieronder). Sluit nu afwisselend je linker en je rechter oog. Je ziet dan je duim verschuiven tegen de achtergrond. Als je je duim dichterbij je gezicht houdt is de afwijking groter.

Driehoeksmeting

Hetzelfde principe kun je toepassen door de schaal te vergroten. In plaats van je duim neem je de maan, een planeet of een object op



grotere afstand. In plaats van een verre kerktoeren gebruik je de sterrenhemel als achtergrond, en in plaats de afstand tussen je ogen neem je een veel grotere afstand. Die afstand tussen je ogen, of eigenlijk *de helft* daarvan, noemen we de **basislijn**.

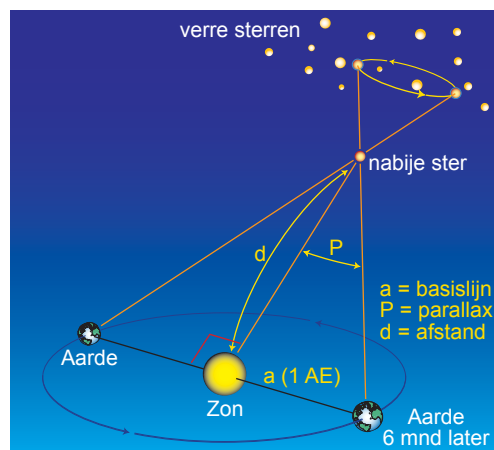
Door van twee plekken de hoeken te bepalen waaronder je (bijv.) de maan ziet ten opzichte van de achtergrond van 'vaste' sterren kun je de afstand tot de maan berekenen. Dat is **driehoeksmeting**.

Afstand tot sterren

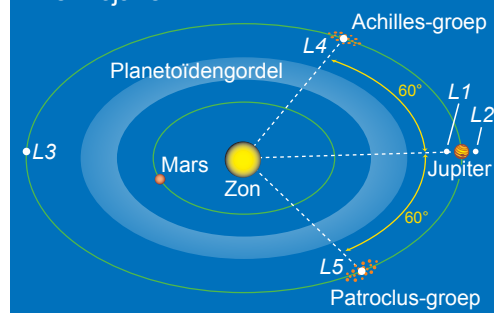
Voor het bepalen van afstanden in het heelal heb je een grote basislijn nodig. Je kunt zo bijvoorbeeld de afstand bepalen tot de maan door eerst 's ochtends te bepalen waar de maan staat t.o.v. de sterren, en 12 uur later nog eens. Je hebt dan de straal van de aarde gebruikt als basislijn (6.378 km). (Bedenk wel dat de maan in die 12 uur verder is bewogen in haar baan om de aarde!) Met deze basislijn kon men al in de zeventiende eeuw de afstanden tot planeten te bepalen.

Voor sterren heb je echter een nog grotere basislijn nodig. Ook die had men vroeger al ter beschikking: de **aardbaan**! Als je vanaf de aarde een ster waarneemt en dat een half jaar later weer doet, maak je gebruik van een basislijn van 150 miljoen km! Op die manier kun je afstanden bepalen tot ongeveer 300 lichtjaar; daarna worden de afwijkingen (dus de hoeken) te klein om te kunnen meten.

Met speciale satellieten kan men afstanden tot verdere objecten meten. De GAIA, die een maand geleden begon met meten (zie kader), gaat de afstanden van een miljard sterren bepalen tot ruim 30.000 lichtjaar. Het gaat dus om een fors deel van het Melkwegstelsel!



De Trojanen



Lagrangepunten

In 1772 berekende de Franse wiskundige Lagrange dat een kleiner lichaam stabiel in de baan van een planeet kan meebewegen rond zgn. **Lagrangepunten** in die baan. We noemen deze L4 en L5 en ze liggen ongeveer 60° vóór en achter de planeet. Jupiter, Neptunus en Aarde hebben daarin begeleidende planetoïden zitten! Bij Jupiter en Neptunus noemen we die planetoïden de **Trojanen** (zie tekening midden onder).

Er zijn ook drie niet stabiele punten, L1, L2 en L3, die worden gebruikt, voor bijv. missies naar de maan of voor ruimtetelescopen zoals de GAIA. L1 t/m L3 liggen op een lijn door de zon en de aarde. Het punt L1 ligt dichterbij de zon dan de aarde, L2 ligt verder; L3 ligt precies aan de andere kant van de zon.

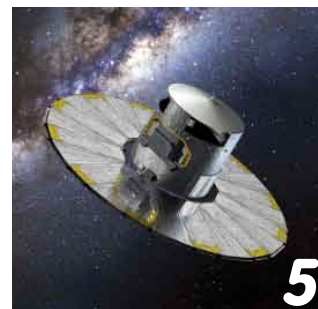
GAIA bevindt zich in het L2 punt, 1,5 miljoen km van de aarde.

Linksonder: het verschijnsel parallax is goed te begrijpen door naar een object te kijken, tegen een verre achtergrond, en afwisselen een oog dicht te doen.

Midden, boven: de jaarlijkse (of stellaire) parallax maakt gebruik van de straal van de aardbaan.

Midden, onder: de Trojanen, planetoïden die stabiel in dezelfde baan bewegen als Jupiter. Neptunus heeft ze ook en zelfs de aarde heeft er een: 2010 TK7. De tekening laat zien waar de vijf Lagrangepunten zich bevinden.

Rechtsonder: de GAIA, de ruimtetelescoop van de ESA die op 19 december 2013 werd gelanceerd en eind juli in het L2 punt aankwam. GAIA gaat een 3D ruimtecatalogus van circa 1 miljard objecten maken. Dat zullen voornamelijk sterren zijn (nog geen 1% van de Melkweg), maar ook duizenden grote gasplaneten, 500.000 quasars en tienduizenden nieuwe planetoïden en kometen. Alle sterren zullen in vijf jaar tijd 70 maal in beeld komen.



Absoluut of schijnbaar

Als je op een heldere avond naar de sterren kijkt zie je zeer heldere en lichtzwakke sterren, en van alles daar tussenin. Dat noemen we de **schijnbare helderheid**. Sirius is de helderste ster aan de sterrenhemel, maar dat komt omdat deze ster bij ons in de buurt staat (8,6 lichtjaar). Wega is de op vier na helderste ster, maar die staat ook maar op 25 lj; Deneb, een andere ster van de zomerdriehoek, is de op 18 na helderste ster, maar die staat op 1550 lj! De schijnbare helderheid zegt dus niets over de echte helderheid van een ster of andere object. Zie ook de tekening.

De **absolute helderheid** is de helderheid die je zou zien vanaf een afstand van 32,6 lichtjaar (eigenlijk 10 parsec, de wetenschappelijke afstandsmaat; 1 pc is de afstand waarop een ster een parallax heeft van 1 boog-seconde, en dat is 3,26 lj). Dat vertelt dus wel iets over de ster. De volgende keer meer over die parsec! De **lichtkracht** van een ster is de totale hoeveelheid energie (in watt) die hij per seconde uitzendt.

Linksboven: Henrietta Swan Leavitt (1868-1921).

Daaronder: het verschil tussen schijnbare en absolute helderheid.

Linksonder: Cepheiden krimpen met een vaste regelmaat (zodat de buitenlagen dichter en heter, en daardoor helderder worden) en zwellen dan weer aan waardoor zij afkoelen en zwakker worden. δ Cephei is een ster die tien maal zo zwaar en veertig maal zo groot is als de zon. Hij heeft een periode van 5 dagen en 9 uur. M staat voor de absolute helderheid.

Rechtsboven: elke ster ontstaat in zijn eigen dichte, bolvormige wolk, die we Bok globules noemen. De grootste hier is in feite een tweetal kleinere globules, elk 1,5 lichtjaar in diameter, achter elkaar.

Rechtsonder: in dit overzicht zie je dat de periode van een Cepheide toeneemt met de absolute helderheid. Als je een Cepheide met een lange periode waarneemt, weet je dat hij ver weg moet staan, ook al is hij misschien erg lichtzwak.

Standaardkaarsen

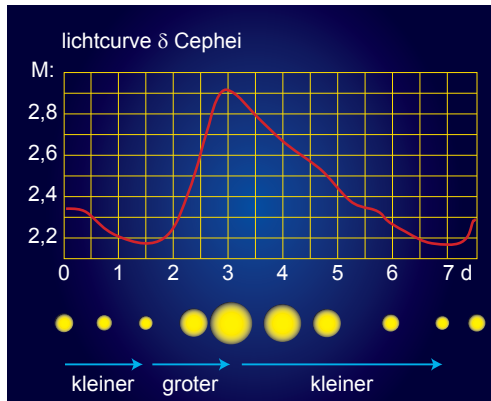
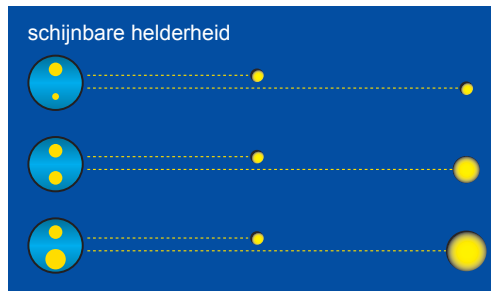
Het Melkwegstelsel is echter slechts één van de naar schatting 170 miljard sterrenstelsels in het heelal. Hoe bepalen we de afstanden tot die verre objecten? Daarvoor zijn enkele andere methoden. Sommige objecten zijn heel voorspelbaar. Al een eeuw geleden ontdekte de Amerikaanse astronome Henriette Swan Leavitt dat een bepaald type veranderlijke ster een heel bijzondere eigenschap had. Een veranderlijke ster is een ster die met een voorspelbare **periode** van helderheid verandert. Het ging om de zogenaamde **Cepheiden** (genoemd naar de ster δ in het sterrenbeeld CEPHEUS, de naamgever van dit type; zie kader op pagina 7). Leavitt ontdekte dat er een verband is tussen de **periode** en de **lichtkracht** (zie kader) van een Cepheide: hoe langer de periode des te helderder de ster.

Met de **periode-lichtkrachtwet** kon men bepalen wat de absolute helderheid van een Cepheide is. En daarmee kon men de afstand tot die ster bepalen. Cepheiden komen ook in andere sterrenstelsels voor dus ineens kon men de afstanden tot sterrenstelsels meten!

Objecten met een voorspelbare absolute helderheid noemt men wel **standaardkaarsen**: als je twee identieke kaarsen hebt, staat de kaars die het zwakst lijkt verder weg!

Andere standaardkaarsen zijn RR Lyrae sterren (ook variabele sterren) en een bepaald type supernova (Ia).

Tenslotte is er de roodverschuiving, maar daar ga ik hier nu niet verder op in.



Vragen 8 t/m 11:

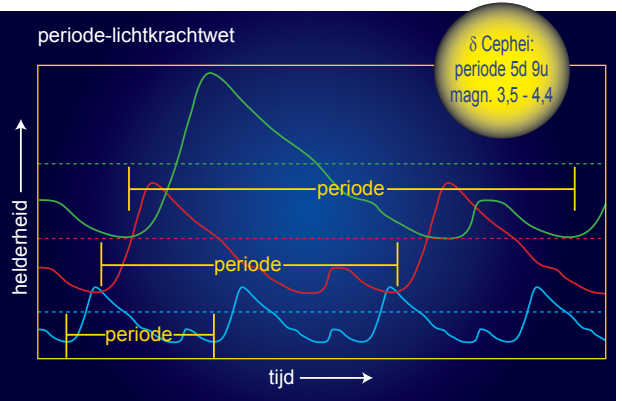
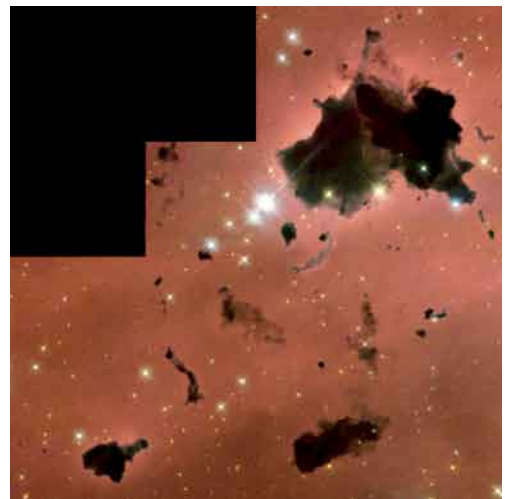
Enkele vragen over supernova's en zwarte gaten, die ik hier in één keer behandel omdat het allemaal met geboorte, leven en dood van sterren te maken heeft.

Antwoord

Net als bij levende wezens zou je bij sterren kunnen spreken van geboorte, leven en dood. Sterren, zoals de zon, zijn enorm groot en hebben een gigantische massa. De aarde kan bijvoorbeeld 1,3 miljoen maal in de zon, en de zon heeft 333.000 maal zoveel massa ('gewicht') als de aarde.

Sterren worden 'geboren' uit reusachtige, koude wolken van stof en gas, tientallen lichtjaren in diameter. Die wolken gaan op een bepaald moment, en door een bepaalde oorzaak samentrekken. Dat gaat steeds sneller naarmate de wolk dichter wordt, en daarbij komen er verdichtingen in die wolk, fragmenten, die stuk voor stuk een nieuwe ster of meervoudige ster (bijv. een dubbelster) opleveren. Op die manier kan de oorspronkelijke wolk tientallen tot duizenden sterren opleveren, die met elkaar een open sterrenhoop vormen. De sterren van een open sterrenhoop gaan later elk hun eigen weg. Ook de zon was ooit onderdeel van zo'n open sterrenhoop en men heeft zelfs al broers en zussen van de zon kunnen ontdekken.

Sterren zijn niet allemaal even groot. Een nieuwe sterrenhoop kan zo honderden of duizenden kleine sterren bevatten (rode dwergen, M-dwergen, die 80-85% van alle sterren uitmaken), of tientallen grote, zware sterren, en natuurlijk ook een mix van allerlei grootten.



Hoofdreeks

Sterren schijnen omdat zij in hun kern een soort kerncentrale hebben die door middel van kernfusie waterstof in helium omzet. Dat zijn de twee lichtste elementen, en dus ook lichtste gassen. De temperatuur die nodig is voor kernfusie is 15 miljoen graden en de druk 200 miljard atmosfeer. Bij kernfusie komt energie vrij die uiteindelijk als licht de ster verlaat. Alle sterren beginnen met die waterstof 'verbranding'. Dat is voor elke ster een stabiele fase, en de langste fase. Daarna wordt eerst helium omgezet, in elementen als zuurstof en koolstof, en daarna gaat het bij zwaardere sterren nog verder.

Als je een grafiek maakt van alle sterren, waarbij je verticaal de helderheid zet, met de helderste bovenaan; en horizontaal de temperatuur van het steroppervlak (de heetste sterren links), krijg je een **Hertzsprung-Russell diagram** (zie tekening onderaan).

Als je dat hebt gedaan zal je zien dat de meeste sterren in een brede strook liggen, van linksboven naar rechtsonder. We noemen dat de hoofdreeks. Hierop vinden we 90 procent van alle sterren, allemaal sterren die nog waterstofverbranding hebben. Dus ook onze zon. Al die hoofdreekssterren noemen we dwergsterren, hoewel ze in grootte variëren van ongeveer 1,2 tot 3,5 maal de diameter van de zon, en in massa van ongeveer 0,1 tot 4 maal de massa van de zon (of: 0,1 tot 4 zonsmassa's).

Bij de zon duurt de waterstofverbranding ca. 10 miljard jaar, de heliumverbranding (de volgende en bij de zon laatste fase) slechts een miljard jaar. Het is dus logisch dat de meeste sterren hoofdreekssterren zijn. De latere fasen duren immers veel korter!

Zwaar

Waarom storten ze niet onder hun eigen zwaartekracht in elkaar? Dat komt doordat de energie die in de kern wordt geproduceerd, en die naar buiten wil, een drukkracht uitoefent, naar buiten toe. Als die twee krachten met elkaar in evenwicht zijn is er sprake van een stabiele ster. Dat geldt voor alle hoofdreekssterren. Als de energie wegvalt gaat de ster ineenstorten, of imploderen.

Levensduur

Sterren met een kleine massa zijn zuinig met hun energie en gaan daarom lang mee: rode dwergen kunnen duizenden miljarden jaren oud worden, en het heelal bestaat nog geen 14 miljard jaar! Sterren zo zwaar als de zon (1 **zonsmassa**) worden 10 tot 20 miljard jaar. Hoe zwaarder een ster is des te meer energie hij verspilt en des te korter hij leeft:

Spica (10 zonsmassa's) 20 miljoen jaar
Deneb (20 zonsmassa's) 5 miljoen jaar
Eta Carinae (100-150 zm) 1 miljoen jaar
Een miljoen jaar is astronomisch gezien een erg korte tijd. Zware sterren zijn veel zeldzamer, omdat de meeste al weer op zijn!

Delta Cephei

Mijn planisferen hebben de mogelijkheid om objecten op te zoeken met behulp van de coördinaten: **rechte klimming** en **declinatie**. Deze zijn te vergelijken met resp. (geografische) lengte en breedte op Aarde.

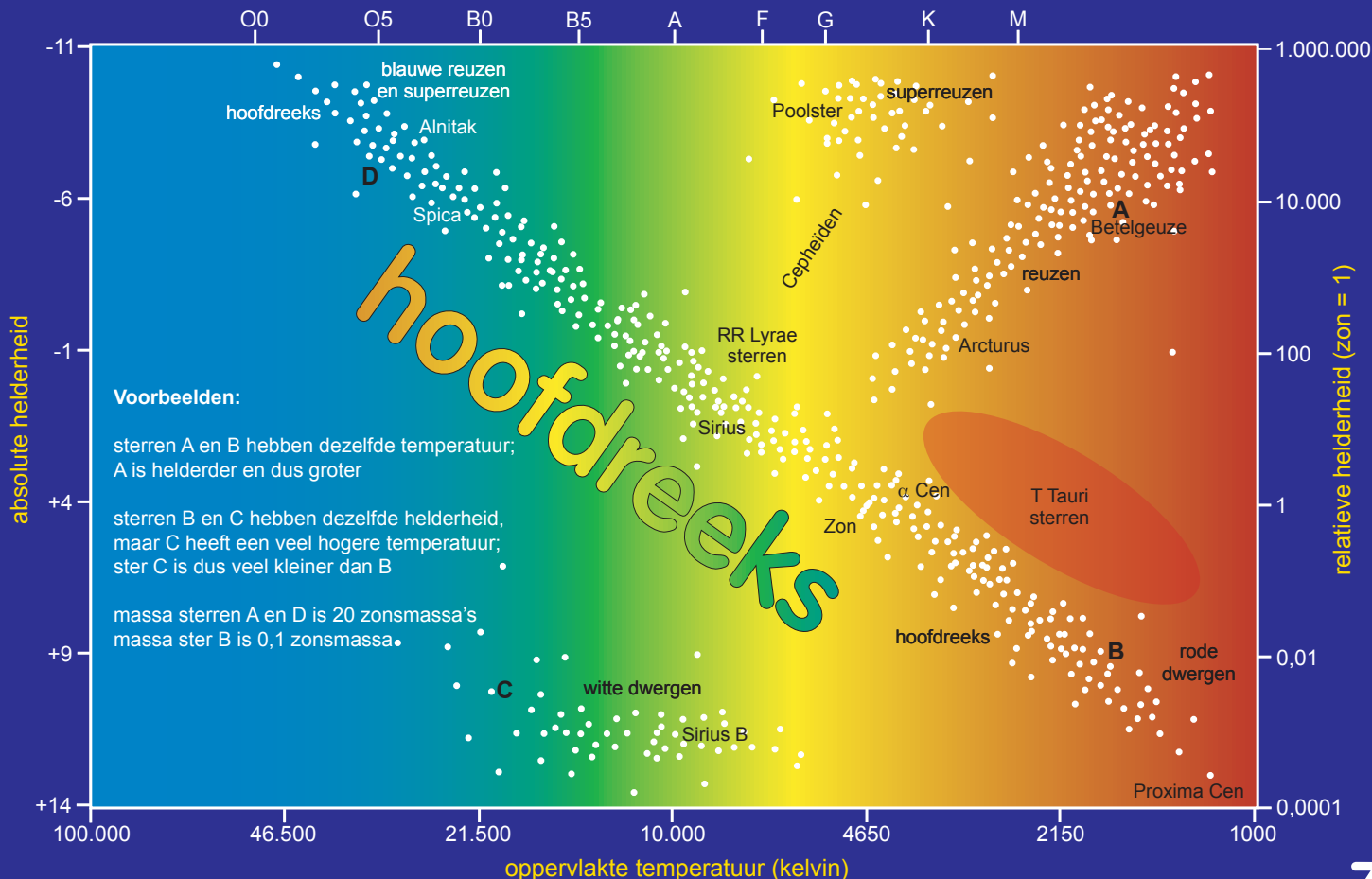
Onze vierkante planisfeer (PLN-NL) en het boek *Genieten van de sterrenhemel* bevatten een uitleg van die coördinaten.

Voor δ Cephei zijn die coördinaten ongeveer: 22 u, 29 min rechte klimming; en +58,5° declinatie. Je ziet dan die Griekse letter δ .

Tekening onder: het Hertzsprung-Russell Diagram is genoemd naar twee astronomen: de Zweed Ejnar Hertzsprung en de Amerikaan Henry Norris Russell. Zij bedachten dit, onafhankelijk van elkaar, in 1910. We spreken meestal van het HR Diagram. De voorbeelden (links in het diagram) geven het nut ervan aan: je kunt er meteen conclusies uit trekken over grootte en helderheid.

Hertzsprung-Russell diagram

spectraalklasse



Het waterstofatoom

Om zoiets als een **neutronenster** te begrijpen, moet je weten wat een atoom precies is.

Atomen bestaan uit een kern met daaromheen, op relatief enorme afstand, elektronen. De kerndeeltjes zijn positief geladen **protonen** en ongeladen **neutronen**. **Elektronen** hebben een negatieve lading. Om neutraal te zijn moet een atoom evenveel protonen als elektronen hebben.

Waterstof is het eenvoudigste atoom. De kern van een normaal waterstofatoom bestaat uit één proton (er zijn ook **isotopen** van waterstof, met een kern bestaande uit een proton en een neutron – zwaar waterstof - of zelfs met twee neutronen in de kern).

In een schaalmodel van het waterstofatoom, waarbij het proton zo groot is als een basketbal, is het elektron een korrel zand op 2400 km afstand! Het atoom is dan dus zo groot als de planeet Mercurius! Je snapt dat, als je de ruimte in een atoom weghaalt, materie ongelofelijk compact wordt.

Midden, boven: de Eta Carinae nevel bestaat uit materiaal dat de ster in 1841 in een gigantische uitbarsting uitstootte. Deze ster verspilt wel heel erg veel energie!

Daaronder: De Ringnevel (M 57), in de LIER, is een fraaie planetaire nevel.

Midden, onder: De 'Engraved Hourglass' Nevel, op 8000 lichtjaar, in het sterrenbeeld MUSCA (VLIEG).

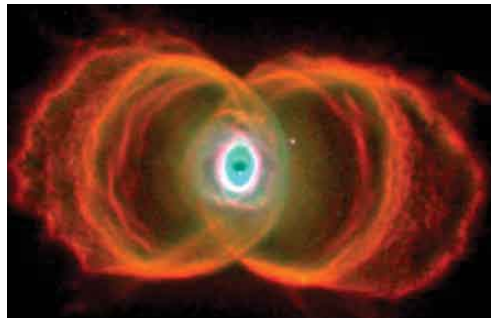
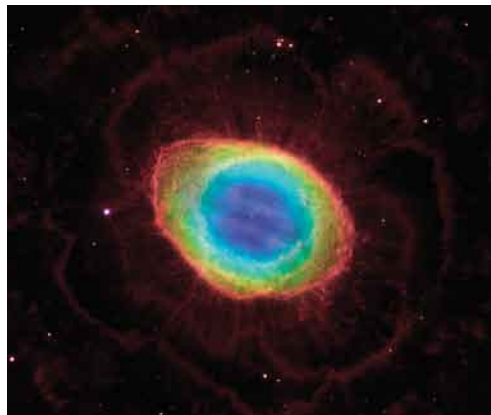
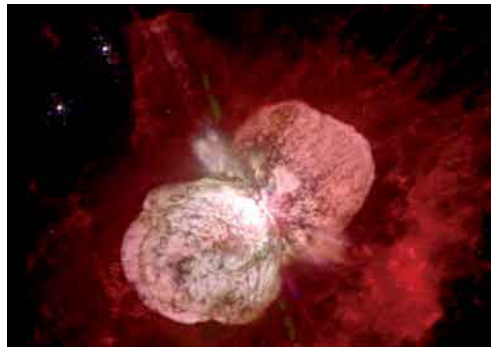
Rechtsboven: een zwart gat kun je niet zien, maar soms kun je hem wel opmerken. In deze illustratie steelt een zwart gat materie van zijn begeleidend ster. Als dat gas in het zwarte gat stort wordt het zeer heet en zendt het röntgenstraling (hier blauw aangegeven) uit, die we wel kunnen detecteren.

Rechtsonder: na de explosie van een ster (supernova) vliegt materie van de ster de ruimte in, waarbij een fraaie nevel zoals de Krabnevel (M1, in de STIER) ontstaat. We noemen zoiets een supernovarest.

Dood

Wat nu als een ster aan het eind van zijn 'leven' is gekomen? Wat is er dan aan de hand? Op zich is dat simpel: een ster stopt ermee als de brandstof op is. Die brandstof zorgt ervoor dat sterren kunnen 'branden', en een ster die is uitgedoofd zou je 'dood' kunnen noemen.

Ik vertelde al dat de zon, na de waterstofverbranding, nog de fase van heliumverbranding doorloopt. Daarna houdt het voor de zon op. De drukkracht naar buiten valt weg, omdat er in zijn kern geen energie meer wordt gemaakt. De zwaartekracht blijft natuurlijk gewoon werken, want de massa is onveranderd. De zon gaat in elkaar storten. Dat duurt totdat de temperatuur in de kern 100 miljoen graden is geworden, heet genoeg om helium te gaan omzetten in andere elementen. Door de grotere hitte gaan de buitenlagen van de zon uitzetten en wordt de zon een **rode reus**, meer dan 200 maal groter dan hij nu is. Daarmee kan de zon ongeveer een miljard jaar verder, maar dan is het echt op. De zon stort weer in elkaar, tot hij ongeveer zo groot is als de aarde, en gloeiend heet. We noemen dat een **witte dwerg**. De begeleidend ster van Sirius, Sirius B, is zo'n witte dwerg. Wat verder overblijft is een fraai gekleurde nevel die enkele tienduizenden jaren zichtbaar blijft: een **planetaire nevel**.



Neutronensterren en zwarte gaten

Zwaardere sterren kunnen het kernfusieproces relatief langer volhouden (relatief, want zij leven korter), waarbij steeds zwaardere elementen fuseren tot nog zwaardere elementen. Bij de zwaarste sterren gaat dat proces door tot ijzer. Om ijzer te fuseren levert geen energie op maar kost juist energie. Fusie stopt daar dus. Deze sterren zwellen dan op tot **rode superreuzen** of zelfs **rode hyperreuzen** (Betelgeuze, uit ORION, is 950 maal zo groot als de zon; de ster VY uit de GROTE HOND is zelfs bijna 2000 maal zo groot!).

Sterren van 1,35 tot drie zonsmassa's storten zover in elkaar dat de ruimte tussen de kern en de elektronen in de atomen verdwijnt: ze worden op elkaar gedrukt, tegen de afstotende kracht tussen protonen en elektronen in. Als protonen en elektronen bij elkaar komen smelten ze samen tot... neutronen. Het resultaat is dat de ster, veel groter dan de zon, ineens stort tot een **neutronenster**, zo groot als een flinke stad (20 km). Een borrelglasje neutronenster weegt even veel als 200.000 vliegekampschepen van de Nimitz-klasse!

Nog zwaardere sterren storten nog verder in elkaar, tot een extreem compact en zwaar object: een **zwart gat**. Die naam is bedacht omdat een zwart gat zo compact en zwaar is dat zelfs het licht er niet meer aan kan ontsnappen, en licht is het snelste dat er is (300.000 km/s). De natuurkunde van een zwart gat is nog volslagen onbekend.

In de beide laatste gevallen gaat de dood van de ster gepaard met een **supernova** explosie!

Zoals gezegd de volgende keer de antwoorden op de vragen over het Melkwegstelsel.

