

# Astrofysica I - Encyclopedia Academia

---

 [tuyaux.winak.be/index.php/Astrofysica\\_I](http://tuyaux.winak.be/index.php/Astrofysica_I)

## Sterrenkunde en astrofysica I

---

Richting	<u>Fysica</u>
----------	---------------

Jaar	<u>2BFYS</u>
------	--------------

## Bespreking

---

Astrofysica is een vak waarin zeer veel andere fysica in voor komt. Het examen zelf is relatief doenbaar. Men heeft wel zeer weinig( 2.5-3) uur tijd om het lange examen in te vullen. De uitrekenvragen vereisen een basis aan wiskunde die elke student zeker bezit. Sinds Academiejaar 2014-2015 wordt het vak gegeven door prof. Kolenberg. De vorige jaren zijn dus waarschijnlijk minder van toepassing voor het examen. Tot nu toe vroeg ze heel de tijd exact hetzelfde examen!

## Puntenverdeling

---

60% op het schriftelijke examen

30% op het waarnemingsproject

10% op de twee huistaken gedurende het jaar

## Examenvragen

---

### Academiejaar 2021-2022 1<sup>ste</sup> zit

---

Prof. Katrien Kolenberg

---

Vragenreeks 1: Meerkeuzevragen

---

#### Vraag 1.1

Welke uitspraak is waar?

- De zonneconstante is omgekeerd evenredig met de vierde macht van de afstand tot de zon.
- De zonneconstante is groter op aarde dan op Mars.
- De zonneconstante is overal gelijk.

- De zonneconstante is gelijk aan  $\sigma T_4^4$  aan het oppervlak.
  - Elke uitspraak hierboven is fout.
- 

### Vraag 1.2

De hoofdstad van IJsland ligt op  $64,13^\circ$  NB -  $21,83^\circ$  OL. Welke ster zal daar nooit boven de horizon te zien zijn? De ster met

- $\delta = -58^\circ$  en  $\alpha = 3\text{h}30\text{min}$
  - $\delta = -25^\circ$  en  $\alpha = 18\text{h}25\text{min}$
  - $\delta = 0^\circ$  en  $\alpha = 12\text{h}00\text{min}$
  - $\delta = 25^\circ$  en  $\alpha = 3\text{h}40\text{min}$
  - $\delta = 58^\circ$  en  $\alpha = 18\text{h}25\text{min}$
- 

### Vraag 1.3

Asteroïden die ook konden waargenomen worden op Urania bevinden zich op welke gemiddelde afstand tot de zon?

- 1,3–2 AE
  - 0,01–0,02 ly
  - 660–960 · 106 km
  - 18–26 lmin
  - 0,01–1 pc
- 

### Vraag 1.4

Een ster heeft absorptielijnen met talrijke siliciumlijnen. Het sterlicht gaat eerst door een koude gaswolk met veel silicium. Wat detecteert de waarnemer?

- Een absorptiespectrum met veel siliciumlijnen.
  - Een absorptie- en emissiespectrum met lijnen die corresponderen met silicium.
  - Een emissiespectrum met veel siliciumlijnen.
  - Een continu spectrum.
  - Geen van alles.
-

### Vraag 1.5

Een ster met massa  $15M_{\odot}$  en straal  $900R_{\odot}$  is een

- hoofdreeksster.
  - reus.
  - dwerg.
  - neutronenster.
  - superreus.
- 

### Vraag 1.6

Wat is de Chandrasekharlimiet?

- De minimale massa voor kernfusiereacties  $H \rightarrow He$ .
  - De maximale massa van een neutronenster.
  - $\approx 2,3M_{\odot}$ .
  - De maximale massa van een witte dwerg.
  - $8M_{\odot}$ .
- 

### Vraag 1.7

Waar komt het ijzer in onze zon vandaan?

- Kernfusie in het centrum van de zon.
  - Kernfusie in de schil van de zon.
  - Nucleosynthese van vorige stergeneraties.
  - Van het invangen van planeten van het vroegere zonnestelsel.
  - Kometen die op de zon instorten.
- 

### Vraag 1.8

$R_A = 2R_B$  en  $T_{\text{opp},A} = T_{\text{opp},B}/2$ . Wat is correct?

- $L_A = 4L_B$
- $L_A = L_B/16$
- $L_A = 16L_B$
- $L_A = L_B$
- $L_A = L_B/4$

---

### Vraag 1.9

Bij een bepaald dubbelstersysteem worden X-stralen waargenomen. Visueel is er maar 1 component van het dubbelstersysteem waarneembaar. Hoe kan men achterhalen of de visueel onzichtbare component een zwart gat of een neutronenster is?

- Niet mogelijk.
- Een zwart gat is een zwarte stip; een neutronenster is altijd een pulsar.
- Niet zichtbaar, dus sowieso een zwart gat.
- Enkel neutronensterren zenden X-stralen uit, zwarte gaten zenden geen straling uit.
- Als de massa groter is dan 3 zonmassa's, dan is het een zwart gat, anders een neutronenster.

---

### Vraag 1.10

Een hoofdreeksster van spectraaltipe M bevindt zich op een afstand van 2pc. Een tweede hoofdreeksster, ook van spectraaltipe M, lijkt vier maal zwakker. De afstand tot de tweede ster is dan

- 4pc.
- 6pc.
- 8pc.
- 16pc.
- 32pc.

---

### Vraag 1.11

Een ruimtesonde op 14AE van de zon zit

- in de asteroïdengordel.
- tussen Jupiter en Saturnus.
- tussen Saturnus en Uranus.
- tussen Uranus en Neptunus.
- tussen Neptunus en Pluto.

---

### Vraag 1.12

Wat zorgt ervoor dat een witte dwerg niet instort tot een zwart gat?

- Ontaardingsdruk van het elektronengas.

- Kernsplijting van zware elementen als thermische bron.
  - Fusie van zware elementen.
  - Ontaardingsdruk van het neutronengas.
  - Kristallijne CC-kern.
- 

#### Vraag 1.13

Wat is de proton-protonketen?

- Productie van ketens protonen die doorbroken worden en zonne-energie vrijgeven.
  - Een driestappenproces waarbij massa in energie wordt omgezet bij vorming van helium.
  - Een kettingreactie die leidt tot vorming van FeFe in een supernova-explosie.
  - Het bijeenbrengen van protonen tot koolstofkernen in een ster.
  - Het bijeenbrengen van protonen tot zuurstofkernen in een ster.
- 

#### Vraag 1.14

De leeftijd van een sterrenhoop is af te leiden uit

- het aantal sterren in de hoop.
  - het turn-off point van sterren op de hoofdreeks in de hoop.
  - de fractie aan witte dwergen in de sterrenhoop.
  - de radiale snelheid van de sterrenhoop.
  - de positie van de sterrenhoop in het melkwegstelsel.
- 

#### Vraag 1.15

Voor hoofdreksen geldt: hoe hoger de oppervlaktetemperatuur, hoe

- minder helder de sterren.
  - talrijker de sterren.
  - groter de massa van de sterren.
  - meer dubbelsterren.
  - minder fusie via de CNO-cyclus.
-

### Vraag 1.16

Een komeet in een elliptische baan om de zon heeft een apheliumafstand van 31,5AE en een periheliumafstand van 0,5AE. Wat is de periode van de komeet?

- 181181 jaar.
  - 1616 jaar.
  - 6464 jaar.
  - 6,36,3 jaar.
  - 3232 jaar.
- 

### Vraag 1.17

Welk verschijnsel is niet bruikbaar om de afstand tussen hemellichamen te bepalen?

- Venusovergang aan de zonnescijf.
  - Wijziging van de positie van sterren zonder meetbare eigenbeweging aan de hemel met tussentijd zes maanden.
  - Dopplerverschuiving in het spectrum van een ster van onze melkweg.
  - Totale eclips.
  - Periode van veranderlijke sterren van het cepheidetype.
- 

### Vraag 1.18

Beschouw twee zwarte lichamen A en B. A heeft een emissiepiek op  $\lambda_{\max}=1000\text{nm}$  en B op  $\lambda_{\max}=200\text{nm}$ . Wat is dan  $T_A/T_B$ ?

- 55
  - 1/51/5
  - 2525
  - 1/251/25
  - 1/6251/625
- 

### Vraag 1.19

Welk stadium kan volgen na een witte dwerg?

- Geen.
- Een rode reus.

- Een type II supernova.
- Een type I supernova.
- Een planetaire nevel.

#### Vraag 1.20

Andromeda bevindt zich op 780000pc. Een radio-interferometer heeft een resolutie van 0,001". Wat is ongeveer de grootte van de (kleinste) kenmerken die men typisch nog kan waarnemen in Andromeda?

- 1,3pc
- 0,06pc
- 0,004pc
- 780pc
- 0,5lj

#### Vraag 1.21

De levensduur van een ster is evenredig met ongeveer (hierbij is  $M$  de massa van de ster en  $L$  de lichtkracht ervan)

- $1/M$
- $1/M^3$
- $M$
- $L$
- $1/L$

#### Vraag 1.22

Welke soort ster heeft een massa van  $1,5M_{\odot}$  en straal  $1,5R_{\odot}$ ?

- Een standaardster.
- Een reus.
- Een dwerg.
- Een neutronenster.
- Een superreus.

### Vraag 1.23

Wat bepaalt in eerste instantie het spectrum van een ster?

- De chemische samenstelling.
  - De effectieve temperatuur.
  - De massa.
  - De dichtheid.
- 
- De centrale temperatuur.

### Vraag 1.24

Bij de fusie van waterstof in helium wordt 0,7%0,7% van de massa omgezet in energie. Initieel bevat de zon 72%72% waterstof. Stel dat 25%25% van deze hoeveelheid waterstof wordt omgezet in helium. Hoe lang kan de zon hiermee schijnen?

- 10 miljoen jaar.
  - 100 miljard jaar.
  - 25 miljard jaar.
  - 30 miljoen jaar.
- 
- 10 miljard jaar.

### Vraag 1.25

Gegeven een HR-diagram  $M_V - (B - V)$  voor de sterrenhopen Pleiaden en hh en xx Persei. Hoe ver staan de Pleiaden van de aarde?

- 150pc150pc
  - 540pc540pc
  - 135lj135lj
- 
- 150lj150lj

### Vraag 1.26

Gegeven een figuur met de periodieke lichtkracht voor de klasse cepheïden en een figuur met de lichtkromme waarop men de schijnbare magnitude in functie van de tijd kan aflezen. Wat is de afstand dd tot de cepheïden?

- 400pc<d<600pc400pc<d<600pc
- 400kpc<d<600kpc400kpc<d<600kpc
- De afstand tot Andromeda.



- $4000\text{lj} < d < 6000\text{lj}$
- $40\text{kpc} < d < 60\text{kpc}$

### Vraag 1.27

B.C. = -0,1 B.C. = -0,1. Welke waarde ligt het dichtst bij de B-V-B-waarde voor de zon?

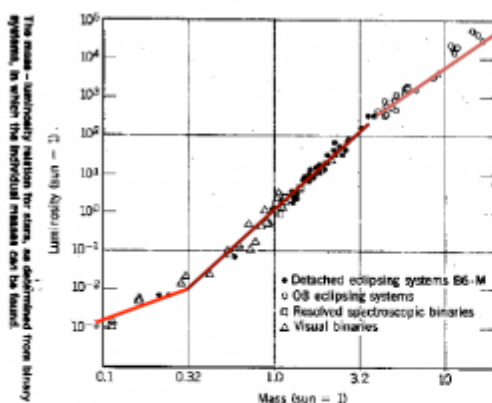
- 0,000,00
- 0,630,63
- 4,454,45
- 1,001,00
- 0,750,75

### Vragenreeks 2

Deze dia is gegeven:

#### Resultaten van massabepalingen uit dubbelsterren:

##### → de massa-lichtkracht relatie



$$\frac{L}{L_{\odot}} = \left( \frac{M}{M_{\odot}} \right)^{\alpha}$$

met  $\alpha = 1.8$  voor  $M < 0.3M_{\odot}$

$\alpha = 4.0$  voor  $0.3M_{\odot} < M < 3M_{\odot}$

$\alpha = 2.8$  voor  $M > 3M_{\odot}$

Zo ook massa - straal relatie :

$$\frac{R}{R_{\odot}} = 1.05 \left( \frac{M}{M_{\odot}} \right)^{0.945} \quad \text{voor } M < 1.66M_{\odot}$$

$$\frac{R}{R_{\odot}} = 1.33 \left( \frac{M}{M_{\odot}} \right)^{0.555} \quad \text{voor } M > 1.66M_{\odot}$$

Dus voor enkelvoudige sterren:

afstand + schijnbare magnitude → absolute magnitude

+ bolometrische correctie → absolute magnitude = Lichtkracht

→ massa → straal.

Deze empirisch bepaalde relaties zijn fundamenteel voor het begrijpen van eigenschappen van sterren (ontstaan, evolutie etc.)

→ De eigenschappen van een ster wordt voornamelijk bepaald door de massa

25

Hierbij is voor Sirius gegeven dat  $T = 50$  jaar en dat  $p = 0,375''$ .

### Vraag 2.1

Wat is de afstand tot Sirius?

### Vraag 2.2

De halve lange as bedraagt 7,50"7,50". Wat is dit in AUAU?

---

### Vraag 2.3

Wat is de som van de massa's van het dubbelstersysteem in zonmassa's? Gebruik hiervoor de volgende formule:

$$M_1 + M_2 M_{\odot} (p_1 j)^2 = (a_1 \text{AU})^3$$

$$M_1 + M_2 M_{\odot} (p_1 j)^2 = (a_1 \text{AU})^3$$

---

### Vraag 2.4

Het zwaartepunt van de dubbelster ligt op de verbindinglijn met  $a_1 a_2 = 2 a_1 a_2 = 2$ . Wat zijn dan  $M_1 M_1$  en  $M_2 M_2$  afzonderlijk?

---

### Vraag 2.5

Bereken de lichtkracht van beide met behulp van de massa-lichtkrachtrelatie.

---

### Vraag 2.6

Uit de schijnbare magnitude en de afstand volgt dat

$$L_1 L_{\odot} = 21 L_2 L_{\odot} = 0,00024$$

$$L_1 L_{\odot} = 21 L_2 L_{\odot} = 0,00024$$

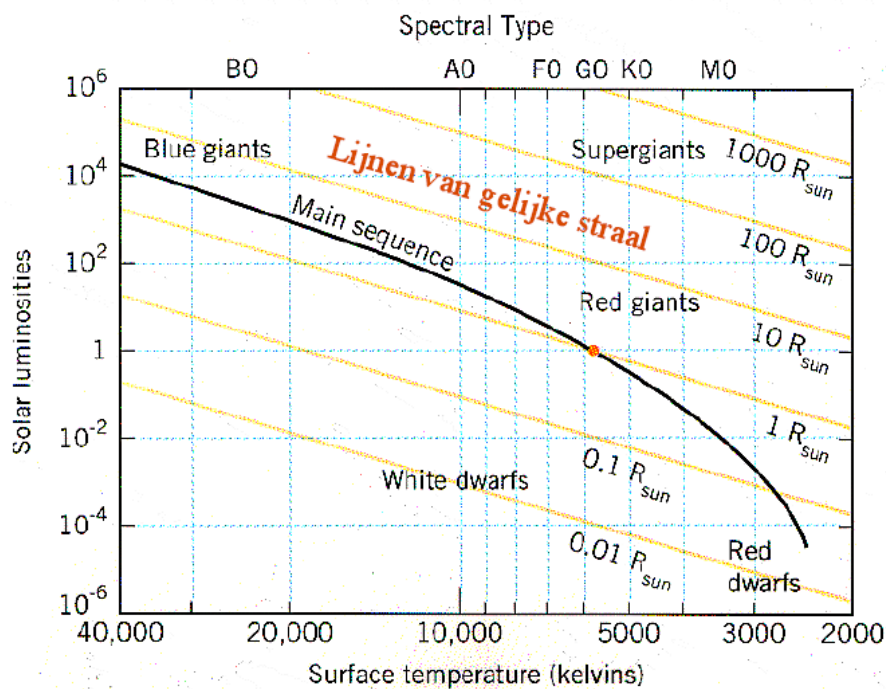
Klopt dit met 2.5? Zo niet, wat kan de reden zijn?

---

### Vragenreeks 3

---

Je krijgt een afbeelding die lijkt op deze::



Hierbij werden dan de namen 'Supergiants', 'Red giants', 'Main sequence' en 'White dwarfs' vervangen door de letter a, b, c en d. Ook werden de namen van enkele assen weggelaten (kan zowel links als rechts verticaal als bovenaan en onderaan horizontaal) alsook de aanduidingen op de schuine lijnen. De volgende vragen werden dan gesteld.

### Vraag 3.1

Welke grootheden staan er op de assen zonder naam?

### Vraag 3.2

Wat is de betekenis van de schuin naar links lopende lijnen en welke absolute eenheden horen erbij? Schrijf ze erbij.

### Vraag 3.3

Wat voor soort sterren zijn a, b, c en d?

### Vraag 3.4

Kan een reus een grotere diameter hebben dan een superreus?

### Vraag 3.5

Welke stadia (a, b, c, d) doorloopt de zon tijdens haar evolutie? Geef bij elk stadium de energiebron. Beantwoord dezelfde vraag voor een ster met een massa gelijk aan twintig zonmassa's.

---

---

### Vragenreeks 4

---

4.1) Geef de wet van Hubble. Hoe kan men uit de Hubble constante de leeftijd van het heelal bepalen en wat is deze leeftijd?

4.2) Geef de 4 pijlers van de oerknaltheorie en hoe heeft men deze waargenomen?

4.3) Wat is het verschil tussen roodverschuiving en verroding?

---

---

### Vragenreeks 5

---

5.1) Wat is de maximale massa die een ster kan hebben zodat ze 3 mjd jaar op de hoofdreeks zou blijven?

5.2) Gegeven de spectraaltypes van een ster en enkele gegevens van een bijhorende exoplaneet (massa, straal, halve lange as,...), bepaal op welke planeten buitenaards leven mogelijk zou zijn. Hierbij wordt ook een tabel met gegevens van de temperatuur, bewoonbare zone,... per spectraaltype gegeven.

---

---

### Vragenreeks 6 BONUS

**Hierbij moet je ongeveer 20 fouten in onderstaand artikel verbeteren. Geef altijd uitleg waarom het fout is.**

Astronomen hebben een nieuwe ster op 2,5 lichtjaar van ons zonnestelsel gevonden. Dat is zo'n 280 miljard kilometer. De ster werd gevonden door de Very Large Telescope (Chili). Het gaat om een B2-ster die zich op de hoofdreeks bevindt, wat wil zeggen dat het een rode reus is. De visuele magnitude hiervan is 8, wat betekent dat je hem met het blote oog kan zien. De grootte van de ster beschrijft 2 boogminuten. Deze reus heeft de massa van 1,5 keer die van de zon. Rond deze ster is ook een planeet gevonden, een zoals de aarde, via transit-technieken. Het is dus vermoedelijk dat er leven is op deze planeet. De afstand van de planeet tegenover zijn ster bedraagt 1AU, wat de afstand tussen de aarde en onze Zon is. De planeet heeft een omlooptijd van 2 jaar. Via spectroscopische metingen van de molecuullijnen is bepaald dat de planeet ongeveer 2 aardmassa's bevat, de spectroscopie werd door een ESA satelliet gedaan, namelijk Kepler. De moederster is geschat om zo'n 9 miljard jaar oud te zijn, wat betekent dat er genoeg tijd was op de planeet om leven te doen ontwikkelen. Wat dit systeem namelijk

dubbel zo interessant maakt is dat het een binair systeem is met nog een witte dwerg. De B2-ster en witte dwerg hebben een afstand van 100 AU van elkaar, met een omlooperperiode van 337 jaar. De massa van deze witte dwerg bedraagt 2,3 zonsmassa's, de visuele magnitude van deze witte dwerg is -2. Dit betekent dat je ze enkel kan waarnemen met een erg grote telescoop. Het binair systeem zorgt er namelijk voor dat deze planeet 2 zonnen te zien heeft, het is daar dus altijd dag!

---

## Academiejahr 2019-2020 1<sup>ste</sup> zit

---

Prof. Katrien Kolenberg

---

Vragenreeks 1: Meerkeuzevragen

---

### Vraag 1.1

Welke uitspraak is waar?

- De zonneconstante is omgekeerd evenredig met de vierde macht van de afstand tot de zon.
  - De zonneconstante is groter op aarde dan op Mars.
  - De zonneconstante is overal gelijk.
  - De zonneconstante is gelijk aan  $\sigma T_4^4$  aan het oppervlak.
  - Elke uitspraak hierboven is fout.
- 

### Vraag 1.2

De hoofdstad van IJsland ligt op  $64,13^\circ$  NB -  $21,83^\circ$  OL. Welke ster zal daar nooit boven de horizon te zien zijn? De ster met

- $\delta = -58^\circ$  en  $\alpha = 3^h 30^m$
  - $\delta = -25^\circ$  en  $\alpha = 18^h 25^m$
  - $\delta = 0^\circ$  en  $\alpha = 12^h 00^m$
  - $\delta = 25^\circ$  en  $\alpha = 3^h 40^m$
  - $\delta = 58^\circ$  en  $\alpha = 18^h 25^m$
- 

### Vraag 1.3

Asteroiden die ook konden waargenomen worden op Urania bevinden zich op welke gemiddelde afstand tot de zon?

- 1,3–2AE 1,3–2AE
- 0,01–0,02ly 0,01–0,02ly
- 660–960·106km 660–960·106km
- 18–26lmin 18–26lmin
- 0,01–1pc 0,01–1pc

#### Vraag 1.4

Een ster heeft absorptielijnen met talrijke siliciumlijnen. Het sterlicht gaat eerst door een koude gaswolk met veel silicium. Wat detecteert de waarnemer?

- Een absorptiespectrum met veel siliciumlijnen.
- Een absorptie- en emissiespectrum met lijnen die corresponderen met silicium.
- Een emissiespectrum met veel siliciumlijnen.
- Een continu spectrum.
- Geen van alles.

#### Vraag 1.5

Een ster met massa  $15M_{\odot}$  en straal  $900R_{\odot}$  is een

- hoofdreksster.
- reus.
- dwerg.
- neutronenster.
- superreus.

#### Vraag 1.6

Wat is de Chandrasekharlimiet?

- De minimale massa voor kernfusiereacties  $H \rightarrow He$ .
- De maximale massa van een neutronenster.
- $\approx 2,3M_{\odot}$ .
- De maximale massa van een witte dwerg.
- $8M_{\odot}$ .

### Vraag 1.7

Waar komt het ijzer in onze zon vandaan?

- Kernfusie in het centrum van de zon.
  - Kernfusie in de schil van de zon.
  - Nucleosynthese van vorige stergeneraties.
  - Van het invangen van planeten van het vroegere zonnestelsel.
  - Kometen die op de zon instorten.
- 

### Vraag 1.8

$R_A = 2R_B$ ,  $R_A = 2R_B$  en  $T_{\text{opp},A} = T_{\text{opp},B}/2$ ,  $T_{\text{opp},A} = T_{\text{opp},B}/2$ . Wat is correct?

- $L_A = 4L_B$ ,  $L_A = 4L_B$
  - $L_A = L_B/16$ ,  $L_A = L_B/16$
  - $L_A = 16L_B$ ,  $L_A = 16L_B$
  - $L_A = L_B$ ,  $L_A = L_B$
  - $L_A = L_B/4$ ,  $L_A = L_B/4$
- 

### Vraag 1.9

Bij een bepaald dubbelstersysteem worden X-stralen waargenomen. Visueel is er maar 1 component van het dubbelstersysteem waarneembaar. Hoe kan men achterhalen of de visueel onzichtbare component een zwart gat of een neutronenster is?

- Niet mogelijk.
  - Een zwart gat is een zwarte stip; een neutronenster is altijd een pulsar.
  - Niet zichtbaar, dus sowieso een zwart gat.
  - Enkel neutronensterren zenden X-stralen uit, zwarte gaten zenden geen straling uit.
  - Als de massa groter is dan 3 zonmassa's, dan is het een zwart gat, anders een neutronenster.
- 

### Vraag 1.10

Een hoofdreeksster van spectraaltipe M bevindt zich op een afstand van 2 pc. Een tweede hoofdreeksster, ook van spectraaltipe M, lijkt vier maal zwakker. De afstand tot de tweede ster is dan

- 4 pc
- 6 pc

- 8pc8pc.
  - 16pc16pc.
  - 32pc32pc.
- 

#### Vraag 1.11

Een ruimtesonde op 14AE14AE van de zon zit

- in de asteroïdengordel.
  - tussen Jupiter en Saturnus.
  - tussen Saturnus en Uranus.
  - tussen Uranus en Neptunus.
  - tussen Neptunus en Pluto.
- 

#### Vraag 1.12

Wat zorgt ervoor dat een witte dwerg niet instort tot een zwart gat?

- Ontaardingsdruk van het elektronengas.
  - Kernsplijting van zware elementen als thermische bron.
  - Fusie van zware elementen.
  - Ontaardingsdruk van het neutronengas.
  - Kristallijne CC-kern.
- 

#### Vraag 1.13

Wat is de proton-protonketen?

- Productie van ketens protonen die doorbroken worden en zonne-energie vrijgeven.
  - Een driestappenproces waarbij massa in energie wordt omgezet bij vorming van helium.
  - Een kettingreactie die leidt tot vormingb van FeFe in een supernova-explosie.
  - Het bijeenbrengen van protonen tot koolstofkernen in een ster.
  - Het bijeenbrengen van protonen tot zuurstofkernen in een ster.
- 

#### Vraag 1.14

De leeftijd van een sterrenhoop is af te leiden uit



- het aantal sterren in de hoop.
- het turn-off point van sterren op de hoofdreeks in de hoop.
- de fractie aan witte dwergen in de sterrenhoop.
- de radiale snelheid van de sterrenhoop.
- de positie van de sterrenhoop in het melkwegstelsel.

#### Vraag 1.15

Voor hoofdreksen geldt: hoe hoger de oppervlaktetemperatuur, hoe

- minder helder de sterren.
- talrijker de sterren.
- groter de massa van de sterren.
- meer dubbelsterren.
- minder fusie via de CNO-cyclus.

#### Vraag 1.16

Een komeet in een elliptische baan om de zon heeft een apheliumafstand van  $31,5\text{AE}$  en een periheliumafstand van  $0,5\text{AE}$ . Wat is de periode van de komeet?

- 181181 jaar.
- 1616 jaar.
- 6464 jaar.
- 6,36,3 jaar.
- 3232 jaar.

#### Vraag 1.17

Welk verschijnsel is niet bruikbaar om de afstand tussen hemellichamen te bepalen?

- Venusovergang aan de zonnescijf.
- Wijziging van de positie van sterren zonder meetbare eigenbeweging aan de hemel met tussentijd zes maanden.
- Dopplerverschuiving in het spectrum van een ster van onze melkweg.
- Totale eclips.

- Periode van veranderlijke sterren van het cepheïdetype.
- 

#### Vraag 1.18

Beschouw twee zwarte lichamen A en B. A heeft een emissiepiek op  $\lambda_{\max}=1000\text{nm}$  en B op  $\lambda_{\max}=200\text{nm}$ . Wat is dan  $T_A/T_B$ ?

- 55
  - 1/51/5
  - 2525
  - 1/251/25
  - 1/6251/625
- 

#### Vraag 1.19

Welk stadium kan volgen na een witte dwerg?

- Geen.
  - Een rode reus.
  - Een type II supernova.
  - Een type I supernova.
  - Een planetaire nevel.
- 

#### Vraag 1.20

Andromeda bevindt zich op  $780000\text{pc}$ . Een radio-interferometer heeft een resolutie van  $0,001''$ . Wat is ongeveer de grootte van de (kleinste) kenmerken die men typisch nog kan waarnemen in Andromeda?

- $1,3\text{pc}$
  - $0,06\text{pc}$
  - $0,004\text{pc}$
  - $780\text{pc}$
  - $0,5\text{lj}$
-

### Vraag 1.21

De levensduur van een ster is evenredig met ongeveer (hierbij is  $M$  de massa van de ster en  $L$  de lichtkracht ervan)

- $1/M^1/M$
- $1/M^3/M^3$
- $M$
- $L$
- $1/L^4/L^4$

---

### Vraag 1.22

Welke soort ster heeft een massa van  $1,5M_{\odot}$  en straal  $1,5R_{\odot}$ ?

- Een standaardster.
- Een reus.
- Een dwerg.
- Een neutronenster.
- Een superreus.

---

### Vraag 1.23

Wat bepaalt in eerste instantie het spectrum van een ster?

- De chemische samenstelling.
- De effectieve temperatuur.
- De massa.
- De dichtheid.
- De centrale temperatuur.

---

### Vraag 1.24

Bij de fusie van waterstof in helium wordt 0,7% van de massa omgezet in energie. Initieel bevat de zon 72% waterstof. Stel dat 25% van deze hoeveelheid waterstof wordt omgezet in helium. Hoe lang kan de zon hiermee schijnen?

- 10 miljoen jaar.
- 100 miljard jaar.
- 25 miljard jaar.
- 30 miljoen jaar.

- 10 miljard jaar.

---

#### Vraag 1.25

Gegeven een HR-diagram  $MV-(B-V)$  voor de sterrenhopen Pleiaden en hh en  $\chi\chi$  Persei. Hoe ver staan de Pleiaden van de aarde?

- 150pc
- 540pc
- 135lj
- 150lj

---

#### Vraag 1.26

Gegeven een figuur met de periodieke lichtkracht voor de klasse cepheïden en een figuur met de lichtkromme waarop men de schijnbare magnitude in functie van de tijd kan aflezen. Wat is de afstand tot de cepheïden?

- 400pc < d < 600pc
- 400kpc < d < 600kpc
- De afstand tot Andromeda.
- 4000lj < d < 6000lj
- 40kpc < d < 60kpc

---

#### Vraag 1.27

$B.C. = -0,1$ . Welke waarde ligt het dichtst bij de  $B-V$ -waarde voor de zon?

- 0,000,00
- 0,630,63
- 4,454,45
- 1,001,00
- 0,750,75

---

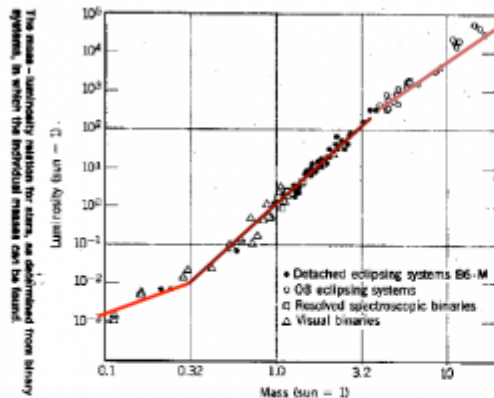
#### Vragenreeks 2

---

Deze dia is gegeven:

## Resultaten van massabepalingen uit dubbelsterren:

→ de **massa-lichtkracht** relatie



$$\frac{L}{L_{\odot}} = \left( \frac{M}{M_{\odot}} \right)^{\alpha}$$

met  $\alpha = 1.8$  voor  $M < 0.3M_{\odot}$

$\alpha = 4.0$  voor  $0.3M_{\odot} < M < 3M_{\odot}$

$\alpha = 2.8$  voor  $M > 3M_{\odot}$

Zo ook massa - straal relatie :

$$\frac{R}{R_{\odot}} = 1.05 \left( \frac{M}{M_{\odot}} \right)^{0.945} \quad \text{voor } M < 1.66M_{\odot}$$

$$\frac{R}{R_{\odot}} = 1.33 \left( \frac{M}{M_{\odot}} \right)^{0.555} \quad \text{voor } M > 1.66M_{\odot}$$

Dus voor enkelvoudige sterren:

afstand + **schijnbare** magnitude → absolute magnitude

+ bolometrische correctie → absolute magnitude = Lichtkracht

→ massa → straal.

Deze empirisch bepaalde relaties zijn fundamenteel voor het begrijpen van eigenschappen van sterren (ontstaan, evolutie etc.)

→ De eigenschappen van een ster wordt voornamelijk bepaald door de massa

25

Hierbij is voor Sirius gegeven dat  $T=50T=50$  jaar en dat  $p=0,375''p=0,375''$ .

### Vraag 2.1

Wat is de afstand tot Sirius?

### Vraag 2.2

De halve lange as bedraagt  $7,50''7,50''$ . Wat is dit in AU?

### Vraag 2.3

Wat is de som van de massa's van het dubbelstersysteem in zonnemassa's? Gebruik hiervoor de volgende formule:

$$M_1 + M_2 M_{\odot} (p_1 j)^2 = (a_1 \text{ AU})^3$$

$$M_1 + M_2 M_{\odot} (p_1 j)^2 = (a_1 \text{ AU})^3$$

### Vraag 2.4

Het zwaartepunt van de dubbelster ligt op de verbindinglijn met  $a_1 a_2 = 2a_1 a_2 = 2$ . Wat zijn dan  $M_1 M_1$  en  $M_2 M_2$  afzonderlijk?

### Vraag 2.5

Bereken de lichtkracht van beide met behulp van de massa-lichtkrachtrelatie.

### Vraag 2.6

Uit de schijnbare magnitude en de afstand volgt dat

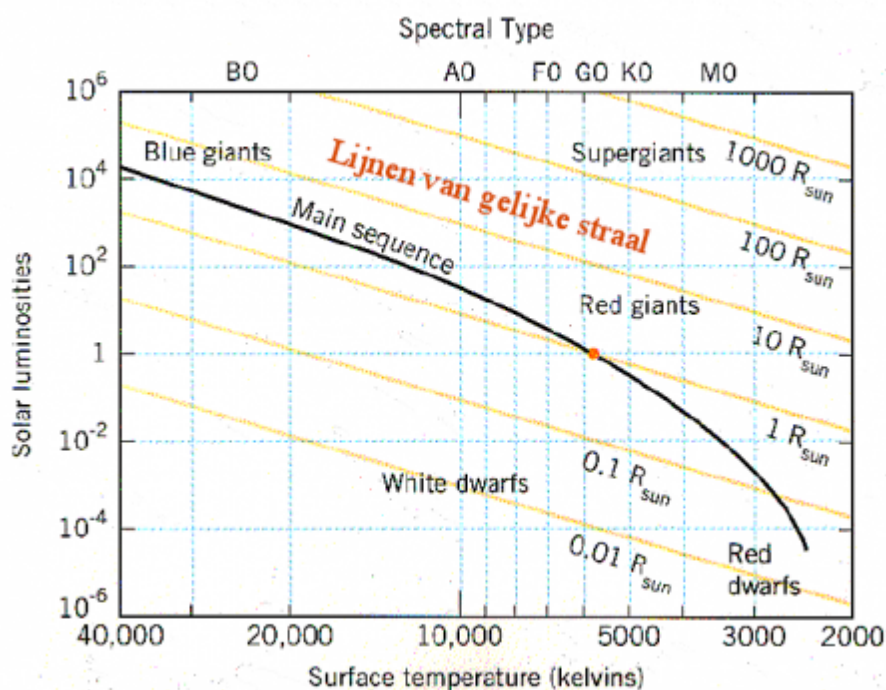
$$L_1 L_{\odot} = 21 L_2 L_{\odot} = 0,00024$$

$$L_1 L_{\odot} = 21 L_2 L_{\odot} = 0,00024$$

Klopt dit met 2.5? Zo niet, wat kan de reden zijn?

### Vragenreeks 3

Je krijgt een afbeelding die lijkt op deze::



Hierbij werden dan de namen 'Supergiants', 'Red giants', 'Main sequence' en 'White dwarfs' vervangen door de letter a, b, c en d. Ook werden de namen van enkele assen weggelaten (kan zowel links als rechts verticaal als bovenaan en onderaan horizontaal) alsook de aanduidingen op de schuine lijnen. De volgende vragen werden dan gesteld.

### Vraag 3.1

Welke grootheden staan er op de assen zonder naam?

---

### Vraag 3.2

Wat is de betekenis van de schuin naar links lopende lijnen en welke absolute eenheden horen erbij? Schrijf ze erbij.

---

### Vraag 3.3

Wat voor soort sterren zijn a, b, c en d?

---

### Vraag 3.4

Kan een reus een grotere diameter hebben dan een superreus?

---

### Vraag 3.5

Welke stadia (a, b, c, d) doorloopt de zon tijdens haar evolutie? Geef bij elk stadium de energiebron. Beantwoord dezelfde vraag voor een ster met een massa gelijk aan twintig zonmassa's.

---

---

### Vragenreeks 4

4.1) Geef de wet van Hubble. Hoe kan men uit de Hubble constante de leeftijd van het heelal bepalen en wat is deze leeftijd? 4.2) Geef de 4 pijlers van de oerknaltheorie en hoe heeft men deze waargenomen? 4.3) Wat is het verschil tussen roodverschuiving en verroding?

---

---

### Vragenreeks 5

5.1) Wat is de maximale massa die een ster kan hebben zodat ze 3 mjd jaar op de hoofdreeks zou blijven? 5.2) Gegeven de spectraaltypes van een ster en enkele gegevens van een bijhorende exoplaneet (massa, straal, halve lange as,...), bepaal op welke planeten buitenaards leven mogelijk zou zijn. Hierbij wordt ook een tabel met gegevens van de temperatuur, bewoonbare zone,... per spectraaltipe gegeven.

---

---

### Vragenreeks 6 Bonus

**Hierbij moet je ongeveer 20 fouten in onderstaand artikel verbeteren. Geef altijd uitleg waarom het fout is.**

Astronomen hebben een nieuwe ster op 2,5 lichtjaar van ons zonnestelsel gevonden. Dat is zo'n 280 miljard kilometer. De ster werd gevonden door de Very Large Telescope (Chili). Het gaat om een B2-ster die zich op de hoofdreeks bevindt, wat wil zeggen dat het een rode reus is. De visuele magnitude hiervan is 8, wat betekent dat je hem met het blote oog kan zien. De grootte van de ster beschrijft 2 boogminuten. Deze reus heeft de massa van 1,5 keer die van de zon. Rond deze ster is ook een planeet gevonden, een zoals de aarde, via transit-technieken. Het is dus vermoedelijk dat er leven is op deze planeet. De afstand van de planeet tegenover zijn ster bedraagt 1AU, wat de afstand tussen de aarde en onze Zon is. De planeet heeft een omlooptijd van 2 jaar. Via spectroscopische metingen van de molecuullijnen is bepaald dat de planeet ongeveer 2 aardmassa's bevat, de spectroscopie werd door een ESA satelliet gedaan, namelijk Kepler. De moederster is geschat om zo'n 9 miljard jaar oud te zijn, wat betekent dat er genoeg tijd was op de planeet om leven te doen ontwikkelen. Wat dit systeem namelijk dubbel zo interessant maakt is dat het een binair systeem is met nog een witte dwerg. De B2-ster en witte dwerg hebben een afstand van 100 AU van elkaar, met een omlooperperiode van 337 jaar. De massa van deze witte dwerg bedraagt 2,3 zonsmassa's, de visuele magnitude van deze witte dwerg is -2. Dit betekent dat je ze enkel kan waarnemen met een erg grote telescoop. Het binair systeem zorgt er namelijk voor dat deze planeet 2 zonnen te zien heeft, het is daar dus altijd dag!

---

## **Academiejaar 2018-2019 1<sup>ste</sup> zit**

---

Prof. Katrien Kolenberg

---

Vragenreeks 1: Meerkeuzevragen

---

### Vraag 1.1

Welke uitspraak is waar?

- De zonneconstante is omgekeerd evenredig met de vierde macht van de afstand tot de zon.
  - De zonneconstante is groter op aarde dan op Mars.
  - De zonneconstante is overal gelijk.
  - De zonneconstante is gelijk aan  $\sigma T_4^4$  aan het oppervlak.
  - Elke uitspraak hierboven is fout.
- 

### Vraag 1.2

De hoofdstad van IJsland ligt op  $64,13^\circ 64,13^\circ \text{NB}$  -  $21,83^\circ 21,83^\circ \text{OL}$ . Welke ster zal daar nooit boven de horizon te zien zijn? De ster met



- $\delta = -58^\circ$  en  $\alpha = 3\text{h}30\text{min}$
- $\delta = -25^\circ$  en  $\alpha = 18\text{h}25\text{min}$
- $\delta = 0^\circ$  en  $\alpha = 12\text{h}00\text{min}$
- $\delta = 25^\circ$  en  $\alpha = 3\text{h}40\text{min}$
- $\delta = 58^\circ$  en  $\alpha = 18\text{h}25\text{min}$

### Vraag 1.3

Asteroiden die ook konden waargenomen worden op Urania bevinden zich op welke gemiddelde afstand tot de zon?

- 1,3–2AE
- 0,01–0,02ly
- 660–960·106km
- 18–26lmin
- 0,01–1pc

### Vraag 1.4

Een ster heeft absorptielijnen met talrijke siliciumlijnen. Het sterlicht gaat eerst door een koude gaswolk met veel silicium. Wat detecteert de waarnemer?

- Een absorptiespectrum met veel siliciumlijnen.
- Een absorptie- en emissiespectrum met lijnen die corresponderen met silicium.
- Een emissiespectrum met veel siliciumlijnen.
- Een continu spectrum.
- Geen van alles.

### Vraag 1.5

Een ster met massa  $15M_\odot$  en straal  $900R_\odot$  is een

- hoofdreeksster.
- reus.
- dwerg.
- neutronenster.
- superreus.

### Vraag 1.6

Wat is de Chandrasekharlimiet?

- De minimale massa voor kernfusiereacties  $H \rightarrow He$ .
  - De maximale massa van een neutronenster.
  - $\approx 2,3 M_{\odot}$ .
  - De maximale massa van een witte dwerg.
  - $8 M_{\odot}$ .
- 

### Vraag 1.7

Waar komt het ijzer in onze zon vandaan?

- Kernfusie in het centrum van de zon.
  - Kernfusie in de schil van de zon.
  - Nucleosynthese van vorige stergeneraties.
  - Van het invangen van planeten van het vroegere zonnestelsel.
  - Kometen die op de zon instorten.
- 

### Vraag 1.8

$R_A = 2R_B$  en  $T_{\text{opp},A} = T_{\text{opp},B}/2$ . Wat is correct?

- $L_A = 4L_B$
  - $L_A = L_B/16$
  - $L_A = 16L_B$
  - $L_A = L_B$
  - $L_A = L_B/4$
- 

### Vraag 1.9

Bij een bepaald dubbelstersysteem worden X-stralen waargenomen. Visueel is er maar 1 component van het dubbelstersysteem waarneembaar. Hoe kan men achterhalen of de visueel onzichtbare component een zwart gat of een neutronenster is?

- Niet mogelijk.
- Een zwart gat is een zwarte stip; een neutronenster is altijd een pulsar.
- Niet zichtbaar, dus sowieso een zwart gat.
- Enkel neutronensterren zenden X-stralen uit, zwarte gaten zenden geen straling uit.

- Als de massa groter is dan 3 zonmassa's, dan is het een zwart gat, anders een neutronenster.
- 

#### Vraag 1.10

Een hoofdreeksster van spectraaltipe M bevindt zich op een afstand van 2pc. Een tweede hoofdreeksster, ook van spectraaltipe M, lijkt vier maal zwakker. De afstand tot de tweede ster is dan

- 4pc.
  - 6pc.
  - 8pc.
  - 16pc.
  - 32pc.
- 

#### Vraag 1.11

Een ruimtesonde op 14AE van de zon zit

- in de asteroïdengordel.
  - tussen Jupiter en Saturnus.
  - tussen Saturnus en Uranus.
  - tussen Uranus en Neptunus.
  - tussen Neptunus en Pluto.
- 

#### Vraag 1.12

Wat zorgt ervoor dat een witte dwerg niet instort tot een zwart gat?

- Ontaardingsdruk van het elektronengas.
  - Kernsplijting van zware elementen als thermische bron.
  - Fusie van zware elementen.
  - Ontaardingsdruk van het neutronengas.
  - Kristallijne CC-kern.
- 

#### Vraag 1.13

Wat is de proton-protonketen?

- Productie van ketens protonen die doorbroken worden en zonne-energie vrijgeven.
  - Een driestappenproces waarbij massa in energie wordt omgezet bij vorming van helium.
  - Een kettingreactie die leidt tot vorming van FeFe in een supernova-explosie.
  - Het bijeenbrengen van protonen tot koolstofkernen in een ster.
  - Het bijeenbrengen van protonen tot zuurstofkernen in een ster.
- 

#### Vraag 1.14

De leeftijd van een sterrenhoop is af te leiden uit

- het aantal sterren in de hoop.
  - het turn-off point van sterren op de hoofdreeks in de hoop.
  - de fractie aan witte dwergen in de sterrenhoop.
  - de radiale snelheid van de sterrenhoop.
  - de positie van de sterrenhoop in het melkwegstelsel.
- 

#### Vraag 1.15

Voor hoofdreksen geldt: hoe hoger de oppervlaktetemperatuur, hoe

- minder helder de sterren.
  - talrijker de sterren.
  - groter de massa van de sterren.
  - meer dubbelsterren.
  - minder fusie via de CNO-cyclus.
- 

#### Vraag 1.16

Een komeet in een elliptische baan om de zon heeft een apheliumafstand van  $31,5\text{AE}$  en een periheliumafstand van  $1,5\text{AE}$ . Wat is de periode van de komeet?

- 181181 jaar.
  - 1616 jaar.
  - 6464 jaar.
  - 6,36,3 jaar.
  - 3232 jaar.
-

### Vraag 1.17

Welk verschijnsel is niet bruikbaar om de afstand tussen hemellichamen te bepalen?

- Venusovergang aan de zonnescijf.
  - Wijziging van de positie van sterren zonder meetbare eigenbeweging aan de hemel met tussentijd zes maanden.
  - Dopplerverschuiving in het spectrum van een ster van onze melkweg.
  - Totale eclips.
  - Periode van veranderlijke sterren van het cepheidetype.
- 

### Vraag 1.18

Beschouw twee zwarte lichamen A en B. A heeft een emissiepiek op  $\lambda_{\max}=1000\text{nm}$  en B op  $\lambda_{\max}=200\text{nm}$ . Wat is dan  $T_A/T_B$ ?

- 55
  - 1/51/5
  - 2525
  - 1/251/25
  - 1/6251/625
- 

### Vraag 1.19

Welk stadium kan volgen na een witte dwerg?

- Geen.
  - Een rode reus.
  - Een type II supernova.
  - Een type I supernova.
  - Een planetaire nevel.
- 

### Vraag 1.20

Andromeda bevindt zich op 780000pc. Een radio-interferometer heeft een resolutie van 0,001". Wat is ongeveer de grootte van de (kleinste) kenmerken die men typisch nog kan waarnemen in Andromeda?

- 1,3pc
- 0,06pc

- $0,004 \text{ pc}$
- $780 \text{ pc}$
- $0,5 \text{ j}$

#### Vraag 1.21

De levensduur van een ster is evenredig met ongeveer (hierbij is  $M$  de massa van de ster en  $L$  de lichtkracht ervan)

- $1/M$
- $1/M^3$
- $M$
- $L$
- $1/L$

#### Vraag 1.22

Welke soort ster heeft een massa van  $1,5 M_{\odot}$  en straal  $1,5 R_{\odot}$ ?

- Een standaardster.
- Een reus.
- Een dwerg.
- Een neutronenster.
- Een superreus.

#### Vraag 1.23

Wat bepaalt in eerste instantie het spectrum van een ster?

- De chemische samenstelling.
- De effectieve temperatuur.
- De massa.
- De dichtheid.
- De centrale temperatuur.

### Vraag 1.24

Bij de fusie van waterstof in helium wordt 0,7% van de massa omgezet in energie. Initieel bevat de zon 72% waterstof. Stel dat 25% van deze hoeveelheid waterstof wordt omgezet in helium. Hoe lang kan de zon hiermee schijnen?

- 10 miljoen jaar.
  - 100 miljard jaar.
  - 25 miljard jaar.
  - 30 miljoen jaar.
  - 10 miljard jaar.
- 

### Vraag 1.25

Gegeven een HR-diagram  $M_V - (B - V)$  voor de sterrenhopen Pleiaden en hh en  $\chi$  Persei. Hoe ver staan de Pleiaden van de aarde?

- 150 pc
  - 540 pc
  - 135 lj
  - 150 lj
- 

### Vraag 1.26

Gegeven een figuur met de periodieke lichtkracht voor de klasse cepheïden en een figuur met de lichtkromme waarop men de schijnbare magnitude in functie van de tijd kan aflezen. Wat is de afstand tot de cepheïden?

- 400 pc < d < 600 pc
  - 400 kpc < d < 600 kpc
  - De afstand tot Andromeda.
  - 4000 lj < d < 6000 lj
  - 40 kpc < d < 60 kpc
- 

### Vraag 1.27

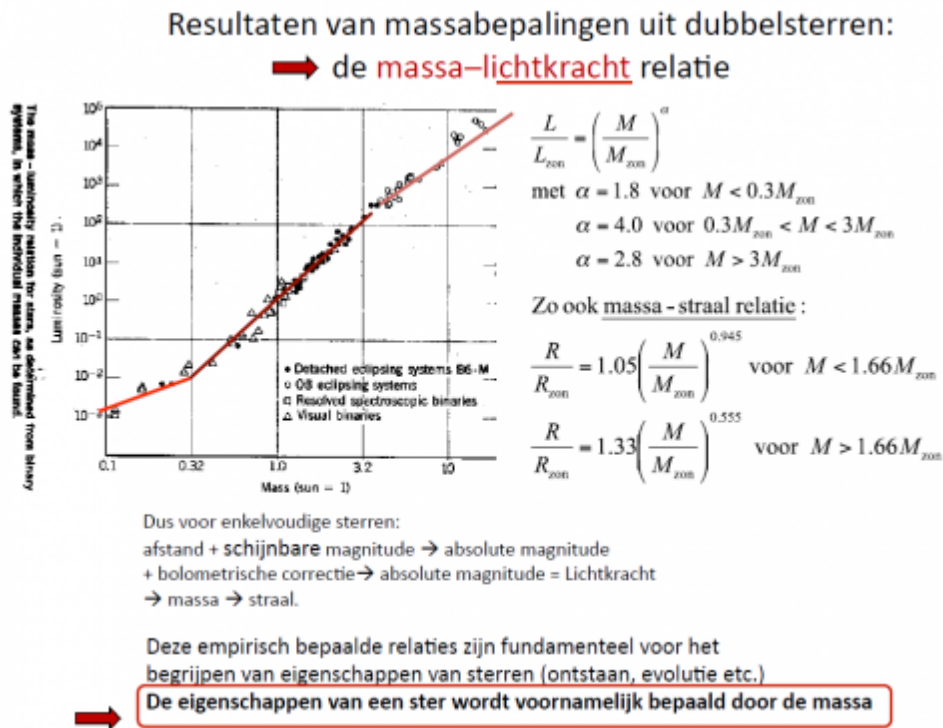
$B - C = -0,1$ . Welke waarde ligt het dichtst bij de  $B - V$ -waarde voor de zon?

- 0,000,00
- 0,630,63
- 4,454,45

- 1,001,00
- 0,750,75

## Vragenreeks 2

Deze dia is gegeven:



25

Hierbij is voor Sirius gegeven dat  $T=50T=50$  jaar en dat  $p=0,375''p=0,375''$ .

### Vraag 2.1

Wat is de afstand tot Sirius?

### Vraag 2.2

De halve lange as bedraagt  $7,50''7,50''$ . Wat is dit in AUAU?

### Vraag 2.3

Wat is de som van de massa's van het dubbelstersysteem in zonmassa's? Gebruik hiervoor de volgende formule:

$$M_1 + M_2 M_{\odot} (p_1 j)^2 = (a_1 \text{AU})^3$$

$$M_1 + M_2 M_{\odot} (p_1 j)^2 = (a_1 \text{AU})^3$$



#### Vraag 2.4

Het zwaartepunt van de dubbelster ligt op de verbindingslijn. Wat zijn dan M1M1 en M2M2 afzonderlijk?

#### Vraag 2.5

Bereken de lichtkracht van beide met behulp van de massa-lichtkrachtrelatie.

#### Vraag 2.6

Uit de schijnbare magnitude en de afstand volgt dat

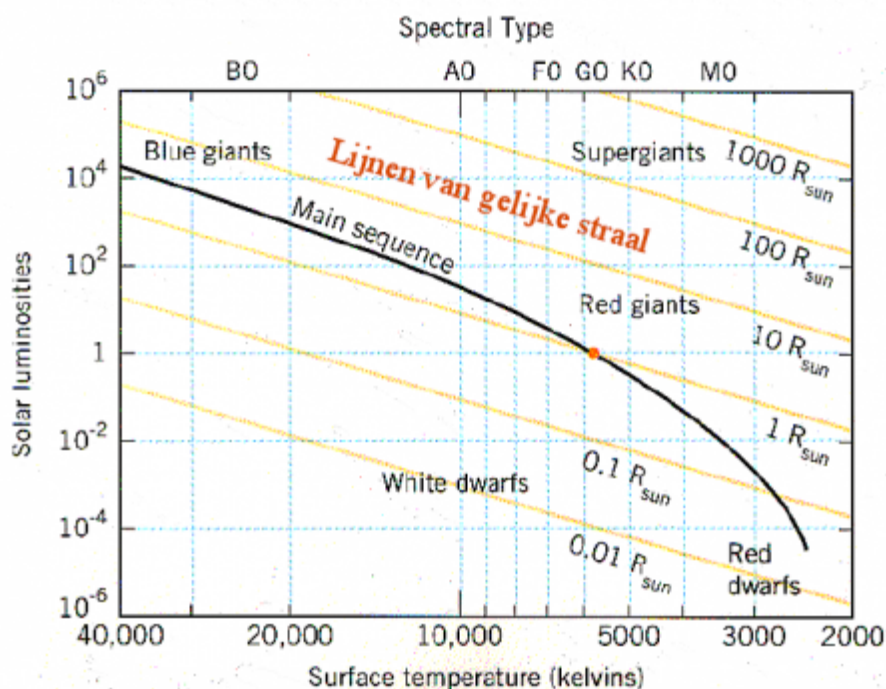
$$L_1 L_\odot = 21 L_2 L_\odot = 0,00024$$

$$L_1 L_\odot = 21 L_2 L_\odot = 0,00024$$

Klopt dit met 2.5? Zo niet, wat kan de reden zijn?

#### Vragenreeks 3

Je krijgt een afbeelding die lijkt op deze::



Hierbij werden dan de namen 'Supergiants', 'Red giants', 'Main sequence' en 'White dwarfs' vervangen door de letter a, b, c en d. Ook werden de namen van enkele assen weggelaten (kan zowel links als rechts verticaal als bovenaan en onderaan horizontaal)

alsook de aanduidingen op de schuine lijnen. De volgende vragen werden dan gesteld.

---

Vraag 3.1

Welke grootheden staan er op de assen zonder naam?

---

Vraag 3.2

Wat is de betekenis van de schuin naar links lopende lijnen en welke absolute eenheden horen erbij? Schrijf ze erbij.

---

Vraag 3.3

Wat voor soort sterren zijn a, b, c en d?

---

Vraag 3.4

Kan een reus een grotere diameter hebben dan een superreus?

---

Vraag 3.5

Welke stadia (a, b, c, d) doorloopt de zon tijdens haar evolutie? Geef bij elk stadium de energiebron. Beantwoord dezelfde vraag voor een ster met een massa gelijk aan twintig zonmassa's.

---

---

Vragenreeks 4

---

4.1) Geef de wet van Hubble. Hoe kan men uit de Hubble constante de leeftijd van het heelal bepalen en wat is deze leeftijd?// 4.2) Geef de 4 pijlers van de oerknaltheorie en hoe heeft men deze waargenomen?// 4.3) Wat is het verschil tussen roodverschuiving en verroding?//

---

---

Vragenreeks 5

---

5.1) Wat is de maximale massa die een ster kan hebben zodat ze 3 mjd jaar op de hoofdreeks zou blijven?// 5.2) Gegeven de spectraaltypes van een ster en enkele gegevens van een bijhorende exoplaneet (massa, straal, halve lange as,...), bepaal op

welke planeten buitenaards leven mogelijk zou zijn. Hierbij wordt ook een tabel met gegevens van de temperatuur, bewoonbare zone,... per spectraaltype gegeven.//

---

---

Vragenreeks 6 BONUS

Haal zo veel mogelijk fouten uit een gegeven artikel en verklaar. (Zelfde artikel als 2019-2020)

---

---

## **Academiejaar 2014-2015 1<sup>ste</sup> zit**

---

Prof. Kolenberg (nieuw sinds dit jaar.) Volgende tabel was bijgevoegd bij het examen:  
Bestand: Sterrenkunde-tabel.png

1.

1. Geef de betekenis van:

1. Wetten van Kepler (geef deze ook)
2. Retrograde baan
3. Siderisch jaar
4. Ecliptica
5. Synodische omlooptijd
6. Oppositie
7. Zwart gat
8. Nucleosynthese
9. Luminositeitsklasse

2. Hoe vaak per jaar staat de maan in eerste kwartier in conjunctie met Jupiter?  
En Mercurius?

3. "klein artikel ivm planeten aan de hemel" (...) Venus bereikt zijn grootste oostelijke elongatie (...) De helderheid van de binnenplaneet is -3,9m (...) .

1. Wat betekent grootste oostelijke elongatie?
2. Over welke helderheid gaat het?

2. De activiteit van de zon wordt gemeten aan de hand van het aantal zichtbare zonnevlekken.

1. Wat is de gemiddelde periode in het aantal zonnevlekken?
2. Beschrijf hoe de verdeling van de zonnevlekken over het oppervlak verandert in de loop van een cyclus.
3. Hoe verklaart men deze cyclus?

### 3. Getijden:

1. Een planeet ( $m_1, r_1$ ) draait niet om haar as, en heeft een maan ( $m_2, r_2$ ) op afstand  $a$  die een cirkelvormige beweging rond de planeet beschrijft. Bereken de grootte van de getijdenversnelling  $f_{\text{gfg}}$  in eerste orde benadering.
2. Callisto ( $d=4800\text{km}, P=16.6\text{d}$ ) draait rond Jupiter, Umbriel ( $d=1200\text{km}, P=4.15\text{d}$ ) draait rond Uranus. Beschouw punten AA en BB op de manen Callisto en resp. Umbriel als het punt dat zich het dichtstbij de respectievelijke planeten bevindt. Hoe groot is de verhouding van de getijden in de punten AA en BB?
3. De baanperiodes van de manen van Jupiter (Io, Europa en Ganymedes) verhouding zich als 1:2:41:2:4. Wat is de verhouding van de getijdenversnellingen? Stel de straal van de manen gelijk, en de massa's verwaarloosbaar t.o.v. de planeet.
4. Hoe verklaart men de Hippiarchos bij de Hellespont in 128 v.C. een totale zonsverduistering waarna die eigenlijk in Noord-Amerika had moeten vallen indien men aanneemt dat de baan- en rotatieparameters van de zon, maan en aarde constant zijn?
4. Bereken de limiet van Roche voor een planeet met massa  $M$ , straal  $R$  en dichtheid  $\rho$ . Beschouw hiertoe twee identieke satellietjes met gemiddelde afstand  $r$  tot het centrum van de planeet met ieder massa  $m$ , straal  $R_s$  en dichtheid  $\rho_s$ . Laat zien dat deze limiet gelijk is aan  $r/R = 2.52(\rho/\rho_s)^{1/3}$ .
5. Bereken de Hill-straal voor een spaceshuttle van 100 ton, die 300km boven de aarde zweeft. Kan een astronaut (80kg) een Keplerbaan beschrijven rond de shuttle?
6. Beschouw onderstaand HR-diagram. [Bestand:HR sterrenkunde.png](#)
  1. Welke grootheden staan aan de bovenste horizontale as en de rechter verticale as uitgezet?
  2. Wat is de betekenis van de zes schuin naar links lopende lijnen, en welke absolute eenheden horen daarbij?
  3. Beschrijf wat voor soort sterren behoren tot de groepen aangeduid met (a), (b), (c) en (d).
  4. Kan een reus een grotere diameter hebben dan een superreus?
  5. Waar in het diagram staan de sterren met de grootste massa, en wat is hun spectraaltipe?
  6. Door welke stadia loopt een lichte ster, zoals de zon, tijdens zijn evolutie? Kies uit (a), (b), (c) en (d). Geef bij ieder stadium de energiebron.
7. Multiple-choice vragen (welk object is geen maan van Jupiter, Wat voor type straler is de zon, waarom is Pluto geen planeet meer,...)
8. Artikel (ong. halve bladzijde) waarin zo veel mogelijk fouten dienden gezocht te worden.

### Academiejaar 2011-2012 1<sup>ste</sup> zit

---

Jammer genoeg niet volledig bijgehouden.

Veel vragen analoog aan voorgaande jaren. De voorgaande examens als oefening maken is bij dit vaak zeer sterk aan te raden.

Nieuwe vragen:

## Korte Vragen

---

Observationele technieken

1. Bespreek twee redenen waarom men in grote moderne telescopen spiegels ipv lenzen gebruiken.
2. Bespreek vier vereisten van een goede plek om een observatorium te bouwen.
3. Venus draait rond de zon in een, bij benadering, circulaire baan met  $r=0.7\text{AU}$ . Hoe lang duurt maximaal een venusovergang (Vanop de aarde zien we venus voor de zon gaan). Hou geen rekening met de beweging van de aarde en bekijk venus als een punt. Een venusjaar duurt 0.586 jaar.
4. Definieer lichtkracht,  $L$ , Flux  $F$ , schijnbare en absolute magnitude van een ster.

Sterren

1. Schets een Hertzsprung-Russel diagram. Duid duidelijk aan wat er op de assen staat. Wat is de 'hoofdreeks' in zulk een diagram? Welk process genereert de energie in hoofdreeks sterren?
2. Wat is gedegenerende materie? Welk type ster bestaat bijvoorbeeld uit gedegenerende materie?

## Lange Vragen

---

Observationele technieken

Deze was analoog aan de andere jaren.

Sterren

Dit was analoog aan degene van juni 2009 over

- Lane-Emden
- Stralingsdruk,...

## Academiejaar 2009-2010 1<sup>ste</sup> zit

---

Los alle korte vragen op en twee van de drie lange vragen

### Korte vragen (20 punten)

---

Een paar lijnen volstaat per antwoord, elke vraag staat op 4 punten.

Observationele Technieken

1. Geef twee belangrijke redenen waarom grote, moderne telescopen spiegels gebruiken i.p.v. lenzen.
2. Wat is *seeing* en wat veroorzaakt het?
3. Schets de *Nasmyth* focus van de telescoop. Moderne spectrografen zijn erg groot en zwaar. Geef twee redenen waarom het dus veel beter is deze op de Nasmyth focus te installeren in plaats van op de prime focus.
4. Definieer de angulaire resolutie van een telescoop. Wat bepaalt de angulaire resolutie van de *Hubble Space Telescope*? Hangt dit af van de golflengte?
5. Twee sterren, A en B, hebben dezelfde lichtkracht. A heeft schijnbare magnitude  $m_A = 4$  en staat op afstand  $d_A = 4$  pc; B heeft  $m_B = 10$ . Bereken de afstand tot ster B (verwaarloos absorptie). Hoe zou je kunnen onderzoeken of er absorptie is door stof (dust) in de richting van ster B?

#### Sterren

1. Schets een Hertzsprung-Russell diagram. Duid duidelijk aan wat er op de assen staat. Schets de positie van (a) de hoofdreeks, (b) Rode Reuzen en (c) Witte dwergen.
2. Helium fusie genereert de energie in Rode Reuzen. Waarom treedt dit proces niet op in de zon? Welk proces vindt plaats op het einde van de hoofdreeks evolutie van een ster zoals de zon, zodat He fusie plots wel mogelijk wordt?
3. Wat is gedegenererde materie? Welk type ster bestaat bijvoorbeeld uit gedegenererde materie?
4. Bereken hoeveel waterstofatomen er per seconde worden omgezet in He in de zon.
5. Zware sterren produceren elementen zwaarder dan He zowel tijdens hun evolutie als tijdens de super nova explosie. Bespreek kort de evolutie van (a) lichte sterren en (b) heel zware sterren en verklaar waarom deze geen zwaardere elementen produceren gedurende hun leven.

#### Lange vragen (20 punten)

##### Observationele Technieken

Rond een ster op afstand  $d = 1$  pc is er een planeet met leven. Toevallig hebben de astronomen op die planeet ook een ruimte telescoop met precies de eigenschappen van een HST: diameter  $D = 2.4$  m, een CCD met read-out noise  $\sigma_R = 0.2$ , dark current  $N_d = 0.1$  s<sup>-1</sup> en gain  $g = 1$ . Astronoom Andy heeft waarnemingstijd op de ruimte telescoop en wil proberen het zonlicht dat reflecteert van de aarde te meten. Hij weet dat de vergelijking voor de signaal-ruis verhouding in een waarneming gegeven wordt door

$$SN = \frac{\sum N_s \gamma t}{\left( \sum [N_s \gamma t + N_d B t + \sigma_R^2 + N_d t] \right)^{1/2}}$$

Maak de benadering dat al het zonlicht dat wordt uitgestraald (en ook wordt gereflecteerd) golflengte  $\lambda = 5000 \text{ \AA}$  heeft.

1. Bespreek kort de verschillende termen in deze vergelijking, wat betekent de som? (2pt)
2. De grootte van de Airy schijf is  $\theta = 1.22\lambda/D$ . Bereken of hun HST voldoende resolutie heeft om de zon en de aarde gescheiden te kunnen waarnemen. (4pt)
3. Toon aan dat de flux  $F_F$  van door de aarde gereflecteerd zonlicht gemeten door Andy, maximaal gelijk is aan  

$$F = L_{\odot} \pi r^2 / 4\pi AU^2 = L_{\odot} r^2 / 4AU^2$$
 waarin  $r = 6000$  km de straal van de aarde is. (4pt)
4. Bereken die flux. (2pt)
5. Bereken het aantal fotonen  $N_{\gamma}$  dat per seconde op de HST spiegel valt. (4pt)
6. De waarnemingen worden bemoeilijkt doordat een deel  $f$  van het directe zonlicht op de detector valt, net op de plaats waar het beeld van de aarde ook valt. Veronderstel dat  $f = 0.01$ . Bereken de minimale integratietijd zodat de signaal-ruis verhouding  $S/N = 3$ . (4pt)

Sterren

### 1. Lane-Emden vergelijking en Chandrasekhar massa (20 punten)

1. Toon aan dat in een sferische massaverdeling, de massa,  $dM$ , in een schil met straal  $r$  en dikte  $dr$ ,  $dr \ll r$ , gelijk is aan  $dM = 4\pi r^2 \rho dr$ . (2pt)
2. Gebruik dit om de vergelijking voor hydrostatisch evenwicht in een sferische ster af te leiden:  

$$\frac{dM}{dr} = -4\pi r^2 \rho \frac{dr}{dr}$$
 ( $M(r)$  is de massa in de bol met straal  $r$ .) (2pt) [Hint: vergelijk de gravitatie kracht op de schil met de druk kracht op de schil.]
3. Wat is een toestandsvergelijking (equation of state)? (2pt)

4. Veronderstel dat  $p = K\rho\gamma = K\rho\gamma$  ( $K$  en  $\gamma$  constant). Substitueer dit in de vergelijking van het 2de deel van deze vraag en toon aan dat

$$\frac{1}{r^2} \frac{d}{d\xi} \left( \xi^2 \frac{d\theta}{d\xi} \right) = -\theta n \quad \frac{1}{r^2} \frac{d}{d\xi} \left( \xi^2 \frac{d\rho}{d\xi} \right) = -\theta n$$

(de Lane- Emden vergelijking), waarin

- $r = \alpha \xi$
- $\rho = \rho_c \theta^n$
- $\alpha^2 = (n+1) K 4\pi G (\rho_c)^{1/n} ((n-1)/n)$
- $\gamma = 1 + 1/n$

5. Bereken de structuur van een ster met  $n = 1$ . (4pt)
6. Bereken haar massa en straal in termen van  $\alpha$  en  $\rho_c$ . (4pt)
7. Deze ster heeft dezelfde massa en straal als de zon. Bereken haar centrale dichtheid  $\rho_c$ . (2pt)

## 2. Stralingsdruk, massa verlies, en een limiet op de massa van sterren die Witte Dweren worden (20 punten)

Stofdeeltjes in de atmosfeer van een ster absorberen een deel van de flux. Aangezien de geabsorbeerde fotonen ook momentum hebben resulteert dit in een kracht die de stofdeeltjes naar buiten duwt. Botsingen tussen stof en gas deeltjes sleuren het gas ook mee naar buiten. Dit resulteert in een stellaire wind, en de ster verliest massa. We leiden eerst een uitdrukking voor de kracht op het gas ten gevolge van dit effect (vergelijkbaar met de berekening van de Eddington lichtkracht), en gaan daarna na wat het effect van massa verlies is op de evolutie van de ster.

1. Een ster met massa  $M$  heeft sferische stofdeeltjes met massa  $m$ , en straal  $d$  in zijn atmosfeer. Voor een stofdeeltje op afstand  $r$  van een ster met lichtkracht  $L$ , toon aan dat de stralingskracht  $F_s$ , op het deeltje gegeven is door

$$F_s = \frac{L}{4\pi r^2} \frac{\pi d^2}{4} = \frac{L \pi d^2}{16\pi r^2}$$

[Hint: het momentum van een foton met energie  $E$  is  $E/c$ .] (4pt)

2. Beschouw een schil op afstand  $r$  met dikte  $dr$ , gas massa  $M_g$  en stofmassa  $M_s = \epsilon M_g$  ( $\epsilon \ll 1$ ). Toon aan dat het aantal stofdeeltjes in deze schil  $N_s = \epsilon M_g / m$ . Toon aan dat de stralingskracht,  $F_s$ , en gravitatiekracht,  $F_g$ , op de schil gelijk zijn aan

$$F_s = \epsilon M_g F_s / m \quad F_g = \frac{G M m}{r^2}$$

(2pt)



3. Toon aan dat je verwacht dat de wind start wanneer

$$L \geq \epsilon_{\text{MgF}} \dot{M} v_{\text{wind}}$$

(2pt)

4. Door de wind verliest de ster een deel van zijn massa  $M$ . Veronderstel dat we dit schrijven als

$$\dot{M} = -\alpha L / c^2$$

Vind  $M(t)$ , veronderstel  $M(0) = M_0$ . Door verbranding neemt de massa van de kern,  $M_k$ , toe. Veronderstel dat de verbranding een hoeveelheid energie  $Q$  per eenheid van massa produceert. Toon dat

$$M(t) = M_0 - \alpha L t / c^2$$

$$M_k(t) = M_0 - L t / Q$$

(2pt) Wat is de massa van de ster op het ogenblik dat de mantel geheel verloren is (en dus  $M = M_k$ )? (2pt) [Hint: veronderstel dat de lichtkracht  $L$  constant is, en dat  $M_k(t=0) = 0$ .]

5. Toon aan dat

$$Q = 6.5 \cdot 10^{14} \text{ J kg}^{-1}$$

voor waterstof fusie. (4pt)

6. Op het einde van de verbranding moet de massa van de kern kleiner zijn dan de Chandrasekhar massa  $M_{\text{Ch}} \approx 1.4 M_0$  om nog een stabiel te zijn. Vind de limiet voor de oorspronkelijke massa van de ster opdat dit zou gebeuren. Veronderstel  $\alpha = 10^{-14} \text{ kg J}^{-1}$ . (4pt)

## Academiejaar 2008-2009 1<sup>ste</sup> zit

Los alle korte vragen op en twee van de drie lange vragen

### Korte vragen (20 punten)

Een paar lijnen volstaat per antwoord, elke vraag staat op 4 punten.

Observationele Technieken

1. Definieer lichtkracht,  $L$ , flux  $F$ , schijnbare en absolute magnitude van een ster.
2. Geef twee belangrijke vereisten voor de lokatie van een observatorium.
3. Schets hoe het licht gefocuseerd wordt in een Cassegrain design.
4. Beschrijf kort twee belangrijke stappen die je moet doen met CCD waarnemingen om de ruwe data in wetenschappelijk bruikbare data om te zetten.
5. De CCD camera op telescopen wordt meestal gekoeld. Waarom?

Sterren

1. Schets een Hertzsprung-Russel diagram. Duid duidelijk aan wat er op de assen staat. Wat is de 'hoofdreeks' in zulk een diagram? Welk proces genereert de energie in hoofdreks sterren?
2. Hoe kan je de temperatuur aan het oppervlakte van de zon meten? Hoe kan je de massa van de zon bepalen?
3. Schat de thermische tijdschaal van de zon. [Hint: gebruik de gegeven zonne-constanten, en veronderstel dat de gravitationele energie,  $GM^2/R$  vergelijkbaar is met de thermische energie.
4. Het verschil  $(M_i - A_i m_u) c^2$  tussen de massa  $M_i$  van element  $i$ , en  $A_i m_u$  keer de atomaire massa eenheid  $m_u$ , heet het 'massa verschil' van het element. ( $A_i$  is het aantal nucleonen in de kern.) Voor waterstof en Helium is het massa verschil  
 $(M_H - 1 m_u) c^2 = 7.289 \text{ MeV}$   
 $(M_{He} - 4 m_u) c^2 = 2.425 \text{ MeV}$   
 (Zie lijst met constanten voor de waarde van de fysische constanten). Bereken hiermee de efficiëntie,  $\epsilon$ , van waterstof fusie in de zon.
5. De lichtkracht  $L$  op de hoofdreks hangt af van de massa  $M$  van een ster als  $L \propto M^3$ . Gebruik dit om de levensverwachting  $(t_*)$  van een ster te vinden als functie van haar massa, in termen van de levensverwachting van de zon,  $t_0$ .

### Lange vragen (20 punten)

#### Observationele Technieken

In deze oefening onderzoeken we hoe lang we met de Hubble Space Telescope moeten integreren om een planeet zoals Jupiter te kunnen zien rond een naburige ster, gelijkaardig aan de Zon. Voor de eigenschappen van die extra-solaire planeet en haar ster, gebruiken we daarom de waarden voor Jupiter en de Zon zelf, en veronderstellen dat we waarnemen vanuit een naburige ster, op afstand  $r_*$ . Om dit te berekenen moeten we

1. Vinden hoeveel zonlicht Jupiter reflecteert.
2. Hoeveel fotonen de HST daarvan kan waarnemen, per seconde.
3. Hoeveel achtergrond noise HST heeft.
4. Gegeven deze twee waarden, hoe lang we moeten integreren om een goede detectie van Jupiter te maken.

Gebruik deze waarden:

- $D = 2.4 \text{ m}$  (diameter van de HST primaire spiegel)
- $p = 0.1$  (resolutie van HST, in boog seconden)
- $d = 1 \times 10^9 \text{ km}$  (afstand Zon-Jupiter)
- $r = 3.5 \times 10^4 \text{ km}$  (straal van Jupiter)

1. Veronderstel dat Jupiter al het zonlicht dat er op valt naar ons toe reflecteert. Toon aan dat de lichtkracht van Jupiter dan gegeven is door

$$L_J = L_0 \pi r_J^2 \frac{1}{d^2} = 3,06 \cdot 10^{-10} L_0 \quad L_J = L_0 \pi r_J^2 \frac{1}{d^2} = 3,06 \cdot 10^{-10} L_0$$

2. Veronderstel dat we deze planeet waarnemen in het visuele,  $\lambda = 5000 \text{ \AA}$ . Toon aan dat

$$F_J = L_J / (4 \pi d^2) \quad F_J = L_J / (4 \pi d^2)$$

$$N_J' = F_J \pi (D/2)^2 / E \quad N_J' = F_J \pi (D/2)^2 / E$$

waarin  $F_J$  de flux is die van Jupiter meten,  $E$  de energie van een foton met golflengte  $\lambda$ , en  $N_J'$  het aantal fotonen dat de HST detecteert van deze planeet per seconde en bereken  $N_J'$ .

3. Onze waarneming wordt bemoeilijkt doordat de telescoop ook nog fotonen detecteert die niet van Jupiter afkomstig zijn, maar bijvoorbeeld ook van andere sterren, en van stof in het zonnestelsel. De figuur (van de HST web-site) toont hoeveel licht,  $E_{\text{BEB}}$ , we van de nachthemel detecteren, in energie, per eenheid van tijd, per eenheid van oppervlakte, per Angstrom, per boogseconde<sup>2</sup>. Veronderstel dat de filter waar doorheen we waarnemen een breedte van  $\Delta\lambda = 1000 \text{ \AA}$  heeft. Veronderstel verder dat het licht van Jupiter of HST verdeeld wordt over de diffractie limiet van de telescoop, namelijk een schijfje met straal gelijk aan de resolutie,  $\theta = 0.1$  boog seconden. Vind een uitdrukking voor  $N_B'$ , het aantal achtergrond fotonen dat HST waarneemt per eenheid van tijd.

4. Gegeven dat we  $N_J$  fotonen per seconde detecteren van Jupiter, en  $N_B$  van de 'achtergrond' toon aan dat de signaal-ruis verhouding voor integratie tijd  $t$ , gegeven is door

$$SN = N_J' t / [(N_J' + N_B') t]^{1/2} \quad SN = N_J' t / [(N_J' + N_B') t]^{1/2}$$

5. Geef een formule voor  $t$  zodat  $S/N > 3$  en bereken  $t$  voor je eerdere gevonden waarden [Hint:  $1 \text{ erg} = 10^{-7} \text{ J}$ ].

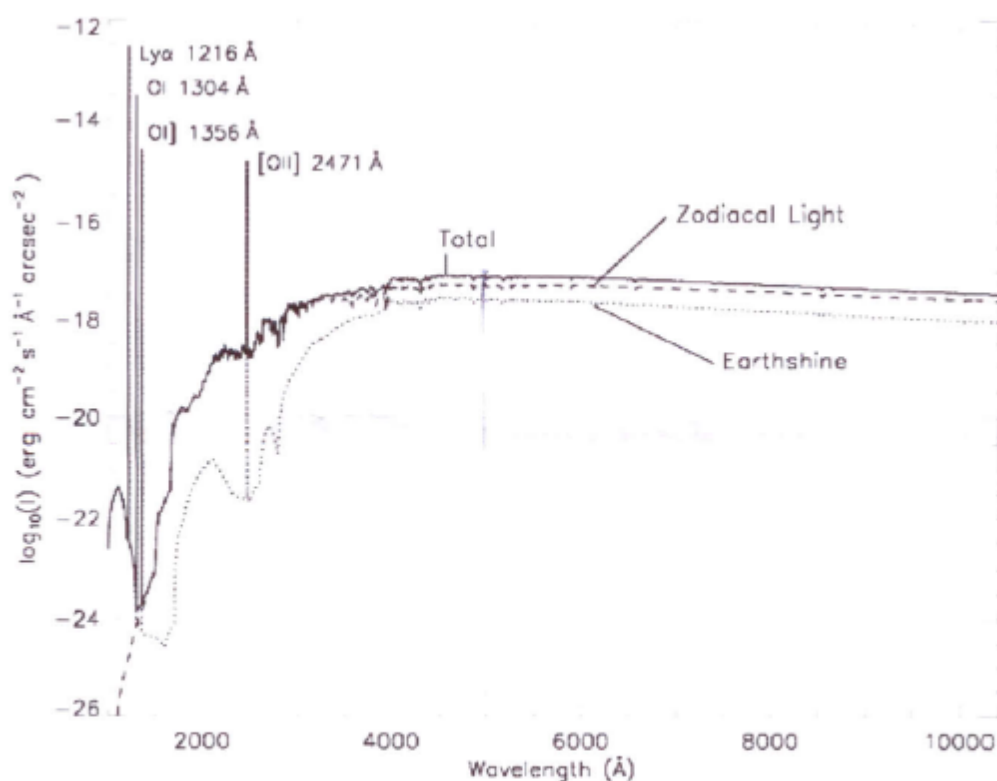


Figure 1: Helderheid van de nachthemel als functie van golflengte.

Sterren

### 1. Lane-Emden vergelijking en Chandrasekhar massa (20 punten)

1. Toon aan dat in een sferische massa verdeling, de massa,  $dM$ , in een schil met straal  $r$  en dikte  $dr$ ,  $dr \ll r \ll R$ , gelijk is aan  $dM = 4\pi r^2 \rho dr$ .
2. Gebruik dit om de vergelijking voor hydrostatisch evenwicht in een sferische ster af te leiden:

$$GM(<r)r^2 = -1dpdr$$

( $M(<r)$  is de massa in de bol met straal  $r$ .) [Hint: vergelijk de gravitatie kracht op de schil met de druk kracht op de schil.]

3. Wat is een toestandsvergelijking (equation of state)?

4. Veronderstel dat  $p = K\rho\gamma$  ( $K$  en  $\gamma$  constant). Substitueer dit in de vergelijking van het 2de deel van deze vraag en toon aan dat

$$\frac{1}{\xi^2} \frac{d}{d\xi} \left( \xi^2 \frac{d\theta}{d\xi} \right) = -\theta n \quad \frac{1}{\xi^2} \frac{d}{d\xi} \left( \xi^2 \frac{d\theta}{d\xi} \right) = -\theta n$$

(de Lane- Emden vergelijking), waarin

- $r = \alpha \xi$
- $\rho = \rho_c \theta^n$
- $\alpha^2 = (n+1) K 4\pi G (\rho_c) ((n-1)/n)$
- $\gamma = 1 + 1/n$

5. Toon aan dat de massa van de ster

$$M = \int_0^R 4\pi r^2 \rho dr = -4\pi \alpha^3 \rho_c \xi^3 \frac{d\theta}{d\xi} \quad M = \int_0^R 4\pi r^2 \rho dr = -4\pi \alpha^3 \rho_c \xi^3 \frac{d\theta}{d\xi}$$

De index '1' ,  
betekent de waarde aan de oppervlakte van de ster.

6. Combineer de vergelijkingen van  $r$ ,  $\alpha$  en  $M$  om het verband tussen de straal  $R$ , en de massa  $M$ , van de ster te vinden,

$$M - \xi^3 \left( \frac{d\theta}{d\xi} \right) = 14\pi (R \xi)^3 \left[ (n+1) K G \right] n \quad M - \xi^3 \left( \frac{d\theta}{d\xi} \right) = 14\pi (R \xi)^3 \left[ (n+1) K G \right] n$$

7. Voor een relativistisch gedegenereerd Helium gas is

$$p = \frac{hc}{8} (3\pi)^{1/3} (\rho/2m_p)^{4/3} \quad p = \frac{hc}{8} (3\pi)^{1/3} (\rho/2m_p)^{4/3}$$

## 2. Stralingsdruk, massa verlies, en een limiet op de massa van sterren die Witte Dweren worden (20 punten)

Stofdeeltjes in de atmosfeer van een ster absorberen een deel van de flux. Aangezien de geabsorbeerde fotonen ook momentum hebben resulteert dit in een kracht die de stofdeeltjes naar buiten duwt. Botsingen tussen stof en gas deeltjes sleuren het gas ook mee naar buiten. Dit resulteert in een stellaire wind, en de ster verliest massa. We leiden eerst een uitdrukking voor de kracht op het gas ten gevolge van dit effect (vergelijkbaar met de berekening van de Eddington lichtkracht), en gaan daarna na wat het effect van massa verlies is op de evolutie van de ster.

1. Een ster met massa  $M$  heeft sferische stofdeeltjes met massa  $m$ , en straal  $d$  in zijn atmosfeer. Voor een stofdeeltje op afstand  $r$  van een ster met lichtkracht  $L$ , toon aan dat de stralingskracht  $F_s$ , op het deeltje gegeven is door

$$F_s = \frac{L}{4\pi r^2} \quad F_s = \frac{L}{4\pi r^2}$$

[Hint: het momentum van een foton met energie  $E$  is  $E/c$ .]

2. Beschouw een schil op afstand  $r$  met dikte  $dr$ , gas massa  $M_g$  en stofmassa  $M_s = \epsilon M_g$  ( $\epsilon \ll 1$ ). Toon aan dat het aantal stofdeeltjes in deze schil  $N_s = \epsilon M_g / m_s$ . Toon aan dat de stralingskracht,  $F_{\text{FS}}$ , en gravitatiekracht,  $F_{\text{G}}$ , op de schil gelijk zijn aan

$$F_{\text{S}} = \epsilon M_g F_{\text{sms}} \quad F_{\text{S}} = \epsilon M_g F_{\text{sms}}$$

$$F_{\text{G}} = G M M_{\text{gr}} / r^2 \quad F_{\text{G}} = G M M_{\text{gr}} / r^2$$

3. Toon aan dat je verwacht dat de wind start wanneer

$$L \geq \epsilon M_g F_{\text{sms}} \quad L \geq \epsilon M_g F_{\text{sms}}$$

4. Door de wind verliest de ster een deel van zijn massa  $M$ . Veronderstel dat we dit schrijven als

$$\dot{M} = -\alpha L \quad \dot{M} = -\alpha L$$

Vind  $M(t)$ , veronderstel  $M(0) = M_0$ . Door verbranding neemt de massa van de kern,  $M_{\text{k}}$ , toe. Veronderstel dat de verbranding een hoeveelheid energie  $Q$  per eenheid van massa produceert. Toon dat

$$M(t) = M_0 - \alpha L t \quad M(t) = M_0 - \alpha L t$$

$$M_{\text{k}}(t) = M_0 - L t / Q \quad M_{\text{k}}(t) = M_0 - L t / Q$$

Wat is de massa van de ster op het ogenblik dat de mantel geheel verloren is (en dus  $M = M_{\text{k}}$ )? [Hint: veronderstel dat de lichtkracht  $L$  constant is, en dat  $M_{\text{k}}(t=0) = 0$ .]

5. Toon aan dat

$$Q = 6.5 \cdot 10^{14} \text{ J kg}^{-1} \quad Q = 6.5 \cdot 10^{14} \text{ J kg}^{-1}$$

voor waterstof fusie.

6. Op het einde van de verbranding moet de massa van de kern kleiner zijn dan de Chandrasekhar massa  $M_{\text{Ch}} \approx 1.4 M_0$  om nog een stabiel te zijn. Vind de limiet voor de oorspronkelijke massa van de ster opdat dit zou gebeuren. Veronderstel  $\alpha = 10^{-14} \text{ kg J}^{-1}$ .

## Academiejahr 2007-2008 1<sup>ste</sup> zit

Los alle korte vragen op en twee van de drie lange vragen

### Korte vragen

Observationele technieken

Een paar lijnen volstaat, per vraag 4 ptn.

1. Geef twee redenen waarom de spiegels in moderne telescopen groot worden gemaakt

2. Schets hoe het licht gefocuseerd wordt op een prime-focus camera. Geef een voor en een nadeel van een prime-focus camera, bijvoorbeeld in vergelijking met een ander design
3. Ster A heeft een schijnbare magnistude  $m_A = -5$ . Ster B lijkt 10 keer helderder. Wat is de schijnbare magnitude van ster B,  $m_B$ ? Hoeveel verder moet ster B staan zodat  $m_A = m_B$
4. Beschrijf kort twee eigenschappen van een ster die je uit haar spectrum kan afleiden. Beschrijf ook hoe je die eigenschappen uit het spectrum zou halen
5. Schat de maximale duur van de occultatie van een ster door de maan. (hint: bereken de hoeksnelheid van de maan aan de hemel, en verwaarloos de rotatie van de aarde. Gebruik 0.5 graden voor de diameter van de maan.)

## Sterren

1. wat is een Hertzsprung-Russel diagram? Schets de hoofdreeks in zulk diagram. Schets de positie van Rode Reuzen en Witte Dweren
2. Wat produceert de energie in de zon? Welke waarnemingen tonen dat aan? Wat bepaalt welke fractie van de zon deelneemt aan dit proces?
3. Veronderstel dat 10% van de zon deelneemt aan nucleaire fusie. Schat de hoofdreeks levensduur van de zon. Verondersteldat dezelfde 10 % deelneemt aan de reactie  $3\text{He} \rightarrow \text{C}$  nadat de zon een rode reus geworden is. Als dit de enige energiebron is, wat is dan de verhouding tussen de levensduur van de hoofdreeks en het rode reus stadium? (hint: gebruik de massa's van H, He en C gegeven in de tabel en veronderstel dat de lichtkracht de hele tijd dezelfde blijft.)
4. Om de structuur van een ster te vinden gebruikten we onder andere de vergelijking voor hydrostatisch evenwicht,

$$\frac{dP}{dr} = -\frac{Gm}{r^2} \rho$$

Wat drukt die vergelijking uit? Waarom is dit niet voldoende om de structuur te vinden? Welke andere vergelijking moesten we eerst nog afleiden? (hint: beschrijf de andere vergelijking, je hoeft haar niet af te leiden)

5. Wat is een gedegenereerd gas? Welk fysisch proces bepaalt de Chandrasekhar massa; MCMC?

## Langere vragen

### Observationele technieken

Veronderstel gain van de CCD  $g = 1$

1. De variantie van een Piosson proces met gemiddelde  $N$  is  $\sigma^2 = N$ . Fotonen gedetecteerd op een CCD volgen de Poisson statistiek. Toon aan dat de signaal/ruis verhouding voor een waarneming met  $N = 100$  fotonen gegeven is door  $S/N = 10$ . (2ptn)

2. Wat is read-out noise? Een CCD heeft een read-out noise  $\sigma_R = 3$ . Bereken hoe dit de vorige signaal-ruis verhouding beïnvloedt. (2ptn)
3. Gedurende een waarneming valt er ook licht op de pixels afkomstig van de achtergrond. Veronderstel dat dit overeenkomt met  $N_B = 20$ . Bereken opnieuw de signaal/ruis verhouding. (2ptn)
4. Toon aan dat, wanneer de achtergrond de ruis domineert in waarnemingen van een ster, de signaal/ruis verhouding gegeven is door  $N \gamma (N_B)^{-1/2} t^{-1/2}$ . De foton flux van een ster is  $N \gamma$ , die van de achtergrond is  $N_B$  en  $t$  is de integratietijd. (2ptn)
5. De *Vert Large Telescope* neemt een zwakke ster waar. Al het licht van de ster valt op 1 enkele pixel. De foton flux van de ster op de detector is  $N \gamma = 5 \times 10^{-2}/s$  en die van de achtergrond is  $N_B = 10^{-1}/s$  *per pixel*. De read-out noise per pixel is  $\sigma_R = 3$ . Hoelang moet je minstens integreren om een signaal/ruis verhouding van  $S/N = 3$  te krijgen? (4ptn)
6. De volgende nacht is de seeing sterk toegenomen en daardoor is het licht van de ster verdeeld over  $n = 9$  pixels. Gebruik opnieuw  $\sigma_R = 3$  en bereken hoe dit de integratietijd voor  $S/N = 3$  heeft veranderd. (hint: breng in rekening dat de achtergrond flux *per pixel* is) (4ptn)



7. De figuur toont hoeveel licht, EBEB, we van de nachthemel detecteren, in energie per tijd, per oppervlakte, per angstrom per boogseconde. Veronderstel dat de filter waar doorheen we waarnemen een breedte van  $W=1000\text{Å}$ , en dat een pixel overeenkomt met een schijfje met straal  $0.1\text{ Bgseconde}$ . Schat hoeveel fotonen er per seconde per pixel gedetecteerd worden door de VLT. Veronderstel dat elk foton een golflengte heeft van  $\lambda=5000\text{Å}$ . (4ptn hint

$$1\text{erg}=10^{-7}\text{J}$$

$$1\text{erg}=10^{-7}\text{J}$$

, de diameter van de VLT spiegel is 8m)

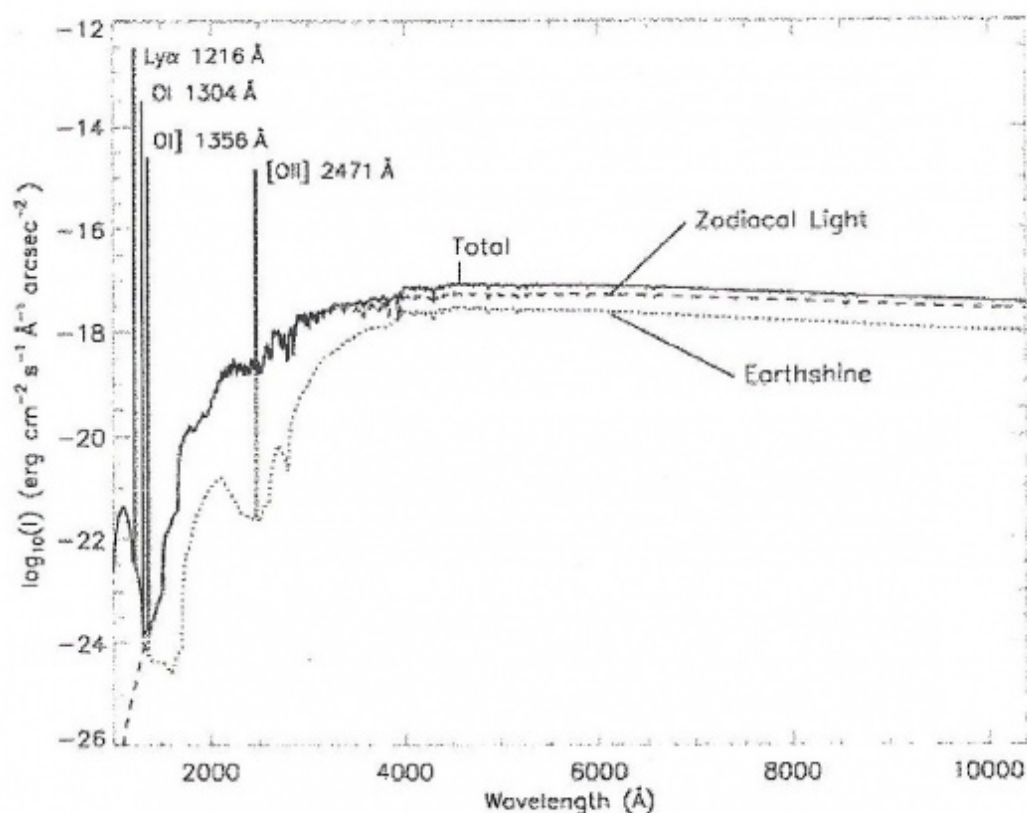


Figure 1: Helderheid van de nachthemel als functie van golflengte.

Structuur en evolutie van een isotherme ster

Eens ster heeft straal  $R_0$ , dichtheidsprofiel

$$\rho(R)=\rho_0(R_0/R)^2 \text{ voor } R \leq R_0$$

$$\rho(R)=\rho_0(R_0/R)^2 \text{ voor } R \leq R_0$$

$$\rho(R)=0 \text{ voor } R > R_0$$

en een constante temperatuur  $T(R)=T_0$  doorheen de ster. Veronderstel dat het gas de ideale gaswet volgt

$$p = k_B \mu n h p T$$

$$p = k_B \mu n h p T$$

met  $\mu$  het gemiddelde molculaire gewicht. Veronderstel verder dat de ster uit volledig geïoniseerd waterstof bestaat

1. Deze ster heeft massa  $M = M_{\text{zon}}$  en straal  $R = R_{\text{zon}}$ . Bereken  $\rho_0$  (2 ptn) (hint: voor een sferische distributie is de massa  $M(<R)$  in een bol met straal  $R$ ,  $M(<R) = \int_0^R \rho(r) 4\pi r^2 dr$ )
2. Toon aan dat deze ster aan de vergelijking voor hydrostatisch evenwicht voldoet (vgl zie korte vragen) voor een goede keuze van  $T_0$  en bereken die waarde van  $T_0$ . Gebruik de waarde  $\mu = 1/2$  voor volledig geïoniseerd waterstof.
3. De oppervlakte temperatuur van deze ster is  $T_0$  met  $f = 10^{-3}$ . Bebruik de stralingswetten voor een zwarte straler en berekend de verhouding  $L/L_{\text{zon}}$ , van de lichtkracht  $L$  van de ster over die van de zon. (hint de geëmitteerde intensiteit voor een zwarte straler met temperatuur  $T$  is  $I = \sigma T^4$ ) (4 ptn)
4. Door fusie wordt al het waterstof omgezet in Helium en verandert de waarde van  $T_0$ , maar niet die van  $R_0$ ,  $M$  noch  $f$ . Als het helium volledig geïoniseerd is, bereken de nieuwe waarde van  $\mu$  en  $L/L_{\text{zon}}$ . (5ptn)
5. Veronderstel dat alle sterren dezelfde *gemiddelde dichtheid* en waarde van  $f$  hebben. Bereken en schets de hoofdreeks in een Hertzsprung-Russel diagram en berken en schet waar de sterren liggen die Helium verbranden (5 ptn, hint: Duid goed aan wat er op de assen staat, en welke curve de H en He-sterren precies volgen.)

De groei van zwarte gaten en de Eddington lichtkracht

De groei van een zwart gat is beperkt doordat de straling kan verhinderen dat nog meer materie in het gat valt. We berekenen hoe groot de stralingsdruk is als de fotonen interageren met stof in de omgeving van het zwarte gat. Botsingen tussen stof en gas zorgen ervoor dat de fotonendruk ook op het gas werkt. Veronderstel dat de (sferische) stofdeeltjes massa  $m$  en straal  $r$  hebben. Veronderstel ook nog dat het gas dichtheid  $\rho$  heeft en dat de verhouding tussen de dichtheid van stof over gas gelijk is aan  $\eta = \rho_d / \rho_g = \rho_d / \rho_g$ . Het zwarte gat heeft massa  $M$ .

1. Als de lichtkracht  $L$  is, toon aan dat de stralingskracht op een stofdeeltje op afstand  $r$  gegeven is door:

$$F_d = \frac{L}{4\pi r^2} \frac{\pi r^2}{c} = \frac{L \pi r^2}{4c}$$

(2 ptn, hint: gebruik dat het momentum van een foton met energie  $E$  gegeven is door  $E/c$ )

2. Bekijk een sferische schil met volume  $V$  op afstand  $r$  van de lichtbron. Toon aan dat de totale stralingskracht,  $F_r$ , op de schil, gegeven is door:

$$F_d = \eta \rho g V m d L^4 \pi r^2 \pi r^2 d c \quad F_d = \eta \rho g V m d L^4 \pi r^2 \pi r d^2 c$$

(4ptn)

3. Bereken de gravitatiekracht,  $F_g$ , op die schil uitgeoefend door het zwarte gat. Wat is de Eddington lichtkracht? Toon aan dat

$$L_{\text{Edd}} = 4\pi G M c^1 + \eta \eta m d \pi r^2 d \quad L_{\text{Edd}} = 4\pi G M c^1 + \eta \eta m d \pi r d^2$$

(4ptn)

4. De massa van het zwarte gat neemt toe door accretie van gas en stof. Veronderstel dat een fractie  $\epsilon$  van de rustmassa van materie dat in het zwarte gat valt, omgezet wordt in straling, toon dan aan dat de lichtkracht gegeven wordt door:

$$L = \epsilon \dot{M} c^2 \quad L = \epsilon \dot{M} c^2$$

(2ptn)

5. Veronderstel dat de lichtkracht  $L = L_{\text{Edd}}$ . Toon aan dat de massa van het zwarte gat groeit als

$$M(t) = M_0 e^{t/t_{\text{Edd}}} \quad M(t) = M_0 e^{t/t_{\text{Edd}}}$$

Bereken  $t_{\text{Edd}}$  in het geval dat  $\epsilon = 0.10$ ,  $\eta = 0.010$ ,  $r_d = 1.0 \times 10^{-4} \text{ cm}$ ,  $m_d = 1.0 \times 10^{-8} \text{ g}$  (8ptn)