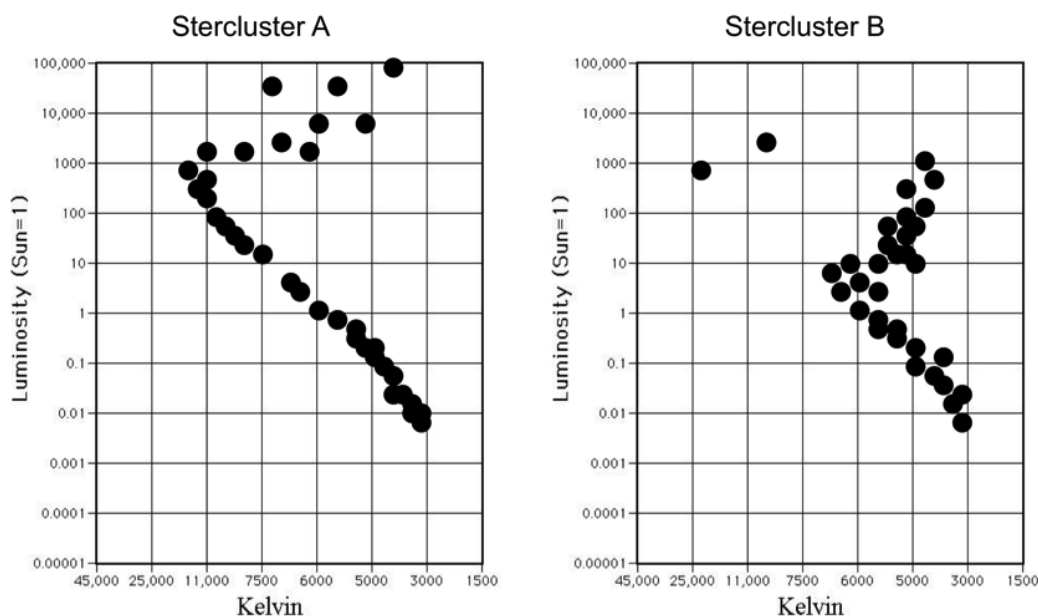


**INLEIDING ASTROFYSICA - WERKCOLLEGE V**  
**WOENSDAG 20 NOVEMBER, 2019**

Dit werkcollege bestaat uit vijf opdrachten. De inleveropdrachten (opgave 1 en 2) moet op **20 november aan het begin van het werkcollege** worden ingeleverd bij je assistent. Tijdens het werkcollege zal er nog gelegenheid zijn om aan de overige opgaven te werken, maar het is aan te raden om al het een en ander voor te bereiden.



FIGUUR 1. Hertzsprung-Russel diagram van twee sterclusters.

**Opgave 1 (inleveropdracht):** (*4 punten*) In Fig. 1 zie je het Hertzsprung-Russel diagram van stercluster A en stercluster B. Neem aan dat de lichtkracht  $L$  van sterren op de hoofdreeks schaalt als  $L \propto M^4$ , waarbij  $M$  de massa van de ster is, en dat de Zon in totaal 10 miljard jaar op de hoofdreeks zal doorbrengen. Hoe lang geleden zijn de twee sterclusters gevormd?

**Opgave 2 (inleveropdracht):** Witte dwergen zijn overgebleven, kale sterkernen waarin geen kernfusie meer plaats vindt. Procyon B is zo'n witte dwerg, met een massa van  $0.6 M_{\odot}$  en een oppervlaktetemperatuur van  $T_{\text{eff}} = 7740 \text{ K}$ .

- (a) (*2 punten*) De lichtkracht van Procyon B is 0.05% van die van de Zon. Wat is de straal van Procyon B?
- (b) (*1 punt*) Waar komt de energie die de witte dwerg uitzendt vandaan?
- (c) (*2 punten*) Hoe ver moet een planeet, met de eigenschappen van de Aarde, om Procyon B draaien om eenzelfde evenwichtstemperatuur ( $T = 255 \text{ K}$ ) te hebben?
- (d) (*1 punt*) Kan een dergelijke planeet bestaan? Motiveer je antwoord.

**Opgave 3** Stof langs de gezichtslijn tot sterren in de Melkweg heeft een invloed op de metingen van fluxen en kleuren van sterren. We moeten hier dus rekening mee houden in onze interpretatie.

- (a) De ster 9 Sagitarii is een hoofdreeksster met spectraal type O5 en waargenomen schijnbare magnitude  $m_V = 6.0$ . Wat is de afstand tot deze ster als je aanneemt dat er geen vermindering van de flux door stof langs de gezichtslijn plaats vindt? (Hint: zie Tabel A.5)
- (b) Nu blijkt dat stof langs de gezichtslijn het licht in de V-band met 0.1 magnitude heeft uitgedoofd. Wat is de correcte afstand tot 9 Sagitarii?

Wanneer een Hertzsprung-Russell diagram wordt samengesteld door middel van metingen van verschillende sterren (zoals in Figuur 14.2) dan wordt de hoofdreeks deels verbreedt door meetfouten in de afstanden tot de sterren.

- (c) Als een typische onzekerheid in de parallax 10% is, welke richting en hoeveel (in magnituden) zijn de meetpunten dan typisch verschoven ten opzichte van de ware positie in het H-R diagram?

**Opgave 4:** De bolometrische lichtkracht van de Zon is  $3.86 \times 10^{26} \text{W}$  en de massa is  $2 \times 10^{30} \text{kg}$ . De Zon zal ongeveer 10 miljard jaar op de hoofdreeks doorbrengen. Tijdens deze periode wordt waterstof gefuseerd tot helium door middel van de proton-proton cyclus, waarbij 0.7% van de massa wordt omgezet in energie.

- (a) Bereken de vaart waarmee de massa van de Zon vermindert door kernfusie reacties. Druk het resultaat uit in zonsmassa per jaar. Zorgt dit massa verlies voor een significante verandering in de totale massa van de Zon over de periode op de hoofdreeks?
- (b) Sterren verliezen ook massa door stellaire winden; in het geval van de Zon is de dichtheid van de zonnewind op een afstand van 1 AE ongeveer  $8 \text{ protonen/cm}^3$  en de wind heeft een snelheid van 500 km/s. Wat is het gemiddelde massa verlies in zonsmassa per jaar door de zonnewind? Hoe vergelijkt dit met het massa verlies door energieproductie?
- (c) Tijdens de kernfusie van vier protonen in een helium kern komt er  $6.4 \times 10^{14} \text{ J/kg}$  aan energie vrij, alsmede twee neutrinos. Bereken het aantal kernfusies per seconde. Hoeveel neutrinos worden er in de Zon per seconde geproduceerd?
- (d) Wat is de totale flux aan solaire neutrinos aan het oppervlak van de Aarde (in neutrinos per seconde per vierkante meter)?
- (e) De werkzame doorsnede voor neutrino interacties is heel klein. Tijdens je leven (neem aan dat je 100 jaar oud wordt) zal gemiddeld slechts één neutrino een kernreactie in een atoom in je lichaam veroorzaken. Bereken de kans voor de interactie van een enkele neutrino.
- (f) Nadat het waterstof in de kern is omgezet in helium, neemt de temperatuur toe en wordt helium in koolstof omgezet via het triple-alpha proces ( $3 \text{ He} \rightarrow \text{C}$ ) waarbij 0.07% van de massa vrijkomt als energie. Neem aan dat de lichtkracht van de Zon als rode reus  $30 \times$  hoger is dan ten tijde van de hoofdreeks. Hoe lang duurt het voordat alle Helium in de kern (die ongeveer 1/3 van de massa bevat) is opgestookt?

**Opgave 5:** Gammaflitsen zijn gebeurtenissen die worden gedetecteerd door satellieten, waar een flits van hoog-energetische gammastralen wordt waargenomen die minder dan een seconde duurt. Het is nu duidelijk dat gammaflitsen kunnen worden veroorzaakt door de botsing van twee neutronensterren.

- (a) Beschouw een neutronenster met een massa van  $1.4 M_\odot$  en staal 10 km. Schat de totale potentiële zwaartekrachtsenergie (of bindingsenergie) van de neutronster.

De massa-straal relatie voor objecten waar de zwaartekracht in evenwicht wordt gehouden door ontaardingsdruk, schaalt als

$$R \propto M^{-1/3}.$$

Neem nu aan dat de gammaflits het resultaat is van de botsing van twee van deze neutronensterren, en dat het resultaat een enkele neutronenster is met een massa die twee maal groter is als de massa van de individuele neutronensterren.

- (b) Bereken de potentiële zwaartekrachtsenergie van de gefuseerde neutronenster. Hoeveel energie wordt er vrijgemaakt tijdens de botsing, als we alleen het verschil in potentiële zwaartekrachtsenergie beschouwen?