

Govert Schilling

# RODE REUZEN,

# WITTE DWERGEN

en

# ZWARTE GATEN

New Scientist  
Pocket Science

Over het veelzijdige  
leven van sterren



# Inhoud

Voorwoord 7

## Deel 1. Aan de wieg van een ster 13

- 1 In den beginne was er waterstof. En helium 15
- 2 Gewichtige kwesties 22
- 3 Met blijdschap geven wij kennis 30

## Deel 2. Leven en dood 37

- 4 Blik in de zon 38
- 5 Fusion cooking 47
- 6 Met oprechte deelneming 55

## Deel 3. Extreme gevallen 63

- 7 Lekker compact 64
- 8 Wederzijdse beïnvloeding 72
- 9 Werelden in botsing 79

## Deel 4. Knallend einde 87

- 10 Kosmisch vuurwerk 88
- 11 Flitsen en golven 94
- 12 Het kan altijd gekker 101

Index 109

Meer lezen? 113

# Voorwoord

Ik draag sinds najaar 2023 een duimring. Ik was erbij toen hij gemaakt werd, door een zilversmid in Makawao, op Maui.

In het voorjaar van 1987 bezocht ik voor het eerst de Europese La Silla-sterrenwacht in Noord-Chili. Aan de zuidelijke hemel prijkte een ster die op geen enkele sterrenkaart stond ingetekend.

Op 17 augustus 2017 registreerden natuurkundigen een passerende zwaartekrachtgolf, afkomstig uit een sterrenstelsel op 140 miljoen lichtjaar afstand.

Op het eerste gezicht hebben deze drie gebeurtenissen niets met elkaar te maken. Maar als je dit boekje uit hebt, snap je het verband. De verbindende factor is het veelzijdige leven van sterren. Hee, laat dat nou net de ondertitel van dit boekje zijn.

Sterren lijken misschien het eeuwige leven te hebben. Naar menselijke maatstaven klopt dat ook wel ongeveer. De zon – een heel gemiddelde ster – heeft een totale levensduur van pakweg tien miljard jaar. Dat is bijna honderd miljoen keer de leeftijd van de oudste mens op aarde.

Maar schijn bedriegt. Elke ster is ooit ‘geboren’ en zal ooit ‘sterven’. Termen die zelfs door serieuze beroepsastronomen worden gebruikt, al is een ster natuurlijk geen levend orga-

nisme. En hoewel er in het leven van elke ster soms honderduizenden jaren voorbijgaan waarin er werkelijk niets opmerkelijks gebeurt (saai!), is er toch sprake van een roerige jeugd, een enerverende oude dag en een vaak dramatisch einde.

Het is eigenlijk best bijzonder dat astronomen dat allemaal te weten zijn gekomen. Een ster kun je niet even vastpakken en in een laboratorium onderzoeken. Je kunt sterren niet naar believen ter wereld laten komen om hun geboorteprocessen in detail te bestuderen. De evolutie van een ster verloopt tergend langzaam; in verreweg de meeste gevallen zie je in één mensenleven niets veranderen. En supernova's – de explosies waarmee zware sterren aan hun eind komen – verschijnen ook al niet op afroep.

Niet zo gek dus dat er over geboorte, leven en dood van sterren tot begin vorige eeuw vrijwel niets bekend was. Sterker: het duurde tot 1925 – vrijwel exact honderd jaar geleden – voordat de Brits-Amerikaanse sterrenkundige Cecilia Payne-Gaposchkin in een revolutionair proefschrift aantoonde dat de zon grotendeels uit de lichte gassen waterstof en helium bestaat. En pas in 1938 ontdekte de Duitse natuurkundige Hans Bethe waar sterren hun licht en warmte vandaan halen.

Daarna ging het snel. In de jaren vijftig waren de grote lijnen van de sterevolutie wel duidelijk, en in de afgelopen decennia zijn ook de meeste details ingevuld. Niet alleen door de zon en de sterren te bestuderen met optische telescopen, maar ook door natuurkundig onderzoek aan kernreacties, door de inzet van nieuwe waarnemingstechnieken zoals radio- en röntgenastronomie, en door geavanceerde computerberekeningen en -simulaties.

Dus toen ik begin jaren zeventig van de vorige eeuw definitief 'viel' voor de sterrenkunde (als hobby, nadat ik op een sterrenkijkavond de planeet Saturnus zag door een

amateurtelescoop), was er al enorm veel bekend over rode reuzen en witte dwergen. De meeste sterrenkundigen twijfelden ook al niet meer aan het bestaan van zwarte gaten.

Ik weet nog goed hoe ik niet veel later vol verwachting het boek *Ontstaan en levensloop van sterren* aanschafte. Geschreven door de beroemde Nederlandse astronoom Kees de Jager en zijn voormalige promovendus Ed van den Heuvel. Best duur, en ook best pittig voor een eenvoudige middelbare scholier.

Wat me vooral is bijgebleven van het lezen van dat boek: mijn verbazing en opwinding over het feit dat al die bizarre gebeurtenissen en verschijnselen in het heelal niet alleen waarneembaar zijn, maar ook *te begrijpen*. Dat wij hier op ons kleine aardbolletje, in een uithoek van het Melkwegstelsel, gewoon snappen hoe er in het binnenste van kolossale gasbollen energie wordt opgewekt door kernfusiereacties. Hoe zware sterren hun leven beëindigen in supernova-explosies en daarbij de bouwstenen van het leven – atomen van koolstof, zuurstof en stikstof – verspreiden door het heelal. Hoe extreem compacte en supersnel rondtollende neutronensterren zich aan ons voordoen als zenuwachtige kosmische knipperbollen.

Ik hoop dat dit nieuwe *Pocket Science*-deeltje bij de lezer een soortgelijke verbazing en opwinding teweeg zal brengen. Want ik geef toe: in het dagelijks leven heb je weinig aan kennis over de levensloop van sterren. Rode reuzen, witte dwergen en zwarte gaten spelen ook geen rol in politieke debatten over maatschappelijke kwesties. Maar het is gewoon ontzettend gaaf om meer te weten te komen over wat zich allemaal afspeelt in de verste uithoeken van het heelal. Al was het maar omdat wij zelf integraal deel uitmaken van dat heelal.

Dit boekje is minder uitgebreid en minder diepgravend dan *Ontstaan en levensloop van sterren* – ik ben per slot van

rekening niet zo goed in de materie thuis als De Jager en Van den Heuvel. Ik heb geprobeerd de belangrijkste inzichten over geboorte, evolutie en dood van sterren op een laagdrempelige en toegankelijke manier te beschrijven. En ik sta ook uitgebreid stil bij wat er allemaal nog gebeurt nadat een ster het loodje heeft gelegd.

Want die zwaartekrachtgolven van 17 augustus 2017 waar ik het aan het begin over had – die zijn veroorzaakt doordat twee neutronensterren met onvoorstelbaar geweld op elkaar knalden. Neutronensterren zijn de bizarre stoffelijke overschotten van zware reuzensterren die ooit explodeerden als supernova's. En die nieuwe ster die ik dertig jaar eerder aan de Chileense hemel zag staan was precies zo'n supernova, waarbij ook zo'n neutronenster ter wereld kwam.

En die Hawaïaanse duimring? Nou, dat zilver is afkomstig uit de kosmos. Edelmetalen – atomen van onder andere goud, zilver en platina – ontstaan tijdens supernova-explosies of tijdens botsingen van neutronensterren. Exact het soort explosieve verschijnselen waar we voorjaar 1987 en zomer 2017 getuige van waren.

Alles hangt met alles samen. In heel concrete zin maken wij zelf ook deel uit van het veelzijdige leven van sterren. Van dezelfde kosmische kringloop.

Ik wil graag de redactie van *New Scientist* bedanken voor het verzoek om voor de derde keer een deeltje in de *Pocket Science*-serie te schrijven. Dank aan Ans Hekkenberg, Fenna van der Grient en Dorine Schenk voor de inspiratie en de zorgvuldige eindredactie. En ook veel dank aan astrofysicus Henny Lamers voor zijn privé-college en voor het kritisch doorlezen van de eerste versie van het manuscript. Als er nu nog steeds inhoudelijke missers in staan, is dat helemaal aan mij te wijten.

O, en natuurlijk vooral dank aan jou als lezer. Zonder geïnteresseerd publiek heeft schrijven immers geen zin. Ik wens je heel veel leesplezier met *Rode reuzen, witte dwergen en zwarte gaten*.

*Govert Schilling*  
*juni 2024*

# 1

## In den beginne was er waterstof. En helium

Hoe word je een ster?

Lees de biografie van Beyoncé, zou je zeggen. Maar over dat soort sterren gaat dit boekje niet. Beyoncé kan lekker zingen en dansen, maar ze geeft geen licht. Ze is niet zichtbaar over afstanden van honderden lichtjaren. En een levensduur van een paar miljard jaar zal ze waarschijnlijk ook niet aantikken.

Dus hoe word je een échte ster? Een sterrenkundige ster? Of, liever gezegd, hoe máák je een ster?

Het blijkt verrassend eenvoudig. Het recept voor een ster past op een *post it*-velletje.

- Meng drie delen waterstofgas met één deel helium.
- Laat gedurende enkele miljoenen jaren indikken.
- Wacht tot de buitenkant begint te stralen.
- Heet opdienen.

Er is wel één probleem: je hebt veel waterstof- en heliumgas nodig. Héél veel. En natuurlijk geduld – ook heel veel. Maar het heelal heeft daar genoeg van. Gas zat, en tijd zat. De zwaartekracht speelt voor chef-kok, en de rest gaat eigenlijk vanzelf. De kosmos bakt sterren aan de lopende band.

Wat die tijd betreft: het heelal is een slordige 13,8 miljard jaar oud. En het had al die tijd weinig anders te doen dan



sterren maken. Inmiddels zijn het er zo'n tien triljard – een één met tweeëntwintig nullen. Een zekere vorm van monomanie kan de kosmos niet ontzegd worden.

En wat dat gas betreft: het heelal bevat vrijwel uitsluitend waterstof en helium – de twee lichtste en simpelste elementen in de natuur. Eén en al ingrediënt dus, en precies in de verhouding drie op één. Daar komen vanzelf sterren van – dat kan niet anders. En dat gebeurt dan ook al vanaf het prille begin.

De allereerste sterren ontstonden vermoedelijk al toen het heelal nog maar honderd miljoen jaar jong was. Huh? Honderd miljoen jaar is toch al heel oud? Nou, niet voor het heelal. Vergelijk de huidige leeftijd van het universum met een mensenleven, dan komt honderd miljoen jaar overeen met zeven maanden. De kosmos begon dus al sterren te bakken als baby.

Maar waar kwam al dat waterstof en helium dan vandaan? Om dat te begrijpen moeten we even in de oerknal duiken (figuurlijk, *don't worry*). Of in elk geval in de situatie vlak ná de oerknal.

(Spoiler: niemand weet precies hoe het heelal is ontstaan. Dus wat de meeste mensen onder 'de oerknal' verstaan – tijdstip nul – is nog steeds een onopgelost mysterie. Sterrenkundigen spelen dan ook een beetje vals: ze gebruiken de term 'oerknal' om de allereerste levensfase van het universum te beschrijven; daarover is wél het een en ander bekend.)

Als het heelal één seconde oud is, zit het tjokvol met drie soorten deeltjes – de Legoblokjes van moeder natuur. Om te beginnen *elektronen*: heel lichte elementaire deeltjes met een negatieve elektrische lading. Daarnaast *protonen* – veel zwaarder (1836 keer zo zwaar, om precies te zijn), en met een positieve lading. En tot slot *neutronen*; die zijn ongeveer even zwaar als protonen, maar ze zijn elektrisch neutraal.<sup>1</sup>

O en wacht, er is nog een *vierde* soort deeltje: de *neutrino's*. Maar die wegen praktisch niks, ze hebben geen lading, en ze zijn zo stoïcijns als maar kan: ze trekken zich absoluut niets aan van andere deeltjes. In ons verhaal spelen ze nu dan ook geen rol (maar later in dit boekje komen ze terug om wraak te nemen).

### 3 minuten oud

Elektronen, protonen en neutronen, aanvankelijk in gelijke aantallen. Daar begint de kosmos mee. Stijf op elkaar gepakt, met een dichtheid van maar liefst vierhonderdduizend keer die van water. Anders gezegd: één kubieke centimeter heelal weegt vlak na de geboorte vierhonderd kilogram. Niet te tillen dus, en aanraken is sowieso een slecht idee, want de temperatuur van het compacte goedje bedraagt tien miljard graden.

Dat blijft gelukkig niet zo, want het heelal dijt uit (en doet dat nog steeds). Daardoor krijgen de deeltjes letterlijk meer ruimte. Gevolg: kelderende dichtheid en afnemende temperatuur. Na drie minuten weegt één kubieke centimeter kosmos nog maar iets meer dan een milligram – ongeveer het soortelijk gewicht van lucht – en geeft de thermometer hooguit één miljard graden aan. Nog geen kamertemperatuur, maar het scheelt toch een factor tien met de situatie drie minuten eerder.

De samenstelling van het heelal is in die drie minuten trouwens ook ingrijpend veranderd. Vrije neutronen zijn namelijk niet stabiel. Na een paar minuten valt een vrij neutron uiteen

1 Protonen en neutronen (de twee typen *kerndeeltjes*) bestaan zelf uit *nóg* weer kleinere bouwstenen: de *quarks*. Maar voor nu mogen we dat even vergeten.

## 4

# Blik in de zon

*Ik zie een ster.* Met dat oorwurmliedje deed het Nederlandse duo Mouth & MacNeal in 1974 mee aan het Eurovisiesongfestival in Brighton. ‘We’ wonnen niet; ABBA stal dat jaar de show met *Waterloo*. Maar Mouth & MacNeal hadden wel een punt. Een ster *zie* je. Hij geeft licht. Als er niks straalt, is er ook geen sprake van een ster.

De vraag is dan natuurlijk: waar komt dat licht vandaan? Ja OK, sterren zijn heel heet, dus het gas waar ze uit bestaan straalt licht en warmte uit. Maar waarom *blijven* ze dan zo heet? Als een ster miljarden jaren lang energie blijft uitstralen, moet er toch sprake zijn van een soort kacheltje. Dus wat is de energiebron van een ster?

Het korte antwoord is: *kernfusie*. Lichte atoomkernen (waterstof) smelten samen tot zwaardere kernen (helium). En daar komt energie bij vrij – kijk maar naar een waterstofbom. Die heet niet voor niets zo. Ook in een waterstofbom fuseren waterstofkernen tot heliumkernen. Een ster zoals onze eigen zon is eigenlijk een waterstofbom die al een paar miljard jaar lang aan het afgaan is.

Om te snappen hoe het precies werkt, moeten we het fusieproces even in detail bekijken. Het komt erop neer dat vier waterstofkernen (protonen) omgezet worden

in één heliumkern (twee protonen en twee neutronen). Maar de boekhouding klopt niet precies. Vier protonen wegen samen  $6,69 \times 10^{-27}$  kilogram, terwijl één heliumkern  $6,64 \times 10^{-27}$  kilogram weegt<sup>2</sup>. Er gaat dus een piepklein beetje massa verloren. Dat kleine massaverschil wordt omgezet in energie, volgens Einsteins beroemde formule  $E = mc^2$ .

Eén zo'n fusiereactie levert maar weinig op. Maar in het centrum van de zon wordt elke seconde een slordige 600 miljoen ton waterstof omgezet in helium. En daarvan wordt maar liefst vier miljoen ton omgezet in pure energie – *per seconde!* Aan de buitenzijde straalt de zon die energie uit in de vorm van licht en warmte. Daar hebben wij ons bestaan aan te danken.

Maar wacht even – dan wordt de zon dus elke seconde vier miljoen ton lichter! Hoe lang kan dat goed gaan? Geen zorgen: op de totale massa van de zon is vier miljoen ton per seconde volstrekt verwaarloosbaar. Sinds zijn geboorte zo'n 4,6 miljard jaar geleden is de zon ongeveer 0,03 procent lichter geworden. Dat is alsof een volwassen mens twintig gram afvalt – knappe weegschaal die zo'n miniem verschil kan meten.

In het binnenste van de zon verloopt het kernfusieproces trouwens niet bijster efficiënt. Per kubieke centimeter wordt een vermogen van slechts 0,3 milliwatt opgewekt. Dat is minder dan wat de stofwisseling in het menselijk lichaam

<sup>2</sup> In de zogeheten *wiskundige notatie* voor heel grote en heel kleine getallen geeft de *exponent* (het getal achter de 10) aan hoe veel plaatsen de komma naar rechts (bij een positieve exponent) of naar links (bij een negatieve exponent) verschoven moet worden. Dus  $2,989 \times 10^2 = 298,9$  (de komma verschuift twee plaatsen naar rechts);  $3,7589 \times 10^{-4} = 0,00037589$  (de komma verschuift vier plaatsen naar links).

## 8

# Wederzijdse beïnvloeding

De zon is single. Ja, er draait een handjevol planeten en wat kosmisch gruis omheen, maar onze moederster gaat alleen door het leven. Overzichtelijk, maar niet echt gezellig. En het gaat niet meer veranderen ook. Er bestaat nu eenmaal geen Tinder voor sterren. Eens alleen, altijd alleen (op een paar heel zeldzame uitzonderingen na).

Maar single sterren zoals de zon zijn wel in de minderheid. Naar schatting twee op de drie sterren in het heelal maken deel uit van een dubbelstersysteem – of wagen zich zelfs aan een triootje. Een mooi voorbeeld vind je in het sterrenbeeld Grote Beer. De middelste ster in de staart van de beer (Mizar) is een dubbelster. De begeleider (Alcor) is nét met het blote oog zichtbaar. (Mizar en Alcor zijn zelf trouwens allebei óók weer dubbel.)

Bij de meeste dubbelsterren heb je echter een telescoop nodig om de twee *componenten* afzonderlijk te zien. En bij sommige nauwe dubbelsterren lukt dat zelfs met de grootste telescopen ter wereld niet. Dan moet je andere technieken gebruiken om het dubbelkarakter te achterhalen.

Je kunt een dubbelster vergelijken met een twee-eiige tweeling. De sterren zijn vrijwel tegelijkertijd geboren, uit een samentrekkende wolk van gas en stof die op het laatste

moment in verschillende kleinere wolken uiteen viel. Maar toch kunnen ze flink van elkaar verschillen.

Het belangrijkste verschil zit 'm natuurlijk in de massa. Als de ene ster veel zwaarder is dan de andere, zal hij zijn brandstof in een hoger tempo verbruiken. De evolutie verloopt dan dus veel sneller. Tegen de tijd dat het lichtere broertje de kinderschoenen begint te ontgroeien, heeft de zwaardere zus haar hele leven er al zo'n beetje op zitten.

Bij een *wijde dubbelster*, waarbij de sterren ver uit elkaar staan, zullen de twee componenten elkaar tijdens hun leven niet zo sterk beïnvloeden. Tenminste, niet direct. Wel kunnen ze in een nog wijdere omloopbaan terecht komen, wanneer de zwaarste van de twee sterren als eerste opzwelt tot een rode reus en veel materie de ruimte in blaast. Hij wordt dan namelijk lichter, waardoor de sterren verder uit elkaar bewegen – minder massa betekent immers minder aantrekkende zwaartekracht.

Maar in een *nauwe dubbelster* gebeuren gekke dingen. Ook hier zwelt de zwaarste ster als eerste op. Maar al snel gaat het fout. De buitenlagen van de rode reus voelen ook de zwaartekracht van de lichtere begeleider. Het gas begint over te stromen, van de ene ster naar de andere. Kosmische nivelering zou je het kunnen noemen (of stellair vampirisme): de zware ster wordt steeds lichter; de lichte ster juist zwaarder.

Het gevolg is dat de twee sterren dichter om elkaar heen beginnen te draaien – zo werken de zwaartekrachtwetten van Newton nu eenmaal. En daardoor stroomt er alleen maar méér gas over. Als de zwaarste ster uiteindelijk zijn laatste buitenlagen de ruimte in blaast en eindigt als een veel lichtere witte dwerg, neemt de onderlinge afstand juist weer toe. Er wordt dan ook geen materie meer uitgewisseld. Maar doordat de begeleider inmiddels veel *zwaarder* is geworden, evolueert die nu een stuk sneller.

# 10

## Kosmisch vuurwerk

De hemel boven je hoofd is een toonbeeld van rust, reinheid en regelmaat. Je ziet elke nacht dezelfde sterren en sterrenbeelden. De kosmos lijkt sereen, bestendig en betrouwbaar. Maar schijn bedriegt, weten we inmiddels. In werkelijkheid is het heelal een slagveld van heftige explosies, op elkaar knallende zwarte gaten, uiteengerukte sterren en mysterieuze flitsen. Het knispert, knalt en knettert dat het een lieve lust is. Je moet alleen wel op het goeie moment in de juiste richting kijken, en dan ook nog met speciale, gevoelige telescopen.

Supernova's zijn de bekendste kosmische explosies. Zo verscheen er in het jaar 1054 opeens zo'n 'nieuwe ster' aan de hemel, in het sterrenbeeld Stier. Maandenlang bleef hij zichtbaar met het blote oog. Op die plek aan de hemel is nu een grillig nevelvlekje te zien: de Krabnevel. Dat is het uitdijende restant van de geëxplodeerde ster. In het centrum van de nevel is een pulsar ontdekt – een snel roterende en 'knipperende' neutronenster.

Ook in 1572 en 1604 verschenen er tijdelijk 'nieuwe sterren' aan de hemel, opgetekend door de astronomen Tycho Brahe en Johannes Kepler. En in februari 1987 ontplofte er een ster in de Grote Magelhaense Wolk.