

Jij bent gemaakt uit sterrenstof!



Nikhef

Marc van der Sluys
Nikhef, Universiteit Utrecht,
LIGO/Virgo, Einstein Telescope
hemel.waarnemen.com



Universiteit
Utrecht

Inleiding

Mensen en het
heelal

Heelal en sterrenstelsels

Het uitdijende
heelal
Sterrenstelsels

Sterren en sterevolutie

De Zon
Sterren
Evolutie van lichte
sterren
Planetaire nevels
Evolutie van zware
sterren
Supernova's

Ontstaan van sterren en planeten

Het ontstaan van
sterren
Het ontstaan van
planeten
Exoplaneten
Ons zonnestelsel

1

Inleiding

- Mensen en het heelal

2

Heelal en sterrenstelsels

- Het uitdijende heelal
- Sterrenstelsels

3

Sterren en sterevolutie

- De Zon
- Sterren
- Evolutie van lichte sterren
- Planetaire nevels
- Evolutie van zware sterren
- Supernova's

4

Ontstaan van sterren en planeten

- Het ontstaan van sterren
- Het ontstaan van planeten
- Exoplaneten
- Ons zonnestelsel

Samenstelling van het jonge heelal en van de mens

Jij bent gemaakt
uit sterrenstof!

Inleiding

Mensen en het
heelal

Heelal en
sterrenstelsels

Het uitdijende
heelal

Sterrenstelsels

Sterren en
sterevolutie

De Zon

Sterren

Evolutie van lichte
sterren

Planetaire nevels

Evolutie van zware
sterren

Supernova's

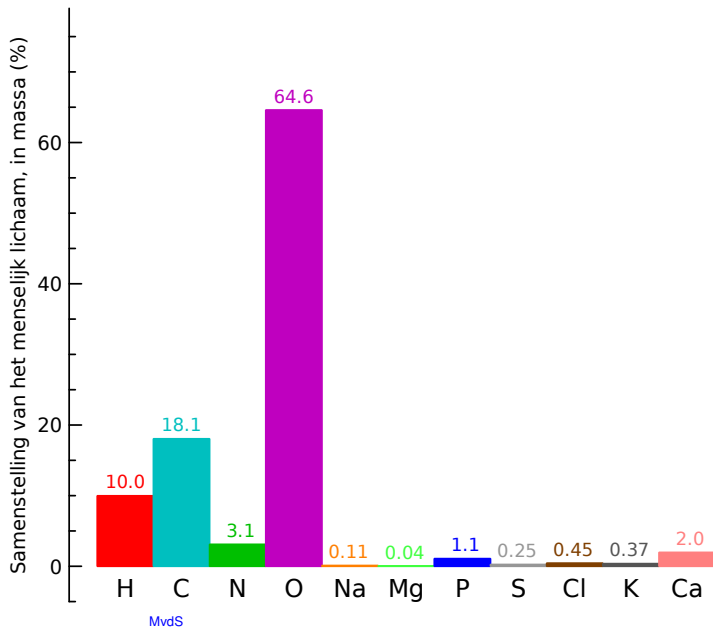
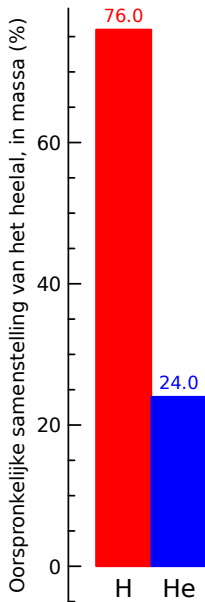
Ontstaan van
sterren en
planeten

Het ontstaan van
sterren

Het ontstaan van
planeten

Exoplaneten

Ons zonnestelsel



Het uitdijende heelal ($\sim 10\,000$ sterrenstelsels)

**Jij bent gemaakt
uit sterrenstof!**

Inleiding

Mensen en het
heelal

Heelal en sterrenstelsels

**Het uitdijende
heelal**

Sterrenstelsels

Sterren en sterevolutie

De Zon

Sterren

Evolutie van lichte
sterren

Planetaire nevels

Evolutie van zware
sterren

Supernova's

Ontstaan van sterren en planeten

Het ontstaan van
sterren

Het ontstaan van
planeten

Exoplaneten

Ons zonnestelsel



Jij bent gemaakt uit sterrenstof!

Het uitdijende heelal

Inleiding

Mensen en het
heelal

Heelal en sterrenstelsels

**Het uitdijende
heelal**

Sterrenstelsels

Sterren en sterevolutie

De Zon

Sterren

Evolutie van lichte
sterren

Planetaire nevels

Evolutie van zware
sterren

Supernova's

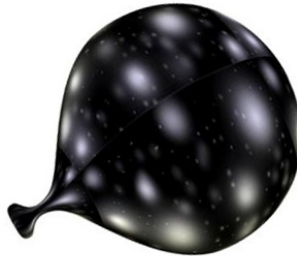
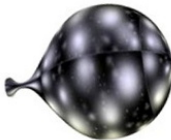
Ontstaan van sterren en planeten

Het ontstaan van
sterren

Het ontstaan van
planeten

Exoplaneten

Ons zonnestelsel



Inleiding

Mensen en het
heelal

Heelal en sterrenstelsels

Het uitdijende
heelal

Sterrenstelsels

Sterren en sterevolutie

De Zon

Sterren

Evolutie van lichte
sterren

Planetaire nevels

Evolutie van zware
sterren

Supernova's

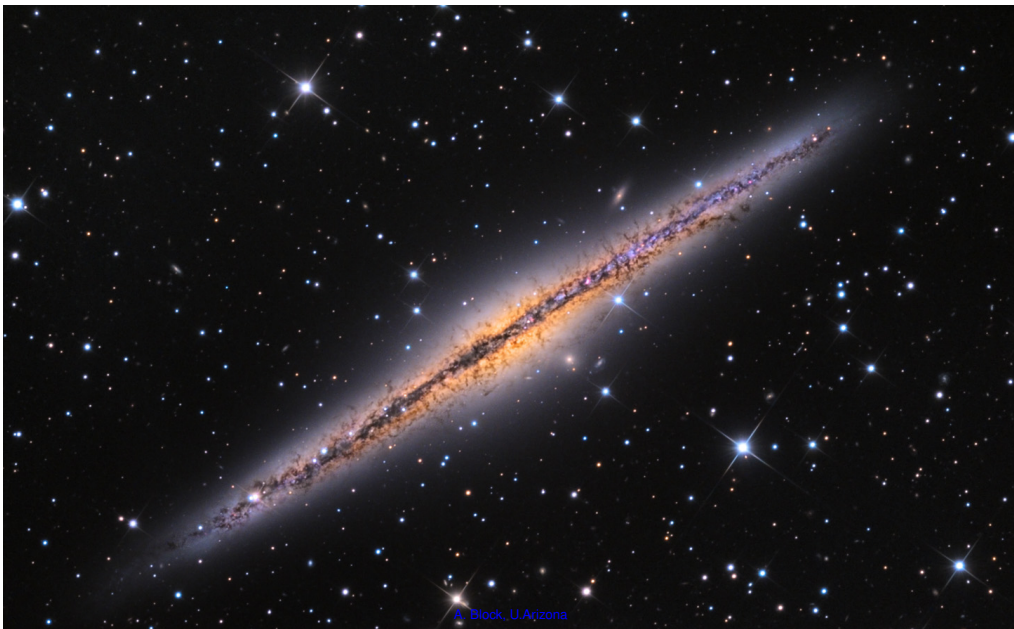
Ontstaan van sterren en planeten

Het ontstaan van
sterren

Het ontstaan van
planeten

Exoplaneten

Ons zonnestelsel



Inleiding

Mensen en het
heelal

Heelal en sterrenstelsels

Het uitdijende
heelal

Sterrenstelsels

Sterren en sterevolutie

De Zon

Sterren

Evolutie van lichte
sterren

Planetaire nevels

Evolutie van zware
sterren

Supernova's

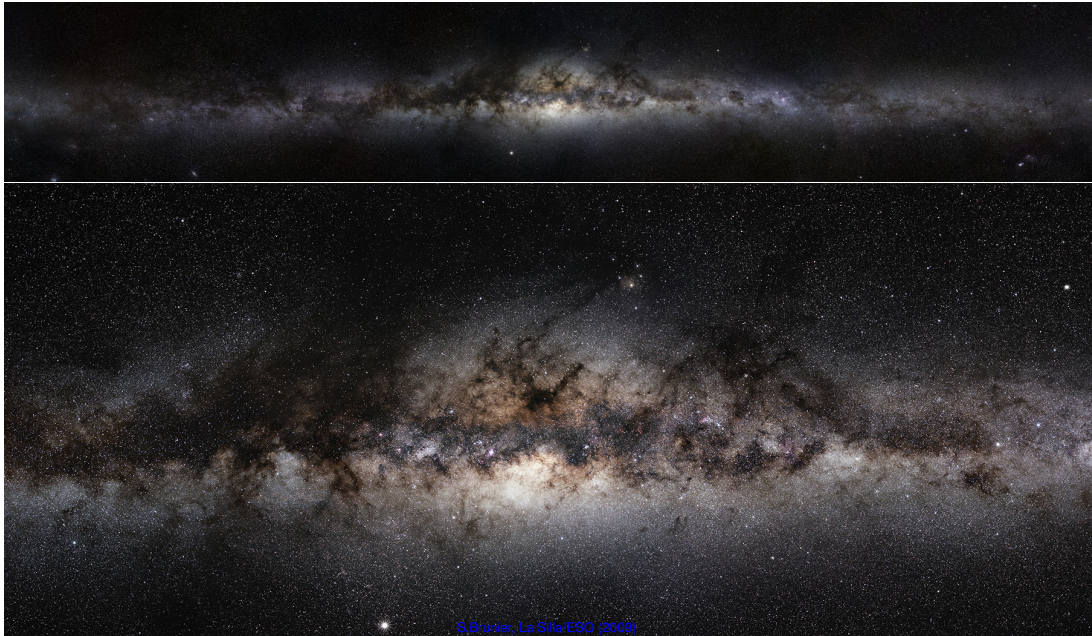
Ontstaan van sterren en planeten

Het ontstaan van
sterren

Het ontstaan van
planeten

Exoplaneten

Ons zonnestelsel



Inleiding

Mensen en het
heelal

Heelal en sterrenstelsels

Het uitdijende
heelal

Sterrenstelsels

Sterren en sterevolutie

De Zon

Sterren

Evolutie van lichte
sterren

Planetaire nevels

Evolutie van zware
sterren

Supernova's

Ontstaan van sterren en planeten

Het ontstaan van
sterren

Het ontstaan van
planeten

Exoplaneten

Ons zonnestelsel



Jij bent gemaakt uit sterrenstof!

Inleiding

Mensen en het
heelal

Heelal en sterrenstelsels

Het uitdijende
heelal

Sterrenstelsels

Sterren en sterevolutie

De Zon

Sterren

Evolutie van lichte
sterren

Planetaire nevels

Evolutie van zware
sterren

Supernova's

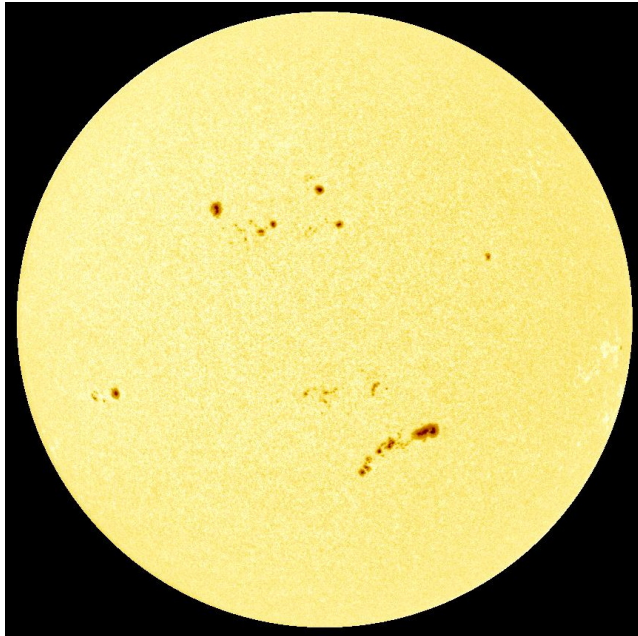
Ontstaan van sterren en planeten

Het ontstaan van
sterren

Het ontstaan van
planeten

Exoplaneten

Ons zonnestelsel



Inleiding

Mensen en het
heelal

Heelal en sterrenstelsels

Het uitdijende
heelal

Sterrenstelsels

Sterren en sterevolutie

De Zon

Sterren

Evolutie van lichte
sterren

Planetaire nevels

Evolutie van zware
sterren

Supernova's

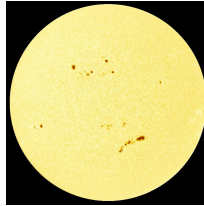
Ontstaan van sterren en planeten

Het ontstaan van
sterren

Het ontstaan van
planeten

Exoplaneten

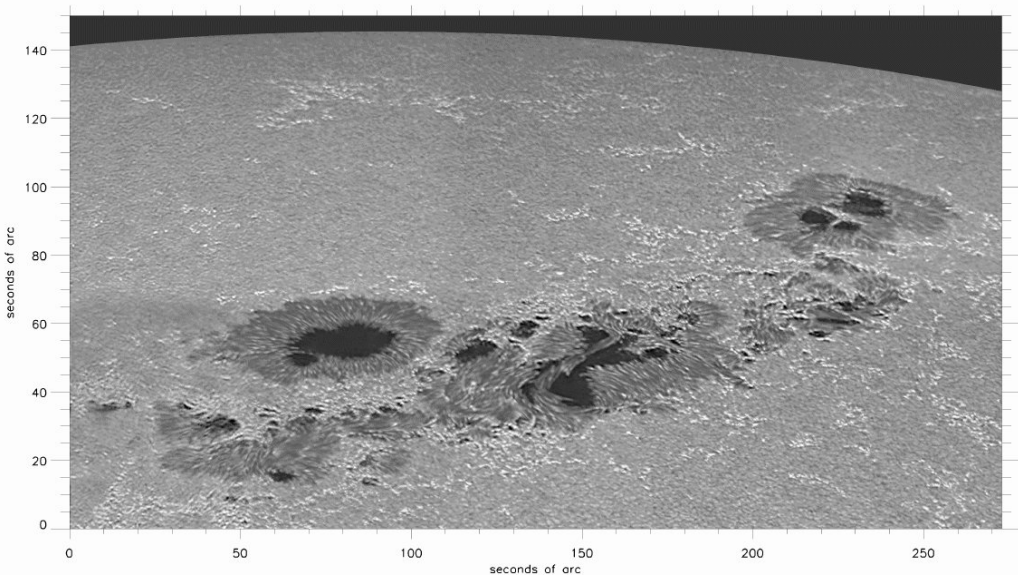
Ons zonnestelsel



Grootheid		Eenheid	Aarde
Massa	$M_{\odot}$	$1,99 \times 10^{30}$ kg	$333.000 M_{\oplus}$
Straal	$R_{\odot}$	696.000 km	$109 R_{\oplus}$
Dichtheid	$\bar{\rho}_{\odot}$	1,4 g/cm ³	$0,26 \bar{\rho}_{\oplus}$
Lichtkracht	$L_{\odot}$	$3,85 \times 10^{26}$ W	$\sim 3 \times 10^9$ “ $L_{\oplus}$ ”
Temperatuur:			
Oppervlak	$T_{\text{opp},\odot}$	5500°C	15°C
Centrum	$T_{\text{c},\odot}$	$\sim 16 \times 10^6$ °C	~ 7000 °C

Het oppervlak van de Zon

AR 9393 on April 2, 2001, 9:25 UT



**Jij bent gemaakt
uit sterrenstof!**

Inleiding

Mensen en het
heelal

Heelal en sterrenstelsels

Het uitdijende
heelal

Sterrenstelsels

Sterren en sterevolutie

De Zon

Sterren

Evolutie van lichte
sterren

Planetaire nevels

Evolutie van zware
sterren

Supernova's

Ontstaan van sterren en planeten

Het ontstaan van
sterren

Het ontstaan van
planeten

Exoplaneten

Ons zonnestelsel

Inleiding

Mensen en het
heelal

Heelal en sterrenstelsels

Het uitdijende
heelal

Sterrenstelsels

Sterren en sterevolutie

De Zon

Sterren

Evolutie van lichte
sterren

Planetaire nevels

Evolutie van zware
sterren

Supernova's

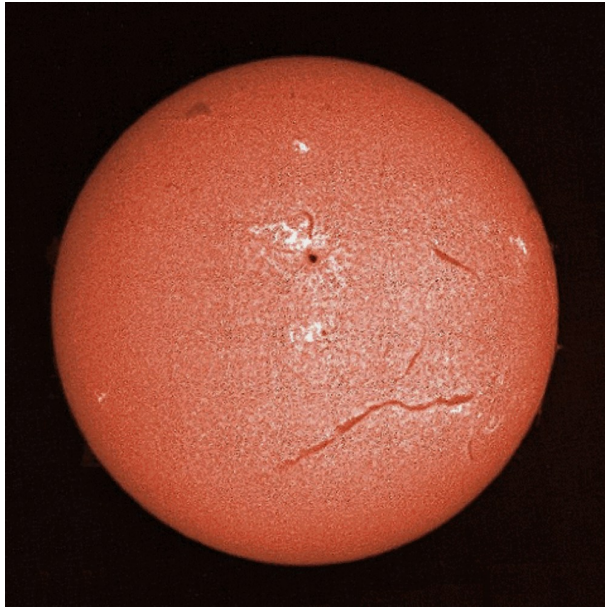
Ontstaan van sterren en planeten

Het ontstaan van
sterren

Het ontstaan van
planeten

Exoplaneten

Ons zonnestelsel



Opbouw van de Zon

Jij bent gemaakt
uit sterrenstof!

Inleiding

Mensen en het
heelal

Heelal en sterrenstelsels

Het uitdijende
heelal

Sterrenstelsels

Sterren en sterevolutie

De Zon

Sterren

Evolutie van lichte
sterren

Planetaire nevels

Evolutie van zware
sterren

Supernova's

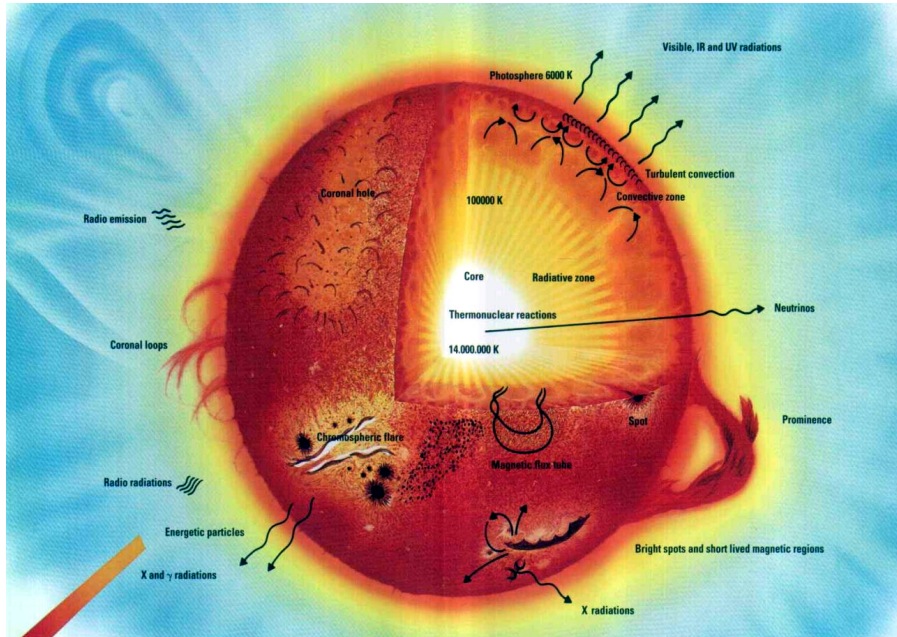
Ontstaan van sterren en planeten

Het ontstaan van
sterren

Het ontstaan van
planeten

Exoplaneten

Ons zonnestelsel



**Jij bent gemaakt
uit sterrenstof!**

Inleiding

Mensen en het
heelal

Heelal en sterrenstelsels

Het uitdijende
heelal

Sterrenstelsels

Sterren en sterevolutie

De Zon

Sterren

Evolutie van lichte
sterren

Planetaire nevels

Evolutie van zware
sterren

Supernova's

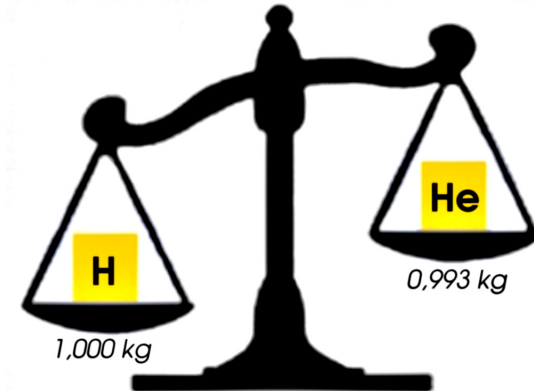
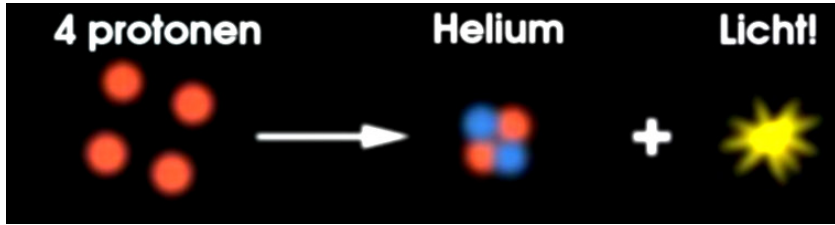
Ontstaan van sterren en planeten

Het ontstaan van
sterren

Het ontstaan van
planeten

Exoplaneten

Ons zonnestelsel



Eigenschappen van enkele sterren met zonne-metalliciteit, halverwege de hoofdreks:

	M ($M_{\odot}$)	tijd (Mjr)	R ($R_{\odot}$)	L ($L_{\odot}$)	T_s (K)	T_c (MK)	Aantal (t.o.v. 1 $M_{\odot}$)
	0.5	52 600	0.50	0.05	3860	9.8	7.07
	0.8	11 600	0.79	0.38	5100	13.4	2.34
	1.0	4900	1.01	1.05	5810	15.9	1.00
	1.5	1660	1.95	6.75	6660	20.9	0.131
	2.0	582	2.23	20.4	8230	22.5	0.0232
	2.5	405	2.80	57.8	9530	24.1	9.59×10^{-3}
	3.0	246	3.09	120	10 800	25.2	3.80×10^{-3}
	5.0	70.6	4.19	895	15 400	28.6	3.27×10^{-4}
	10.0	12.7	5.74	8590	23 100	32.8	1.16×10^{-5}
	20.0	5.18	8.78	67 900	31 300	37.0	9.3×10^{-6}
	50.0	2.41	15.9	527 000	39 000	41.4	5×10^{-7}

Van der Sluis (2006)

- **Lichte sterren** zijn klein, koel, zwak, langlevend en met velen
- **Zware sterren** zijn groot, heel heel, heel fel, kortlevend en zeldzaam

Evolutie van een ster van 1 zonsmassa

Jij bent gemaakt
uit sterrenstof!

Inleiding

Mensen en het
heelal

Heelal en sterrenstelsels

Het uitdijende
heelal

Sterrenstelsels

Sterren en sterevolutie

De Zon

Sterren

Evolutie van lichte sterren

Planetaire nevels

Evolutie van zware
sterren

Supernova's

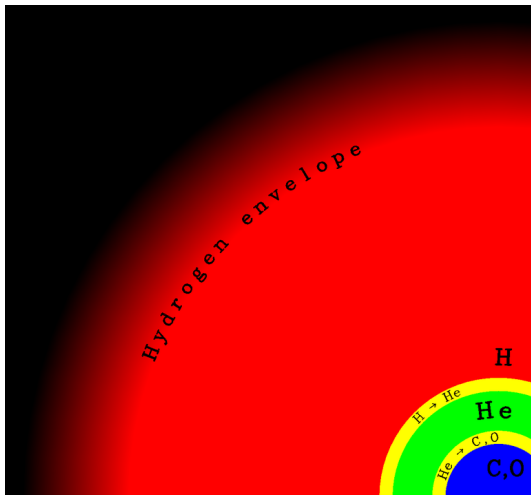
Ontstaan van sterren en planeten

Het ontstaan van
sterren

Het ontstaan van
planeten

Exoplaneten

Ons zonnestelsel



Fase:
Waterstoffusie
Heliumfusie

Van der Sluys (2006)

Temperatuur:
 $T \gtrsim 7$ miljoen°C,
 $T \gtrsim 200$ miljoen°C,

Tijdschaal:
 $\tau \approx 7 + 4$ miljard jaar
 $\tau \approx 200 + 25$ miljoen jaar

Reacties:
 $4H \rightarrow He$
 $3He \rightarrow C,$
 $C + He \rightarrow O$

**Jij bent gemaakt
uit sterrenstof!**

Inleiding

Mensen en het
heelal

Heelal en sterrenstelsels

Het uitdijende
heelal

Sterrenstelsels

Sterren en sterevolutie

De Zon

Sterren

Evolutie van lichte sterren

Planetaire nevels

Evolutie van zware
sterren

Supernova's

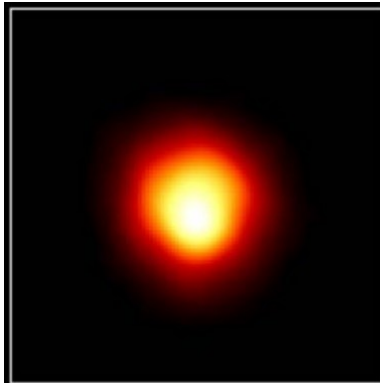
Ontstaan van sterren en planeten

Het ontstaan van
sterren

Het ontstaan van
planeten

Exoplaneten

Ons zonnestelsel



Diameter ster

Diameter aardbaan

Diameter jupiterbaan



Planetaire nevels

**Jij bent gemaakt
uit sterrenstof!**

Inleiding

Mensen en het
heelal

Heelal en sterrenstelsels

Het uitdijende
heelal

Sterrenstelsels

Sterren en sterevolutie

De Zon

Sterren

Evolutie van lichte
sterren

Planetaire nevels

Evolutie van zware
sterren

Supernova's

Ontstaan van sterren en planeten

Het ontstaan van
sterren

Het ontstaan van
planeten

Exoplaneten

Ons zonnestelsel



Butterfly nebula (HST/NASA)

Evoluerende zware sterren

Jij bent gemaakt
uit sterrenstof!

Inleiding

Mensen en het
heelal

Heelal en sterrenstelsels

Het uitdijende
heelal

Sterrenstelsels

Sterren en sterevolutie

De Zon

Sterren

Evolutie van lichte
sterren

Planetaire nevels

**Evolutie van zware
sterren**

Supernova's

Ontstaan van sterren en planeten

Het ontstaan van
sterren

Het ontstaan van
planeten

Exoplaneten

Ons zonnestelsel



JWST: NASA/ESA/CSA

Uien-schil-structuur voor zware sterren

Jij bent gemaakt
uit sterrenstof!

Inleiding

Mensen en het
heelal

Heelal en sterrenstelsels

Het uitdijende
heelal

Sterrenstelsels

Sterren en sterevolutie

De Zon

Sterren

Evolutie van lichte
sterren

Planetaire nevels

**Evolutie van zware
sterren**

Supernova's

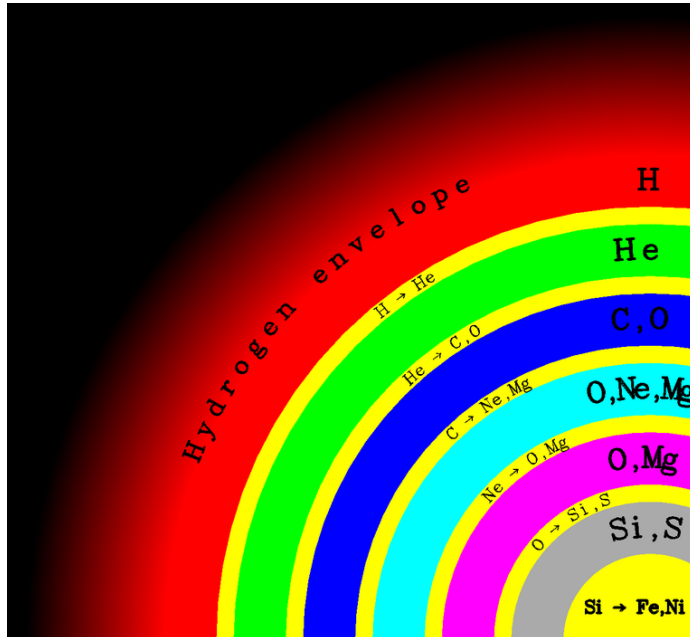
Ontstaan van sterren en planeten

Het ontstaan van
sterren

Het ontstaan van
planeten

Exoplaneten

Ons zonnestelsel



Inleiding

Mensen en het
heelal

Heelal en sterrenstelsels

Het uitdijende
heelal
Sterrenstelsels

Sterren en sterevolutie

De Zon
Sterren
Evolutie van lichte
sterren
Planetaire nevels
**Evolutie van zware
sterren**
Supernova's

Ontstaan van sterren en planeten

Het ontstaan van
sterren
Het ontstaan van
planeten
Exoplaneten
Ons zonnestelsel

Fase	Nettoreacties	T (MK)	τ
Waterstoffusie	$H \rightarrow He$	> 7	10 miljoen jr
Heliumfusie	$He \rightarrow C, O$	> 200	1 miljoen jr
Koolstoffusie	$C \rightarrow Ne, Mg$	> 800	1000 jaar
Neonfusie	$Ne \rightarrow O, Mg$	> 1500	1 maand
Zuurstoffusie	$O \rightarrow Si, S$	> 2000	2 jaar
Siliciumfusie	$Si \rightarrow Fe, Ni$	> 3300	3 dagen

Supernova

**Jij bent gemaakt
uit sterrenstof!**

Inleiding

Mensen en het
heelal

Heelal en sterrenstelsels

Het uitdijende
heelal

Sterrenstelsels

Sterren en sterevolutie

De Zon

Sterren

Evolutie van lichte
sterren

Planetaire nevels

Evolutie van zware
sterren

Supernova's

Ontstaan van sterren en planeten

Het ontstaan van
sterren

Het ontstaan van
planeten

Exoplaneten

Ons zonnestelsel



Jij bent gemaakt uit sterrenstof!

Inleiding

Mensen en het
heelal

Heelal en sterrenstelsels

Het uitdijende
heelal

Sterrenstelsels

Sterren en sterevolutie

De Zon

Sterren

Evolutie van lichte
sterren

Planetaire nevels

Evolutie van zware
sterren

Supernova's

Ontstaan van sterren en planeten

Het ontstaan van
sterren

Het ontstaan van
planeten

Exoplaneten

Ons zonnestelsel



Cygnus loop ($\sim 5000\text{--}8000$ jr)



**Jij bent gemaakt
uit sterrenstof!**

Inleiding

Mensen en het
heelal

Heelal en sterrenstelsels

Het uitdijende
heelal

Sterrenstelsels

Sterren en sterevolutie

De Zon

Sterren

Evolutie van lichte
sterren

Planetaire nevels

Evolutie van zware
sterren

Supernova's

Ontstaan van sterren en planeten

**Het ontstaan van
sterren**

Het ontstaan van
planeten

Exoplaneten

Ons zonnestelsel

Het sterrenbeeld Orion



Inleiding

Mensen en het
heelal

Heelal en sterrenstelsels

Het uitdijende
heelal

Sterrenstelsels

Sterren en sterevolutie

De Zon

Sterren

Evolutie van lichte
sterren

Planetaire nevels

Evolutie van zware
sterren

Supernova's

Ontstaan van sterren en planeten

**Het ontstaan van
sterren**

Het ontstaan van
planeten

Exoplaneten

Ons zonnestelsel



Stervorming in de Orionnevel

**Jij bent gemaakt
uit sterrenstof!**

Inleiding

Mensen en het
heelal

Heelal en sterrenstelsels

Het uitdijende
heelal

Sterrenstelsels

Sterren en sterevolutie

De Zon

Sterren

Evolutie van lichte
sterren

Planetaire nevels

Evolutie van zware
sterren

Supernova's

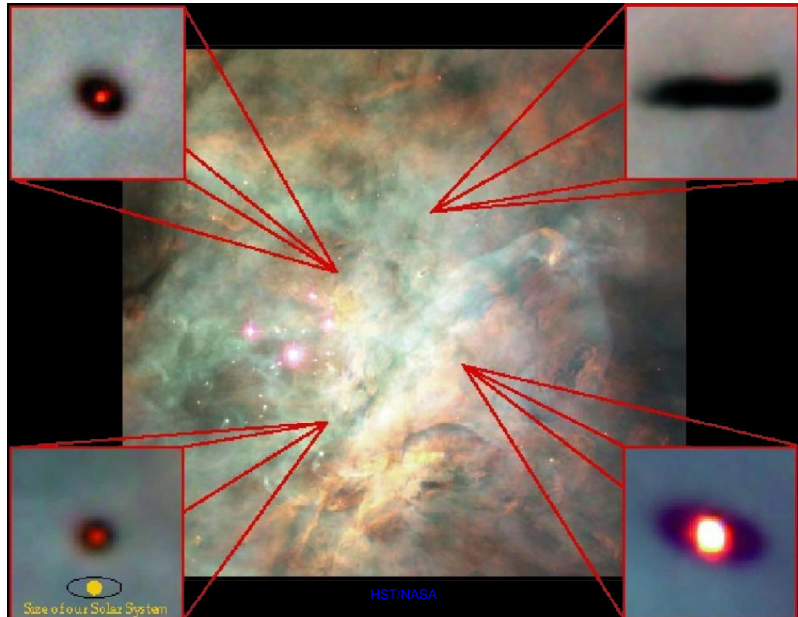
Ontstaan van sterren en planeten

**Het ontstaan van
sterren**

Het ontstaan van
planeten

Exoplaneten

Ons zonnestelsel



Inleiding

Mensen en het
heelal

Heelal en sterrenstelsels

Het uitdijende
heelal

Sterrenstelsels

Sterren en sterevolutie

De Zon

Sterren

Evolutie van lichte
sterren

Planetaire nevels

Evolutie van zware
sterren

Supernova's

Ontstaan van sterren en planeten

**Het ontstaan van
sterren**

Het ontstaan van
planeten

Exoplaneten

Ons zonnestelsel



Het ontstaan van een planetenstelsel

Jij bent gemaakt
uit sterrenstof!

Inleiding

Mensen en het
heelal

Heelal en sterrenstelsels

Het uitdijende
heelal

Sterrenstelsels

Sterren en sterevolutie

De Zon

Sterren

Evolutie van lichte
sterren

Planetaire nevels
Evolutie van zware
sterren

Supernova's

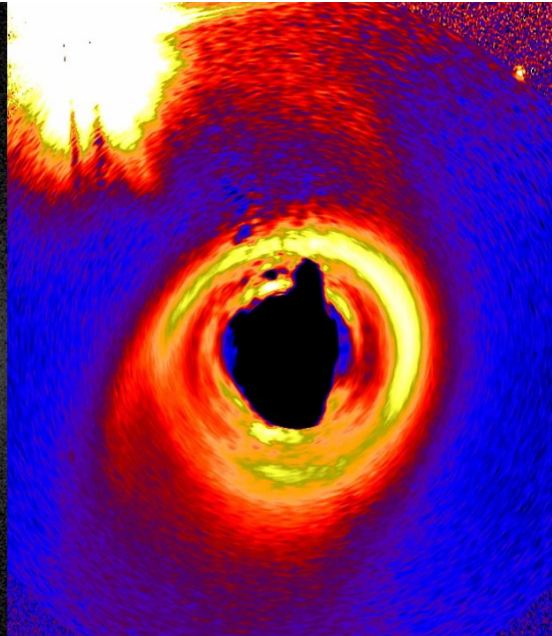
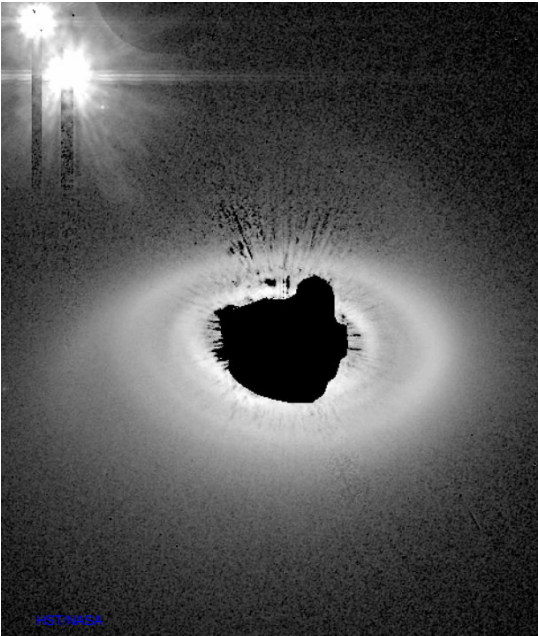
Ontstaan van sterren en planeten

Het ontstaan van
sterren

**Het ontstaan van
planeten**

Exoplaneten

Ons zonnestelsel



HST/NASA

Het ontstaan van een planetenstelsel

**Jij bent gemaakt
uit sterrenstof!**

Inleiding

Mensen en het
heelal

Heelal en sterrenstelsels

Het uitdijende
heelal

Sterrenstelsels

Sterren en sterevolutie

De Zon

Sterren

Evolutie van lichte
sterren

Planetaire nevels

Evolutie van zware
sterren

Supernova's

Ontstaan van sterren en planeten

Het ontstaan van
sterren

**Het ontstaan van
planeten**

Exoplaneten

Ons zonnestelsel



Ontdekking van exoplaneten door Dopplerverschuiving

Jij bent gemaakt
uit sterrenstof!

Inleiding

Mensen en het
heelal

Heelal en sterrenstelsels

Het uitdijende
heelal

Sterrenstelsels

Sterren en sterevolutie

De Zon

Sterren

Evolutie van lichte
sterren

Planetaire nevels

Evolutie van zware
sterren

Supernova's

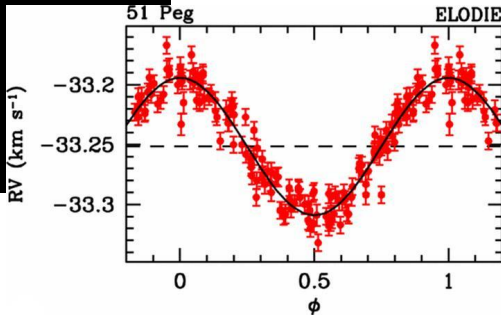
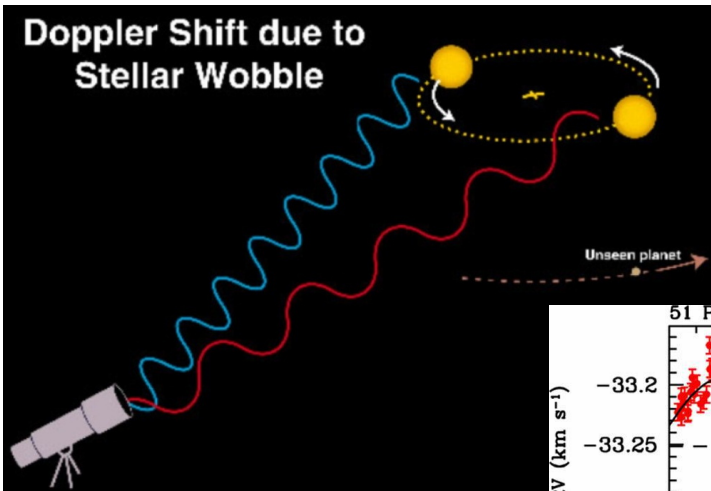
Ontstaan van sterren en planeten

Het ontstaan van
sterren

Het ontstaan van
planeten

Exoplaneten

Ons zonnestelsel



Mayor & Queloz (1995)

Ontdekking van exoplaneten door overgangen

Jij bent gemaakt
uit sterrenstof!

Inleiding

Mensen en het
heelal

Heelal en sterrenstelsels

Het uitdijende
heelal

Sterrenstelsels

Sterren en sterevolutie

De Zon

Sterren

Evolutie van lichte
sterren

Planetaire nevels

Evolutie van zware
sterren

Supernova's

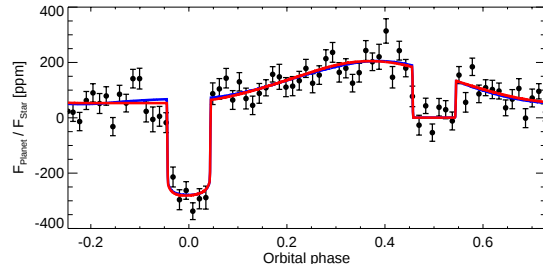
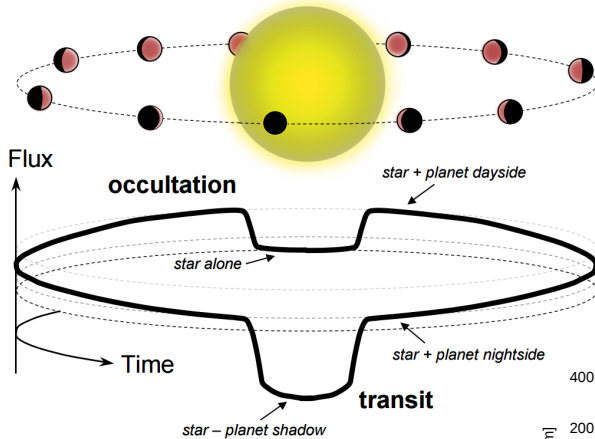
Ontstaan van sterren en planeten

Het ontstaan van
sterren

Het ontstaan van
planeten

Exoplaneten

Ons zonnestelsel



Gevonden exoplaneten

Jij bent gemaakt
uit sterrenstof!

Inleiding

Mensen en het
heelal

Heelal en sterrenstelsels

Het uitdijende
heelal

Sterrenstelsels

Sterren en sterevolutie

De Zon

Sterren

Evolutie van lichte
sterren

Planetaire nevels
Evolutie van zware
sterren

Supernova's

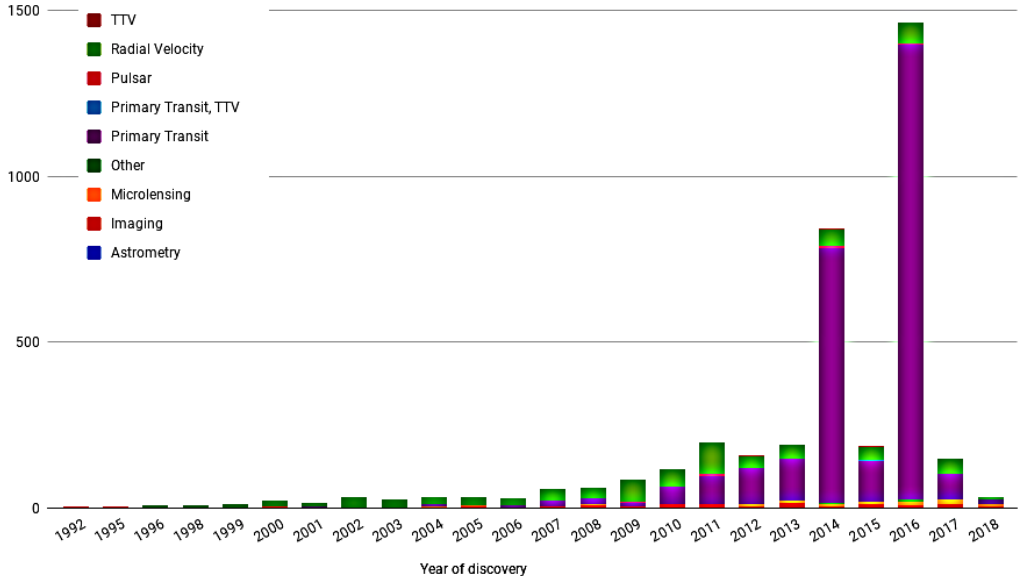
Ontstaan van sterren en planeten

Het ontstaan van
sterren

Het ontstaan van
planeten

Exoplaneten

Ons zonnestelsel



Planeten in het zonnestelsel

**Jij bent gemaakt
uit sterrenstof!**

Inleiding

Mensen en het
heelal

Heelal en sterrenstelsels

Het uitdijende
heelal

Sterrenstelsels

Sterren en sterevolutie

De Zon

Sterren

Evolutie van lichte
sterren

Planetaire nevels

Evolutie van zware
sterren

Supernova's

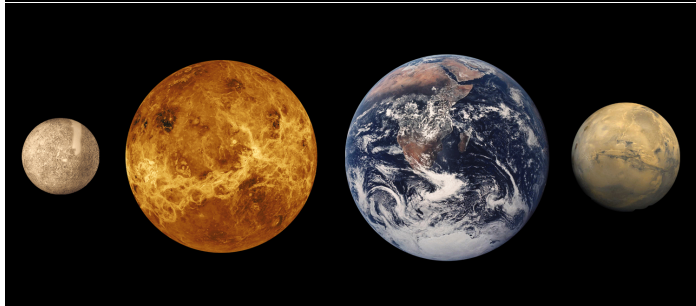
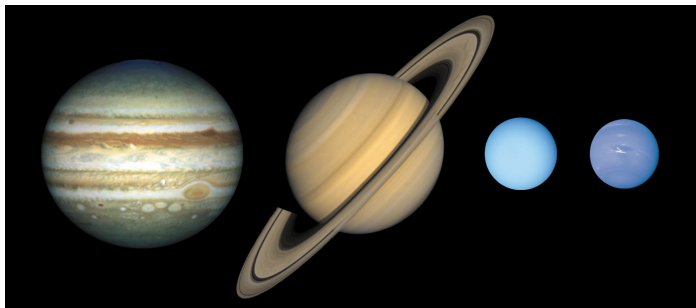
Ontstaan van sterren en planeten

Het ontstaan van
sterren

Het ontstaan van
planeten

Exoplaneten

Ons zonnestelsel



NASA

Samenstelling van ons zonnestelsel

Jij bent gemaakt uit sterrenstof!

Inleiding

Mensen en het heelal

Heelal en sterrenstelsels

Het uitdijende heelal
Sterrenstelsels

Sterren en sterevolutie

De Zon
Sterren
Evolutie van lichte sterren
Planetaire nevels
Evolutie van zware sterren
Supernova's

Ontstaan van sterren en planeten

Het ontstaan van sterren
Het ontstaan van planeten
Exoplaneten
Ons zonnestelsel

1 H	kernfusie tijdens de Oerknal 						kernsplitsing door kosmische straling 												2 He	
3 Li	4 Be	samensmeltende neutronensterren 						exploderende zware sterren 						5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	
11 Na	12 Mg	stervende lichte sterren 						exploderende witte dwergen 						13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr			
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe			
55 Cs	56 Ba							76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn		
87 Fr	88 Ra																			
			57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu			
			89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	(- - - - - gemaakt door mensen - - - - -)													

Samenstelling van het jonge heelal en van de mens

Jij bent gemaakt uit sterrenstof!

Inleiding

Mensen en het heelal

Heelal en sterrenstelsels

Het uitdijende heelal

Sterrenstelsels

Sterren en sterevolutie

De Zon

Sterren

Evolutie van lichte sterren

Planetaire nevels

Evolutie van zware sterren

Supernova's

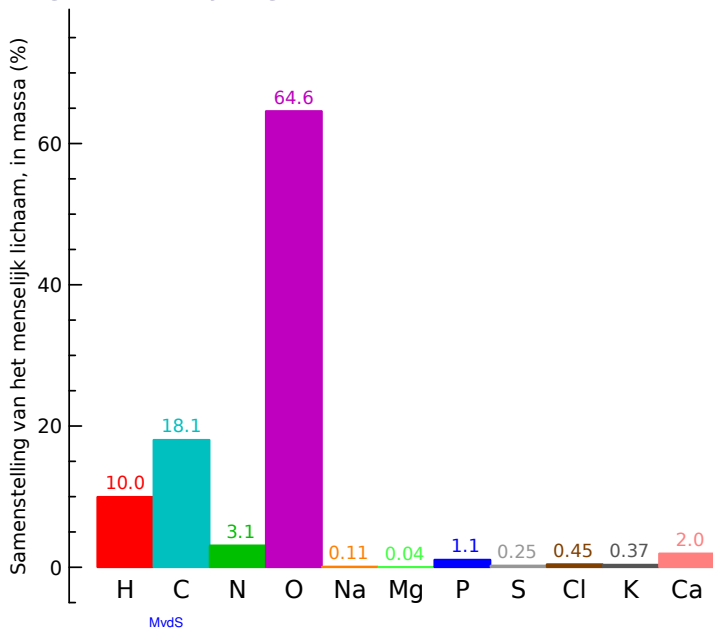
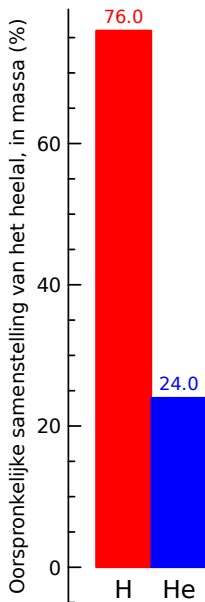
Ontstaan van sterren en planeten

Het ontstaan van sterren

Het ontstaan van planeten

Exoplaneten

Ons zonnestelsel



Inleiding

Mensen en het
heelal

Heelal en

sterrenstelsels

Het uitdijende
heelal

Sterrenstelsels

Sterren en

sterevolutie

De Zon

Sterren

Evolutie van lichte
sterren

Planetaire nevels

Evolutie van zware
sterren

Supernova's

Ontstaan van

sterren en

planeten

Het ontstaan van
sterren

Het ontstaan van
planeten

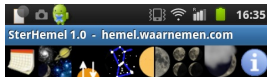
Exoplaneten

Ons zonnestelsel



<https://hemel.waarnemen.com>

- Actuele, eenvoudig en lastiger waar te nemen hemelverschijnselen
- Zichtbaarheid van Zon, Maan, planeten, meteoren, kometen, deepsky, ISS, ...
- Astrokalenders, hemelkaarten, maanfasen, hemel vannacht, waarneemweer, tabellen
- Apps (Android/Apple), Facebook, Twitter
- ~ **10 000 pagina's**; **Geen reclame**
- **1–2 miljoen** bezoekers per jaar



hemel.waarnemen.com
astrokalender

*Tijdstippen zijn in Midden-Europese
zomertijd (MEZT)*

maandag 19 augustus



03.26: De Maan is in
het punt van zijn
baan dat het dichtst
bij de Aarde ligt: het
perigeum. De

afstand tussen de
Aarde en de Maan bedraagt 362264 km.
De **schijnbare diameter** van de Maan is
groter dan gemiddeld (32'59,1"), door
de kleinere afstand. De Maan is op dit
moment **wassend**, voor 94% verlicht en
hij is vrijwel de gehele nacht zichtbaar;
's avonds in het (zuid)oosten en tegen
de ochtend in het westen of

Deze lezing op <https://hemel.waarnemen.com/lezingen>