

Ontdekking van kosmische straling

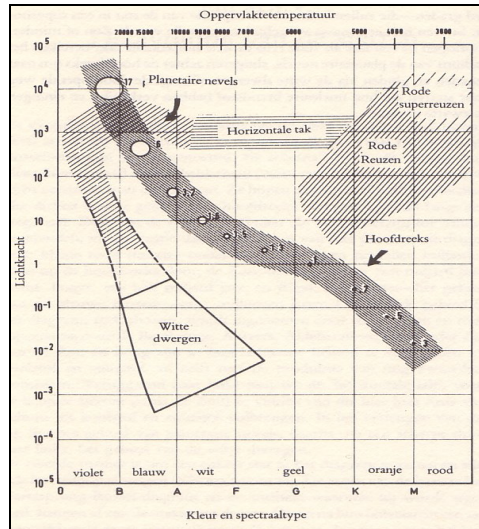
1.1 Sterevolutie

De Aarde wordt voortdurend gebombardeerd door deeltjes en straling uit de ruimte. In het elektromagnetische spectrum bereiken ons bijvoorbeeld licht, microgolven, röntgen- en gammastraling. Daarnaast ontvangen we grote aantallen neutrino's van de Zon en andere sterren. De derde component van kosmische straling bestaat uit geladen deeltjes, vooral protonen (waterstofkernen) en zwaardere atoomkernen (van helium- tot ijzerkernen). Waterstof en helium zijn in het vroege heelal gemaakt, en vormen samen meer dan 99 % van de gewone materie in het heelal. Atoomkernen zwaarder dan helium worden alleen in sterren geproduceerd. Ze kunnen de interstellaire ruimte worden ingeslingerd tijdens intens energetische gebeurtenissen zoals de implosie (ineenstorting) van een zware ster, zichtbaar als supernova. De mechanismen waardoor geladen deeltjes in de ruimte worden versneld zijn slechts ten dele bekend. Schokgolven die bij sterimplosies ontstaan, of jetstromen van quasars (actieve kernen van sterrenstelsels) kunnen als deeltjesversneller werken. Ook bij het uiteenvallen van een instabiel zwaar deeltje kunnen de brokstukken een grote energie meekrijgen.

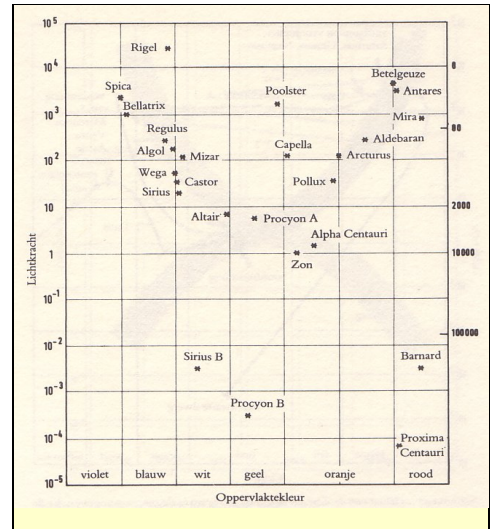
De bronnen van hoog-energetische deeltjes in kosmische straling zijn nog onbekend. Als mogelijke bronnen worden onder andere genoemd supernovae, zwarte gaten en quasars. Een supernova en een zwart gat zijn de eindstadia in de levensloop van een zware ster. Een quasar is een sterrenstelsel met mogelijk een zwart gat in het centrum. Hieronder het verhaal van de levensloop van sterren (of: de stervolutie): van protosolaire nevel tot zwarte dwerg of zwart gat.

Soorten sterren – De evolutie van de sterren kunnen we op twee manieren weergeven. Eerst zetten we alle sterren uit in een groot diagram (dat het Hertzsprung-Russel-diagram wordt genoemd, zie figuur 1 en 2) volgens hun kleur (horizontaal) en hun helderheid (verticaal). De sterren zijn niet uniform verspreid over dit diagram. Ze hopen zich op in bepaalde gebieden. Het dichtst bezette gebied – de 'hoofdreeks' – is gerangschikt langs een diagonaal. Daar zijn de sterren te vinden die hun waterstof tot helium verbranden, in een tempo dat afhankelijk is van hun plaats op de diagonaal: kleine rode sterren (rechtsonder) brengen tientallen miljarden jaren op de hoofdreeks door, de Zon (in het midden) tien miljard jaar, Sirius (hoger) een half miljard jaar, en Rigel (linksboven) in het gebied van de blauwe reuzen enige miljoenen jaren. Het tweede gebied in het diagram, rechtsboven, wordt ingenomen door rode reuzen en rode superreuzen – zoals Betelgeuze, Antares, Aldebaran – die zwaarder zijn dan de Zon en bezig zijn in hun binnenste helium te verbranden tot koofstof en zuurstof, of zelfs met de productie van nog zwaardere elementen. Teruggaand naar links zien we de 'horizontale tak', waar de lichtere sterren (zoals de Zon) te vinden zijn die hier hun fusie van helium tot koofstof en zuurstof volbrengen. In het verlengde van die tak ligt het gebied van planetaire nevels. Daarna, na een scherpe draai naar links, het gebied van de witte dwergen.

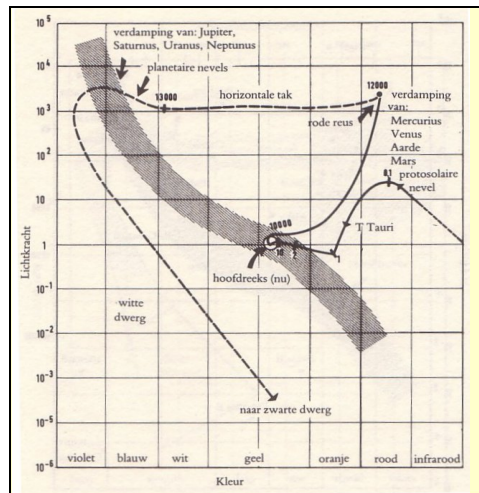
Levensloop – De tweede manier is om een enkele ster in het diagram te zetten en zijn hele levensloop te volgen (figuur 3 en 4). De vorm van de baan in het Hertzsprung-Russel-diagram en de snelheid waarmee hij wordt afgelegd, hangen af van de massa van de ster. Direct na hun ontstaan in een samentrekkende grote interstellaire wolk begeven de rode en zeer heldere sterren – die ook wel sterren van het type T Tauri worden genoemd – zich snel naar links en bereiken de hoofdreeks. Zij blijven daar tot hun centrale waterstofvoorraad is uitgeput. Vandaar gaan ze naar rechts en wanneer ze zwaarder zijn dan de Zon branden ze hun helium op in het gebied van de rode reuzen en maken in dit gebied ook de meer gevorderde stadia van de nucleaire fusie door. Sterren met een zeer grote massa zullen in dat stadium zeer hoge temperaturen bereiken – vier tot vijf miljard graden – die zullen leiden tot de explosie van de ster in een supernova. Sterren met een massa vergelijkbaar met die van de Zon of minder, doorlopen na een fase als rode reus de hele horizontale tak, bereiken het stadium van planetaire nevels, slingeren achter de hoofdreeks om naar beneden en glijden via de witte dwergen af langs de doorlopende weg voor sterren die hun nucleaire brandstof hebben verbruikt, en eindigen als zwarte dwergen.



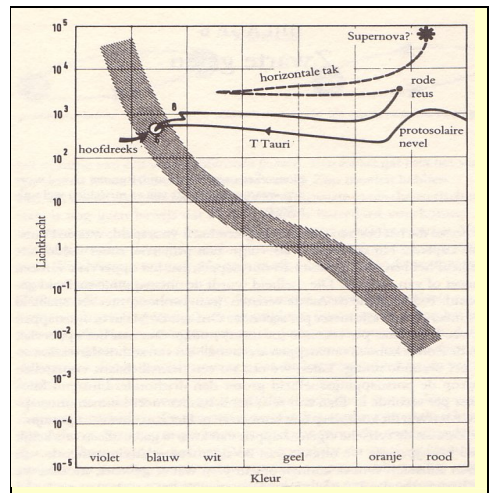
Figuur 1 – De helderheid van de sterren uitgezet tegen de kleur (het Hertzsprung-Russel-diagram, afgekort: HRD). De verticale schaal geeft de absolute helderheid ten opzichte van de Zon weer (meestal lichtkracht genoemd) – de Zon ligt dus op de horizontale lijn die door het cijfer 1 gaat. De horizontale schaal geeft de 'kleur' van de ster weer ofwel de oppervlaktetemperatuur. Astronomen delen de sterren in 'spectraaltypen' in. Deze worden aangeduid door de letters O, B, A, F, G, K en M die op de onderste schaal zijn aangegeven. In het gearceerde gebied van de hoofdreeks geeft het diagram de massa van de sterren die zich daar bevinden, uitgedrukt in zonnemassa's.



Figuur 2 – Een aantal bekende sterren in het HRD. We zien de hoofdreeks verschijnen, het gebied van de rode reuzen en de twee witte dwergen Sirius B en Procyon B. Op de rechterschaal is aangegeven, in miljoenen jaren, de tijd die de ster op de hoofdreeks verblijft – of de tijd die de ster erover doet om zijn waterstof te verbranden tot helium. Deze tijd is een ruwe maat voor de totale levensduur van de ster, aangezien de andere fasen veel sneller verlopen. Spica en Bellatrix bijvoorbeeld, zullen alle fasen van hun leven in enige tientallen miljoenen jaren doorlopen terwijl de ster van Barnard of Proxima Centauri nog lang zullen blijven stralen nadat de Zon een zwarte dwerg is geworden.



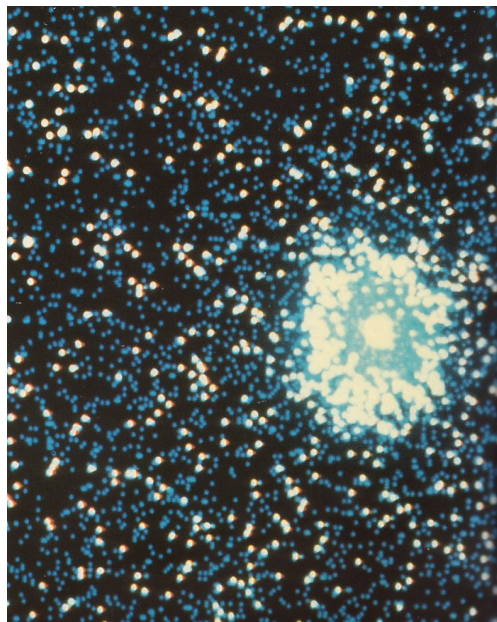
Figuur 3 – Het lot van de Zon. In het HRD is de weg aangegeven die de Zon tijdens haar evolutie doorloopt (het evolutiespoor). De cijfers in het diagram geven, in miljoenen jaren, de tijd aan die is verlopen sinds het ontstaan van de Zon uit de samentrekking van een grote interstellare wolk. Na de overgang van protosolaire nevel in het 'zonnestelsel' en na het doorlopen van de T-Taurifase, is de Zon op de hoofdreeks terechtgekomen waar zij zich heden ten dage nog op bevindt. Over vijf miljard jaar zal zij in het gebied van de rode reuzen terecht komen, langs de horizontale tak bewegen en – na de zone van de planetaire nevels te hebben doorlopen – langzaam sterven bij het doorlopen van het gebied van de witte en de zwarte dwergen.



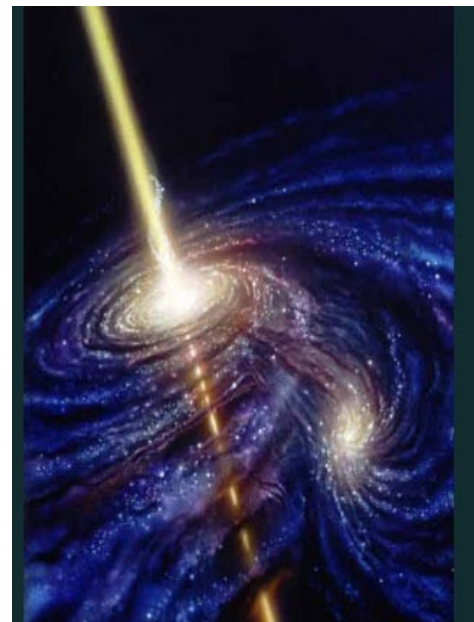
Figuur 4 – Het lot van een ster met grote massa. In het HRD wordt het spoor van een ster die een veel grotere massa heeft dan de Zon veel sneller doorlopen. De ster komt in de hoofdreeks na minder dan een miljoen jaar en het verblijft daar is – bijvoorbeeld voor Rigel – in minder dan tien miljoen jaar geëindigd. Men vermoedt, maar zeker is het niet, dat de uiteindelijke explosie tot supernova ergens in het gebied van de rode superreuzen plaatsvindt.

Zwarte gaten – Bij de dood van sterren met een grote massa ondergaat de sterstof zowel een explosie van de buitenste lagen (supernova) als een implosie (ineenstorting) van het binnenste deel. Die implosie zou een zwart gat kunnen doen ontstaan – een zo grote materieconcentratie dat de ontsnappingssnelheid groter is dan driehonderdduizend kilometer per seconde, zodat zelfs het licht niet meer kan ontsnappen. Andere zwarte gaten zouden zich hebben kunnen vormen in het binnenste van de extreem dichte materieconcentraties die heersten bij het begin van het heelal.

Hoe nemen we een zwart gat waar? De afwezigheid van straling maakt dat niet eenvoudig. We moeten letten op het sterke zwaartekrachtsveld dat zich om het zwarte gat bevindt. Dat zwaartekrachtsveld wordt 'zichtbaar' bij dubbelsterren en quasars. Er bestaan aan de hemel een groot aantal dubbelsterren. Dit zijn sterrenparen die dicht bij elkaar staan en om elkaar heen draaien. Ze beschrijven een soort omloopbaan om een punt dat tussen hen in ligt. Als een van die sterren een zwart gat is, zal men alleen zijn compagnon zien die in zijn eentje een cirkel beschrijft. Er zijn al enkele gevallen bekend van dubbelsterren waarin de tweede ster een zwart gat zou kunnen zijn.



Figuur 5 – Een quasar is een speciaal soort sterrenstelsel. Zijn allerbinnenste delen (kleiner dan één lichtjaar) zenden tienduizend maar zoveel energie uit als ons hele Melkwegstelsel. Sommige quasars staan op een afstand van twaalf miljard lichtjaar.



Figuur 6 – Simulatie van een quasar, een mogelijke bron van hoog-energetische kosmische straling.

Onder de sterrenstelsels zijn de quasars de krachtigste stralingsbronnen. Ze zijn duizendmaal sterker dan een normaal sterrenstelsel ofwel honderdduizend miljard maal zo sterk als de Zon. De bron van die straling ligt geconcentreerd in een zeer klein gebied (niet groter dan ons zonnestelsel) in het centrum van het stelsel. Welk mechanisme kan een dergelijke hoeveelheid straling uitzenden uit een zo klein volume? Er zou zich daar een zwart gat kunnen bevinden met een massa van enkele miljoenen malen die van de Zon... Het lijkt misschien paradoxaal om een zwart gat te hulp te roepen (waar niets uit kan ontsnappen) om een dergelijke hoeveelheid straling te verklaren. Maar het gat trekt alles naar zich toe en verslindt alles wat in zijn buurt komt: interstellaire wolken, planeten, hele sterren. Deze lichamen worden geweldig versneld en vallen met een grote snelheid naar het gat toe. Door botsingen tijdens hun val worden ze heet en gaan krachtig stralen. Hun 'zwanenzang' eindigt plotseling als de muil van het zwarte gat ze onherroepelijk opslokt. Het onderzoek naar de eigenschappen van zwarte gaten brengt steeds weer nieuwe verrassingen met zich mee. De Engelse astrofysicus Stephen Hawking heeft kort geleden aangetoond dat zwarte gaten langzaam verdampen... Een nieuwe paradox omdat niets uit die gaten kan ontsnappen. Opnieuw een goocheltruc die de quantummechanica mogelijk maakt. De wetten zijn daar niet absoluut. Er treden afwijkingen op die verantwoordelijk zijn voor deze verdamping. De verdamping van een zwart gat heeft tot gevolg dat de massa afneemt, wat weer een nog snellere verdamping tot gevolg heeft. Op het laatst explodeert

het gat onder het uitzenden van een geweldige hoeveelheid straling die op een afstand van miljarden lichtjaren is te zien.

Bron:

Hubert Reeves (1986), *De evolutie van het heelal* (pp. 246-254). Amsterdam: Van Gennep.

- 1 Het Hertzsprung-Russel-Diagram (HRD) is te 'lezen' als een weergave van de levensloop van een ster. Voor het bepalen van de plaats van een ster in het HRD moeten de absolute helderheid (of lichtkracht) en de oppervlaktetemperatuur van zo'n ster worden gemeten. Hoe doen astronomen dat? Geef een samenvattend antwoord op deze vraag door het uitvoeren van een literatuuronderzoek. Gebruik de in het kader hieronder genoemde bronnen als startpunt.
- 2 De verschillende stadia in de levensloop van een ster hangen samen met de kernfusiereacties die achtereenvolgens in verschillende delen van de ster optreden. Wat is die samenhang tussen stervolutie en kernfusiereacties? Geef een samenvattend antwoord op deze vraag door het uitvoeren van een literatuuronderzoek. Gebruik de in het kader hieronder genoemde bronnen als startpunt.

Bronnen

G. Bodifée, T. Dethier & E. Wojciulewitsch (1977), *Algemene sterrenkunde*. Groningen: Wolters-Noordhoff.

J. van der Rijst & C. Zwaan (1979), *Astrofysica*. Groningen: Wolters-Noordhoff.

J.W. Lackamp (1992), Verkenning van het heelal. In: J. Kortland (Red.), *Interactie* (deel 6v, pp. 115-156). Zutphen: Thieme.

Project Moderne Natuurkunde, Universiteit Utrecht: <http://www.phys.uu.nl/~wwwpnm> > Astrofysica