

## De evolutie van sterren !!!

Henny J.G.L.M. Lamers  
Sterrenkundig Instituut, Univ van Amsterdam  
[h.j.g.l.m.lamers@uu.nl](mailto:h.j.g.l.m.lamers@uu.nl)  
[www.hennylamers.nl](http://www.hennylamers.nl)



Rob Walrecht cursus, "Evolutie"  
13 maart 2024

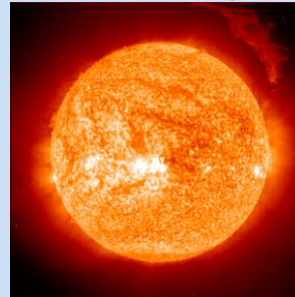
1

## De Aarde: onze planeet



2

## De Zon: onze ster een gloeiende gasbol



Afstand :

150 miljoen km =  
8 lichtminuten

Diameter :

1.4 miljoen km

Inhoud :

1 miljoen x aarde

Massa:

330 000 x aarde

Temperatuur :

6000 graden

Helderheid 400 000 000 000 000 000 000 000 Watt

3

6

## Sterren beeld Orion



Afstand  
1400 lj

7

## Een klein stukje sterrenhemel



8

### Een sterrenbeeld is niet fysisch

de sterren horen niet bij elkaar



Sterrenbeeld Grote Beer

Sterren op verschillende afstanden van 75 tot 140 lj

9

### De Pleiaden sterrenhoop

honderden sterren



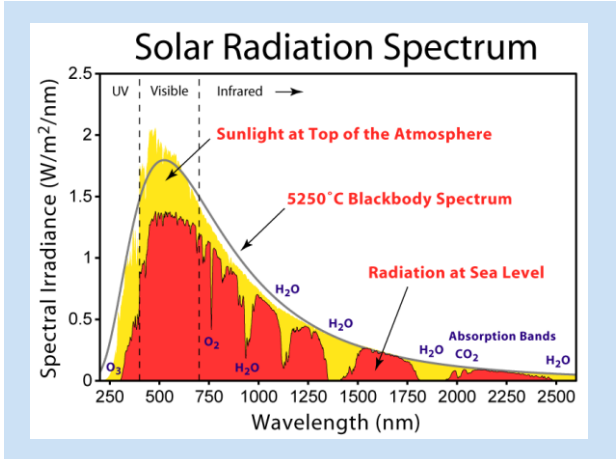
10

### Sterrenhoop

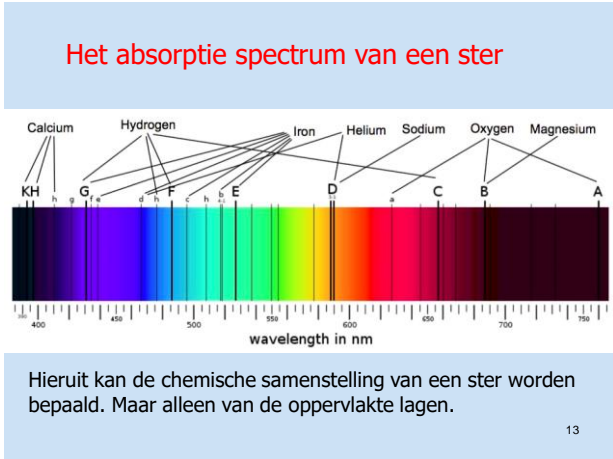
honderdduizenden sterren op een kluit



11

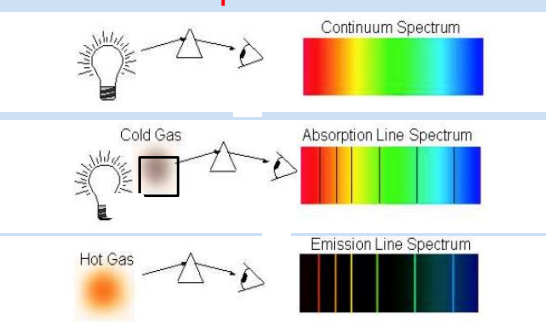


12



13

### spectra



Sterren: spectrum met absorptielijnen  
 Nevels: spectrum met emissielijnen (geen achtergrond)

math-science-resources.com

14

## De geboorte van sterren

15

15



16

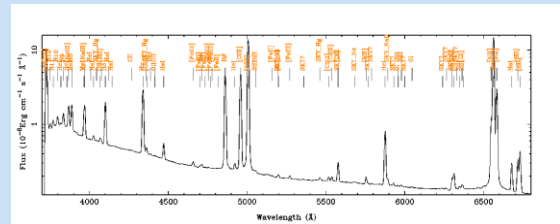
## Orion nevel : kraamkamer van sterren



Afstand 1300 lichtjaar

17

## Emissielijn spectrum van Orion nevel



Emissielijnen van ionen: o.a.  $H^+$ ,  $He^+$ ,  $He^{++}$ ,  $O^{++}$

De spectra daarvan zijn HII, HeII, HeIII, OIII enz.

18

## Een hete gas wolk : 10000 C



waterstof gas  
70%

helium gas  
28%

rest 2%  
vooral  
koolstof,  
stikstof  
zuurstof

19

19

## deTrifid nevel in zichtbaar licht en infrarood



afstand: 7600 lj

diameter 30 lj

21



22

**Een koude gas en stof wolk : ~-250 C**

uiterst kleine roet, ijs en zand korreltjes



**Dezelfde chemische samenstelling als hete stralende gaswolven !**

Door lage T zijn atomen tot moleculen gaan klitten en moleculen tot stof-korreltjes, voornamelijk zand-, roet- en ijs-korrels. Die maken de wolk ondoorzichtig.

23

23



"Paardenkop nevel" afstand 1500 lichtjaar

26



"Paardenkop nevel":  
koude donkere wolk voor een hete gaswolk

27



Top van Paardenkop nevel: nabije infrarood licht

<http://hubblesite.org/gallery/album>

28

**Interstellair gas wolven**

Hete gaswolk, 10 000 C  
= stralend gas

Verhit door hete jonge sterren

Koude gaswolk, -250C  
= donkere stofkorrels

Stof absorbeert het licht



**Deze wolven hebben dezelfde chemische samenstelling !**

70% H, 28% He, < 2% rest (voornamelijk C, N, O, Si)

In hete wolven: stralende atomen

In koude wolven: moleculen en kleine stofkorrels:  
ijs + roet + zand

Page 29

29

### Ontstaan van sterren uit gaswolken

**Gasdruk**  
Hoe heter des te groter de gasdruk

**Zwaartekracht**  
Hoe zwaarder des te groter de zwaartekracht

Sterren ontstaan uit gaswolken als de zwaartekracht het wint van de gasdruk.

32

**Gasdruk:**  
doet wolk uitzetten  
 $P_{\text{gas}} \sim \rho T$

**Zwaartekracht**  
doet wolk krimpen  
 $g \sim M / R^2$

Sir James Jeans  
1877-1946

Wolk trekt samen als zwaartekracht wint van gasdruk  
Dat is als de massa > Jeans massa ( $M_J$ )

Bij  $T = 30 \text{ K}$  en dichtheid =  $10 \text{ atomen/cm}^3 \rightarrow M_J = 10^4 M_{\text{zon}}$

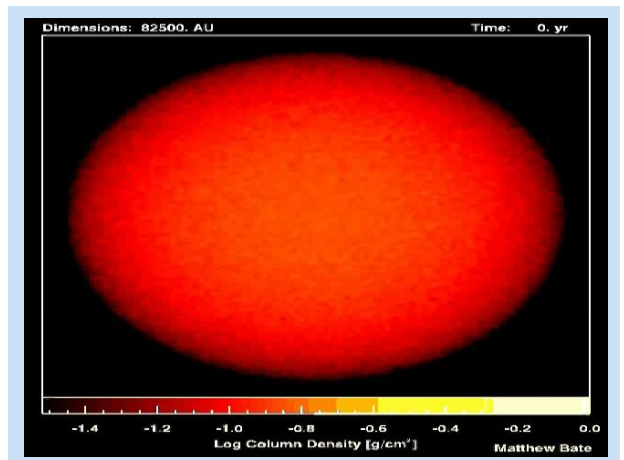
33

### Het ontstaan van een sterrenhoop uit een grote gasnevel

1. kontraktie van een gaswolk door zwaartekracht
2. kontraherende gaswolk gaat klonteren
3. klonsters trekken samen tot sterren
4. sterrenhoop!

Page 34

34



### Sterren van verschillende massa

Sterren worden geboren in sterhopen uit grote gaswolken zwaarder dan ca 10000 x zon

Daarbij ontstaan sterren van allerlei massa's (toevallig), tussen 0,01 x zon en 100 x zon

Er worden veel meer lichtere sterren geboren dan zwaardere: slechts 1% van de sterren is zwaarder dan de 10x zon

Zware sterren ontstaan sneller dan lichte sterren

37

**Bellen blazen  
in een wolk**




De eerste sterren ontstaan in het centrum van de wolk. Die eerste sterren gaan gas in hun directe omgeving verhitten en ioniseren →  
expanderende hete gasbel

39



40



Carina nevel  
Kraamkamer van sterren

afstand 7500 lj

41

41

**Carina-klif:**  
Sterrvorming uit gas en stof wolken in de Carina-nevel  
afstand ca 8500 lj



Bruin = stof wolken **JWST**

42

**De Adelaar nevel : stervormings nevel**



Afstand: 7000 lj

Diameter:  
totaal : 50 lj  
binnendeel: 15 lj

Totale massa:  
>12000 Mzon

Page 44

44

Gas en stof kolommen  
in de Adelaar Nevel

"Pillars of creation"



45

45



47



50

Gedurende bijna hun hele leven zijn sterren in evenwicht  
Een ster in evenwicht zet niet uit en krimpt niet in

### Druk evenwicht

Afb: astronomy.ohio-state

Zolang er evenwicht is, is er in elke laag een gelijk opgaande strijd tussen de zwaartekracht en de gasdruk

51

Nog een evenwicht in de ster:  
**Energie evenwicht**

De energie die binnenin wordt opgewekt, moet doorgegeven worden naar buiten, zodat hij uitgestraald kan worden.  
Dat kan door **straling** of door **konvektie**

Page 52

52

### De zon als voorbeeld van een "lichte" ster

**Afstand:**  
150 000 000 km  
= 8 lichtminuten

**Diameter:**  
1 400 000 km

**Oppervlakte:**  
5700 graden

**Leeftijd:**  
4,6 miljard jaar!

De energie die in het centrum wordt opgewekt moet naar buiten in de vorm van straling en warmte.  
Maar: net onder het oppervlak "borrelt" de zon: **konvektie**  
die laag is 200 000 km dik  
De straal van de zon is 700 000 km.

Page 53

53

### Konvektie

Bij klein temperatuur verschil gaat de verwarming door **geleiding**  
Bij groot T-verskil gaat de verwarming door **konvektie** = hete bellen stijgen op en koude bellen dalen

Voorbeeld: op warme zomerdagen krijg je thermiek en hoge stapelwolken

Afb: Encyclopedia Britannica

54





Er zijn meer fusie reacties mogelijk in sterren

## De belangrijkste fusiereacties in sterren. achtereenvolgens

grondstof	produkt	Temperatuur(C)
Waterstof	→ Helium	10 miljoen
Helium	→ Koolstof	100 miljoen
Koolstof +He	→ Zuurstof	600 miljoen
Zuurstof	→ Silicium	1 miljard
Silicium	→ IJzer	3 miljard

Elke volgende fusiefase vereist een hogere temperatuur !

63

## Belangrijkste fusie reacties in sterren

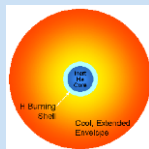
grondstof	produkt	T	reactie
Waterstof	→ Helium	$10^7$	$4 \text{ H} \rightarrow \text{He}^4$
Helium	→ Koolstof	$10^8$	$3 \text{ He}^4 \rightarrow \text{C}^{12}$
Koolstof +He	→ Zuurstof	$6 \cdot 10^8$	$\text{C}^{12} + \text{He}^4 \rightarrow \text{O}^{16}$
Zuurstof	→ Silicium	$10^9$	$2 \text{ O}^{16} \rightarrow \text{Si}^{28} + \text{He}^4$
Silicium	→ IJzer	$3 \cdot 10^9$	$2 \text{ Si}^{28} \rightarrow \text{Fe}^{56}$

**Na eind van elke fusie fase wint zwaartekracht :**  
 → ster wordt ineengedrukt  
 → temperatuur en druk in centrum stijgen  
 → totdat de volgende fusie fase start.

Page 61

64

De zon over 3.5 miljard jaar :  
einde H-fusie in centrum  
een rode reus: 200  $R_{\text{zon}}$  en 1000  $\times L_{\text{zon}}$



De zon heeft dan een kern van Helium.  
In een schil daaromheen: nog fusie van waterstof

Aarde verschroeit : einde van leven op aarde

Page 65

65

De zon over 3.5 miljard jaar :  
een rode reus dus veel groter dan nu.



Afb: James Kaler : Sterren

Waarom is de zon zo groot geworden?

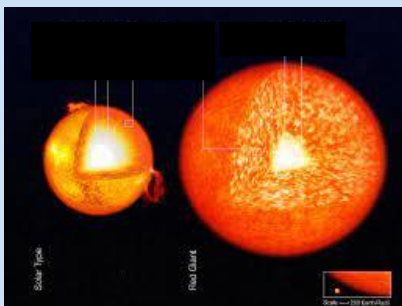
1. Het centrum is samengedrukt en heel heet geworden, daardoor is er een groot temperatuur verschil → konvektie
2. Daarom wordt bijna de hele ster konvektief
3. Door de konvektie wordt de ster a.h.w. "opgeklapt" en zetten de buitenlagen uit: ster wordt groter!

66

66

Zon

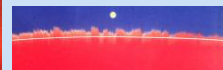
Rode reus

alleen buitenlaag  
konvektiefbijna hele ster  
konvektief

Afb: wikimedia

67

Daarna: paar honderd duizend jaar later:  
kern nog heter en rest nog verder opgezwollen  
**Rode superreus: 1000  $R_{\text{zon}}$  en 10 000  $L_{\text{zon}}$**   
helium → koolstof fusie in de kern



Vergelijking zon nu en  
als rode superreus

Afb: James Kaler "Sterren"

Oppervlakte van Mars gaat smelten door grote helderheid

68

## Hoe oud kunnen sterren worden?

Dat hangt af van

- (1) hun energie-voorraad = massa en
- (2) energie verbruik = helderheid

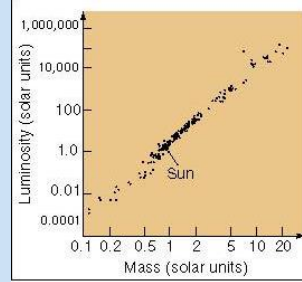
Hoe meer massa: des te langer de levensduur  
 Hoe helderder (meer straling): des te korter

**Levensduur = 9 miljard jaar x Massa / Helderheid**  
 als je Massa uitdrukt in zonsmassa en Helderheid in zonshelderheid

69

69

## Massa – Helderheids relatie van HR sterren



Strakke relatie tussen Massa en Helderheid !!

$$L \sim M^{3.5}$$

Hoe helderder de HR star des te zwaarder.

Geldt niet voor rode reuzen en witte dwergen !

Grotere massa -> meer druk in centrum -> meer tegendruk nodig  
 -> Grotere gasdruk in centrum -> hoger temperatuur en hogere dichtheid  
 -> Efficiënter fusie -> grotere helderheid

Afb: Chaisson & McMillan

70

## De levensduur van sterren

Maximale levensduur = energie voorraad/verbruik

Massa (in Mzon)	Helderheid (in Lzon)	Levensduur (jr) geschat	Levensduur (jr) berekend
1	1	9 miljard	9
3	70	380 miljoen	380
5	450	100 miljoen	80
20	40 000	4.5 miljoen	9.0
60	500 000	1.1 miljoen	4.0
0.8	0.5	18 miljard	

Hoe zwaarder een ster, des te korter zij leeft !! (grote helderheid)

De zware sterren die we zien zijn "pas" gevormd !!

Heelal = 13,78 miljard jaar.

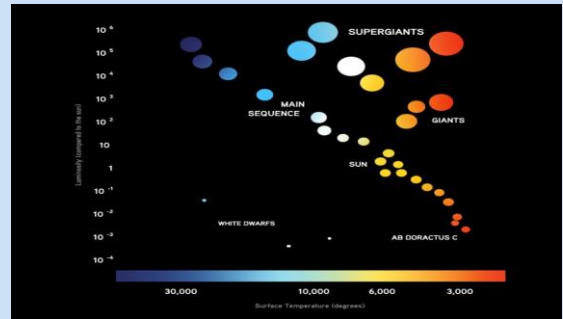
Dus alle ooit gevormde sterren lichter dan 0.8x Zon leven nog !!

71

71

## Kleur-helderheids diagram

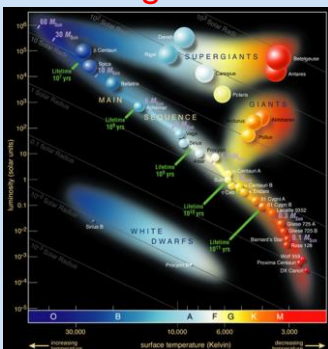
### De afmetingen van sterren (schematisch)



Rechtsboven = heel groot  
 Linksonder = heel klein

74

## Langs de hoofd-reeks



Linksboven (O-sterren)

Helder : 100000 x zon

Heet : 40 000 K

Zwaar: 100 x zon

Rechtsonder (M-sterren)

Zwak: 0.01 x zon

Koud: 3000 K

Licht: 0.1 x zon

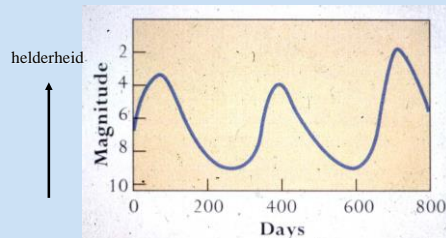
Witte dwergen: heet en klein (als aarde)

Rode superreuzen: koud en groot (tot 1000 x zon)

Let op de massa-lichtkracht relatie !!  
 Let op de levensduur van de HR fase!

75

## Grote rode reuzen "pulseren"



Uitzetten en inkrimpen op tijdschaal van maanden tot jaren

Hierbij worden steeds buitenlagen afgestoten (v ~ 20 km/s)

Totdat, na ca 100 000 jaar alleen de "pit" van de ster overblijft !

Page 81

81

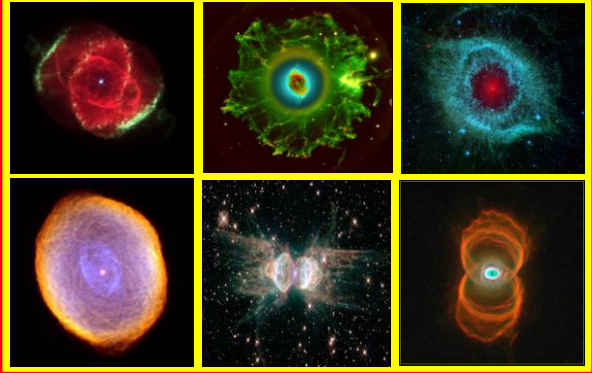
Buitenlagen zijn uitgestoten:  
"ring nevel"



82

82

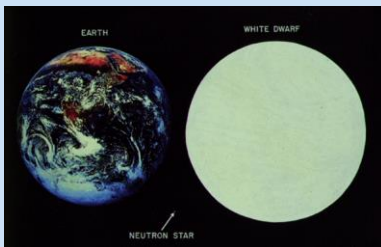
nebulae from ejected outerlayers of stars



86

## Witte dwergen

Overgebleven pitten van lichte sterren (< 8 M<sub>zon</sub>)



Gemiddelde  
witte dwerg

1000 x zwakker  
dan de zon

Zo groot als de  
aarde

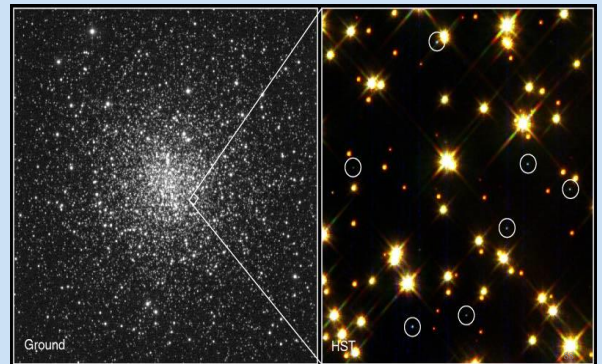
Zo zwaar als  
500 000 aardes

Dwz: een witte dwerg weegt 1000 kg/cm<sup>3</sup> !!

87

87

Witte dwergen in een sterhoop



88

## Witte dwergen bestaan uit "ontaarde materie"

De atomen zitten heel dicht op elkaar geperst



Subramanyan  
Chandrasekhar  
(Chandra)  
1910 - 1995

1932 Chandrasekhar liet zien dat je atomen veel dicht op elkaar kunt persen dan voorheen gedacht.

Hij noemde dat "ontaarde materie"

Voor deze ontdekking van een nieuwe vorm van materie kreeg hij de Nobelprijs voor Natuurkunde in 1983

89

89

## Chandrasekhar Massa

0.6 M<sub>zon</sub>1.2 M<sub>zon</sub>~~1.5 M<sub>zon</sub>~~

Chandrasekhar liet ook zien dat:

1. Witte dwergen hebben geen energiebron meer: ze stralen omdat ze nog heet zijn, maar koelen af. (maar ze stralen zo zwak dat het afkoelen miljarden jaren duurt.)
2. Hoe zwaarder een witte dwerg, hoe kleiner de ster is !!!
3. Een witte dwerg kan niet zwaarder zijn dan 1,4 M<sub>zon</sub> = Chandrasekhar massa
4. Als de witte dwerg zwaarder is dan 1.4 M<sub>zon</sub> dan kan zijn eigen gewicht niet meer dragen en stort hij in (tot een neutronenster).

90

90

## De evolutie van lichte sterren (lichter dan 8 x zon)

1. Eerst fusie van waterstof tot helium
2. Dan fusie van helium to koolstof
3. Daarna begint de ster te pulseren en stoot zijn buitenlagen uit (ringnevel)
4. Een witte dwerg blijft over.

91

91

## De evolutie van "zware" sterren = sterren van 8 – 150 x zon

1. Ongeveer net zoals van lichte sterren zoals de zon.
2. Maar ze gaan door alle fusieprocessen

92

92

## Zware sterren ( $M > 10 M_{\text{zon}}$ ) gaan door al deze fusie fasen

grondstof	produkt	Temperatuur(C)
Waterstof	→ Helium	10 miljoen
Helium	→ Koolstof	100 miljoen
Koolstof +He	→ Zuurstof	600 miljoen
Zuurstof	→ Silicium	1 miljard
Silicium	→ IJzer	3 miljard

Want ze zijn zwaar genoeg om hun kern zover in te drukken dat ze deze hoge temperatuur bereiken!

93

93

## De evolutie van "zware" sterren = sterren van 8 – 150 x zon

1. Ongeveer net zoals van lichte sterren zoals de zon.
2. Maar ze gaan door alle fusieprocessen
3. Aan het eind is er geen fusieproces dat nog energie kan leveren.
4. Dan wint de zwaartekracht en stort de ster in.
5. Dat gaat zo hard dat door de schok de buitenkant van de ster weggeknald wordt.

**SUPERNOVA !!**

94

94

## De structuur van een ster van 25 $M_{\text{zon}}$ aan het eind van zijn leven



Schilstructuur van een zware ster aan het eind van zijn leven. Fusie-lagen van verschillende samenstelling!

95

## Supernova explosie van een zware ster

De kern van de ster bestaat uit ijzer.  
De fusie van ijzer levert geen energie (maar kost energie)

Dus stort de kern van de ster in onder het gewicht van zijn eigen zwaartekracht (binnen 1 seconde)

De fuserende lagen om de ijzer-kern heen storten ook in. Daardoor neemt hun dichtheid en temperatuur zeer sterk toe, waardoor de fusie plotseling zeer heftig wordt.

Daarbij wordt zoveel energie geproduceerd (als in een kernbom) dat de lagen daarboven met grote snelheid (tot 10 000 km/s) worden uitgestoten: **Supernova explosie**

96

96

**Zware sterren (>10 x zon) ontploffen aan eind van hun leven**  
**Supernova 1987A : 23 febr 1987, afstand 150 000 lj**

200 miljoen maal zo helder als de zon  
 Na paar maanden steeds zwakker

Anglo-Australian Observatory opname 1976  
 25 febr 1987 97

97

**“Krab-nevel”**  
**restant van ster die in 1054 ontplofte**

Het radio signaal van de Krab-pulsar: een piepje elke 0.0336702 seconde  
 Hoe kan een ster 30 x per seconde aan en uit knipperen?????

98

**Neutronen sterren en PULSARS !!**

99

**Radio pulsars : ontdekt in 1967 bij toeval!!**

Jocelyn Bell Anthony Hewish Nobelprijs !

Bell en Hewish wilden met deze radiotelescoop van Cambridge (UK) onderzoeken of de radiostraling van een verre radiobron (vlak naast de zon) gestoord wordt door de zonnwind.

Regelmatige piepjes om de seconde !! wezens ?

100

**Radiosignaal uit de Krabnevel : uiterst regelmatige snelle pulsen om de 0.0335028583 sec !!**

**PULSAR = Pulsating Radio Source**

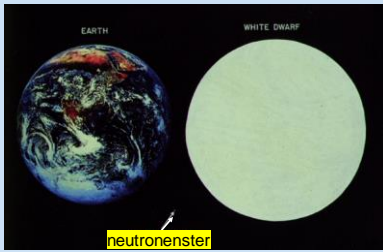
101

**Pulsar model = vuurtoren model**

1. Snel roterende heel kleine ster (~20 km !)
2. Met heel sterk magneteveld ( $10^{14}$  x aards !)
3. Dat niet samenvalt met rotatie as (scheef)
4. In dat sterke magneteveld worden twee bundels radio-straling opgewekt aan de magnetische noord en zuidpool.
5. Doordat de ster rond tolt, zwiepen de bundels straling ook rond.
6. Als een bundel langs aarde zwiept, dan zien we een radiopuls (net als het licht van een vuurtoren)

103

## Neutronen ster



Gemiddelde  
neutronen ster

$R_{NS} \sim 20 \text{ km}$

$M_{NS} \sim 2 \times M_{z\text{on}}$

Dwz:  $\rho_{NS} \approx 10^{11} = 100 \text{ miljard kg/cm}^3 !!$   
( $\rho = \text{dichtheid} = \text{massa per cm}^3$ )

Hoe kan materie zo dicht samengeperst zijn?<sup>4</sup>

104

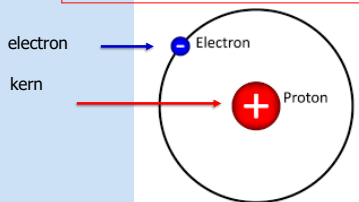
## Elementaire deeltjes

	Naam	Massa	Lading
	Proton	1.0000	+1
	Neutron	1.0014	0
	Electron	0.00055	-1
	Positron	0.00055	+1 (zeldzaam)

105

## Wat is materie eigenlijk ?

Waterstof atoom ( H= Hydrogen)



Massa van proton: 0,000 000 000 000 000 000 000 0017 gram  
Massa van electron: 0,00055 x massa van proton  
dus bijna alle massa zit in de kern

Afmeting van een proton : ca 0,000 000 000 000 001 cm  
Afstand proton – electron : ca 0,000 000 0055 cm

106

106

## H atoom op schaal



Camp Nou stadion in Barcelona : grootste in Europa:  
99000 zitplaatsen; afmeting: 220 x 250 meter

Als proton een knikker is op middenstip, dan is het electron een minuscuul deeltje dat op de bovenste tribune-ring rond holt.

Atomen zijn voor 99,99999.....9 % leeg!  
en U dus ook !!!

107

107

## Hoe ontstaat een neutronen ster?



Onder zeer hoge druk worden electronen (negatief geladen) en protonen (positief geladen) in elkaar geperst.  
Het resultaat: neutronen = zwaar en zonder lading

Dit gebeurt bij het ineensorten van de ster kern die tot een supernova explosie leidt.

108

## Waaruit bestaat een pulsar ?

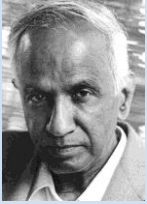
1. De pit van een zware ster die overblijft heeft een massa van ongeveer  $2 M_{z\text{on}}$  en een straal van ca 20 km.
2. De dichtheid is dus  $\sim 100$  miljard  $\text{kg/cm}^3 !!$   
(= hele mensheid samengeperst in een vingerhoed!)
3. Dat kan alleen maar als een pulsar uit samengeperste neutronen bestaat, want neutronen zijn electrisch neutraal en stoten elkaar niet af!!
4. De neutronen ontstonden omdat protonen (+ lading) en electronen (- lading) zijn samengeperst.

Dus een pulsar is een neutronenster

109

109

## Maximale massa van neutronen sterren



Chandrasekhar  
1910 - 1995

1. Witte dwergen kunnen niet zwaarder zijn dan  $1,4 M_{\text{zon}}$ . Als ze zwaarder zijn dan storten ze in tot neutronenster.
2. Neutronen sterren kunnen niet zwaarder zijn dan  $2,5 M_{\text{zon}}$ . Als ze zwaarder zijn dan storten ze in tot ???????
3. Ze zijn dan zo klein en zo zwaar dat zelfs het licht niet kan ontsnappen !!

### Zwart gat

110

110

## Maximale massa van een neutronen ster

Als een neutronen ster zwaarder is dan ongeveer  $2,4 \times$  zon dan stort hij in door zijn eigen gewicht tot ????? een zwart gat!

1. Een zwart gat is geen gat !!
2. Een zwart gat is een object dat zo zwaar en klein is (dwz zo'n grote zwaartekracht heeft) dat zelfs licht niet kan ontsnappen

111

## Een zwart gat in een dubbelster

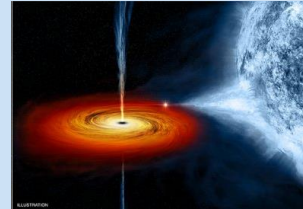


Een dubbelster waarvan een van de twee sterren een zwart gat geworden is.

Page 112

112

## Röntgen straling van een gewone ster met een zwart gat als begeleider



1. Het zwarte gat trekt materie aan van de ster
2. Dat stroomt naar het zwarte gat, gaat er omheen draaien en spiraleert naar binnen.
3. Door de wrijving wordt het zeer heet (meer dan miljoen C) en gaat daardoor X-straling uitzenden
4. Je ontdekt deze systemen met Röntgen telescopen

113

## Samenvatting van Cygnus X-1



Afstand: 7000 lj  
Omloop-tijd : 5,6 dagen  
Massa van de ster :  $15 \times$  zon  
Massa van het zwarte gat:  $9 \times$  zon

Er zijn inmiddels honderden dubbelster systemen van een gewone ster met een zwart gat ontdekt.

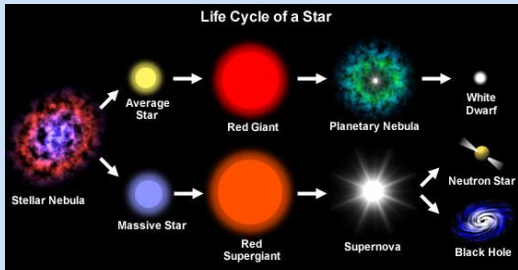
116

## Eindstadia

- Stermassa:  $1 - 8 \times$  zon  
Witte dwergen van  $0,5$  tot  $1,4 \times$  zon
- Stermassa:  $8 - 30 \times$  zon  
Neutronensterren van  $1,4$  tot  $2,4 \times$  zon
- Stermassa:  $> 30 \times$  zon  
Zwarte gaten van  $2,4$  tot  $20 \times$  zon

117

## Levens cyclus van sterren



Page 118

118

## Een hete gas wolk

bestaand uit gerecycled gas dat verrijkt is met material dat door fusie in vorige generaties sterren is gemaakt!



waterstof  
70%  
helium  
28%  
(rest)  
2%  
vooral  
koolstof,  
stikstof  
zuurstof

119

119

## Wij zijn gemaakt van sterrenstof !!



120

120

The End

121

121

**DE MENS TUSSEN DE STERREN**  
WIJ ZIJN GEMAAKT VAN STERRENSTOF

Prof. Henry J.G.L.M. Lamers  
Sterrenkundig Instituut  
Universiteit van Amsterdam  
Astroboekjes: 001.1

**HALLO IS DAAR IEMAND?**  
SPEUREN NAAR LEVEN IN HET HEELAL

Prof. Henry J.G.L.M. Lamers  
Sterrenkundig Instituut  
Universiteit van Amsterdam  
Astroboekjes: 001.2

**DE OERKNAL EN HET UITDIJEND HEELAL**  
OP TOEK NAAR DE AANSPRING

Prof. Henry J.G.L.M. Lamers  
Sterrenkundig Instituut  
Universiteit van Amsterdam  
Astroboekjes: 001.3

**HET DRAAIT ALLEMAAL OM DE ZON**  
ONTSTAAN, BOUW EN EVOLUTIE VAN ONS PLANETENSTELSEL

Prof. Henry J.G.L.M. Lamers  
Sterrenkundig Instituut  
Universiteit van Amsterdam  
Astroboekjes: 001.4

**Astroboekjes**

1. De Mens tussen de Sterren: wij zijn gemaakt van sterrenstof  
28e druk
2. Hallo is daar iemand? speuren naar leven in het heelal  
25e druk
3. De Oerknal en het uitdijende heelal : op zoek naar de oorsprong  
24e druk
4. Het draait allemaal om de Zon : ontstaan, bouw en evolutie van ons planetenstelsel  
17e druk

Euro 5,00 per stuk  
of  
Bestellen via  
[www.hennylamers.nl](http://www.hennylamers.nl)  
Euro 7,50 per stuk.

122