



## Werkblad 51

### LEVENSLLOOP VAN STERREN

In deze opdracht ga je na hoe de levensloop van een ster eruit ziet, en wat dat betekent voor het leven op aarde.

Uit het HRD van figuur 27 in dit hoofdstuk van het basisboek blijkt dat de meeste sterren (waaronder de zon) zich op de *hoofdreeks* bevinden: de strook van rechtsonder naar linksboven. Voor deze hoofdreekssterren geldt: hoe hoger de oppervlaktetemperatuur is, des te groter is het stralingsvermogen.

Een klein deel van de sterren wijkt van deze regelmaat in het HRD af. Rechtsboven in het HRD bevinden zich sterren met een groot stralingsvermogen, maar een relatief lage oppervlaktetemperatuur: de *rode reuzen*. Linksonder in het HRD bevinden zich sterren met een klein stralingsvermogen, maar een hoge oppervlaktetemperatuur: de *witte dwergen*.

- 1** Rode reuzen zijn sterren met een groot stralingsvermogen en een relatief lage oppervlaktetemperatuur.
  1. Leg uit dat deze sterren dan relatief groot moeten zijn (dus: dat het 'reuzen' zijn).

Leg uit dat het licht van deze sterren roodachtig van kleur is (dus: dat het 'rode' reuzen zijn).
  
- 2** Witte dwergen zijn sterren met een klein stralingsvermogen en een relatief hoge oppervlaktetemperatuur.
  1. Leg uit dat deze sterren dan relatief klein moeten zijn (dus: dat het 'dwerfen' zijn).
    2. Leg uit dat het licht van deze sterren wit (en soms zelfs blauwachtig) van kleur is (dus: dat het 'witte' dwergen zijn).



3. Open op de methodesite de applet [HRD](#). Bij de start geeft de simulatie het HRD met de ster (de rode x) op de positie van de zon. Vink aan: 'show luminosity classes' en 'both the nearest and brightest stars'.
  1. Sleep de ster heen en weer over de hoofdreeks. In het venster linksboven zie je een vergelijking tussen de ster en de zon. Ga na hoe de grootte en de kleur van de ster veranderen als je de ster omhoog en omlaag over de hoofdreeks versleept.
  2. Sleep de ster naar het gebied van de rode reuzen, en ga na dat deze sterren (inderdaad) heel groot en roodachtig van kleur zijn.
  3. Sleep de ster naar het gebied van de witte dwergen, en ga na dat deze sterren (inderdaad) heel klein en witachtig van kleur zijn.

In het HRD van de simulatie is ook de straal van de sterren af te lezen: de groene lijnen in het HRD geven sterren van gelijke grootte, uitgedrukt in de straal  $R_0$  van de zon.

4. Zet de ster met 'reset' op de positie van de zon. Controleer dat de ster nu het juiste stralingsvermogen ( $P_0$ ), de juiste oppervlaktetemperatuur (5800 K) en de juiste straal ( $R_0$ ) heeft.



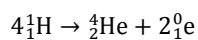
5. Sleep de ster naar het gebied van de rode reuzen. Hoeveel keer zo groot is ruwweg de straal van een rode reus, vergeleken met de straal van de zon?
6. Sleep de ster naar het gebied van de witte dwergen. Hoeveel keer zo klein is ruwweg de straal van een witte dwerg, vergeleken met de straal van de zon?

### Van protoster tot rode reus

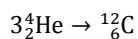
Het HRD blijkt de levensloop van een ster weer te geven. Een ster begint zijn bestaan dan rechts in het HRD als een *protoster*: een gigantisch grote gaswolk van lage temperatuur. Die gaswolk trekt samen onder invloed van de gravitatiekracht en stijgt daarbij in temperatuur. De protoster beweegt dan in het HRD naar links, en komt op de hoofdreeks terecht: de protoster is een *hoofdreeksster* geworden. De temperatuur is dan zo hoog opgelopen, dat in de kern van de ster het proces van waterstoffusie begint: waterstofkernen fuseren tot heliumkernen. De energie die daarbij vrijkomt wordt uitgezonden als straling. Uit het feit dat vrijwel alle sterren op de hoofdreeks zitten, blijkt dat dit proces heel lang kan duren. De ster blijft op de hoofdreeks tot het waterstof in de kern op is. In de kern van de ster komt nu de heliumfusie op gang: heliumkernen fuseren tot koolstofkernen. De waterstoffusie gaat door in een meer naar buiten gelegen schil rond de kern. Daarbij zwelt de ster op: in het HRD gaat de ster naar rechts en bereikt het stadium van *rode reus*. Wat er verder gebeurt, hangt af van de massa van de ster.

#### KERNFUSIE

Als de temperatuur in de kern van de ster hoog genoeg is opgelopen, komt het proces van kernfusie op gang. Dat begint met de fusie van vier waterstofkernen tot een heliumkern:



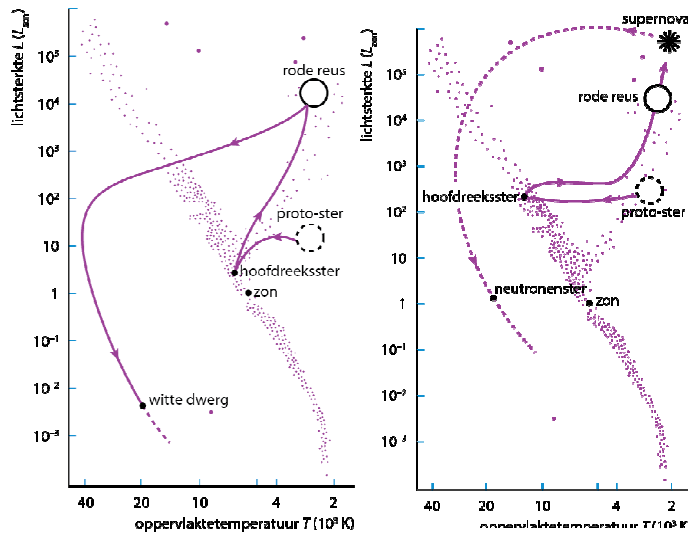
Als het waterstof opraakt, komt het proces van heliumfusie op gang: drie heliumkernen fuseren tot een koolstofkern:



En in een nog later stadium begint het proces van koolstoffusie: twee

### Van rode reus tot witte dwerg

Bij sterren met een kleine massa (minder dan ongeveer  $3 \times$  de massa van de zon) loopt de temperatuur in de kern niet voldoende hoog op om aan koolstoffusie toe te komen: de koolstofkernen fuseren niet tot nog zwaardere kernen. Aan het eind van de heliumfusie trekt de ster zich snel samen tot een *witte dwerg*, die geleidelijk afkoelt (zie figuur 1). Daardoor neemt het stralingsvermogen af, en wordt de ster steeds moeilijker waarneembaar.



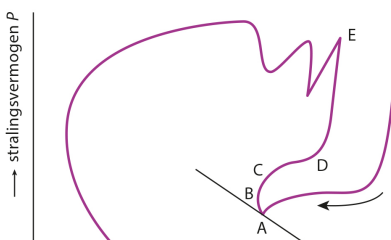
**Figuur 1** De levensloop van een proto-ster tot witte dwerg in het HRD

**Figuur 2** De levensloop van een proto-ster tot neutronenster in het HRD

### Van rode reus tot neutronenster

Bij sterren met een grote massa komt in het stadium van rode reus de koolstoffusie wel op gang, terwijl de helium- en waterstoffusie in meer naar buiten gelegen schillen nog doorgaan. Daarna verlopen de opeenvolgende fusieprocessen in een snel tempo, tot de kern van de ster voor een groot deel uit ijzer bestaat. Dan stopt de kernfusie, en de ster stort ineen. De temperatuur, en daarmee de lichtsterkte, loopt in een paar dagen tijd zeer hoog op. Er is dan sprake van een *supernova*: een plotseling opvlammende ‘nieuwe’ ster (zie figuur 2). Daarbij wordt een groot deel van de ster massa het heelal in geslingerd. Op deze manier worden de gevormde zware elementen over het heelal verspreid. In een later stadium kunnen deze elementen weer bijdragen aan de vorming van nieuwe sterren en planeten.

Van de ster blijft na het supernova-stadium weinig méér over dan de kern. In deze ineenstortende kern loopt de dichtheid zó hoog op, dat protonen en elektronen zich verenigen tot neutronen: er ontstaat een *neutronenster* (zie figuur 2), met een zeer grote dichtheid van zo’n  $10^{18}$  kg/m<sup>3</sup>. De neutronenster koelt verder geleidelijk af. De massa van een neutronenster kan zo groot zijn, dat er een *zwart gat* ontstaat. De gravitatiekracht aan het oppervlak van zo’n ster is dan zo groot, dat zelfs fotonen niet meer kunnen ontsnappen.





### De levensloop van de zon

De zon is op dit moment een hoofdreksster (positie A in het HRD van figuur 3). Deze ster ontstond zo'n 5 miljard jaar geleden uit een zich samentrekkende gaswolk. Dat gas was afkomstig van exploderende, oudere sterren in het heelal.

Op grond van de hoeveelheid waterstof en helium in de zon is de levensduur van deze ster te schatten op zo'n 10 miljard jaar. Over ongeveer 5 miljard jaar zal de zon dus opvlammen en uitzetten tot een rode reus.

- 4 Als de zon aan het eind van zijn levensduur opzwellt tot een rode reus (positie E in het HRD van figuur 3), wordt zijn straal ruwweg honderd × zo groot.
  1. Geef in een tekening op schaal de posities van de planeten Mercurius, Venus, Aarde en Mars ten opzichte van de zon weer. Teken daarin op dezelfde schaal de zon, als deze is opgezwollen tot een rode reus.
  2. Welke planeten liggen dan binnen de zon? En hoe groot schat je de overlevingskans van de aarde?

**Figuur 3** De levensloop van de zon in het HRD

Als de zon het stadium van rode reus bereikt, zullen de aarde en de andere planeten verdampen. De zon zal haar buitenste lagen wegblazen, en haar leven eindigen als een witte dwerg. En de weggeblazen materie zal na verloop van tijd op andere plaatsen in het heelal weer een onderdeel vormen van een zich samentrekkende gaswolk: de geboorte van een nieuwe ster, met mogelijk een nieuw planetenstelsel.