

# Vlaamse Sterrenkunde Olympiade 2008

1 februari 2008

Welkom bij de Vlaamse Sterrenkunde Olympiade 2008! Zoals uitgelegd in het reglement op de website mag je deze Olympiade thuis oplossen, met alle opzoekwerk dat je nodig acht. Alle deelnemers worden tijdens de zomervakantie uitgenodigd op een evenement van de Jongerenvereniging Voor Sterrenkunde, waar de prijsuitreiking voor de top drie plaatsvindt. Vergeet zeker niet om ook volgend jaar deel te nemen aan de Vlaamse Sterrenkunde Olympiade. In 2009, het Internationaal Jaar van de Sterrenkunde, organiseren we tijdens de zomerschool van de Vereniging Voor Sterrenkunde een tweede ronde, waar de beste kandidaten in aanmerking komen voor nog hemelsere prijzen!

Het is de bedoeling dat je de onderstaande vragen oplost en naar ons stuurt **voor 30 april 2008** op het adres: Vlaamse Sterrenkunde Olympiade 2008, Vereniging Voor Sterrenkunde, Oostmeers 122c, 8000 Brugge. Elektronisch insturen kan ook, naar [deelname@sterrenkundeolympiade.be](mailto:deelname@sterrenkundeolympiade.be). Let hierbij op de volgende punten:

- Maak de opgaven op papier (dus niet digitaal: als je elektronisch wil insturen, scan dan je antwoorden in PDF-formaat). Hierop mag je tekst schrijven, berekeningen doen, diagrammen maken of wat je zelf ook maar nodig acht om de vragen goed te kunnen beantwoorden.
- Vermeld bij het insturen van de antwoorden ook de volgende gegevens:
  - naam (op elk blad) en adres
  - telefoonnummer
  - e-mail adres
  - geboortedatum
  - naam van je school
  - adres van je school
  - leerjaar
  - studierichting
  - naam van je fysica- en aardrijkskundeleraar
  - hoe je op de hoogte bent gebracht van deze Olympiade
- Niet alle vragen zijn even gemakkelijk. Raak hierdoor niet ontmoedigd! Deze toets is samengesteld om de beste inzenders te kunnen selecteren en wellicht is er geen enkele inzender die de toets perfect maakt. Kortom: ook als je maar een deel van de toets hebt kunnen maken: **stuur vooral je uitwerkingen in!**

- Voor sommige opgaven zal je niet alle benodigde informatie voorhanden hebben. Het is dus goed mogelijk dat je een begrip (bijvoorbeeld ‘supernova’) of getal (bijvoorbeeld de massa van de zon) op internet of in een boek wilt opzoeken. Dit mag je dan ook doen waar je dat maar nuttig lijkt, maar **vermeld wel altijd je bron!**
- Geef altijd een motivatie voor een antwoord. Een getal als uitkomst alleen verdient geen punten, evenals een enkel begrip. Laat met een berekening zien hoe je aan een getal komt, of leg uit wat je doet om tot het antwoord te komen. Kan je een getal niet precies uitrekenen, maar weet je wel ongeveer wat je zou moeten doen, schrijf dit dan ook op!
- Bewaar een eigen kopietje van je antwoorden, want na 30 april zetten we de uitwerkingen op internet, zodat je zelf alvast kunt kijken hoe je het hebt gedaan.
- De toets wordt nagekeken door een daarvoor aangewezen commissie. Over de uitslag kan niet worden gediscussieerd.
- Heel veel succes!

Het bestuur van de Vlaamse Sterrenkunde Olympiade 2008: Eva Bauwens, Iwein De Baetselier, Stijn De Jonge, Nicki Mennekens, Frederik Timmermans, Geertrui Vandist en Vincent Vanweddingen.

<http://www.sterrenkundeolympiade.be>  
[info@sterrenkundeolympiade.be](mailto:info@sterrenkundeolympiade.be)

## Meerkeuzevragen

1. Waarom twinkelen sterren?
  - (a) Omdat de fusieprocessen instabiel zijn.
  - (b) Omdat koude en warme pakketjes lucht in de atmosfeer trillen.
  - (c) Door absorptie in de ozonlaag.
  - (d) Omdat het vocht in je ogen zorgt voor glinsteringen.
2. De Hubble Space Telescope heeft schitterende opnames gemaakt van planetaire nevels. Zoek er eens een paar op via de website <http://hubblesite.org/gallery>.  
Wat is een planetaire nevel?
  - (a) Een nevel waar planeten uit gevormd worden.
  - (b) De uitgestoten buitenste lagen van een lichte ster zoals de zon, wanneer deze aan het eind van haar leven komt en een witte dwerg wordt, zoals de Kattenognevel.
  - (c) De geboorteplaats van sterren, zoals de Orionnevel.
  - (d) De resten van een supernova-explosie, zoals de Krabnevel.
3. In Vlaanderen en Nederland is het lastig sterrenkijken vanwege het slechte weer. Toch worden er waarnemingen gedaan in Nederland, bijvoorbeeld in Westerbork. Wat is er speciaal aan de telescoop in Westerbork?
  - (a) Omdat radiostraling veel langere golflengtes heeft dan zichtbaar licht, heb je geen last van de wolken.
  - (b) Deze telescoop wordt gebruikt om wolken en andere natuurverschijnselen te bestuderen.
  - (c) Deze telescoop doet zelf geen waarnemingen, deze werd vroeger gebruikt als een radiostation voor sterrenkundigen.
  - (d) Doordat er verschillende telescopen op een rij staan, heb je minder last van de bewolking.
4. Over ongeveer vijf miljard jaar heeft de zon al het waterstof in het centrum gefuseerd tot helium. Hierdoor breekt een nieuwe evolutiefase aan. Zet de verschillende fasen van de evolutie van een lichte ster in de goede volgorde.
  - (a) hoofdreeks, witte dwerg, rode reus.
  - (b) hoofdreeks, witte dwerg, neutronenster.
  - (c) hoofdreeks, rode reus, neutronenster.
  - (d) hoofdreeks, rode reus, witte dwerg.

5. Wat is een typische dichtheid voor een witte dwerg?
- (a) Ongeveer de dichtheid van water.
  - (b) Ze bestaan grotendeels uit koolstof, dus de dichtheid is ongeveer gelijk aan de dichtheid van het grafiet in je potlood.
  - (c) Ongeveer 10 miljoen keer de dichtheid van water.
  - (d) Ongeveer 10 miljard keer de dichtheid van water.
6. Een neutrino is, net als een elektron, een elementair deeltje. Het heeft maar heel weinig massa en mede daarom is het heel erg moeilijk om zo'n deeltje te detecteren. De zon zendt elke seconde ongeveer  $1 \cdot 10^{35}$  neutrino's uit.  
Hoeveel van deze neutrino's gaan er ongeveer door je hand op aarde in één seconde?
- (a) 1
  - (b) 100
  - (c) 10 000
  - (d) 10 000 000
7. Wat is een bruine dwerg?
- (a) Een ster die aan het eind van haar leven is en bruin wordt.
  - (b) Een witte dwerg die veel ijzer bevat, waardoor ze bruin kleurt.
  - (c) Een ster met heel lage massa waarin nooit kernfusie heeft plaatsgevonden.
  - (d) Een kleine ster die door een stofwolk is gevlogen en daardoor veel stof daarvan op zijn oppervlak heeft.
8. Een cluster is een groepje sterren dat tegelijkertijd is gevormd uit dezelfde gaswolk.  
Wat is er *niet* hetzelfde voor alle sterren in een stercluster?
- (a) Leeftijd.
  - (b) Massa.
  - (c) Samenstelling.
  - (d) Afstand tot de aarde.
9. Een neutronenster is een compacte ster.  
Waarmee is de straal van een neutronenster het best vergelijkbaar? Kies het beste antwoord.
- (a) De hoogte van de Mount Everest.
  - (b) De diameter van een pingpongbal.
  - (c) De straal van de planeet Jupiter.
  - (d) De afstand tot de maan.

10. Sterren bestaan voornamelijk uit een heet gas van waterstof- en heliumatomen, die zo snel bewegen dat ze regelmatig botsen. In evenwicht hebben alle deeltjes in een gas ongeveer dezelfde kinetische energie. Welke uitspraak is waar?
- (a) De waterstofatomen bewegen gemiddeld sneller omdat ze lichter zijn.
  - (b) In evenwicht bewegen alle deeltjes in een gas gemiddeld genomen even snel.
  - (c) De heliumatomen bewegen sneller omdat ze vaker botsen, ze zijn namelijk groter dan waterstofatomen.
  - (d) De heliumatomen bewegen langzamer omdat ze gemaakt worden doordat twee waterstofatomen uit tegenovergestelde richting met elkaar botsen.
11. Omdat alle sterrenstelsels zijn roodverschoven weten we dat...
- (a) het heelal uitdijt.
  - (b) wij ons in het centrum van het heelal bevinden.
  - (c) het heelal uitdijt en weer zal inkrimpen.
  - (d) al het bovenstaande.
12. Tijdens de oerknal werd alleen waterstof en helium gevormd. Waar komt de zuurstof op aarde vandaan?
- (a) Het is ontstaan tijdens de vorming van de aarde.
  - (b) Lichte sterren zoals de zon maken aan het eind van hun leven veel zuurstof.
  - (c) Dit komt van witte dwergen die vaak uit koolstof en zuurstof bestaan.
  - (d) Tijdens supernova-explosies komt veel zuurstof vrij.
13. Tijdens de supernova-explosie in 1987 kwamen neutrino's vrij. Neutrino's gaan dwars door de meeste materialen heen. In speciale waterdetectoren onder de grond worden neutrino's gemeten. Hoeveel neutrino's zijn er waargenomen van deze explosie in de Japanse Kamiokande II detector?
- (a)  $1563 \pm 8$
  - (b) geen
  - (c)  $1 \cdot 10^{11}$
  - (d) 11
14. Wat zijn zonnevlekken?
- (a) De zwarte vlekjes die je op je netvlies ziet als je te lang naar de zon hebt gekeken. (**NIET** uitproberen!)
  - (b) Plekken op de zon waar de temperatuur lager is door een anders gericht magneetveld.
  - (c) Plekken op de zon waar de temperatuur lager is doordat er daar minder waterstof is.
  - (d) Koude gassen vlak boven het oppervlak, zogenaamde zonnewolken.

## Open vragen

Geef bij je antwoorden ook steeds een uitleg!

### 1. Afstanden/Satellieten

In 1977 is de Voyager 1 (zie Figuur 1) gelanceerd door de NASA. Op dit moment bevindt de sonde zich op ongeveer 105 Astronomische Eenheden van de zon, en beweegt aan ongeveer 17 kilometer per seconde.

- Is de Voyager al buiten het zonnestelsel? (Reken de Oortwolk niet mee.)
- Als de Voyager precies richting Proxima Centauri zou gaan (de op één na dichtstbijzijnde ster, op een afstand van ongeveer vier lichtjaar), in welk jaar komt ze dan aan?
- Op de afstand waar de Voyager nu is, hoe lang duurt het vooraleer een signaal vanaf die afstand ons bereikt?

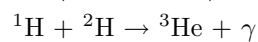
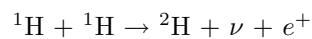


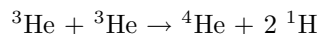
Figuur 1: De Voyager 1 satelliet (bron: NASA)

### 2. Sterevolutie/Kernfusie/Zon

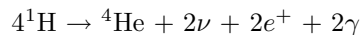
Om een ster te kunnen vormen moet een ster in wording minimaal 0,08 keer de massa van de zon bevatten.

- Waarom is er een ondergrens aan de massa van een ster?  
Kernfusie van waterstof naar helium vindt onder andere plaats door middel van de volgende drie kernreacties. (De uitleg van de symbolen is te zien in Figuur 2.)





In Figuur 2 zie je ook nog een plaatje dat laat zien hoe deze keten aan reacties werkt. Het netto effect van deze keten aan reacties is:

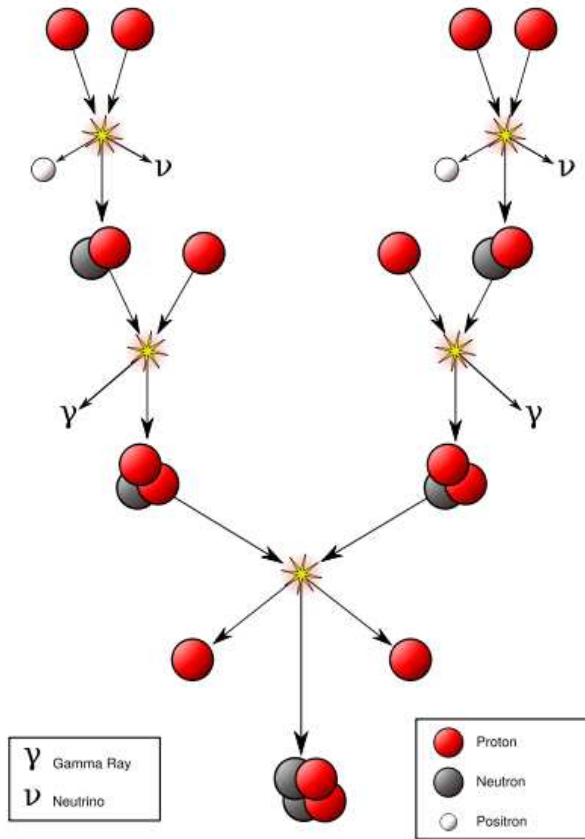


- (b) Waarom vindt kernfusie in een keten van reacties plaats en niet in één keer via een reactie met vier waterstofatomen?
- (c) Buiten het omzetten van waterstof in helium is er in de zon nog een reactie, waarbij via omzetting van koolstof (C) naar stikstof (N), zuurstof (O) en uiteindelijk terug naar koolstof ook helium aangeemaakt wordt. Dit wordt de CNO-cyclus genoemd. Is deze reactie (on)belangrijk voor de zon? Waarom?  
De zon zal op een gegeven moment een rode reus worden.
- (d) Welke veranderingen vinden er dan plaats binnenin de zon?  
De zon verliest een gedeelte van haar massa in een langzame zonnewind. Elk jaar verliest de zon ongeveer  $3 \cdot 10^{-14}$  keer haar eigen massa.
- (e) Hoeveel kilogram verliest de zon elke seconde? Hoe lang doet de zon erover om één keer de massa van de aarde te verliezen?  
Bij sommige andere sterren is de totale massa die de ster verliest door haar sterrenwind zo groot dat misschien wel een kwart van haar totale originele massa verloren gaat. Om de evolutie van zulke sterren goed te kunnen verklaren is het belangrijk om hier in de berekening rekening mee te houden.
- (f) Is het voor de zon ook belangrijk om in rekening te brengen hoeveel van haar massa ze verliest in haar zonnwind? Waarom wel/niet?

### 3. Zwarte gaten/Zwaartekrachtslenzen/Donkere materie

Zwarte gaten zijn sterren waarvan de zwaartekracht zo sterk is dat alles wat te dicht in de buurt komt (ook licht) wordt opgeslokt en nooit meer uit het zwarte gat komt.

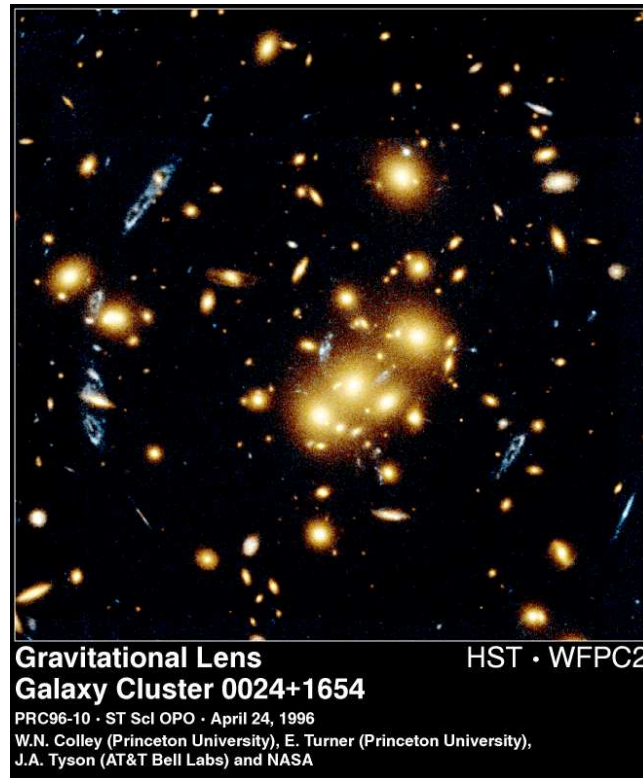
- (a) Wat is de ontsnappingssnelheid aan de rand van een zwart gat?
- (b) Leid de formule voor ontsnappingssnelheid af met behulp van de formule voor kinetische energie en potentiële energie.
- (c) Als je de aarde zou samenpersen tot een zwart gat, hoe groot zou het zwart gat dan zijn?  
Niet alleen rond een zwart gat wordt licht afgebogen, maar ook rond clusters van sterrenstelsels. Omdat de totale massa van alle sterrenstelsels samen zo groot is en de mate waarin het licht wordt afgebogen afhankelijk is van de massa, kunnen we in sommige gevallen het licht zien van dingen die achter de cluster van sterrenstelsels liggen. In Figuur 3 zie je een plaatje met in het midden een cluster van sterrenstelsels en in het blauw verschillende projecties van één sterrenstelsel dat erachter ligt. Onder andere met behulp van dit soort plaatjes is men erachter gekomen dat donkere materie bestaat.



Figuur 2: Kernfusie in de zon (bron: Wikipedia)



- (d) Aangenomen dat je weet wat de massa is van alle zichtbare materie, wat is dan het argument waarmee je kunt aantonen dat er ook materie moet zijn die we niet zien?



Figuur 3: Een cluster van sterrenstelsels (bron: W.N. Colley, E. Turner, J.A. Tyson, NASA)

#### 4. Supernovae

De zwaardere sterren (zwaarder dan ongeveer acht keer de massa van de zon) kunnen een supernova veroorzaken.

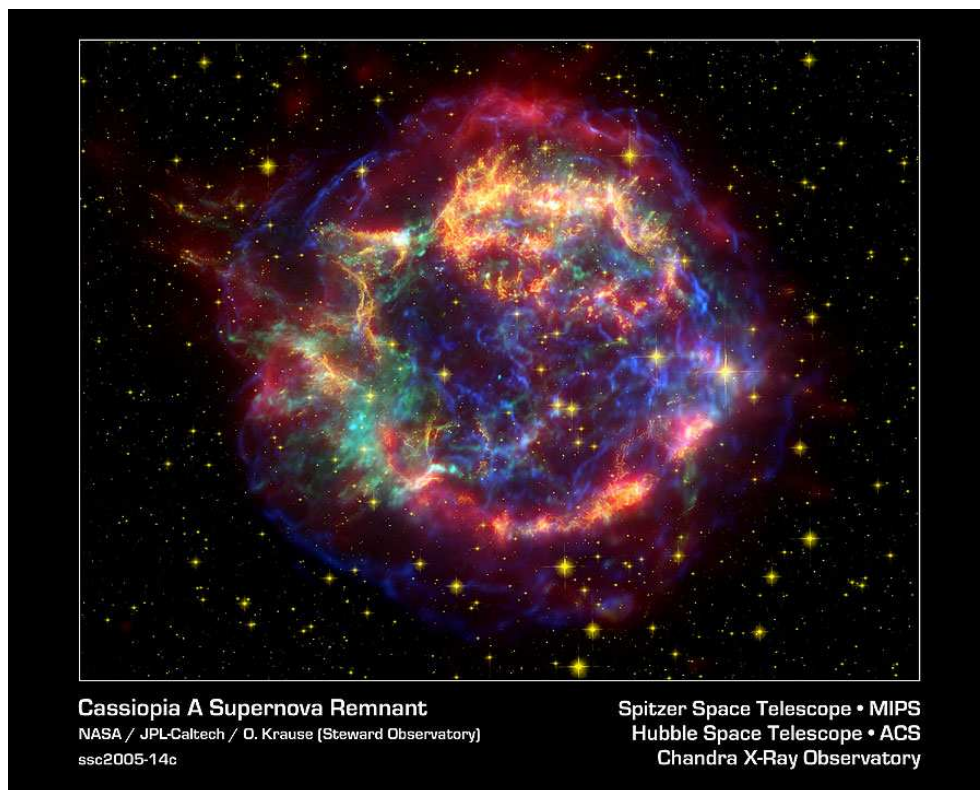
- (a) Beschrijf wat een supernova is.  
(b) Waarom kunnen alleen sterren boven de grens van ongeveer acht zonsmassa's een supernova vormen en niet de sterren met een kleinere massa?

Cassiopeia A (Cas A) is een supernovarestant (zie Figuur 4). Dit is wat er overblijft van de ster en haar omgeving na de supernova-explosie. De afstand tot Cas A is ongeveer  $1,05 \cdot 10^{17}$  km. Een stukje van de materie in de rest is in de afgelopen 10 jaar met 0,00167 graden bewogen.

- (c) Wat is de snelheid van dit stukje materie? Neem aan dat de beweging die we zien loodrecht op onze gezichtslijn is.

Dit stukje materie bevindt zich nu op een afstand van 0,06 graden van het centrum van de supernovarestant. Neem aan dat de snelheid ervan constant is geweest sinds de supernova-explosie.

- (d) In welk jaar vond de supernova-explosie ongeveer plaats?  
Stel dat de snelheid van het stukje materie niet constant is geweest sinds de supernova-explosie, maar is afgenomen omdat het met andere materie is gebotst.
- (e) Hoe verandert dit jouw antwoord bij (d)? Heeft de supernova eerder of later plaatsgevonden?



Figuur 4: Cassiopeia A (bron: NASA, JPL, O. Krause)

## 5. Neutronensterren/Rotatie/Pulsars

Na een supernova-explosie kan er een neutronenster of een zwart gat achterblijven. Sommige neutronensterren worden ook wel pulsars genoemd.

- (a) Beschrijf wat een pulsar is.  
Pulsars roteren met een enorme snelheid, sommige wel 500 keer per seconde. Omdat ze zo snel roteren is het alleen maar mogelijk dat het neutronensterren zijn. Neem aan dat de pulsar een rotatiefrequentie van 500 keer per seconde heeft.

- (b) Laat zien dat een pulsar alleen maar een neutronenster kan zijn en geen ster zoals onze zon of een witte dwerg.

## 6. Blue Stragglers

In deze vraag nemen we de sterren in sterrenhopen (Engels: *star clusters* of kortweg *clusters*) onder de loep, in het bijzonder een bepaald type sterren dat in sterrenhopen voorkomt en “blauwe achterblijvers” (Engels: *blue stragglers*) genoemd wordt. Hiervoor zullen we eerst wat eigenschappen van gewone sterren doornemen. We beperken ons hierbij tot sterren die hun energie halen uit waterstoffusie in de kern, de zogenaamde *hoofdreekssterren*.

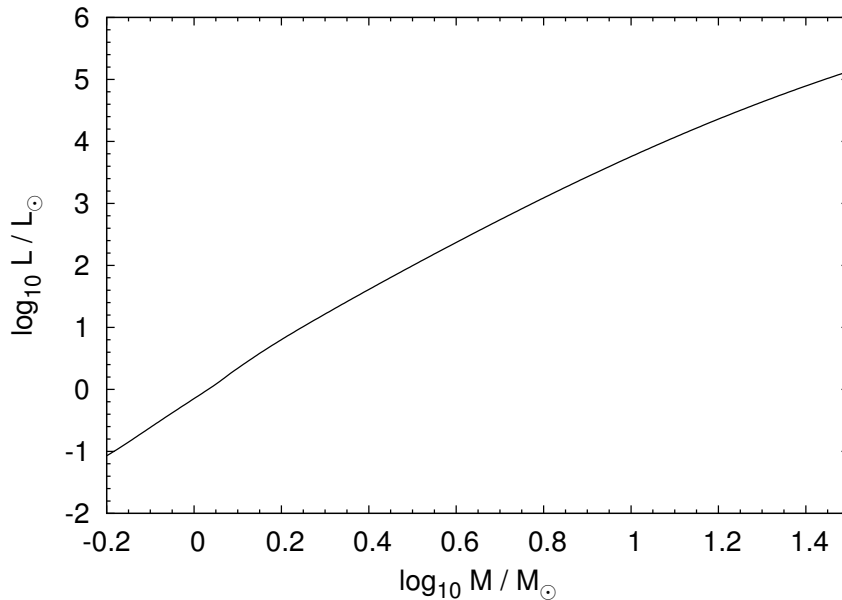
### (a) De helderheid van sterren

Het door een ster uitgestraalde vermogen wordt de *lichtkracht*  $L$  van de ster genoemd. De lichtkracht wordt meestal uitgedrukt in veelvoud van de zonslichtkracht  $L_{\odot}$ . Op dezelfde manier wordt de massa  $M$  meestal uitgedrukt in veelvoud van de zonsmassa  $M_{\odot}$ . Voor hoofdreekssterren geldt dat de lichtkracht vooral bepaald wordt door hun massa, zie Figuur 5.

- i. Neemt  $L$  toe of af met de massa?  
Ruwweg geldt  $L \propto M^{\alpha}$ .
- ii. Ga uit de figuur na dat  $\alpha \approx 3,7$ .

### (b) De levensduur van sterren

Sterren halen hun energie uit kernfusiereacties en hun levensduur wordt bepaald door de tijdschaal waarop ze hun brandstof (voor hoofdreekssterren is dit waterstof) verstoken. Deze tijdschaal wordt



Figuur 5: Het verband tussen massa  $M$  en lichtkracht  $L$  voor hoofdreekssterren

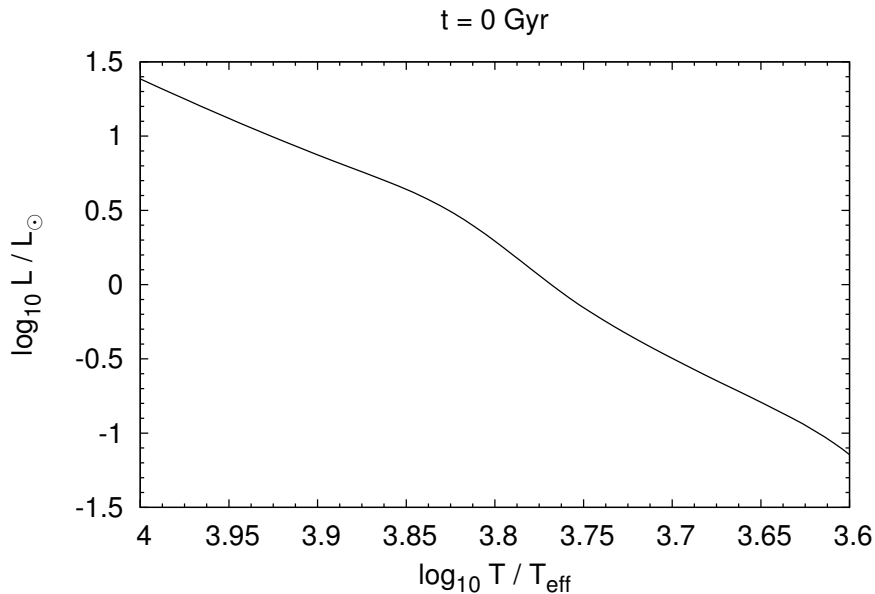
de nucleaire tijdschaal  $t_{nuc}$  genoemd. De nucleaire tijdschaal hangt af van de hoeveelheid energie die de ster uitstraalt en de hoeveelheid brandstof die beschikbaar is.

- i. Beredeneer dat  $t_{nuc} \propto L/M$ .
- ii. Leven zware sterren langer of korter dan lichte sterren?
- iii. Verbaast dit resultaat je?  
Voor de zon geldt  $t_{nuc} \sim 9 \cdot 10^9$  jaar. Hieruit kan je afleiden dat  $t_{nuc} \sim 9 \cdot 10^9 \frac{M}{M_{\odot}} \frac{L_{\odot}}{L}$  jaar.
- iv. Hoe lang leven sterren met  $M = 0,5 M_{\odot}$ ,  $M = 2 M_{\odot}$  en  $M = 10 M_{\odot}$ ? Maak gebruik van je antwoord bij opgave (a) en geef je antwoord in jaren.

(c) **Het temperatuur-lichtkracht diagram**

Sterren doorlopen tijdens hun leven een pad in het temperatuur-lichtkracht diagram (ook wel *Hertzsprung-Russell diagram* of kortweg HRD genoemd). In dit diagram wordt de lichtkracht uitgezet tegen de oppervlaktetemperatuur of effectieve temperatuur  $T_{eff}$ . *Let op:* de temperatuur neemt in dit diagram toe van rechts naar links. Op het tijdstip  $t = 0$  wordt een groep sterren gevormd met een zekere verdeling van massa's. Hun plaats in het temperatuur-lichtkracht diagram wordt gegeven door een lijn (Figuur 6). Deze lijn wordt de  $t = 0$  hoofdreeks (Engels: *zero-age main sequence*) genoemd.

- i. Waar liggen de zware sterren?
- ii. Waar liggen de lichte sterren?
- iii. Kun je de positie van de zon in deze figuur aanwijzen?



Figuur 6: Het temperatuur-lichtkracht diagram van een groep sterren op  $t = 0$

- iv. Waarom ligt de zon niet precies op de lijn?
- v. Hoe verandert de kleur van de sterren als je van rechts naar links door het diagram loopt (met andere woorden, zijn de sterren links in het diagram roder of blauwer dan sterren rechts in het diagram)?

(d) **Verandering van de hoofdreeks**

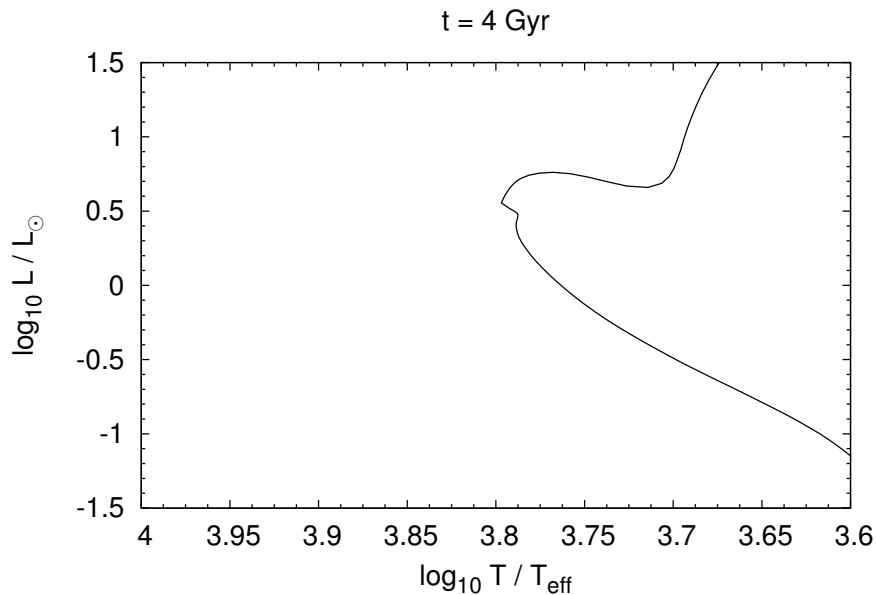
Na enige tijd liggen de sterren niet meer op de oorspronkelijke lijn en is de oorspronkelijke hoofdreeks ingekort, zoals te zien is in Figuur 7.

- i. Leg uit waarom de hoofdreeks korter geworden is.

(e) **Waarnemingen**

In Figuur 8 worden waarnemingen van de open sterrenhoop M67 vergeleken met de verwachte positie van de sterren op grond van theoretische berekeningen. In dit diagram zijn niet de lichtkracht en de temperatuur uitgezet maar de magnitude (een maat voor de lichtkracht) en de kleur (de intensiteitsverhouding in twee frequentie-intervallen, dit is een maat voor de temperatuur). Kleur en magnitude kunnen direct uit waarnemingen worden bepaald en worden daarom vaak gebruikt om met waarnemingen te vergelijken. De informatie in het diagram is verder precies hetzelfde.

- i. Vind je dat het theoretische model en de waarnemingen goed overeenkomen?
- ii. Noem een aantal punten die goed overeenkomen en een aantal die minder goed overeenkomen.



Figuur 7: Het temperatuur-lichtkracht diagram van een groep sterren op  $t = 4$  Gyr

(f) **Het einde van de hoofdreeks**

De zwaarste hoofdreekssterren die in M67 voorkomen hebben een massa van  $1,29 M_{\odot}$ .

- i. Klopt dit met de geschatte leeftijd van 4 Gyr? (Verklaar je antwoord.)

(g) **Blauwe achterblijvers**

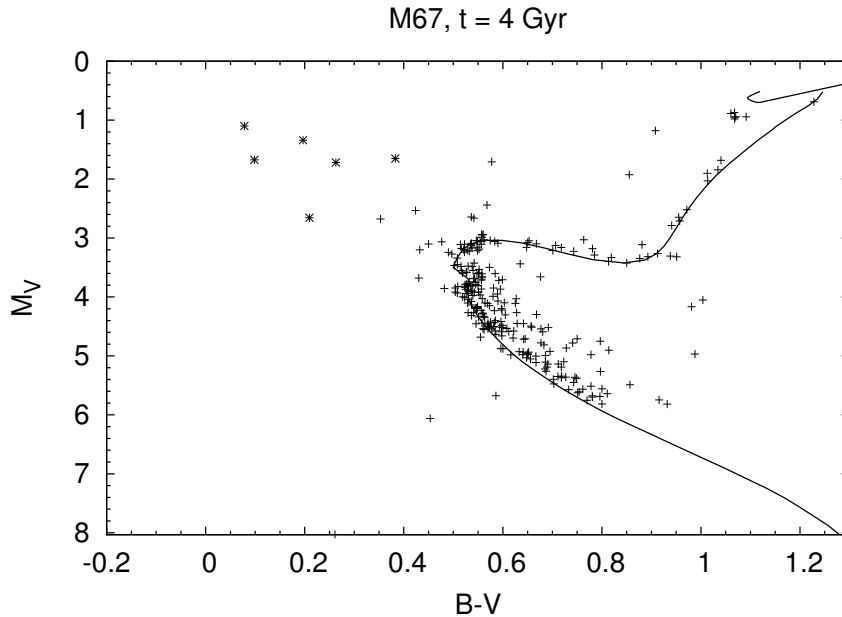
In Figuur 8 zijn een paar sterren (aangegeven met \* in de figuur) aan te wijzen die voorbij het theoretische einde van de hoofdreeks liggen.

- i. Wat verwacht je op grond van hun positie in het kleur-magnitude diagram voor hun massa in vergelijking met sterren op de hoofdreeks?
- ii. Waarom worden deze sterren “blauwe achterblijvers” genoemd?
- iii. Verzin een mogelijke verklaring voor het bestaan van deze sterren.

**EINDE VAN DE OLYMPIADE**

Let erop dat je bij het insturen van je antwoorden je naam (op elk blad) en adres vermeldt, zodat we contact met je kunnen opnemen!

Onze hartelijke dank aan de organisatoren van de Nederlandse Sterrenkunde Olympiade 2008 (<http://www.sterrenkundeolympiade.nl>) voor het ter beschikking stellen van de vragen van hun voorronde.



Figuur 8: Het waargenomen kleur-magnitude diagram van de sterrenhoop M67 en de verwachte positie van de sterren voor  $t = 4$  Gyr