

# Levensloop van Sterren

## Een nlt-module over astrofysica en -chemie

Vierhonderd jaar geleden bestudeerde Galileo Galilei als eerste de sterrenhemel met een telescoop. Tegenwoordig is er verbazend veel meer bekend over de sterren en hun eigenschappen en over de fysische en chemische processen in het heelal. Zo weten we bijvoorbeeld hoe sterren zich ontwikkelen, van hun geboorte tot hun ondergang.

■ Florine Meijer en Ton van der Valk / Junior College Utrecht, Universiteit Utrecht

Veel mensen raken geïntrigeerd door de pracht van een sterrenhemel. De aanblik ervan roept allerlei vragen op. Waar bestaan sterren uit? Hoe ver staan ze weg? Hoe komt het dat ze licht geven? Houden sterren wel eens op te bestaan en wat gebeurt er dan? De module *Levensloop van Sterren*<sup>1</sup> geeft op het niveau van 5/6 vwo hier antwoorden op. En op de vraag: hoe zijn we daar allemaal achter gekomen?

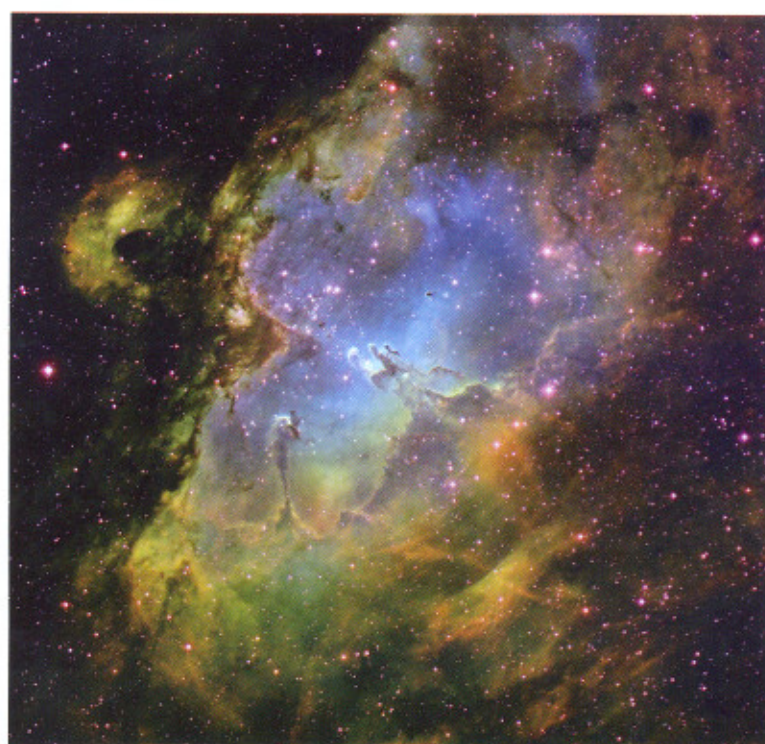
In de module worden processen in en tussen sterren beschreven met bekende begrippen uit de schoolnatuurkunde en -scheikunde: zwaartekracht, gaswetten, kernreacties, spectroscopie. Maar er zijn ook nieuwe begrippen nodig: lichtkracht en het hertzsprung-russell-diagram.

### Kern en keuzes

De module bestaat uit drie kernhoofdstukken en vier keuzehoofdstukken:

Kernhoofdstukken	<ul style="list-style-type: none"> <li>Meten aan sterren</li> <li>Structuur van sterren</li> <li>Levensloop van sterren</li> </ul>
Keuzehoofdstukken	<ul style="list-style-type: none"> <li>Scheikunde tussen sterren</li> <li>Compacte sterren</li> <li>Supernova's</li> <li>Zwarte gaten</li> </ul>

Tabel 1. De opbouw van de module



De Adelaarsnevel: een grote interstellaire wolk waarin sterren worden gevormd. Foto: Hubble Space Telescope.

De kernhoofdstukken beschrijven de bouw en levensloop van sterren. Hoofdstuk 1 behandelt hoe astronomen door slimme combinaties van metingen en theorieën de afstand tot de sterren achterhaalden, evenals hun oppervlaktetemperatuur en hun samenstelling. Hoofdstuk 2 gaat over de structuur van

sterren die op onze zon lijken: waaruit ze bestaan, uit welke energieomzettingen hun stralingsenergie voortkomt en hoelang ze die straling volhouden. Hoofdstuk 3 beschrijft de levensloop van lichte en zware sterren: van hun ontstaan uit interstellaire reuzenwolken tot hun spectaculaire einde als bijvoorbeeld supernova.

In de keuzehoofdstukken kunnen de leerlingen zich verder verdiepen in zwarte gaten, neutronensterren, witte dwergen, supernova's en scheikundige reacties in interstellaire nevels.

Er zijn diverse routes door de module mogelijk. Bijvoorbeeld: een docent bespreekt klassikaal de kernhoofdstukken en het keuzehoofdstuk *Scheikunde tussen de sterren*. De leerlingen maken een aantal opgaven uit die hoofdstukken. Het geheel wordt afgesloten met



Veelvoorkomende woorden in de module. Met dank aan [www.wordle.net](http://www.wordle.net)

een toets. Daarna werken de leerlingen in groepen aan een keuzeopdracht. In het leerlingmateriaal staan bij elk keuzehoofdstuk suggesties daarvoor. Als afsluiting presenteren de leerlingen hun keuzeonderwerp.

Bij het ontwikkelen van de module hebben ervaringen uit de klas een grote rol gespeeld. De (werk)colleges van Utrechtse sterrenkundigen aan de leerlingen van het Junior College Utrecht<sup>2</sup> vormden de bakermat van de module. Vier partnerscholen hebben de module getest

“Het verhaal achter het ontstaan van sterren: heel interessant!”  
Het lastigste vonden ze de grote hoeveelheid informatie en de vele formules.

kennis van natuurkunde en (in mindere mate) scheikunde. Om bestaande voorkennis op te rakelen en ontbrekende voorkennis aan te leren is er een voor-

“Geeft een goede indruk van hoe groots en indrukwekkend het heelal kan zijn”

Docenten vinden de module pittig om te geven. Ze vinden dat je hem zeker niet aan het begin van de vijfde klas moet aanbieden: hij vereist de nodige voor-

kennisbijlage met opgaven. Een docent die delen van de module na behandeling van het Project Moderne Natuurkunde<sup>1</sup> heeft gegeven, zegt: “De leerlingen waren met enthousiasme bezig met de module. De begripsmatige opbouw van *Compacte*

### Voorbeeld 1: de levensduur van sterren

Onderstaande theorie volgt na de behandeling van de structuur van sterren en hun energiebron. De levensduur van de zon is dan bepaald. De vraag is nu hoe lang die van andere sterren is.

Uit metingen van de massa van hoofdreekssterren en hun helderheid blijkt de relatie tussen lichtkracht en massa:

$L/L_{\text{zon}} = (M/M_{\text{zon}})^{3,8}$ . Dus een ster met massa  $2M_{\text{zon}}$  heeft een helderheid van  $L=(2)^{3,8}L_{\text{zon}}=14L_{\text{zon}}$  en een ster met  $0,5M_{\text{zon}}$  heeft een helderheid van slechts  $L=(0,5)^{3,8}=0,07L_{\text{zon}}$ .

Met de helderheid en de massa kun je de levensduur van een ster schatten. Een ster

met meer massa heeft meer waterstof om te fuseren en kan dus in totaal meer energie produceren. Zij zou dus ook langer moeten leven. Maar als zij ook helderder is, jaagt zij die energie er sneller door. Dat zal de levensduur juist weer verkorten. Dus: Levensduur = brandstof/verbruik. Ofwel  $t_{\text{max}}=10^{10}(M/M_{\text{zon}})/(L/L_{\text{zon}})$  jaar, waarbij  $10^{10}$  jaar de levensduur van de zon is. Met deze formule bepalen de leerlingen de levensduur voor verschillende sterrenmassa's. Dan blijkt dat sterren met massa's kleiner dan  $0,8 M_{\text{zon}}$  ouder worden dan 14 miljard jaar, de leeftijd van het heelal!



De website over zwarte gaten, gemaakt als PO door leerlingen Philip en Anna op [www.freewebs.com/natpo](http://www.freewebs.com/natpo).

bij natuurkunde en nlt. Hun ervaringen zijn verwerkt in de eindversie die in 2009 is gecertificeerd.

### Ervaringen in de klas

Leerlingen die de module hebben gedaan, vinden het een interessant onderwerp, uitdagend en leuk om eens 'wat anders dan anders' te leren. Een paar citaten:

“Geeft een goede indruk van hoe groots en indrukwekkend het heelal kan zijn.”

“Ik vond de sessies over supernova's en zwarte gaten het leukst, omdat die over concrete voorbeelden gingen. Bovendien zijn het ook echt *coole* dingen die gebeuren als een ster ontploft.”

Op de vraag wat het belangrijkste was wat ze in de module geleerd hadden, antwoorden ze:

“Sterrenkunde is een zeer ingewikkeld maar wel boeiend onderwerp waar je erg veel over kunt nadenken en filosoferen.”  
“Je kunt veel uitrekenen met weinig gegevens.”

### Voorbeeld 2: complexe moleculen in een interstellair wolk

In het keuzehoofdstuk *Scheikunde tussen de sterren* wordt de vorming van moleculen in samentrekkende interstellair wolken beschreven. In een ijle wolk is de kans op een botsing tussen twee atomen klein. Door de grootte van de wolken en de lange levensduur vinden er toch reacties plaats. In de loop van miljoenen jaren condenseren de reactieproducten op aanwezige stofdeeltjes. Deze bevatten dikwijls koolstof en silicaten. Aan deze ijzige oppervlakken kunnen diverse reacties plaatsvinden. Deze leiden tot verzadigde verbindingen vanwege de overmaat H-atomen: O wordt  $H_2O$ , C wordt  $CH_4$ , N wordt  $NH_3$ .

In een volgend stadium ontstaat een protoster. Het samentrekken in de kern van de wolk zorgt voor een stijgende temperatuur. Op een zeker moment verdampen de ijsmantels om de stofdeeltjes.

Daardoor kunnen ook tamelijk complexe verbindingen zoals  $CH_3OCH_3$  ontstaan. De opbouw van nog complexere moleculen wordt belemmerd door de harde UV-straling die hen weer doet ontleden: fotodissociatie.

### Opgave 1-10: Reacties van complexe moleculen

- Leg uit waardoor in dichte wolken de overlevingskans van de meer complexe moleculen groter is dan in diffuse wolken.
- Bedenk een reactie waarmee uit water en koolstof (ondermeer) koolstofmonoxide gevormd kan worden.
- Geef de structuurformule van het lange molecuul  $HC_3N$ .
- Er zijn nog langere moleculen tussen de sterren aangetroffen. Zoek daarvan voorbeelden op internet.

sterren was voor hen vanuit het deeltje-in-een-doosje-model goed te volgen. Wel vonden ze de wiskundige beschrijvingen moeilijk." Een andere docent vond dat de keuzeonderwerpen sterk bijdroegen aan de motivatie: "Daarmee zijn de meeste leerlingen enthousiast aan het werk gegaan. Dat leidde tot een aantal websites, enkele verslagen en een heuse brochure met de titel *neutrino's voor dummies*." Zie de URL onder figuur 3.

### Gebruiksmogelijkheden

*Levensloop van Sterren* kan geheel of gedeeltelijk ingezet worden binnen natuurkunde- en scheikundelessen. Voor nlt past de module in vwo-domein D *Stellaire informatie en processen*. Hij sluit aan op de NiNa-module *Elektromagneti-*

minder diepgaand behandelen.

- Keuzehoofdstukken: niveaudifferentiatie. *Compacte sterren* en *Supernova's* zijn het lastigst.

De module vereist veel flexibiliteit van nlt-leerlingen zonder natuurkunde en hun docent. Deze leerlingen zullen in elk geval de voorkennisbijlage uitgebreid moeten gebruiken.

De module kan afgesloten worden met een toets en/of een praktische opdracht over een keuzeonderwerp. Een leuke aanvulling is een bezoek aan een sterrenwacht of een planetarium.

### Beschikbaarheid

Het materiaal is verkrijgbaar via [www.betavak-nlt.nl](http://www.betavak-nlt.nl) of direct bij het JCU: [www.uu.nl/jcu](http://www.uu.nl/jcu). Via [JCU@uu.nl](mailto:JCU@uu.nl)

### Noten

1. Verbunt, F.W.M., Lamers, H.J.G.L.M., Pols, O., Vink, J., Heise, J., Jiraskova, S., Meijer, F.J. (red.) (2009). *Levensloop van Sterren*. JCU: Universiteit Utrecht. Zie [www.betavak-nlt.nl](http://www.betavak-nlt.nl) bij gecertificeerde VWO-modules.
2. Valk, T. van der Tromp, S. (2007). JCU: een werkplaats voor inhoudelijke vernieuwing van bètaonderwijs. *NVOX* 32(3), 142-145.
3. Hoekzema, Dick, Berg, Ed van den, Dijk, Leo van en Schooten, Gert (2005). Deeltjes (of golven?) in dozen (1). *NVOX* 30(7), 360-364.
4. [www.betasteunpunt-utrecht.nl](http://www.betasteunpunt-utrecht.nl)

#### ◆ Florine Meijer

is onderwijsontwikkelaar voor nlt en natuurkunde bij het Junior College Utrecht. Ton van der Valk is curriculumcoördinator bij het Junior College Utrecht en vakdidactisch onderzoeker bij het FIsme van de Universiteit Utrecht.

## "Het zijn ook echt coole dingen die gebeuren als een ster ontploft"

*sche straling en materie* (met veel voorkennis in een sterrenkundige context). Hij sluit ook aan op het Project Moderne Natuurkunde<sup>3</sup> en op de nlt-module *Kernfusie*. Met de nlt-module *Meten aan Melkwegstelsels* overlapt hij gedeeltelijk. De module biedt differentiatie voor klassen, leerlingen en docenten door de volgende keuzemogelijkheden.

- Voorkennisbijlage: vooraf doorwerken of in stukjes tijdens de onderwerpen. Kernhoofdstukken: dieper of

is het docentmateriaal beschikbaar, inclusief verwijzingen naar achtergrondliteratuur, antwoorden op de opgaven, voorbeelden van toetsvragen en PowerPointpresentaties. Nascholing en ondersteuning worden verzorgd door het Bètasteunpunt Utrecht<sup>4</sup>.