

Wij zijn gemaakt uit sterrenstof!



Marc van der Sluys
Radboud Universiteit Nijmegen
Hogeschool van Arnhem en Nijmegen
hemel.waarnemen.com

Wij zijn 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

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
- 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

Wij zijn 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

Evolutie van zware sterren

Supernova's

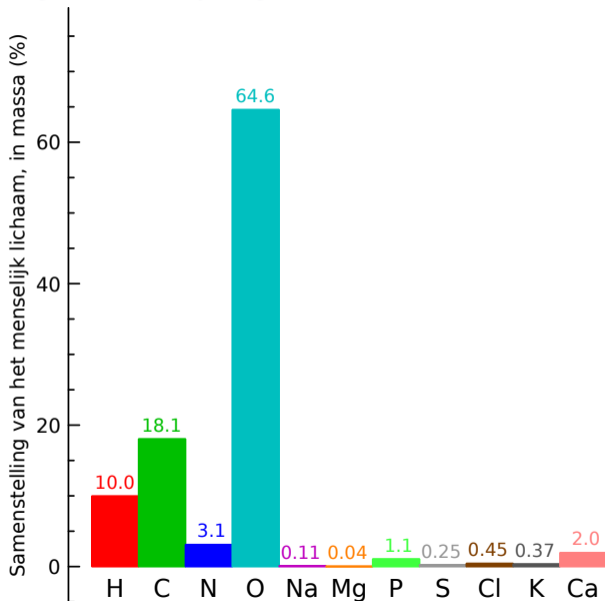
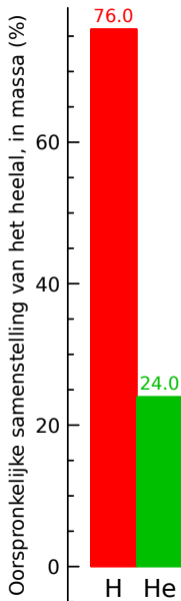
Ontstaan van sterren en planeten

Het ontstaan van sterren

Het ontstaan van planeten

Exoplaneten

Ons zonnestelsel



Het uitdijende heelal ($\sim 10^4$ sterrenstelsels)

Wij zijn 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

Evolutie van zware
sterren

Supernova's

Ontstaan van sterren en planeten

Het ontstaan van
sterren

Het ontstaan van
planeten

Exoplaneten

Ons zonnestelsel



HST/NASA

Wij zijn 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

Evolutie van zware sterren

Supernova's

Ontstaan van sterren en planeten

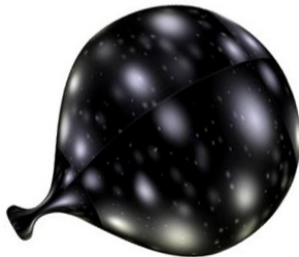
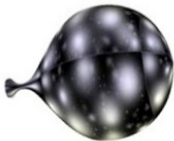
Het ontstaan van sterren

Het ontstaan van planeten

Exoplaneten

Ons zonnestelsel

Het uitdijende heelal



Het sterrenstelsel NGC 891

Wij zijn 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

Evolutie van zware
sterren

Supernova's

Ontstaan van sterren en planeten

Het ontstaan van
sterren

Het ontstaan van
planeten

Exoplaneten

Ons zonnestelsel



Wij zijn 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

Evolutie van zware sterren

Supernova's

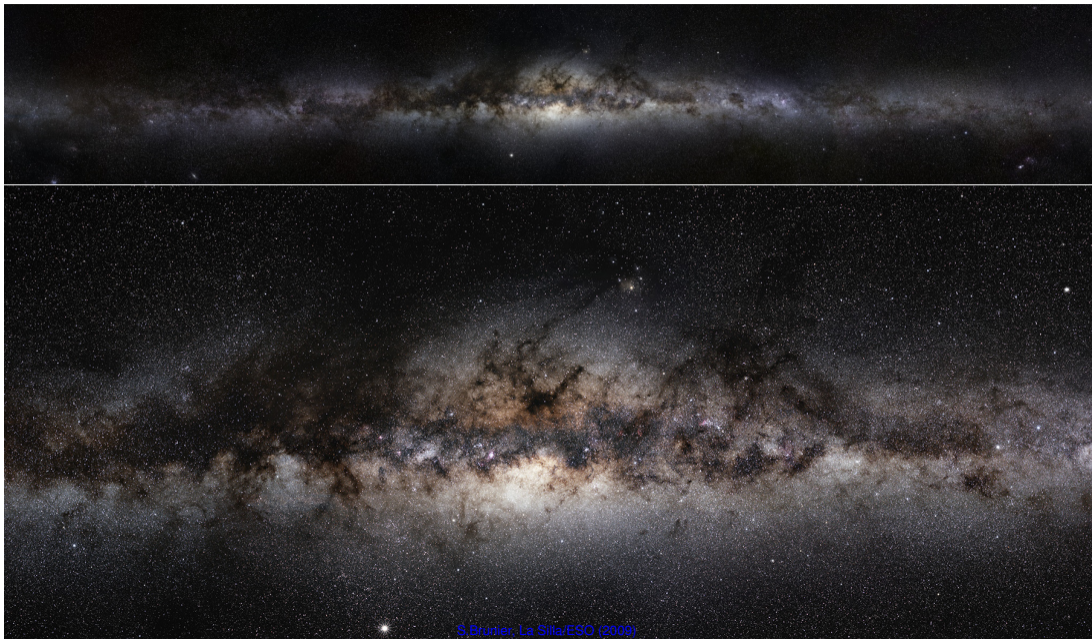
Ontstaan van sterren en planeten

Het ontstaan van sterren

Het ontstaan van planeten

Exoplaneten

Ons zonnestelsel



Het sterrenstelsel M 83

Wij zijn 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

Evolutie van zware
sterren

Supernova's

Ontstaan van sterren en planeten

Het ontstaan van
sterren

Het ontstaan van
planeten

Exoplaneten

Ons zonnestelsel



Wij zijn 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

Evolutie van zware sterren

Supernova's

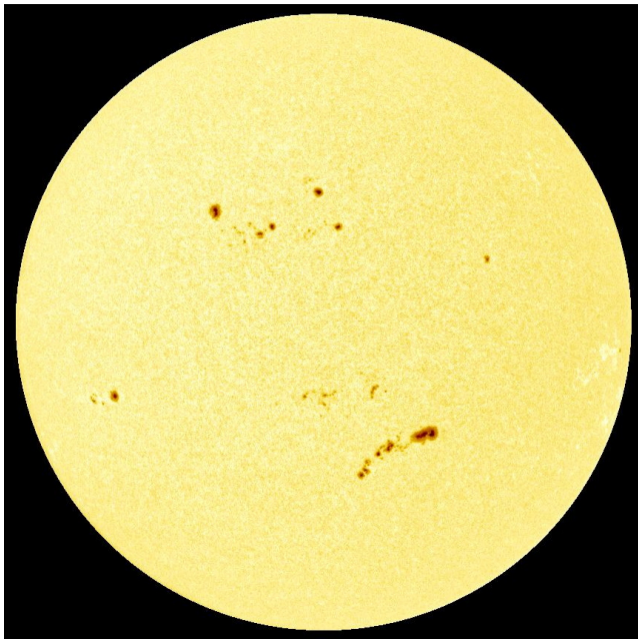
Ontstaan van sterren en planeten

Het ontstaan van sterren

Het ontstaan van planeten

Exoplaneten

Ons zonnestelsel



Wij zijn gemaakt
uit sterrenstof!

Inleiding

Mensen en het
heelalHeelal en
sterrenstelselsHet uitdijende
heelal

Sterrenstelsels

Sterren en
sterevolutie

De Zon

Sterren

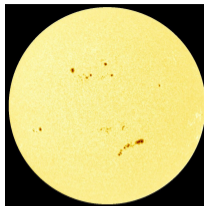
Evolutie van lichte
sterrenEvolutie van zware
sterren

Supernova's

Ontstaan van
sterren en
planetenHet ontstaan van
sterrenHet 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	$\bar{\rho}_{\odot}$	$1,4 \text{ g/cm}^3$	$0,26 \bar{\rho}_{\oplus}$
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	$\sim 7000^{\circ}\text{C}$

Opbouw van de Zon

Wij zijn 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

Evolutie van zware sterren

Supernova's

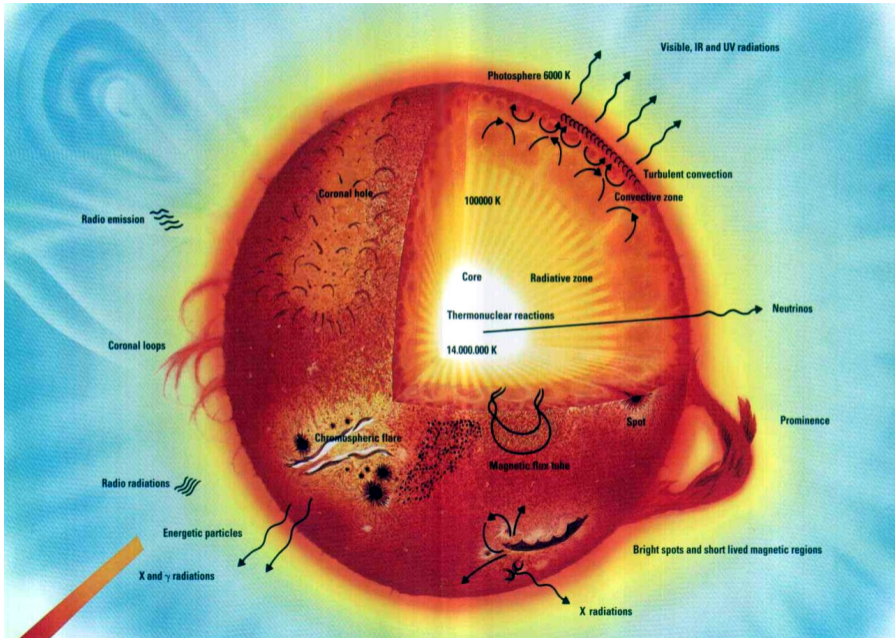
Ontstaan van sterren en planeten

Het ontstaan van sterren

Het ontstaan van planeten

Exoplaneten

Ons zonnestelsel



Wij zijn 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

Evolutie van zware sterren

Supernova's

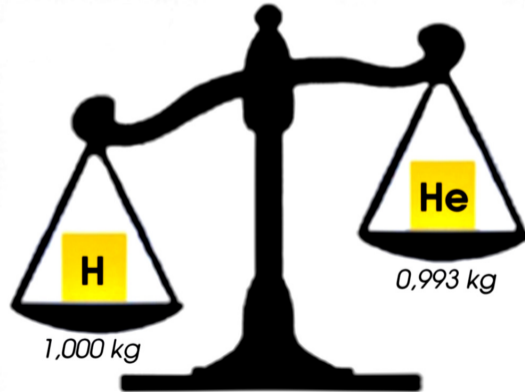
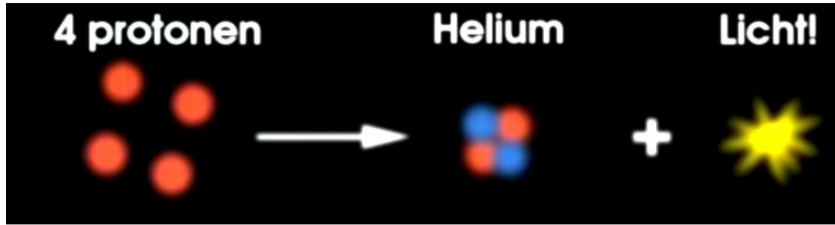
Ontstaan van sterren en planeten

Het ontstaan van sterren

Het ontstaan van planeten

Exoplaneten

Ons zonnestelsel



Eigenschappen van enkele sterren met zonne-metalliciteit, halverwege de hoofdreeks ($X_c = 0.35$):

	M (M_{\odot})	age (Myr)	R (R_{\odot})	L (L_{\odot})	T_s (K)	T_c (MK)	Aantal (t.o.v. $1 M_{\odot}$)
De Zon	0.5	52 600	0.50	0.05	3860	9.8	7.07
Sterren	0.8	11 600	0.79	0.38	5100	13.4	2.34
Evolutie van lichte sterren	1.0	4900	1.01	1.05	5810	15.9	1.00
Evolutie van zware sterren							
Supernova's	1.5	1660	1.95	6.75	6660	20.9	0.131
Ontstaan van sterren en planeten	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}
Het ontstaan van sterren	3.0	246	3.09	120	10 800	25.2	3.80×10^{-3}
Het ontstaan van planeten	5.0	70.6	4.19	895	15 400	28.6	3.27×10^{-4}
Exoplaneten							
Ons zonnestelsel	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}

Evolutie van een ster van 1 zonsmassa

Wij zijn gemaakt
uit sterrenstof!

Inleiding

Mensen en het
heelal

Heelal en sterrenstelsels

Het uitdijende
heelal
Sterrenstelsels

Sterren en sterevolutie

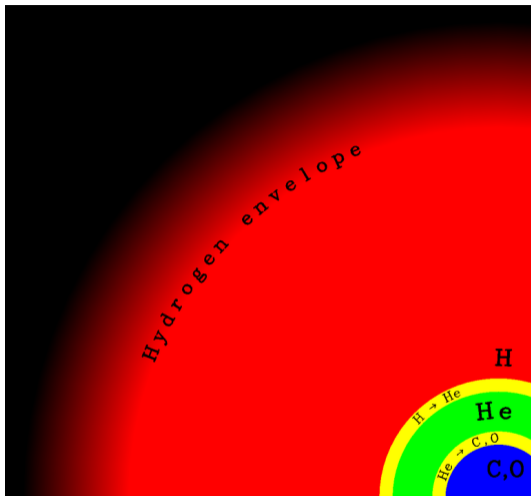
De Zon
Sterren

Evolutie van lichte sterren

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 $^{\circ}\text{C}$,
 $T \gtrsim 200$ miljoen $^{\circ}\text{C}$,

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

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

Wij zijn 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

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)

Uien-schil-structuur voor zware sterren

Wij zijn 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

Evolutie van zware sterren

Supernova's

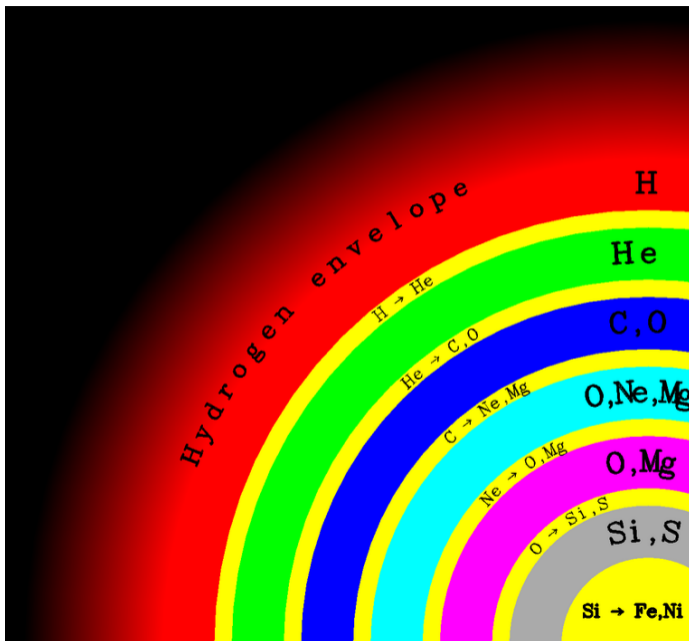
Ontstaan van sterren en planeten

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

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 (K)	τ
Waterstoffusie	H \rightarrow He	$> 7 \times 10^6$	10 Mjr
Heliumfusie	He \rightarrow C,O	$> 2 \times 10^8$	1 Mjr
Koolstoffusie	C \rightarrow Ne,Mg	$> 8 \times 10^8$	1 kjr
Neonfusie	Ne \rightarrow O,Mg	$> 1.5 \times 10^9$	1 maand
Zuurstoffusie	O \rightarrow Si,S	$> 2 \times 10^9$	2 jaar
Siliciumfusie	Si \rightarrow Fe,Ni	$> 3.3 \times 10^9$	3 dagen

Supernova

Wij zijn 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

Evolutie van zware sterren

Supernova's

Ontstaan van sterren en planeten

Het ontstaan van sterren

Het ontstaan van planeten

Exoplaneten

Ons zonnestelsel



© Anglo-Australian Observatory



Wij zijn 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

Evolutie van zware sterren

Supernova's

Ontstaan van sterren en planeten

Het ontstaan van sterren

Het ontstaan van planeten

Exoplaneten

Ons zonnestelsel



Cygnus loop



Wij zijn 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

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



Wij zijn 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

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

Wij zijn 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

Evolutie van zware
sterren

Supernova's

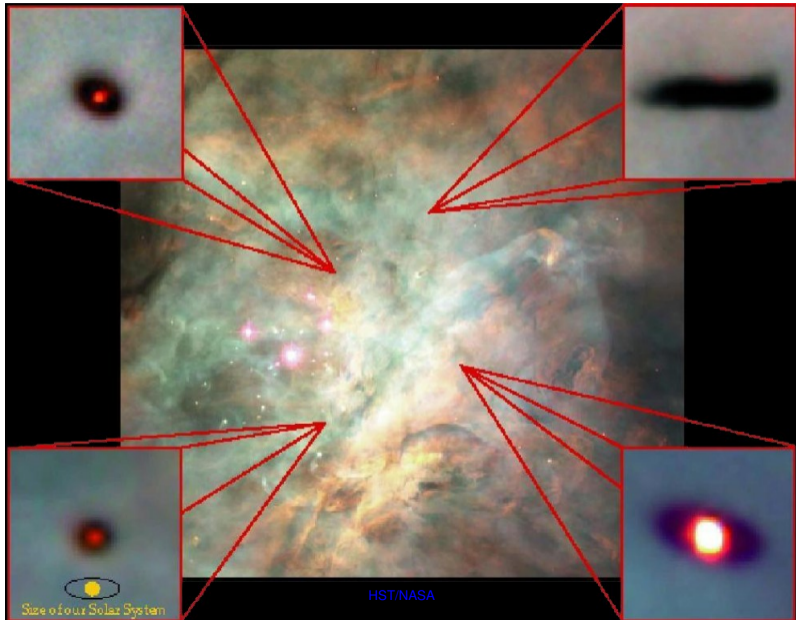
Ontstaan van sterren en planeten

Het ontstaan van
sterren

Het ontstaan van
planeten

Exoplaneten

Ons zonnestelsel



Wij zijn 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

Evolutie van zware sterren

Supernova's

Ontstaan van sterren en planeten

Het ontstaan van sterren

Het ontstaan van planeten

Exoplaneten

Ons zonnestelsel

De Pleiaden (~ 100 Myr)



Het ontstaan van een planetenstelsel

Wij zijn 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

Evolutie van zware sterren

Supernova's

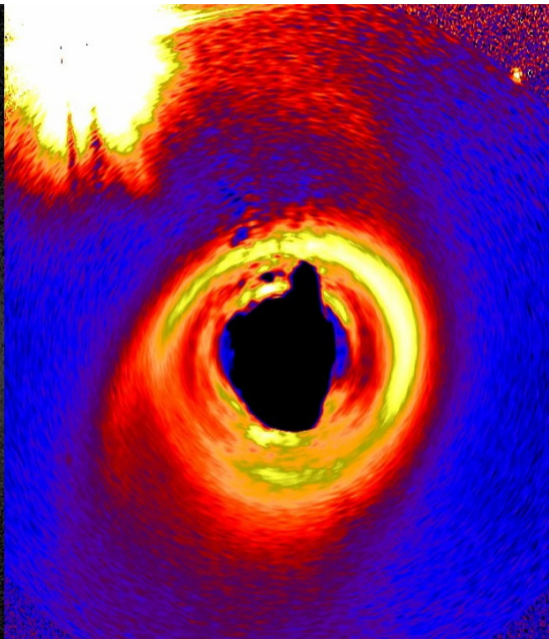
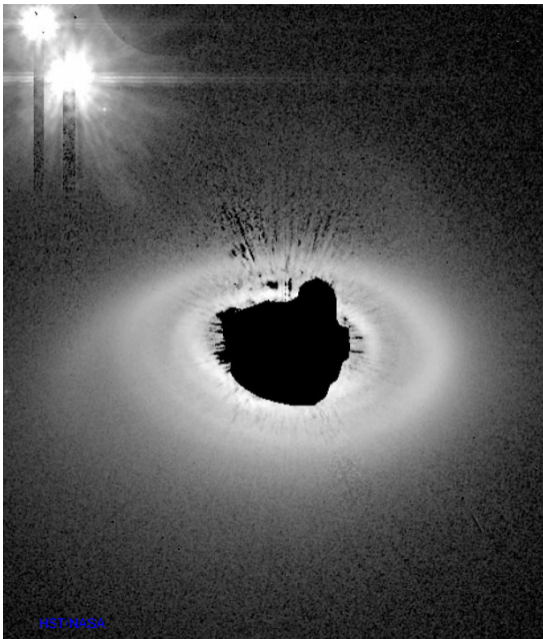
Ontstaan van sterren en planeten

Het ontstaan van sterren

Het ontstaan van planeten

Exoplaneten

Ons zonnestelsel



Het ontstaan van een planetenstelsel

Wij zijn 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

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

Wij zijn 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

Evolutie van zware sterren

Supernova's

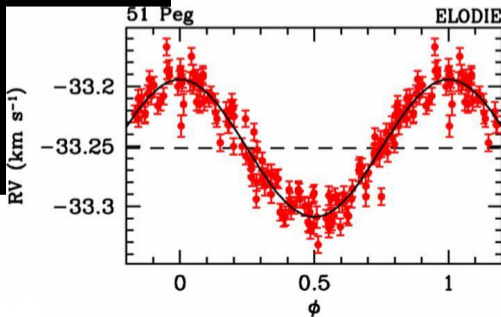
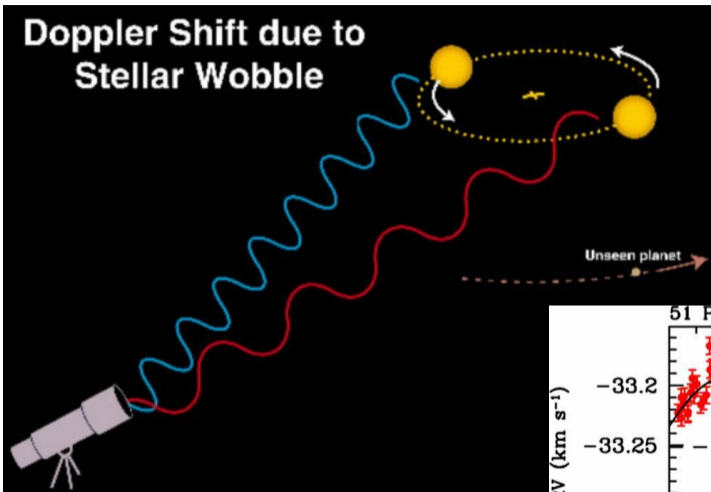
Ontstaan van sterren en planeten

Het ontstaan van sterren

Het ontstaan van planeten

Exoplaneten

Ons zonnestelsel



Mayor & Queloz (1995)

Ontdekking van exoplaneten door overgangen

Wij zijn 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

Evolutie van zware sterren

Supernova's

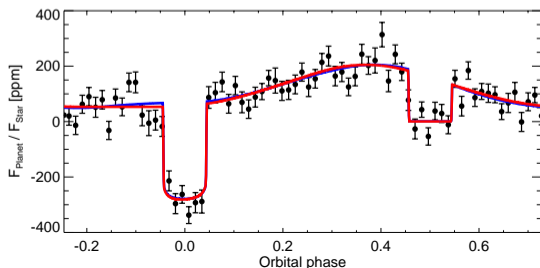
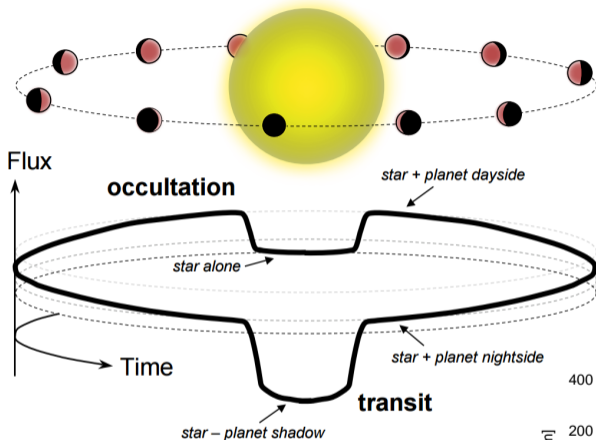
Ontstaan van sterren en planeten

Het ontstaan van sterren

Het ontstaan van planeten

Exoplaneten

Ons zonnestelsel



Gevonden exoplaneten

Wij zijn 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

Evolutie van zware sterren

Supernova's

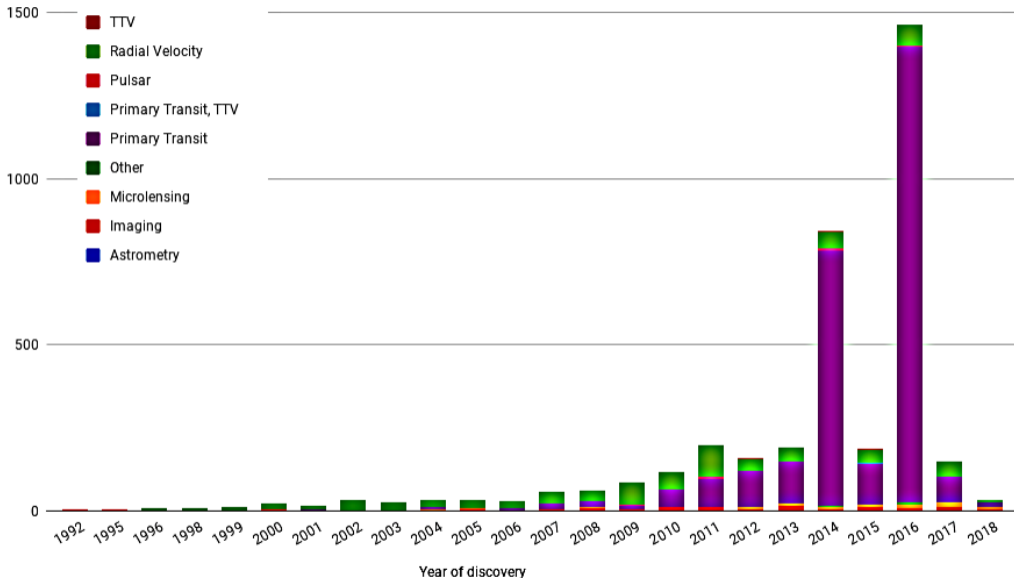
Ontstaan van sterren en planeten

Het ontstaan van sterren

Het ontstaan van planeten

Exoplaneten

Ons zonnestelsel



Planeten in het zonnestelsel

Wij zijn 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

Evolutie van zware
sterren

Supernova's

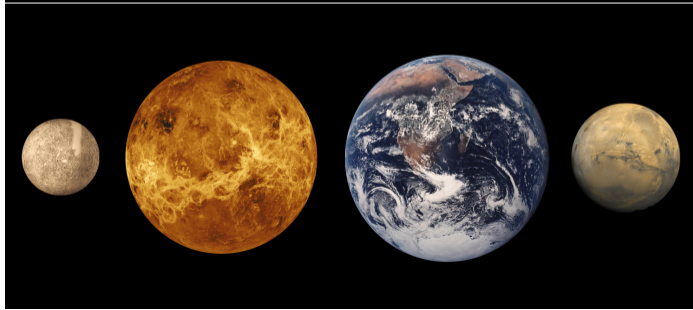
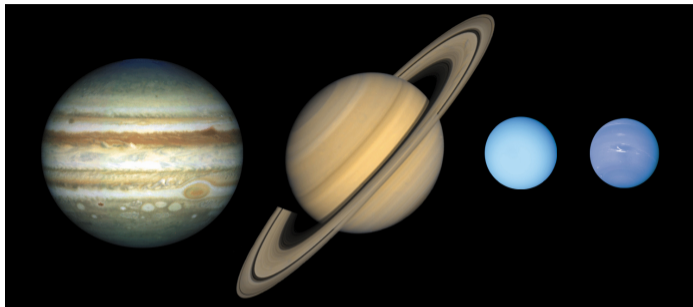
Ontstaan van sterren en planeten

Het ontstaan van
sterren

Het ontstaan van
planeten

Exoplaneten

Ons zonnestelsel



NASA

Samenstelling van het jonge heelal en van de mens

Wij zijn gemaakt uit sterrenstof!

Inleiding

Mensen en het heelal

Heelal en sterrenstelsels

Het uitdijende heelal

Sterrenstelsels

Sterren en stervolutie

De Zon

Sterren

Evolutie van lichte sterren

Evolutie van zware sterren

Supernova's

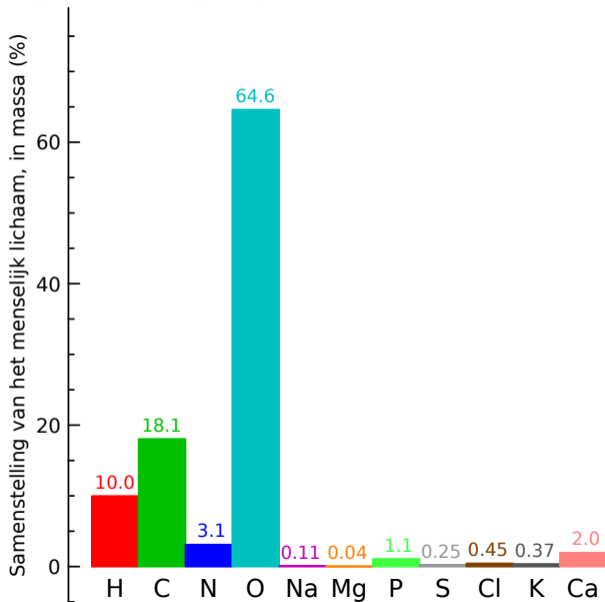
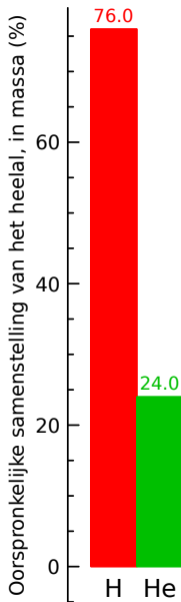
Ontstaan van sterren en planeten

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

Evolutie van zware
sterren

Supernova's

Ontstaan van
sterren en
planeten

Het ontstaan van
sterren

Het ontstaan van
planeten

Exoplaneten

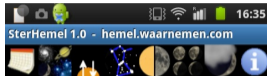
Ons zonnestelsel



hemel.waarnemen.com

<http://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
- ~ **9500 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 <http://hemel.waarnemen.com/lezingen>